



ACADEMIA MILITAR

Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa

Aspirante de Infantaria Bruno Rafael Lopes Mendes

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Orientador: Professora Doutora Sílvia Arsénio Rodrigues Cabral (FMH)

Coorientador: Professor Auxiliar Convidado Nuno Ricardo da Conceição Almeida (AM)

Júri

Presidente do Júri: Professora Adjunta Ana Paula da Silva Oliveira

Arguente: Professor Catedrático António Prieto Veloso (FMH)

Orientador: Professora Doutora Sílvia Arsénio Rodrigues Cabral (FMH)

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria “Cmd” Roberto Martins Mariano

junho, 2025



ACADEMIA MILITAR

Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa

Aspirante de Infantaria Bruno Rafael Lopes Mendes

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria

Orientador: Professora Doutora Sílvia Arsénio Rodrigues Cabral (FMH)

Coorientador: Professor Auxiliar Convidado Nuno Ricardo da Conceição Almeida (AM)

Júri

Presidente do Júri: Professora Adjunta Ana Paula da Silva Oliveira

Arguente: Professor Catedrático António Prieto Veloso (FMH)

Orientador: Professora Doutora Sílvia Arsénio Rodrigues Cabral (FMH)

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria Roberto Martins Mariano

junho, 2025

EPÍGRAFE

“There are no secrets to success. It is the result of preparation, hard work, and learning from failure.”

Colin Powell

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, à minha bisavó,
aos meus pais, ao meu irmão e à minha namorada,
por me ajudarem a levantar em todos os momentos que fraquejei.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho de Investigação Aplicada representa não apenas o encerramento de um ciclo formativo de cinco anos exigentes na Academia Militar, mas também o reflexo de um compromisso firme com o Exército Português e o início de uma nova etapa na minha vida. Embora tenha ocorrido de forma individual na sua execução, esta investigação foi também marcada por uma rede de apoios, contactos e contributos sem os quais não teria sido possível alcançar este resultado.

Dirijo-me em primeiro lugar, o meu profundo agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Sílvia Cabral, apesar de não ser docente da Academia Militar, aceitou desde o primeiro momento o convite e demonstrou-se sempre presente e dedicada, colaborando e orientando em todas as fases da investigação, acrescentando um vasto conhecimento científico a esta investigação. Ao meu coorientador, Professor Auxiliar Convidado Nuno Almeida, pelo acompanhamento próximo e apoio incondicional que muito contribuíram para a solidez deste estudo.

Ao Regimento de Infantaria nº10, principalmente à equipa de paraquedistas participante na investigação, que mesmo estando em fase de aprontamento para a 17ª Força Nacional Destacada, disponibilizou-se prontamente para a realização da componente experimental desta investigação.

Expresso, igualmente, o meu sincero apreço aos docentes e investigadores do Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional, da Faculdade de Motricidade Humana, pelo profissionalismo demonstrado, disponibilização do local para recolha dos dados, bem como o local para processamento e análise dos dados. A toda a secção de Treino Físico da Academia Militar e a toda a estrutura da Academia Militar, agradeço pelo apoio institucional e material disponibilizado para todas as fases desta investigação.

Aos diretores de curso, numa fase inicial desta investigação, Major de Infantaria Pedro Meneses e numa fase final da investigação, Tenente-Coronel de Infantaria Roberto Mariano, reconheço a liderança, o rigor e a capacidade de motivar, mesmo perante os desafios mais exigentes.

Aos meus camaradas do Curso General Adolfo Almeida Barbosa, em especial aos meus irmãos da arma de Infantaria, agradeço toda a entajuda, a camaradagem, apoio mútuo e os momentos partilhados, que ficarão para sempre na memória como parte inseparável da

minha formação militar e pessoal. Aos meus amigos que estiveram presentes ao longo de toda esta jornada, a minha gratidão a todos vós.

Por fim, à minha família e à minha namorada, pilares essenciais em TODOS os momentos desta caminhada. O vosso apoio, carinho e presença silenciosa nos dias mais difíceis foram determinantes para o meu sucesso. Este percurso, embora individual, foi vosso também.

A todos, o meu mais sincero e sentido OBRIGADO.

RESUMO

Esta investigação teve como objetivo analisar as cargas mecânicas articulares associadas à execução de tarefas críticas por atiradores durante operações militares em áreas urbanas, que apresentam um maior risco de lesões músculo-esqueléticas decorrentes de posturas exigentes, movimentos repetitivos e transporte de cargas nesta população. Assim, pretendeu-se caracterizar os padrões cinéticos e cinemáticos envolvidos na marcha típica, marcha fletida, transposição e receção de obstáculo e arraste do ferido.

A investigação adotou uma abordagem quantitativa, sendo um estudo de carácter exploratório-descritivo e desenho transversal. Participaram quatro militares de uma equipa de paraquedistas. A recolha de dados sociodemográficos foi realizada por inquéritos por questionário, enquanto os dados biomecânicos foram obtidos em laboratório com recurso a sistemas de captura de movimento 3D, plataformas de força e softwares especializados, permitindo análise cinética e cinemática detalhada com aplicação de dinâmica inversa.

Os resultados obtidos, identificam diferenças significativas entre as tarefas quanto às exigências biomecânicas. A marcha fletida demonstrou elevados momentos articulares na anca e maiores amplitudes de flexão nas articulações dos membros inferiores, em comparação com a marcha típica. A receção do obstáculo revelou maiores picos na força de reação do solo (F_z) e nos momentos de plantarflexão do tornozelo. A transposição de obstáculos implicou maior carga no joelho e tornozelo, enquanto o arraste do ferido apresentou padrão uniforme, mas exigente, de tração e estabilidade. Em várias tarefas, os valores observados ultrapassaram os limiares de segurança biomecânica referenciados na literatura.

As tarefas críticas analisadas envolvem exigências articulares elevadas, associadas a um risco acrescido de lesão, especialmente sob fadiga e carga externa adicional. Tarefas como a marcha fletida, a receção ao solo e o arraste do ferido demonstraram maior sobrecarga mecânica, com envolvimento acentuado das articulações da anca, joelho e tornozelo. Os resultados confirmam a relevância das variáveis biomecânicas para compreender o desempenho funcional em contexto militar.

Palavras-chave: Biomecânica; Carga Mecânica Articular; Combate Ambiente Urbano; Tarefas Críticas; Militar.

ABSTRACT

This investigation aimed to analyse the mechanical joint loads associated with the performance of critical tasks by shooters during military operations in urban areas, which present the highest risk of musculoskeletal injuries resulting from demanding postures, repetitive movements, and load carriage in this population. Therefore, the aim was to characterise the kinetic and kinematic patterns involved in typical (upright) gait, flexed gait, obstacle crossing and landing, and casualty drag.

The investigation adopted a quantitative approach, being an exploratory-descriptive study with a cross-sectional design. Four members of a parachute team participated. Sociodemographic data were collected through questionnaires, while biomechanical data were obtained in a laboratory using 3D motion capture systems, force platforms and specialised software. This allowed for detailed kinetic and kinematic analysis through the application of inverse dynamics.

The results identified significant differences between tasks regarding biomechanical demands. Flexed gait demonstrated high hip joint moments and greater flexion amplitudes in the lower limb joints, compared to typical gait. Obstacle landing resulted in increased peak ground reaction forces (F_z) and greater ankle plantarflexion moments. Obstacle crossing implied greater load on the knee and ankle, while the casualty drag presented a uniform, but demanding pattern of traction and stability. In several tasks, the observed values exceeded the biomechanical safety thresholds referenced in the literature.

The critical tasks analysed involve high joint demands, associated with an increased risk of injury, especially under fatigue and additional external load. Tasks such as flexed gait, ground landing and casualty drag demonstrated greater mechanical overload, with significant involvement of the hip, knee, and ankle joints. The results confirm the relevance of biomechanical variables for understanding functional performance in a military context.

Keywords: *Biomechanics; Joint Mechanical Load; Urban Operations; Critical Tasks; Military.*

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
1.1. O Atirador em Combate Ambiente Urbano.....	4
1.1.1. Enquadramento geral.....	4
1.1.2. Fardamento e equipamento em Combate em Ambiente Urbano	5
1.1.3. Tarefas críticas do Atirador.....	6
1.2. Lesões musculoesqueléticas	6
1.2.1. Caracterização das Lesões Musculoesqueléticas	7
1.2.2. Lesões Musculoesqueléticas em militares.....	8
1.3. Carga mecânica articular	9
1.3.1. Definição de carga mecânica.....	9
1.3.2. Carga mecânica articular nos militares	10
1.4. Biomecânica	11
1.4.1. Cinética e Cinemática.....	11
1.4.2. Métodos de avaliação – Dinâmica Inversa.....	13
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS	15
2.1. Objetivos e perguntas de Investigação	15
2.2. Tipo de estudo, abordagem e método científico.....	16
2.3. Procedimentos e instrumentos de recolha de dados	16
2.3.1. Procedimentos para a recolha de dados nos testes laboratoriais.....	17
2.3.2. Instrumentos de recolha de dados nos testes laboratoriais	19
2.4. Amostra: Composição e justificação	19
2.5. Procedimentos Formais e Éticos	21
2.6. Métodos de análise de dados	21
2.6.1. Análise dos questionários.....	21

2.6.2. Análise dos dados cinéticos e cinemáticos.....	21
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS.....	23
3.1. Cinética.....	23
3.1.1. Plano Sagital	24
3.1.2. Forças de Reação do Solo.....	31
3.2. Cinemática.....	37
3.2.1. Plano Sagital	38
CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS	46
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 – Cinética da anca no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida	24
Figura n.º 2 - Cinética da anca no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo	25
Figura n.º 3 - Cinética da anca no plano sagital no Arraste do Ferido	26
Figura n.º 4 - Cinética do joelho no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida	27
Figura n.º 5 - Cinética do joelho no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo	27
Figura n.º 6 - Cinética do joelho no plano sagital no Arraste do Ferido	28
Figura n.º 7 - Cinética do tornozelo no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida .	29
Figura n.º 8 - Cinética no tornozelo no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo	29
Figura n.º 9 - Cinética do tornozelo no plano sagital no Arraste do Ferido	30
Figura n.º 10 - Cinética das FRS no eixo do x na Marcha Típica e Marcha Fletida	31
Figura n.º 11 - Cinética das FRS no eixo do x na Transposição e Receção do Obstáculo ..	31
Figura n.º 12 - Cinética das FRS no eixo do x no Arraste do Ferido	32
Figura n.º 13 - Cinética das FRS no eixo do y na Marcha Típica e Marcha Fletida	33
Figura n.º 14 - Cinética das FRS no eixo do y na Transposição e Receção do Obstáculo ..	33
Figura n.º 15 - Cinética das FRS no eixo do y no Arraste do Ferido	34
Figura n.º 16 - Cinética das FRS no eixo do z na Marcha Típica e Marcha Fletida	35
Figura n.º 17 - Cinética das FRS no eixo do z na Transposição e Receção do Obstáculo ..	36
Figura n.º 18 - Cinética das FRS no eixo do z no Arraste do Ferido	37
Figura n.º 19 – Cinemática da anca no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida..	38
Figura n.º 20 – Cinemática da anca no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo	39
Figura n.º 21 – Cinemática da anca no plano sagital no Arraste do Ferido.....	40
Figura n.º 22 - Cinemática do joelho no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida	40
Figura n.º 23 – Cinemática do joelho no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo.....	41
Figura n.º 24 - Cinemática do joelho no plano sagital no Arraste do Ferido	42
Figura n.º 25 – Cinemática do tornozelo no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida	43

Figura n.º 26 - Cinemática do tornozelo no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo.....	44
Figura n.º 27 - Cinemática do tornozelo no plano sagital no Arraste do Ferido	45
Figura n.º 28 – Militar equipado e com sensores (marcas refletoras) no armamento	IX
Figura n.º 29 – Disposição das 8 câmaras em laboratório.....	X
Figura n.º 30 – Cinética da anca no plano frontal.....	XII
Figura n.º 31 – Cinética do joelho no plano frontal.....	XIII
Figura n.º 32 – Cinética do tornozelo no plano frontal.....	XIV
Figura n.º 33 - Cinética da anca no plano transversal	XVI
Figura n.º 34 - Cinética do joelho no plano transversal.....	XVII
Figura n.º 35 - Cinética do tornozelo no plano transversal	XVIII
Figura n.º 36 - Cinemática da anca no plano frontal	XX
Figura n.º 37 – Cinemática do joelho no plano frontal.....	XXI
Figura n.º 38 – Cinemática do tornozelo no plano frontal.....	XXII
Figura n.º 39 - Cinemática da anca no plano transversal.....	XXIV
Figura n.º 40 - Cinemática do joelho no plano transversal.....	XXV
Figura n.º 41 - Cinemática do tornozelo no plano transversal.....	XXVI

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro n.º 1– Relação entre Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas	15
Quadro n.º 2– Peso do Armamento e Equipamento de Combate	VII

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela n.º 1- Caracterização da Amostra	20
---	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – CONSENTIMENTO INFORMADO	I
APÊNDICE B – INQUÉRITO POR QUESTIONÁRIO	V
APÊNDICE C – ARMAMENTO E EQUIPAMENTO	VII
APÊNDICE D – MILITAR EQUIPADO PARA REALIZAR OS TESTES LABORATORIAIS.....	IX
APÊNDICE E – DISPOSIÇÃO DO LABORATÓRIO	X
APÊNDICE F – RESULTADOS CINÉTICA	XI
APÊNDICE G - RESULTADOS CINEMÁTICA	XIX

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

3D – Três dimensões
AM – Academia Militar
APA - *American Psychological Association*
CAU – Combate em Ambiente Urbano
cm – Centímetros
EP – Exército Português
FA – Forças Armadas
FMH – Faculdade Motricidade Humana
FND – Força Nacional Destacada
FRS – Forças de Reação do Solo
Hz – Hertz
IMC – Índice de Massa Corporal
kg – Quilograma
kg/m² – Quilogramas Por Metro Quadrado
LCA – Ligamento Cruzado Anterior
LME – Lesões Músculo-Esqueléticas
ML – Metralhadora Ligeira
NEP – Norma de Execução Permanente
Nm/kg - Newton Metro por Quilograma
OE – Objetivo Específico
OG – Objetivo Geral
PD – Pergunta Derivada
PP – Pergunta de Partida
QTM – *Qualisys Track Manager*
RCA – República Centro Africana
TIA – Trabalho de Investigação Aplicada

INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Investigação Aplicada (TIA), enquadra-se no domínio do treino físico militar, estando integrado na estrutura curricular da Academia Militar (AM), mais especificamente no curso de Ciências Militares, na especialidade de Infantaria. Intitulado “Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa”, este estudo resulta de uma colaboração entre a AM e a Faculdade Motricidade Humana (FMH), visando uma abordagem científica e aprofundada à análise biomecânica das tarefas executadas pelos atiradores em contexto operacional.

As tarefas críticas executadas pelos militares estão associadas a um elevado número de baixas por lesão nas Forças Armadas (FA), derivadas de movimentos incorretos por parte dos militares nas inúmeras instruções. Com a evolução da análise biomecânica, aumentou o interesse pelo seu contributo na eficiência e prevenção de lesões através da análise dos movimentos. Segundo Adams *et al.* (2025), os militares realizam movimentos repetitivos e mantêm posturas específicas durante treinos intensos, que produzem cargas mecânicas articulares significativas, provocando, por vezes, determinadas lesões como entorses ou roturas de ligamentos. Contudo, existe uma lacuna na literatura sobre a avaliação dessas cargas nas várias tarefas realizadas em contexto operacional. Assim, recorreu-se a métodos de análise biomecânica para identificar e mitigar fatores de risco de lesão nos militares, uma vez que esta área contribui todos os dias para a melhoria da saúde, desempenho e qualidade de vida da população.

Esta investigação pretende aprofundar a compreensão das características do movimento e dos momentos de força articulares envolvidos nas ações críticas desempenhadas por atiradores, permitindo uma identificação de fatores biomecânicos relevantes e potenciais melhorias na prevenção de lesões. A análise incidiu sobre quatro tarefas críticas: a transposição de um obstáculo e receção de determinada altura, considerada por Santos (2021) como uma das mais exigentes a nível biomecânico; o arraste de feridos, classificado por Alves (2022) como uma das mais críticas em Combate em Ambiente Urbano (CAU) e marcha fletida, movimento muito comum nos deslocamentos em CAU, sendo todos, movimentos de elevada exigência física e tática utilizados nas diversas missões das unidades de Infantaria. Para tal, foi realizada uma análise detalhada em contexto laboratorial relativa aos aspetos cinemáticos e cinéticos destes movimentos, possibilitando a

quantificação das forças envolvidas e a caracterização dos padrões de movimento associados a cada tarefa.

Paralelamente, os dados obtidos também fornecerão um contributo relevante para o avanço do conhecimento científico na área da biomecânica aplicada às operações militares.

Esta investigação delimitou-se temporalmente durante o último trimestre de 2024 e o primeiro semestre de 2025, período durante o qual se procedeu à recolha de toda informação, à realização dos testes em laboratório previstos e ao tratamento de dados. De acordo com a sua delimitação espacial, considera-se apenas o Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional, da Faculdade de Motricidade Humana, onde foram conduzidos todos os testes necessários para a recolha dos dados pretendidos.

Como já foi referido no CAU, todas as tarefas e movimentos do atirador merecem a maior atenção, desse modo, o Objetivo Geral (OG) para esta investigação é o seguinte: “Investigar os movimentos e momentos de força articulares envolvidos nas tarefas críticas do atirador” e de forma a atingir este OG, formulou-se os seguintes os Objetivos Específicos (OE) para a investigação:

OE1: Descrever a cinética envolvida nas tarefas críticas do atirador, através da avaliação dos momentos de força por dinâmica inversa;

OE2: Descrever a cinemática envolvida nas tarefas críticas do atirador, através da análise do movimento quantitativa a 3 dimensões (3D);

OE3: Comparar os parâmetros cinéticos e cinemáticos entre a marcha típica, a marcha fletida e o arraste do ferido;

Assim, de modo a identificar os movimentos e momentos de força articulares presentes nas várias ações e compreender a sua influência, procurou-se elaborar uma Pergunta de Partida (PP) que explicasse esta temática, sendo ela: “Quais os padrões de movimento e momentos de força articulares característicos das tarefas críticas?”.

Relativamente à estrutura do presente trabalho, este rege-se pelas diretrizes da 7.^a edição das Normas *American Psychological Association* (APA) e da Norma de Execução Permanente (NEP) 522/2.º, de 24 de junho de 2024, da AM. O documento está organizado da seguinte forma: introdução, quatro capítulos, conclusões e referências bibliográficas, além dos apêndices e anexos incluídos na secção pós-textual.

Na introdução apresenta-se o enquadramento de toda a investigação, expondo a relevância científica e operacional do tema, os fundamentos que motivaram a sua escolha e a formulação dos objetivos gerais e específicos, bem como da pergunta de partida. No capítulo 1, contextualiza-se a problemática em estudo através da análise crítica dos principais

conceitos e teorias que sustentam a investigação, oferecendo um enquadramento teórico. No capítulo 2, descreve-se a metodologia utilizada, incluindo o modelo de análise, a amostra, os instrumentos e os procedimentos de recolha de dados. No capítulo 3, apresenta-se os resultados obtidos ao longo da investigação. No capítulo 4, promove-se uma análise crítica dos resultados obtidos, confrontando-os com os dados empíricos da revisão de literatura. Por fim, o estudo é concluído com a apresentação das conclusões deste TIA, onde se sintetiza os principais contributos da investigação, as suas limitações e sugestões para estudos futuros, culminando nas referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

1.1. O Atirador em Combate Ambiente Urbano

Nas operações militares em ambientes urbanos, o atirador desempenha um papel estratégico relevante, exigindo elevada precisão, disciplina e rápida capacidade de decisão, devido à complexidade do terreno e à presença de não combatentes. Contrastando, com as missões em terrenos convencionais, as missões em CAU impõem desafios acrescidos, como múltiplos ângulos de ameaça, campos de visão limitados, obstáculos estruturais e a necessidade de uma mobilidade racionalizada. Nestes cenários, segundo López-Rodríguez e Montoya-Roldan (2024, p. 43), “a infantaria desempenha um papel central, e os combatentes necessitam de uma grande resistência física e psicológica para executar ações táticas rápidas, com comando descentralizado e em ambientes de múltiplos níveis”.

1.1.1. Enquadramento geral

O Combate em Ambiente Urbano é dos cenários mais complexos e mais comuns que as forças militares enfrentam nas suas operações, este tipo de combate possui 3 grandes variáveis: o terreno (criado pelo homem); a população (dimensão e densidade significativas) e uma vasta gama de infraestruturas de apoio (Department of the Army & United States Marine Corps, 2022).

Este cenário, apresenta uma elevada complexidade devido à densidade populacional, proximidade com civis e múltiplas possibilidades de abrigo para as forças envolvidas, exigindo dos soldados maior treino, comando e controlo (Department of the Army & United States Marine Corps, 2022). A intensidade das operações e a necessidade de eficácia tornam cada movimento crítico, exigindo que os militares mantenham uma constante prontidão física e mental, dada a possível duração prolongada das missões (Scofield & Kardouni, 2015). De acordo com Tornero-Aguilera *et al.* (2024), métodos de treino em ambientes simulados de combate urbano melhoram a capacidade de resposta, reduzem o stress e aumentam a eficácia operacional dos soldados.

Um dos vários teatros de operações caracterizados pela utilização deste tipo de combate é na República Centro-Africana (RCA), possuindo um dos cenários mais desafiantes para a condução das operações militares, devido à persistente instabilidade política, à presença de múltiplos grupos rebeldes e à complexidade geoestratégica da região (Alves, 2022). Além disso, as condições climáticas adversas, como a alternância entre os

períodos de seca extrema e chuvas torrenciais ou tempestades de areia representam desafios acrescidos para a resistência física e a capacidade adaptativa dos militares neste tipo de operações. Atualmente, o Exército Português (EP), apronta todos os anos para esta missão uma força portuguesa.

1.1.2. Fardamento e equipamento em Combate em Ambiente Urbano

No CAU, a integração de resistência, proteção, ergonomia e mobilidade nos fardamentos e equipamentos é essencial para garantir a segurança e a eficácia operacional dos soldados em ambientes urbanos exigentes e imprevisíveis.

Estes equipamentos deverão respeitar dois princípios, o da suscetibilidade e o da vulnerabilidade. Segundo Almeida (2023, p. 11), a “suscetibilidade do militar reduz-se através da sua velocidade de deslocamento, que resulta na redução do tempo de exposição à ameaça, enquanto que a vulnerabilidade é reduzida através da utilização do equipamento de proteção”. Deste modo, os materiais que incorporam estes equipamentos são cada vez mais leves e resistentes, como é o caso do kevlar e cerâmicas avançadas, que aumentam a proteção, sem comprometer a mobilidade dos militares.

Segundo um estudo de Santos (2021), poderemos identificar o equipamento típico de uma equipa de Comandos ou Paraquedistas projetada para um teatro de operações. Assim, a nível de armamento todos os militares estão equipados com pistola Glock 17 Gen 5 FS com dois carregadores adicionais, como arma de recurso. Já a sua arma principal varia consoante a função de combate que possui, neste caso: os Atiradores Normais estão equipados com a espingarda de assalto FN SCAR-L, com oito carregadores adicionais; o Atirador Metralhadora Ligeira (ML), com a ML FN Minimi 5.56 Mk, mais oito fitas e o Atirador Especial com a FN SCAR-H com mira ótica Trijicon VCOG, mais oito carregadores. Ao nível do equipamento de proteção individual utilizado, este é contemplado pelo capacete OPS-CORE, o colete balístico THOR, o cinturão Anti Fragmentação THOR e uma mochila *Assault Pack* MIL-TEC. Tendo um somatório total do peso transportado pelos militares, numa operação de CAU, entre os 25 kg e os 35 kg, podendo variar consoante o tipo de função que desempenha. O peso pode ainda aumentar cerca de 10 kg a 20 kg, caso o atirador esteja equipado com uma mochila *Assault Pack*, levando no seu interior munições extra, granadas ofensivas e granadas *flashbang*, material de planeamento, água, macas e kit de primeiros socorros.

1.1.3. Tarefas críticas do Atirador

De acordo com Tipton *et al.* (2013), são definidas tarefas críticas como todas as tarefas que englobam um maior risco e uma maior exigência física em tarefas essenciais de cada profissão, podendo tornar-se num perigo para quem as executa bem, como também para quem as rodeia. Também Alves (2022), refere que são tarefas críticas todas as tarefas desde as mais simples até as mais complexas, que podem ao mínimo deslize tornar-se num perigo para a força e para o seu comandante. Segundo Stein *et al.* (2021), tarefas como sprint de combate durante 30 s, marchas com carga durante 2 h, marcha fletida, arraste de um corpo com cerca de 70 kg, rastejar, assim como controlar a respiração para pontaria são consideradas tarefas críticas para qualquer soldado. Por outro lado, tarefas de comando e liderança de tropas requerem lideranças fortes capazes de coordenar acontecimentos, sendo também consideradas tarefas críticas, pois contribuem para decisões que por vezes põem em risco de vida o próprio soldado, como o próprio pelotão.

As exigências das tarefas militares incluem não apenas as elevadas quantidades de carga no soldado e a grande variedade de impactos provenientes de diversos ambientes, como também a velocidade com que devem executar os movimentos e a frequência com que repetem as ações. Esses elementos combinados aumentam significativamente o potencial risco de lesões, sendo uma das lesões mais comuns, derivada deste tipo de exigências das tarefas militares, as fraturas de stress tibial, frequentemente causadas por atividades de sobrecarga (Tong *et al.*, 2023).

Portanto, é fundamental que os militares recebam treino técnico e seguro, com monitorização contínua para mitigar as lesões. A aptidão física, a recuperação muscular e a manutenção do equipamento são fatores determinantes para o desempenho e a proteção dos militares.

1.2. Lesões musculoesqueléticas

As Lesões Musculoesqueléticas (LME) constituem um dos principais constrangimentos à prontidão das Forças Nacionais Destacadas (FND's), afetando a execução das missões e a segurança de toda a força. Estas lesões resultam da exposição a cargas elevadas, esforços físicos intensos e tarefas críticas exigentes, prevalecendo em treinos rigorosos e operações prolongadas. No contexto das missões, especialmente em cenários de CAU, o risco de LME aumenta devido à combinação de fatores como

deslocamentos rápidos com carga, mudanças súbitas de direção, contacto físico com obstáculos e o stress físico e psicológico acumulado, característico deste tipo de operações.

1.2.1. Caracterização das Lesões Musculoesqueléticas

As LME constituem um conjunto de traumas que afetam os músculos, ossos, articulações, tendões e ligamentos (Gimigliano *et al.*, 2021), comprometendo significativamente a funcionalidade e qualidade de vida dos indivíduos afetados. Estas lesões podem ser classificadas como agudas, resultantes de eventos traumáticos súbitos, ou crónicas, decorrentes de microtraumatismos repetitivos associados a atividades laborais, desportivas ou a estilos de vida inadequados.

As causas das LME são multifatoriais, envolvendo fatores biomecânicos, como a adoção de posturas inadequadas, movimentos repetitivos e o levantamento de cargas pesadas; fatores psicossociais, tais como elevados níveis de stress e pouco rigor nas tarefas individuais e fatores culturais e socioeconómicos, como sedentarismo, o aumento do Índice de Massa Corporal (IMC) elevado e o tabagismo, frequentemente correlacionados com a natureza da atividade profissional dos indivíduos. Para além disso, a falta de integração entre a avaliação de riscos físicos e psicossociais no ambiente de trabalho contribui como um elemento agravante para a persistência dessas lesões (Crawford & Davis, 2020).

Esta tipologia de lesões manifesta-se por uma dor localizada, rigidez articular, edema e limitação de amplitude de movimento. Segundo Ponkilainen *et al.* (2022), na população adulta de países ocidentais, as lesões mais comuns são: fraturas (região do antebraço, dedos, tornozelo e pé), entorses e luxações (ombro, cotovelo, joelho e tornozelo), roturas de tendões e ligamentos (tendão de Aquiles, ligamento cruzado anterior e extensores/flexores da mão), locais frequentemente sujeitos a impactos ou movimentos repetitivos.

Em contextos laborais, estas lesões são responsáveis por elevados índices de absentismo e redução da produtividade, constituindo um desafio para a gestão da saúde ocupacional. No entanto, a epidemiologia da LME varia de acordo com o tipo de tarefas executadas, deste modo, a compreensão dos padrões epidemiológicos das LME associadas às profissões dos indivíduos, é essencial para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e intervenções eficazes, bem como programas de reabilitação adequados às necessidades dos indivíduos (Gimigliano *et al.*, 2021).

1.2.2. Lesões Musculoesqueléticas em militares

Os militares enfrentam altas exigências físicas nos seus treinos e operações, elevando o risco de LME. A origem destas lesões nesta população, encontra-se associada à execução repetida de movimentos complexos, frequentemente com a técnica incorreta durante as instruções ou missões, comprometendo a integridade musculoesquelética. Para além desta, a sua origem também associa-se a atividades físicas intensas e realização de tarefas críticas, salientando-se as corridas e marchas com carga externa adicional (equipamento), transposição de obstáculos e levantamento de cargas (Lovalekar *et al.*, 2021).

As LME mais comuns nesta população, incluem entorses, fraturas de stress, distensões musculares, roturas de ligamentos, tendinopatias e lombalgias (Molloy *et al.*, 2020), afetando diretamente a capacidade de movimentação e o desempenho operacional. Estas lesões podem levar ao afastamento temporário do serviço e em casos graves a limitações permanentes. Em 2017, mais de 50% dos soldados americanos em efetividade de serviço reportaram pelo menos uma lesão não relacionada com ferimentos resultantes do combate, mas sim com LME e também foi verificado que 70% destas lesões estavam relacionadas com a sobrecarga física (Molloy *et al.*, 2020), ameaçando a saúde, bem-estar e prontidão do militar mais do que qualquer outro problema médico.

As regiões mais afetadas por este tipo de lesões, são principalmente os membros inferiores (incluindo joelho, perna, tornozelo e pés), a região lombar e os ombros (Molloy *et al.*, 2020).

Além do impacto físico, estas lesões provocam consequências tanto para a própria instituição, como para os próprios pelotões, secções ou equipas. Ao nível da instituição, estas lesões provocam baixas ou desistências das recrutas e cursos de tropas especiais e também despesas associadas para a própria instituição, como podemos ver no caso das FA holandesas, onde cerca de 25% dos militares das recrutas abandonam devido a LME, representando uma perda de cerca 1.1 milhão de euros por ano na produtividade destas forças (Dijksma *et al.*, 2022). Ao nível dos pelotões, estas lesões afetam a coesão das equipas, o ritmo de treino e preparação da força e a eficácia das operações. A implementação de medidas preventivas, como o treino adequado, o uso correto de equipamento e calçado adequado e a gestão da carga física (Fenn *et al.*, 2021), são essenciais para manter a sustentabilidade operacional das FA.

1.3. Carga mecânica articular

A carga mecânica articular corresponde ao conjunto de forças que atuam sobre as articulações durante movimentos ou em situações estáticas, resultando da interação entre forças externas, como as cargas transportadas, e internas, como contrações musculares. Estas cargas influenciam a integridade das estruturas articulares e podem causar adaptações fisiológicas ou lesões por sobrecarga, quando excedem a capacidade de resistência dos tecidos, incluindo patologias progressivas como a osteoartrite, caracterizada pela “deterioração progressiva da cartilagem articular, seguida de inflamação na cavidade sinovial” (Yunus *et al.*, 2020, p. 1).

No contexto militar, a exposição contínua a cargas mecânicas elevadas, devido ao transporte contínuo de carga externa e tarefas exigentes, associada à fadiga muscular e alterações do padrão de marcha, contribui para o aumento das LME. Para tal, a identificação dos fatores de risco e a implementação de medidas preventivas são essenciais para preservar a saúde músculo-esquelética dos militares, sendo a análise biomecânica um instrumento fundamental na monitorização destes problemas.

1.3.1. Definição de carga mecânica

A carga mecânica refere-se à aplicação de forças ou tensões num corpo ou estrutura, resultando em movimento, deformação ou alteração na forma (Hall, 2021). Ao nível biomecânico, essas cargas podem ser externas ou internas e classificam-se em compressão, tensão, cisalhamento, flexão/dobragem e torção. Tais cargas podem ser aplicadas de forma repetitiva, com baixa magnitude ao longo do tempo, ou de forma aguda, com uma única força de grande magnitude. A resposta do corpo à carga mecânica depende da direção, duração e magnitude da força, além das propriedades materiais dos tecidos envolvidos. Adicionalmente, o stress mecânico, definido como força por unidade de área, representa a carga interna nos tecidos e articulações (Hall, 2021).

Uma das leis associada esta temática da carga mecânica é a Lei de Wolff, descoberta por Julius Wolff em 1892, este indica que “as propriedades micromecanomorfológicas do osso são principalmente, embora não totalmente, uma consequência da resposta óssea à deformação mecânica” (Giorgio *et al.*, 2023, p. 2136), o que significa que o osso possui uma adaptação funcional em resposta às cargas mecânicas a que é submetido. Deste modo, o osso torna-se mais denso e forte nas áreas sujeitas a maior stress e mais fraco e suscetível a fraturas nas áreas sujeitas a menor stress.

A exposição a cargas excessivas ou insuficientes podem levar a respostas negativas, como atrofia, lesões agudas ou crônicas e falha estrutural dos tecidos. Isso pode resultar em danos nos ligamentos, tendões, meniscos, cartilagens e ossos (Logerstedt *et al.*, 2021) e também alterações compensatórias dos músculos (movimentos assimétricos ou inadequados). O equilíbrio entre carga aplicada e capacidade do tecido é essencial para evitar lesões e promover adaptações.

1.3.2. Carga mecânica articular nos militares

No contexto militar, a carga mecânica articular tem sido amplamente estudada devido à sua importância crescente. Compreender as forças que atuam nas articulações dos soldados durante as suas instruções e atividades típicas, como corrida, transposição de obstáculos e transporte de cargas pesadas é crucial. Neste âmbito, os momentos de força surgem como uma variável biomecânica fundamental, pois traduzem o efeito rotacional dessas forças sobre as articulações, permitindo quantificar com maior precisão o impacto mecânico envolvido. Purevsuren *et al.* (2018) afirmam que a carga mecânica articular, as forças e momentos de força das articulações, precisam de ser investigadas como informação fundamental para previsão e análise das LME.

A sobrecarga mecânica é uma das principais causas de lesões em soldados especialmente nas articulações dos joelhos e tornozelos. Diversos estudos abordam estas implicações biomecânicas e fisiológicas. Boffey *et al.* (2018) sugerem que tem ocorrido um aumento contínuo do peso que os soldados são obrigados a carregar ao longo dos anos, tanto em treino como em combate, provocando alterações nos padrões da marcha, o que pode levar a stress e risco de lesão a longo prazo. Também, devido à carga transportada pelos soldados ter aumentado ao longo dos tempos, chegando a alcançar os 50 kg por vezes, os números de LME principalmente nos membros inferiores são cada vez maiores, contribuindo para isso as alterações na mecânica da marcha e postura dos soldados derivadas da acumulação de stress no sistema musculoesquelético dos membros inferiores (Orr *et al.*, 2013). Para além disso, em tarefas críticas como desembarcar de viaturas, transpor um muro ou executar outro tipo de receções ao solo e o transporte de equipamentos pesados, as forças de impacto nas articulações são elevadas, aumentando o risco de lesão nos militares.

A integração da análise biomecânica no contexto do treino e execução de tarefas críticas é uma ferramenta fundamental para compreender as exigências mecânicas dessas tarefas, desenvolver estratégias que minimizem a carga articular e corrigir os movimentos,

promovendo a saúde e a prevenção de lesões nos militares. Dempsey *et al.* (2013), sugerem que a adaptação de calçados e a implementação de programas de fortalecimento muscular podem reduzir significativamente a carga nas articulações, referindo que “intervenções biomecânicas bem projetadas podem mitigar os efeitos adversos da carga mecânica em soldados, melhorando a sua capacidade de desempenho e reduzindo o risco de lesões” (Dempsey *et al.*, 2013, p. 960).

1.4. Biomecânica

A biomecânica segundo Hall (2021), é uma área da ciência que resulta da aplicação dos princípios mecânicos no estudo dos organismos vivos, integra conhecimentos de física, engenharia e fisiologia para compreender as interações entre forças internas e externas no corpo humano. Esta área é fundamental para a otimização do desempenho físico, prevenção de lesões, melhorias na mecânica dos movimentos e economia de esforço, sendo indispensável em áreas como o desporto, reabilitação e contextos militares.

Através da avaliação dos padrões de movimento, ângulos articulares e distribuição de forças de impacto da carga sobre as articulações, torna-se possível desenvolver estratégias para melhorias na execução de tarefas exigentes, de modo a diminuir o risco de lesão. Conforme Richards (2018), a aplicação da biomecânica permite a conceção de equipamentos e metodologias que melhoram a adaptação do corpo às exigências físicas, reduzindo o risco de sobrecarga e promovendo a sustentabilidade do esforço ao longo do tempo.

1.4.1. Cinética e Cinemática

A cinética e a cinemática são duas das áreas estudadas pela biomecânica, que proporcionam uma compreensão aprofundada dos movimentos humanos. A cinética trata das forças que causam o movimento, enquanto a cinemática se concentra na descrição do movimento sem considerar as suas causas (Robertson *et al.*, 2014). Ambas são cruciais para analisar o desempenho atlético e prevenir lesões. De acordo com Robertson *et al.* (2014, p. 54) “a integração de análises cinéticas e cinemáticas oferece uma compreensão mais completa do movimento humano”, sendo essenciais para entender as forças, os ângulos articulares e padrões do movimento que atuam e ocorrem durante as movimentações dos militares.

Na análise cinemática, quando é feita a descrição quantitativa do movimento, ela deve caracterizar os movimentos em termos de posição, velocidade e aceleração dos segmentos

corporais e articulações. Assim, recorre-se à análise dos ângulos articulares, estes ângulos são representados pela amplitude de movimento entre dois segmentos corporais e calculados pela “orientação relativa de um sistema de coordenadas local com outro sistema de coordenadas local e é independente da posição da origem destes sistemas de coordenadas” (Robertson *et al.*, 2014, p. 50) e ainda à velocidade e aceleração angular, que indicam a rapidez de movimento/explosividade nas articulações e a variação da velocidade angular, respetivamente. A compreensão destes dados, permite identificar correções posturais e alterações na técnica de execução das tarefas, de modo a diminuir o risco de lesão.

A cinemática tem sido amplamente utilizada para compreender os padrões de movimento. Mexi *et al.* (2023), recorrem à análise cinemática, para investigar a caminhada com diferentes inclinações e com diferentes condições de carga, de modo a avaliar parâmetros como o comprimento da passada e a própria cadência do movimento, concluindo que “o comprimento da passada diminui e a cadência aumenta durante marchas com carga frontal em comparação com marchas sem carga e com carga nas costas, independentemente da inclinação” (Mexi *et al.*, 2023, p. 609). Majumdar *et al.* (2010), após identificarem que o transporte de carga é uma parte universal no dia-a-dia de cada soldado de infantaria, os autores referem que “mudanças angulares nas articulações dos tornozelos e joelhos, bem como o aumento da inclinação do tronco, devido ao uso da mochila, necessita de um novo design, de modo a reduzir a tensão na cinemática do indivíduo” (Majumdar *et al.*, 2010, p. 790). Para além destes casos, Walsh e Low (2021) verificam que o transporte de cargas externas excessivas nos militares altera a cinemática dos movimentos, provocando aumentos na flexão da anca e do joelho durante a fase de apoio, também aumentos na dorsiflexão do tornozelo e uma maior amplitude de movimento na anca, joelho e tornozelo.

Segundo Alves e Evangelista (2024), “a análise cinemática permite identificar padrões de movimento que podem ser otimizados para melhorar o desempenho e reduzir o risco de lesões” (Alves & Evangelista, 2015, p. 2). Um desses exemplos, é o estudo de Yeap *et al.* (2025), que recorrem à análise cinemática para identificar fatores biomecânicos associados às lesões do Ligamento Cruzado Anterior (LCA) em atletas de alto rendimento.

As forças presentes na análise cinética, podem ser forças internas (forças geradas pelos músculos ou ligamentos) e externas (forças como a gravidade e reação do solo). Na sua análise, uma das variáveis a considerar são os momentos de força articulares, tratando-se do efeito rotacional produzido por forças musculares (e ligamentos nos extremos da amplitude de movimento) que atuam a uma certa distância do eixo de rotação de uma articulação. O seu padrão e magnitude destes momentos indicam muitas características do

movimento musculoesquelético (Chen & Franklin, 2025) e são fundamentais para avaliar o esforço articular e o risco potencial de lesão.

Estudos recentes sublinham a importância da análise cinética na avaliação do desempenho e prevenção de lesões. Um desses estudos, é o de Birrell *et al.* (2007), onde através de uma análise cinética foi possível identificar dados relevantes sobre os mecanismos de marcha dos militares e as forças de impacto que atuam nos pés, relevantes para compreender e prevenir possíveis lesões em situações de marcha com transporte de carga pesada. Outro desses estudos, é o de Majumdar *et al.* (2013), que investigaram as alterações cinéticas na marcha de soldados indianos durante o transporte de cargas militares de baixa magnitude, concluindo que o aumento da carga leva a aumentos significativos nas Forças de Reação do Solo (FRS) verticais e ântero-posteriores e nos picos de impulso, indicando um potencial aumento do risco de lesões no tornozelo e no pé para esta população - “maiores aumentos da força e do impulso ântero-posterior (1.5 a 2.0 vezes) durante o transporte de cargas de menor magnitude aumentaram a possibilidade de risco de lesões no tornozelo e no pé” (Majumdar *et al.*, 2013, pp. 1925-1926). Também, Walsh e Low (2021), comprovam que o transporte de cargas externas excessivas nos militares altera a cinética dos movimentos, evidenciando aumentos nos momentos de extensão da anca e joelho, assim como nos momentos de plantarflexão do tornozelo e das FRS ântero-posteriores e verticais. Por fim, Yao *et al.* (2024), verificam que momentos de força mais elevados sugerem um aumento da carga nas articulações e conseqüentemente um maior risco de lesões, demonstrando a importância da análise desta variável no contexto das LME.

1.4.2. Métodos de avaliação – Dinâmica Inversa

A dinâmica inversa permite calcular com precisão as forças internas nas articulações e “combina o estudo da cinética e da cinemática” (Richards, 2018, p. 124). Este método corresponde a uma técnica computacional, que se baseia em equações de movimento que descrevem a mecânica de um corpo rígido, para calcular as forças e momentos que atuam sobre as articulações e outras estruturas, quando a cinemática do movimento do corpo rígido e quaisquer forças externas são conhecidas (Baltzopoulos, 2021).

A análise por este método requer por princípio, três dados principais: a cinemática tridimensional do corpo, obtida através de sistemas de captura e análise de movimento; as forças externas, como as FRS, medidas através da utilização de plataformas de força (Baltzopoulos, 2021) e os parâmetros antropométricos dos segmentos corporais (massa,

centro de massa e momento de inércia). Por fim, com estes dados realizam-se cálculos através das equações de Newton (2ª Lei e correspondente angular), de modo a determinar a carga mecânica nas articulações.

Estudos recentes realçam a relevância da dinâmica inversa na análise de cargas articulares. Por um lado Kaplan *et al.* (2020), utilizam este método para estudar a carga na articulação do joelho, durante as receções com carga, concluindo que é essencial compreender as forças que afetam essas articulações. Por outro lado, Sawicki *et al.* (2020), analisam o uso de exoesqueletos em soldados recorrendo ao método da dinâmica inversa e conclui que “os exoesqueletos podem redistribuir as cargas articulares, reduzindo o stress nas articulações dos membros inferiores durante a marcha com carga, proporcionando benefícios de longo prazo para a saúde dos soldados” (Sawicki *et al.*, 2020, p. 7), realçando a importância deste método em contexto militar e na produção de equipamentos adaptativos.

Deste modo, a avaliação biomecânica por dinâmica inversa é determinante para a compreensão e prevenção das LME em militares, fornecendo uma base científica sólida para analisar tarefas críticas como a transposição de obstáculos e receção ao solo de dada altura, marcha fletida, utilizada nos deslocamentos entre edifícios e arraste de feridos, essencial nas missões internacionais.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS

2.1. Objetivos e perguntas de Investigação

Os objetivos de investigação são responsáveis por determinar o desenho do estudo e o resultado da pesquisa (Barroga & Matanguihan, 2022), constituem uma parte da estrutura orientadora do estudo e delineiam as metas a alcançar. Enquanto as perguntas de investigação são componentes cruciais para qualquer tipo de pesquisa, seja quantitativa ou qualitativa e devem ser desenvolvidas logo no início do estudo (Barroga & Matanguihan, 2022), direcionando a recolha e o tratamento dos dados.

Nesta investigação, o OG consiste em “Investigar os movimentos e momentos de força articulares envolvidos nas tarefas críticas do atirador” e de forma a estruturar e possibilitar o avanço no conhecimento científico da presente investigação, formulou-se a seguinte PP: “Quais os padrões de movimento e momentos de força articulares característicos das tarefas críticas?”.

Para complementar a pergunta de partida e facilitar o modelo de análise do problema em estudo, recorre-se à utilização de Perguntas Derivadas (PD), que por sua vez, estão sempre numa relação direta com os objetivos específicos, essenciais para uma abordagem mais detalhada e estruturada da temática, como está evidenciada no quadro n.º 1.

Quadro n.º 1– Relação entre Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas

Objetivos Específicos	Perguntas Derivadas
OE1 - Descrever a cinética envolvida nas tarefas críticas do atirador, através da avaliação dos momentos de força por dinâmica inversa;	PD1 – Quais os momentos de força envolvidos nas tarefas críticas do atirador?
OE2 - Descrever a cinemática envolvida nas tarefas críticas do atirador, através da análise do movimento quantitativa a 3D;	PD2 – Quais os ângulos articulares envolvidos nas tarefas críticas do atirador?
OE3 - Comparar os parâmetros cinéticos e cinemáticos entre a marcha típica, a marcha fletida e o arraste do ferido;	PD3 – Quais são as diferenças nos parâmetros cinéticos e cinemáticos entre a marcha típica, a marcha fletida e o arraste do ferido?

2.2. Tipo de estudo, abordagem e método científico

No decorrer da investigação, seguiu-se três tipos de posicionamento: axiológico, ao reger-se pelas normas fornecidas pela instituição (AM); epistemológico, onde “o conhecimento é alcançado através da recolha empírica de factos que servem de base às leis” (Santos & Lima, 2019, p. 17), sendo alcançado através da análise de dados estatísticos e metodológico, onde a sua “preocupação deverá ser no sentido de identificar instrumentos e técnicas para a recolha e tratamentos dos dados” (Santos & Lima, 2019, p. 62), privilegiando a vertente quantitativa.

Já de acordo com os paradigmas de investigação, destacou-se o paradigma quantitativo, recorrendo-se a dados estatísticos, resultantes de inquéritos por questionário autopreenchidos e testes em laboratório, de modo a responder às questões de investigação.

Relativamente à tipologia do estudo científico, este configurou-se exploratório, atendendo que, o seu objetivo primordial é investigar um tema que é pouco explorado na literatura científica, visando a produção de conhecimento na área (Swedberg, 2020) e também descritivo, dado que visou descrever indivíduos, eventos ou condições analisando-as tal como se apresentam na população, sem manipulação de variáveis, centrando-se exclusivamente na descrição da amostra e/ou das variáveis em estudo (Siedlecki, 2020).

O desenho do estudo foi transversal, uma vez que a recolha de dados ocorreu apenas num determinado momento. A estratégia de investigação foi quantitativa, privilegiando-se a recolha e análise de dados de questionários e testes laboratoriais. Por fim, utilizou-se o método dedutivo, permitindo determinar conclusões fundamentadas a partir da análise de dados dos vários testes laboratoriais realizados acerca desta área do treino físico militar

2.3. Procedimentos e instrumentos de recolha de dados

Para a componente teórica desta investigação, toda a informação presente foi obtida, numa fase documental relativa à revisão de literatura, através da consulta de fontes primárias “informações originais, contemporâneas aos factos que estão a ser estudados e diretamente ligados ao objeto do estudo” (Reis, 2022, p. 72), como artigos, TIA, dissertações de mestrado, teses de doutoramento e documentos do EP e de fontes secundárias, informações secundárias que “já foram recolhidas e estão disponíveis para serem utilizadas para outros estudos que tratam a mesma temática” (Reis, 2022, p. 72), como revistas científicas, livros e capítulos de livros, ambas fornecidas pela orientadora e coorientadores e também,

provenientes de bases de dados científicas disponibilizadas online como o RCAAP, EBSCO e repositórios institucionais de vários estabelecimentos de ensino superior.

Para a componente prática, a informação foi obtida através de métodos não documentais, realizando-se inquéritos por questionário autopreenchidos com perguntas fechadas e de filtro (Apêndice B), aos participantes neste estudo, de modo a promover uma caracterização mais pormenorizada da amostra, recolhendo dados como a idade; o peso; a altura; o posto; anos de experiência; nº missões realizadas entre outros dados dos participantes. Para além dos inquéritos foram também realizados testes laboratoriais para as várias tarefas executadas pelos participantes.

2.3.1. Procedimentos para a recolha de dados nos testes laboratoriais

A recolha de dados neste estudo, realizou-se em várias fases. Numa primeira fase, preparou-se o laboratório e o espaço para a realização dos testes, colocando, orientando e ajustando as câmaras de acordo com o espaço e as tarefas a realizar, ligando todos os meios tecnológicos para iniciar a recolha de dados, realizando a calibração do volume de recolha e a verificação e zero das plataformas de força.

Numa segunda fase, os participantes foram sensibilizados e informados de tudo o que iria suceder ao longo das várias fases das recolhas de dados e dos testes, assinando um consentimento informado.

Numa terceira fase, os participantes responderam a um inquérito por questionário, de modo a obter algumas informações que caracterizassem melhor a amostra.

Numa quarta fase, os participantes deslocaram-se para o local destinado à realização dos testes laboratoriais e após receberem todas as indicações por parte da equipa de investigação foram preparados, equiparam o seu equipamento de proteção individual, típico da sua tropa especial e colocaram-se os sensores necessários (marcas refletoras) para a aquisição de dados no seu equipamento (Figura n.º 1) (Apêndice D).

Numa quinta fase, pediu-se aos participantes que realizassem um aquecimento ligeiro e familiarizassem com as tarefas propostas, durante cerca de 10 minutos.

Numa sexta fase, pediu-se aos participantes que realizassem uma recolha estática, que consistia em primeiramente manterem-se estáticos na posição anatómica. Posteriormente, foram pedidas aos participantes as várias tarefas a serem analisadas, executando-as, pela seguinte ordem: inicialmente a transposição de um obstáculo e receção ao solo, posteriormente, o arraste do ferido (cerca de 10 m), por fim, a marcha fletida e

também a marcha típica (cerca de 5 m ida e volta). Para a transposição do obstáculo e receção ao solo, foi solicitado aos participantes que se deslocassem em direção ao obstáculo e colocando uma mão e um pé, transpunham o obstáculo, como se estivessem numa situação de combate. Depois efetuavam a receção com um pé e posteriormente o outro e voltavam à posição inicial. O obstáculo foi simulado por um plinto de ginástica com uma altura de 90 cm, conforme a altura utilizada nos exercícios de treino desta unidade. Para estas duas tarefas os critérios para os ensaios serem válidos, foram recolher cinco transposições e cinco receções com contacto na plataforma para cada membro inferior, sendo que foram excluídos todos os ensaios que tiveram dois pés na mesma plataforma, ou parte do pé fora da plataforma; que não colocaram o pé no obstáculo; que colocaram alguma parte do corpo para além dos pés na plataforma. Para o arraste do ferido, foi solicitado aos participantes que se deslocassem em direção ao manequim, que pesava 75 kg, colocassem uma mão na alça do manequim e com a outra segurassem a arma, posteriormente viravam-se para o percurso a realizar, arrastavam o manequim cerca de 10 m na diagonal do laboratório. Chegando ao fim, davam meia-volta, colocavam-se na posição inicial e realizavam novamente a mesma tarefa. De referir, que para esta tarefa os participantes não possuíam a sua mochila. O critério para os ensaios serem válidos, foi recolher cinco passos com contacto na plataforma para cada membro inferior, sendo que foram excluídos todos os ensaios que tiveram dois pés na mesma plataforma, ou parte do pé fora da plataforma. Para a marcha fletida, foi solicitado aos participantes que adotassem a posição de marcha fletida, caminhassem agachados com arma em baixo perfil, de acordo com o seu treino habitual em áreas urbanizadas, ao longo da diagonal do laboratório. Chegando ao fim, levantavam-se, davam meia-volta e repetiam no sentido inverso. Para esta tarefa o critério para os ensaios serem válidos, foi recolher cinco passos com contacto na plataforma para cada membro inferior, sendo que foram excluídos todos os ensaios que tiveram dois pés na mesma plataforma, ou parte do pé fora da plataforma. Por fim, para a marcha típica, foi solicitado aos participantes que adotassem a posição de patrulha, caminhassem ao longo da diagonal do laboratório várias vezes, simulando uma patrulha apeada. Para esta tarefa o critério para os ensaios serem válidos, foi recolher cinco passos com contacto na plataforma para cada membro inferior, sendo que foram excluídos todos os ensaios que tiveram dois pés na mesma plataforma, ou parte do pé fora da plataforma.

Numa sétima fase, após recolhidas 5 repetições com sucesso de cada tarefa, os sensores foram retirados do equipamento participante e terminou a sua participação na investigação.

2.3.2. Instrumentos de recolha de dados nos testes laboratoriais

Para a recolha de dados a metodologia empregue compreendeu a utilização de tecnologias avançadas de captura de movimento, juntamente com equipamentos especializados para a mensuração das forças presentes neste tipo de tarefas e um estadiómetro.

Os padrões de movimento dos participantes durante estas tarefas foram recolhidos com recurso a um sistema de análise de movimento a 3D sem marcadores. Neste sistema, o movimento foi recolhido através de um sistema de 8 câmaras de vídeo *Miqus (Qualisys AB)*, na frequência de 85 Hz, não requerendo qualquer preparação do participante (Figura n.º 2) (Apêndice E).

Para recolher as FRS a 3D, o sistema de análise de movimento esteve sincronizado espacialmente e temporalmente com um conjunto de 3 plataformas de força fixas no chão (9283U014, *Kistler Instruments Ltd*, Winterthur, Suíça; FP4060-07 & FP4060-05-PT, BERTEC, Columbus, OH, EUA), com uma frequência de amostragem de 1700 Hz.

A altura dos participantes foi medida com recurso a um estadiómetro, enquanto o peso foi determinado através dos dados obtidos nas plataformas de força.

O software utilizado para toda a recolha de dados foi o *Qualisys Track Manager (Qualisys AB, Gotemburgo, Suécia)*, na versão 2024.3.

2.4. Amostra: Composição e justificação

No contexto da estatística descritiva, uma população corresponde ao “universo de casos que o investigador procura estudar” (Wooditch *et al.*, 2021, p. 105), sendo fixa num momento específico e com características comuns, mas podendo a longo prazo sofrer algumas alterações. Contudo, uma amostra corresponde a um “conjunto de observações ou casos reais extraídos de uma população” (Wooditch *et al.*, 2021, p. 105), representando um subconjunto de uma mesma população.

Desta forma, na presente investigação a população-alvo foram os militares do EP, mais concretamente aqueles que desempenham funções em CAU, no entanto para a realização dos testes laboratoriais escolheu-se para amostra por conveniência, uma equipa com quatro elementos paraquedistas, pertencentes ao Regimento de Infantaria N.º10, considerando que, são militares que já realizaram o curso de combate em áreas edificadas, estiveram presentes nas últimas FND's que tiveram na RCA e possuem um elevado nível de

treino operacional neste tipo de tarefas. Esta equipa encontrava-se na fase de aprontamento para 17ª FND na RCA.

A totalidade dos dados foi tratada e apresentada de forma anónima. Para tal, o nome de cada participante foi substituído por um código alfanumérico, apenas conhecido por si próprio e pela equipa de investigação, que não permitiu a sua identificação direta ou indireta.

Assim, a amostra no que respeita a sua caracterização sociodemográfica, apresenta uma média de idades de 26.75(±2.99) anos, com uma média de pesos de 87.37(±6.33) kg e com uma média de alturas de 180.88(±9.01) cm. Relativamente ao IMC, a média foi de 26.72(±1.20) kg/m².

Para a realização dos testes laboratoriais, os participantes utilizaram o seu equipamento e armamento de combate individual, conforme detalhado no Apêndice C. Deste modo, com o equipamento, verificou-se um aumento dos valores médios de peso média para 107.87(±5.73) kg e de altura para 182.75(±9.13) cm, resultando numa carga externa média suportada pelos militares de 23.60(±2.62)% do peso corporal total.

A Tabela n.º 1 apresenta de forma complementar os dados individuais referentes aos quatro militares da amostra.

Esta amostra é apenas uma equipa de uma tropa especial, e como tal não representa a população (todos os militares que desempenham funções em CAU). No entanto, foi selecionada pelas suas características específicas anteriormente apresentadas, pertinentes para o objetivo do estudo, e tratando-se de uma tropa especial, o seu acesso é mais restrito. Ainda assim, e atendendo ao alto nível de treino específico, considerou-se uma amostra adequada para este estudo de carácter exploratório e descritivo.

De referir que, após a instituição militar receber o convite, por parte da equipa de investigação, para fornecer os participantes para a realização deste estudo, foram excluídos todos os militares que se encontravam a recuperar de uma lesão, ou estavam fisicamente incapacitados por algum motivo de realizar os testes laboratoriais, ficando com esta responsabilidade de seleção os seus superiores.

Tabela n.º 1- Caracterização da Amostra

	Função na Equipa	Idade (anos)	Peso s/equi. (kg)	Altura s/equi. (cm)	IMC (kg/m ²)	Peso c/equi. (kg)	Altura c/equi. (cm)	Carga Externa (%)
TCA05	At Especial	23	84.20	172.00	28.46	104.46	174.00	24.06
TCA06	Apontador	26	93.40	190.50	25.74	112.67	192.50	20.63
TCA07	Cmdt Equipa	30	91.84	186.50	26.41	112.79	188.50	22.81
TCA08	Cmdt Pelotão	28	80.04	174.50	26.29	101.57	176.00	26.90

2.5. Procedimentos Formais e Éticos

No decorrer desta investigação, foram rigorosamente observados os princípios éticos e procedimentos formais aplicáveis a estudos com participantes humanos, incluindo a explicação detalhada das fases da recolha de dados, o esclarecimento da participação de forma voluntária e o direito de retirada sem consequências para os próprios, nem afetando a relação dos próprios com as várias instituições.

Posteriormente, foi lido e assinado um “Consentimento, Informado, Livre e Esclarecido para investigação científica com seres humanos”, conforme descrito no Apêndice A, onde todos os participantes foram elucidados acerca de como participariam no estudo, os motivos da sua participação, a sua duração, os testes que realizariam, eventuais riscos associados e também foi descrita a forma como os seus dados seriam protegidos durante a recolha dos dados e os seus direitos respeitados.

Além disso, foram implementadas medidas para assegurar a confidencialidade e proteção dos dados pessoais em conformidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados da União Europeia. Assim, a investigação respeitou integralmente as diretrizes éticas e legais aplicáveis à investigação científica relativas ao anonimato, privacidade e proteção dos dados, assegurando a participação voluntária, esclarecida e consentida dos envolvidos.

2.6. Métodos de análise de dados

2.6.1. Análise dos questionários

A análise dos dados obtidos através dos inquéritos por questionário foi realizada utilizando o software *Microsoft Excel*. Recorreu-se neste software à organização e análise de dados sociodemográficos, bem como o cálculo do IMC e percentagem de Carga Externa, de modo a obter uma interpretação clara e organizada dos resultados obtidos

2.6.2. Análise dos dados cinéticos e cinemáticos

Após a obtenção dos dados relativos aos testes realizados, através do software *Qualisys Track Manager (Qualisys AB, Gothenburg, Suécia)*, na versão 2024.3, o restante processamento foi realizado de forma automatizada e standardizada recorrendo ao *Functional assessment Visual 3D 2.5.4*. Mais concretamente, os vídeos foram processados no software *Theia 3D (V. 2024.1.19, Theia Markerless Inc., Kingston, ON, Canadá)*, de onde

foram exportados para C3D, para serem processado no software *Visual 3D* (V. 2025.03.01, *C-Motion Inc.*, Germantown, MD, EUA). Os dados de vídeo foram processados utilizando a estimativa de pose 3D padrão da Cinemática Inversa (com 3 graus de liberdade nas articulações da anca, joelho e tornozelo), filtrada com um GVCSP (Woltring generalized cross-validity quintic-spline) a uma frequência de corte de 8 Hz. Foi aplicado um filtro passa baixo *Butterworth* de quarta ordem (8 Hz) aos sinais analógicos. Os ângulos articulares dos membros inferiores foram calculados utilizando uma sequência XYZ *Cardan*, enquanto os momentos articulares internos foram calculados utilizando a dinâmica inversa de Newton-Euler, normalizados para a massa corporal dos participantes e expressos em relação ao segmento proximal. Já às FRS, aplicamos o filtro de 10 Hz.

Os filtros e os cálculos de variáveis foram realizados no *Visual 3D* (V. 2025.03.01, *C-Motion Inc.*, Germantown, MD, EUA).

Após o processamento dos dados, estes foram colocados no software *Sift* (V. 2025.04.22, *HAS-Motion Inc.*, Canadá), de onde foram retirados os gráficos dos ângulos e momentos articulares dos participantes para posterior análise.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e descritos os resultados obtidos a partir dos testes laboratoriais realizados no âmbito das quatro tarefas críticas e a marcha típica executadas pelos quatro elementos da amostra. A análise incidiu sobre as variáveis da cinética e da cinemática nas articulações da anca, joelho e tornozelo, considerando os três planos de movimento (sagital – eixo x; frontal – eixo y; transversal – eixo z), dando primazia ao plano sagital; os outros planos estão presentes nos Apêndices F e G. Para além destas variáveis articulares, são igualmente analisadas as FRS nos três eixos de movimento (x,y,z).

Importa referir que, devido ao tamanho reduzido da amostra, realizou-se a análise dos gráficos para cada indivíduo. Assim, em cada figura, são apresentados quatro gráficos, cada um com dados do movimento de cada indivíduo, no canto superior esquerdo o indivíduo TCA05, no canto superior direito o indivíduo TCA06, no canto inferior esquerdo o indivíduo TCA07 e no canto inferior direito o indivíduo TCA08. As linhas a azul descrevem os dados referentes ao membro inferior direito e as linhas a vermelho os dados referentes ao membro inferior esquerdo.

3.1. Cinética

Nos próximos pontos, são apresentados os gráficos detalhando os momentos de força gerados nas articulações da anca, joelho e tornozelo durante a execução de cada tarefa crítica no plano sagital, bem como as FRS. Em cada gráfico, eixo horizontal (x), a informação presente é a Percentagem da fase de apoio (%), que representa o progresso do movimento desde o seu início até ao seu término. No eixo vertical (y), a informação presente é o Momento de Força (Nm/kg), que quantifica a carga rotacional na articulação.

3.1.1. Plano Sagital

3.1.1.1. Anca

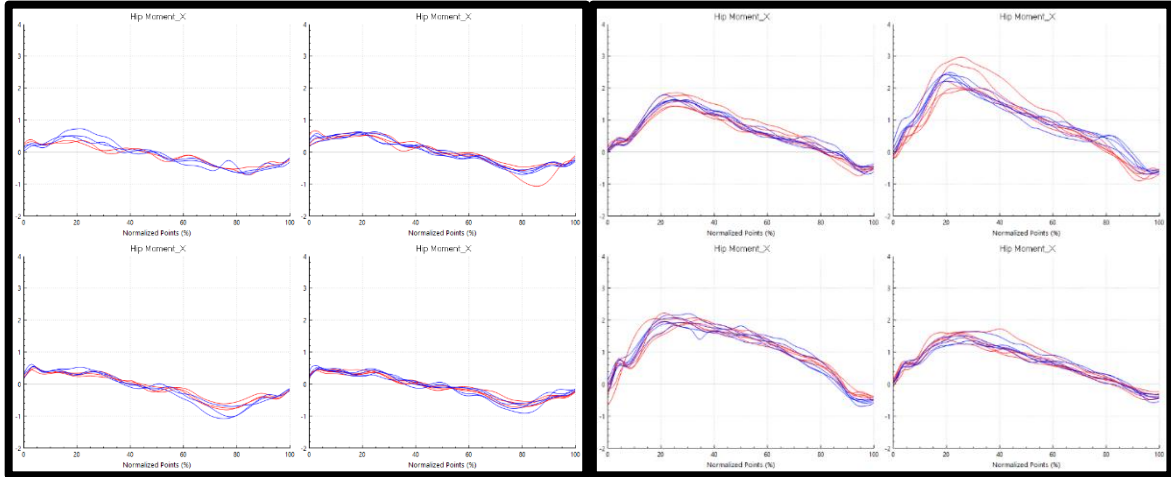


Figura n.º 1 – Cinética da anca no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Nos gráficos da marcha típica (Figura n.º 1 - esquerda), observa-se um momento extensor no início do apoio (0-15% do apoio), com um pico que pode atingir entre 0.5 e 1.0 Nm/kg. Seguido por um momento flexor que se desenvolve no apoio médio e final (cerca de 20-80% do apoio), atingindo um pico de aproximadamente -0.5 a -1.0 Nm/kg. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

Os gráficos da marcha fletida (Figura n.º 1 - direita) demonstram um padrão cinético diferente da marcha típica. Observa-se um momento extensor que começa no contacto inicial (0% do apoio) e mantém-se ao longo de grande parte do apoio, atingindo picos entre 2.0 e 3.0 Nm/kg na fase de apoio médio (cerca de 20-50% do apoio). Estes picos de momento são mais elevados em comparação com os da marcha típica. Entre os quatro militares, o TCA06 e TCA07 exibem magnitudes de momentos extensores superiores, por vezes excedendo 2.5 Nm/kg. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

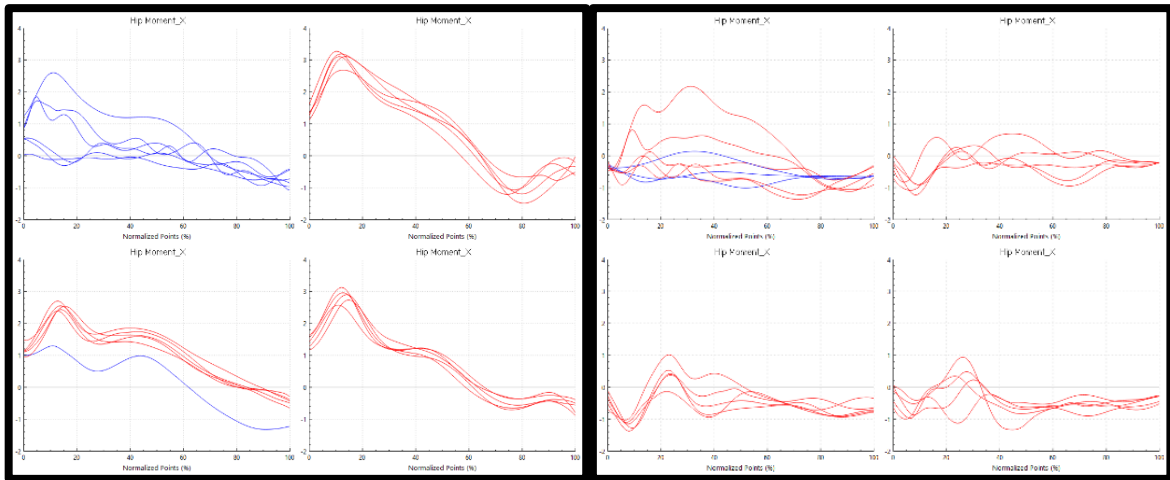


Figura n.º 2 - Cinética da anca no plano sagital na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 2 - esquerda), observa-se um momento extensor de grande magnitude no apoio inicial (cerca de 0-15% do apoio), atingindo picos entre 2.5 e 3.0 Nm/kg. Este é seguido por um momento flexor no final do apoio. Embora o padrão geral de movimento seja consistente entre os militares, os militares TCA06 e TCA08 destacam-se por apresentarem os maiores picos de momento extensor, por vezes excedendo 3.0 Nm/kg. A variabilidade entre os pés, quando ambos os pés são observáveis ou comparáveis, evidencia-se nestes indivíduos, refletindo a natureza assimétrica da tarefa, verificando-se que o TCA05 recorre apenas ao pé direito, enquanto o TCA06, TCA07 e TCA08 utilizam na maioria o pé esquerdo, para executar a tarefa.

Nos gráficos da recepção do obstáculo (Figura n.º 2 - direita), observa-se um momento flexor na fase de contacto inicial (0-15% do apoio), que atinge valores de -1.5 a -1.0 Nm/kg. Este momento é seguido por um momento extensor no apoio médio. Entre os quatro militares, o TCA07 e TCA08 demonstram os maiores valores de momentos extensor, com picos próximos de 1.0 Nm/kg, no entanto o TCA05 apresenta uma recepção com um pico próximo dos 2.5 Nm/kg. A variabilidade entre os pés, evidencia-se nestes indivíduos, refletindo a natureza assimétrica da tarefa, verificando-se que o TCA05 receciona com ambos os pés. Já para o TCA06, TCA07 e TCA08, as curvas mostram a recepção apenas com o pé esquerdo. Para além da consistência entre repetições em todos os indivíduos ser menor.

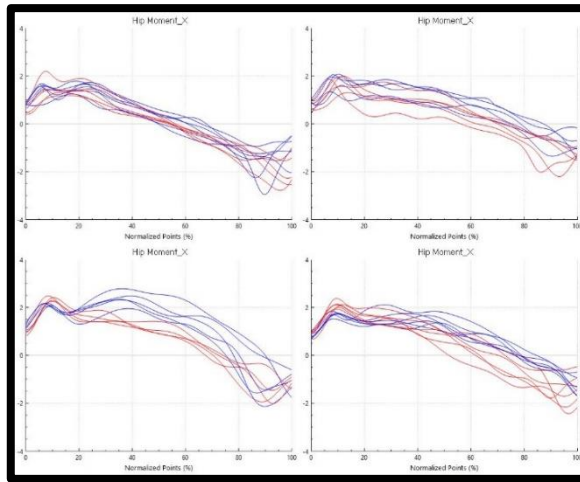


Figura n.º 3 - Cinética da anca no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 3) demonstram um padrão cinético semelhante da marcha típica, mas com picos superiores. No arraste do ferido, observa-se predominantemente um momento extensor que começa no contacto inicial (0% do apoio) e se mantém sustentado ao longo de grande parte do apoio, atingindo picos entre 2.0 e 3.5 Nm/kg na fase de apoio médio e final (cerca de 20-60% do apoio). Estes valores são geralmente superiores aos da marcha típica, onde o momento extensor atinge picos de 0.5 Nm/kg. Entre os quatro militares no arraste do ferido, o TCA07 destaca-se por apresentar os maiores valores de momento extensor, com picos que se aproximam dos 3.5 Nm/kg, seguido do TCA06. A variabilidade entre os membros, evidencia-se nesta tarefa, existindo uma maior assimetria entre membros no TCA06, TCA07 e TCA08, exceto o TCA05.

3.1.1.2. Joelho

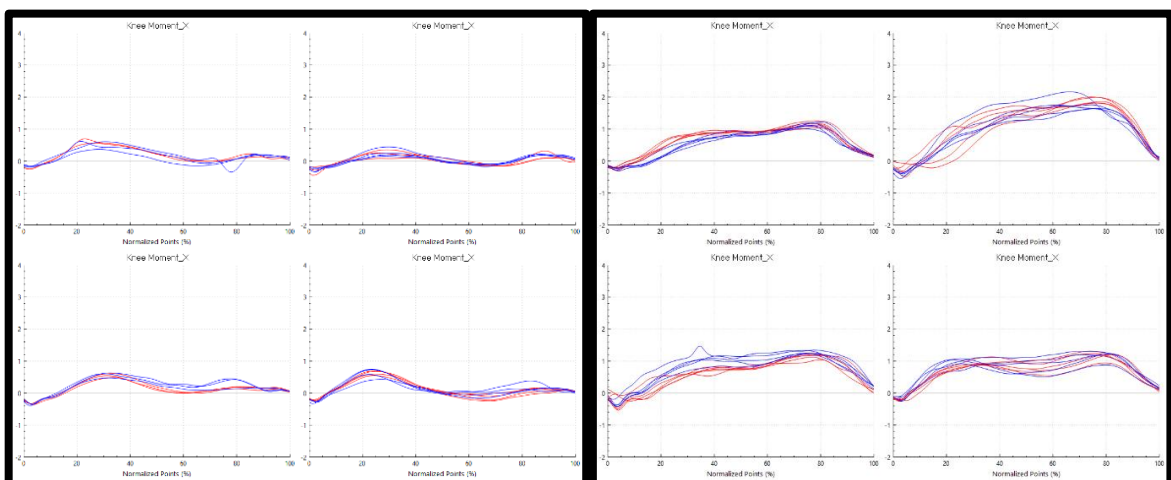


Figura n.º 4 - Cinética do joelho no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Nos gráficos da marcha típica (Figura n.º 4 - esquerda), observa-se um momento flexor inicial, seguido por um momento extensor prevalente em todo o apoio, com um pico que pode atingir aproximadamente 0.5 Nm/kg. Este é seguido por momento flexor na fase de apoio médio (cerca de 40-60% do apoio), com valores de - 0.5 Nm/kg, apenas nos militares TCA06 e TCA08. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

Os gráficos da marcha fletida (Figura n.º 4 - direita) apresentam um padrão cinético semelhante e mais acentuado da marcha típica. No contacto inicial (0% do apoio), observa-se um curto momento flexor, seguido de um momento extensor que se mantém elevado e prolongado durante a fase de apoio (até cerca de 60-80% do apoio), com um pico que pode atingir aproximadamente 2.0 Nm/kg. Na marcha fletida, ocorre uma menor transição entre o momento flexor e extensor em comparação com a marcha típica. Entre os quatro militares, o TCA06 exhibe os maiores picos de momento extensor, com valores que se aproximam dos 2.0 Nm/kg. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

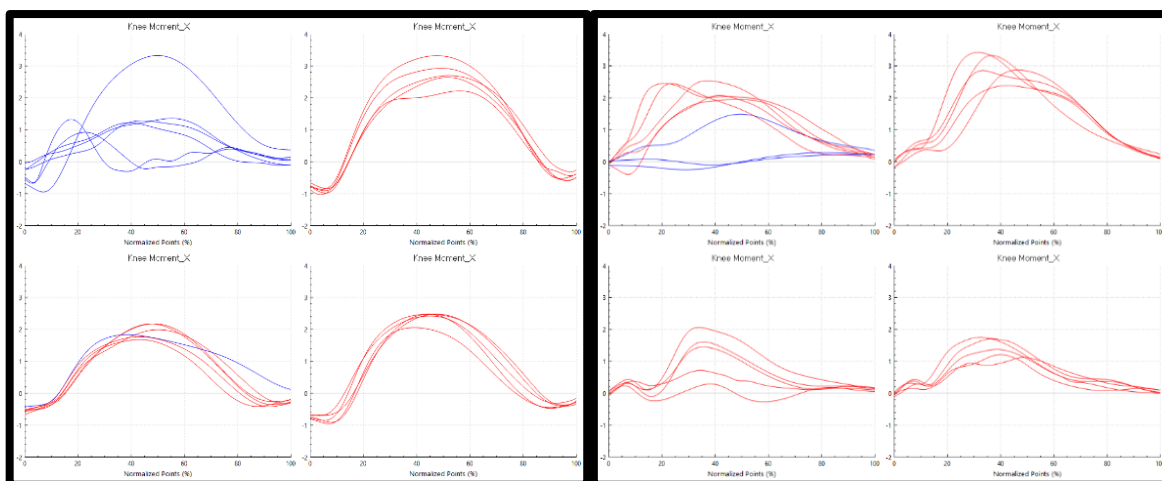


Figura n.º 5 - Cinética do joelho no plano sagital na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 5 - esquerda), inicia-se com um curto momento flexor e segue-se com um momento extensor de grande magnitude na fase inicial do apoio (cerca de 10-80% do apoio), que atinge picos entre 2.0 e 3.5 Nm/kg. Termina com um momento flexor de -0.5 Nm/kg. Entre os quatro militares, observa-se uma variabilidade nas magnitudes dos picos, o TCA06 e TCA08 exibem os maiores valores de

momento extensor, atingindo picos próximos ou acima de 3.0 Nm/kg. A variabilidade entre os pés, evidencia-se nestes indivíduos, verificando-se que o TCA05 utiliza apenas o pé direito para a execução, enquanto TCA06, TCA07 e TCA08 utilizam maioritariamente o pé esquerdo.

Nos gráficos da receção do obstáculo (Figura n.º 5 - direita), observa-se numa fase inicial um momento extensor, que atinge o pico pelos 30-35% do apoio e com valores aproximados entre 2.0 e 3.0 Nm/kg. Entre os quatro militares, o TCA06 e TCA07 demonstram os maiores valores de momento extensor, por vezes excedendo 3.0 Nm/kg. A variabilidade entre os pés, evidencia-se nestes indivíduos, verificando-se que o TCA05 utiliza ambos os membros inferiores de forma distinta para a execução, enquanto o TCA06, TCA07 e TCA08 utilizam maioritariamente o pé esquerdo.

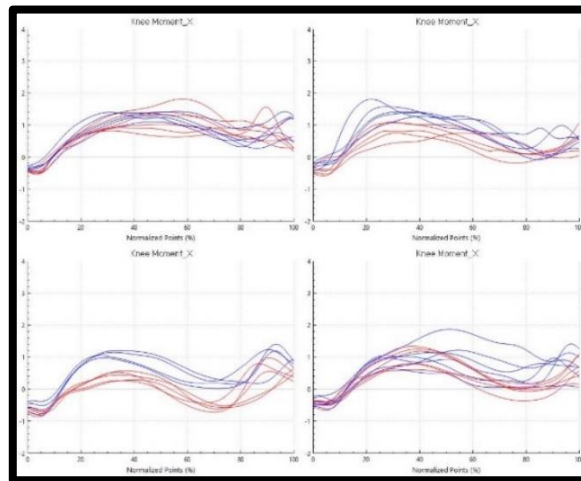


Figura n.º 6 - Cinética do joelho no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 6) demonstram um padrão cinético diferente do da marcha típica. No arraste do ferido, observa-se um momento flexor que começa no contacto inicial (0% do apoio), seguido rapidamente por um momento extensor, que prolonga-se durante a fase de apoio (até cerca de 60% do apoio), atingindo picos entre 1.5 e 2.0 Nm/kg, maiores que os atingidos na marcha típica. Entre os quatro militares no arraste do ferido, TCA06 destaca-se por apresentar os maiores valores de momento extensor, com picos que se aproximam dos 2.0 Nm/kg, enquanto os restantes militares apresentam picos ligeiramente menores (entre 1.0 e 1.5 Nm/kg). A consistência entre repetições, no TCA05 é maior do que no TCA06, TCA07, TCA08.

3.1.1.3. Tornozelo

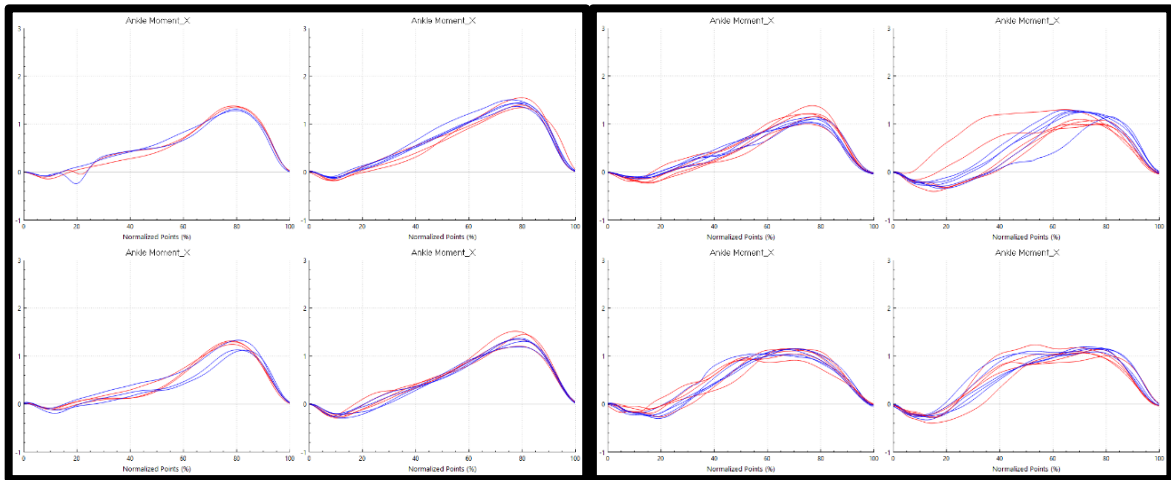


Figura n.º 7 - Cinética do tornozelo no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Nos gráficos da marcha típica e marcha fletida (Figura n.º 7), observa-se um contacto inicial (0% do apoio) com um ligeiro momento de dorsiflexão. Este momento é seguido por um de plantarflexão de grande magnitude que se desenvolve durante o apoio médio e final (cerca de 20-85% do apoio), atingindo picos de aproximadamente 1.5 Nm/kg. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos, existindo uma maior variabilidade na marcha fletida, principalmente no TCA08. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

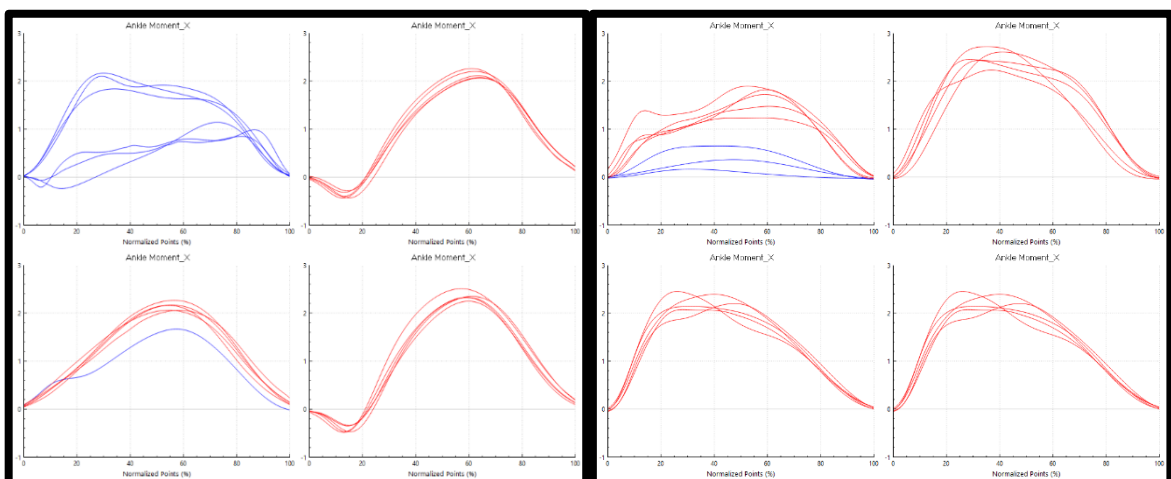


Figura n.º 8 - Cinética no tornozelo no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 8 - esquerda), observa-se um momento de dorsiflexão na fase inicial de apoio (0-15% do apoio), que pode atingir valores de aproximadamente -0.5 Nm/kg (excepto no TCA07 e algumas repetições do TCA05). Este é seguido por um momento de plantarflexão elevado a meio da fase de apoio (cerca de 20-50% do apoio), atingindo picos entre 2.0 e 2.5 Nm/kg. Entre os quatro militares, observa-se uma variabilidade nas magnitudes dos picos, principalmente entre as curvas do TCA05 e os restantes militares. A variabilidade entre os pés, evidencia-se nestes indivíduos, verificando-se que o TCA05 utiliza apenas o pé direito para a execução, enquanto o TCA06, TCA07 e TCA08 utilizam maioritariamente o pé esquerdo.

Nos gráficos da receção do obstáculo (Figura n.º 8 - direita), observa-se apenas um momento de plantarflexão, elevando-se até 30% do apoio, alcançando o pico entre 2.5 e 3.0 Nm/kg e diminuindo a partir daí. Entre os quatro militares, o TCA05 apresenta os menores valores de plantarflexão em relação aos restantes três indivíduos. A variabilidade entre os pés, evidencia-se nestes indivíduos, verificando-se que o TCA05 receciona com ambos os pés, enquanto o TCA06, TCA07 e TCA08 rececionam apenas com o pé esquerdo.

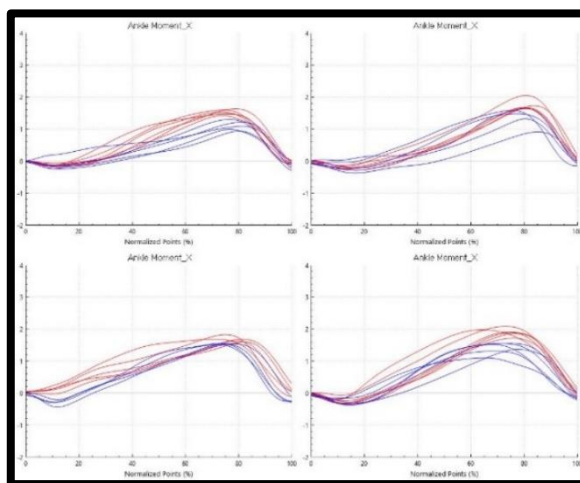


Figura n.º 9 - Cinética do tornozelo no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 9) demonstram um padrão cinético semelhante e mais acentuado da marcha típica. No arraste do ferido, observa-se um ligeiro momento de dorsiflexão, seguido de um momento de plantarflexão predominante (cerca de 40-85% do apoio), atingindo picos entre 1.5 e 2.0 Nm/kg. Este momento é superior aos valores observados na marcha típica. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos. Em cada militar, existem assimetrias entre os dois membros inferiores.

3.1.2. Forças de Reação do Solo

3.1.2.1 Eixo do X

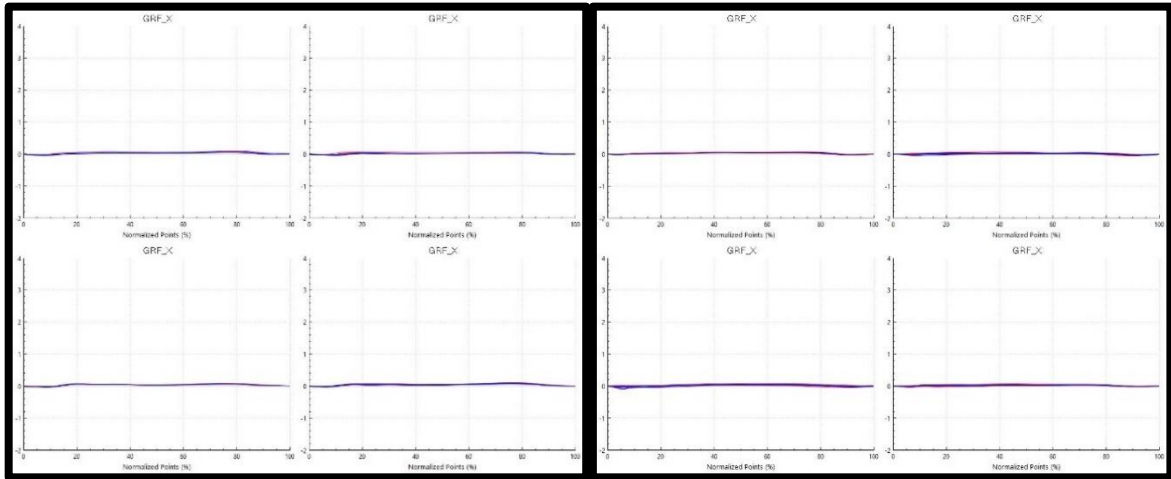


Figura n.º 10 - Cinética das FRS no eixo do x na Marcha Típica e Marcha Fletida

Os gráficos das FRS durante a marcha típica e marcha fletida (Figura n.º 10) evidenciam um padrão de estabilidade na componente horizontal ao longo de todo o apoio. As curvas mantêm-se próximas de 0 do peso corporal, demonstrando ausência de forças médio-laterais expressivas. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

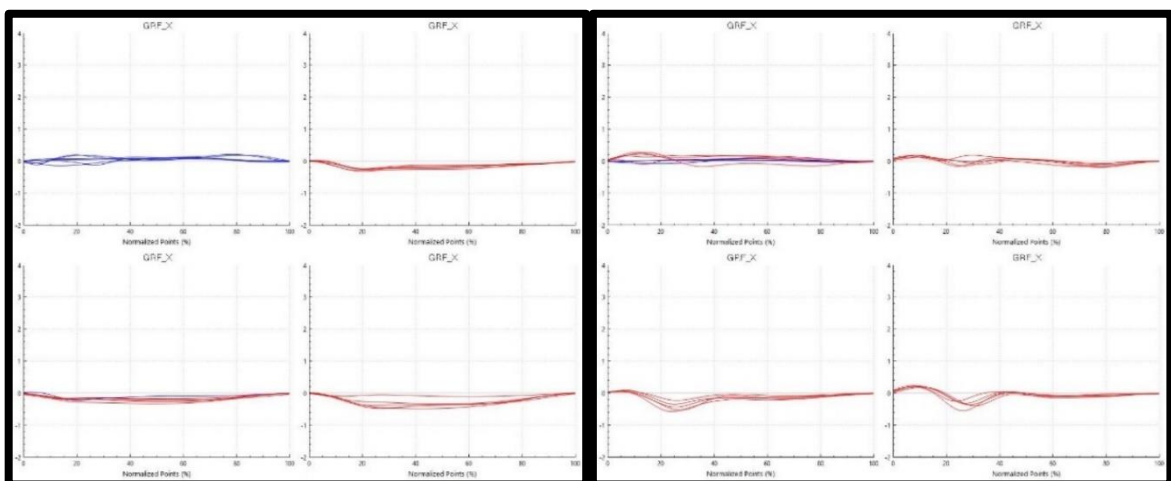


Figura n.º 11 - Cinética das FRS no eixo do x na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos das FRS durante a transposição do obstáculo (Figura n.º 11 - esquerda), observa-se no apoio inicial (0-15% do apoio), no pé esquerdo dos indivíduos TCA06, TCA07, TCA08 um pico de força lateral, de cerca de -0.5 do peso corporal. Por outro lado, o pé direito apenas do TCA05, quando em apoio, mantém forças médio-laterais próximas de 0 do peso corporal, com oscilações mínimas.

Nos gráficos das FRS durante a receção do obstáculo (Figura n.º 11 - direita), observa-se no contacto inicial (0-15% do apoio), no pé esquerdo dos indivíduos TCA07 e TCA08, um pico de força lateral, próximo dos -0.5 do peso corporal. Já os indivíduos TCA05 e TCA06, mantêm forças médio-laterais próximas de 0 do peso corporal, com oscilações mínimas. O TCA05 receciona com os dois membros inferiores, os restantes apenas com o esquerdo.

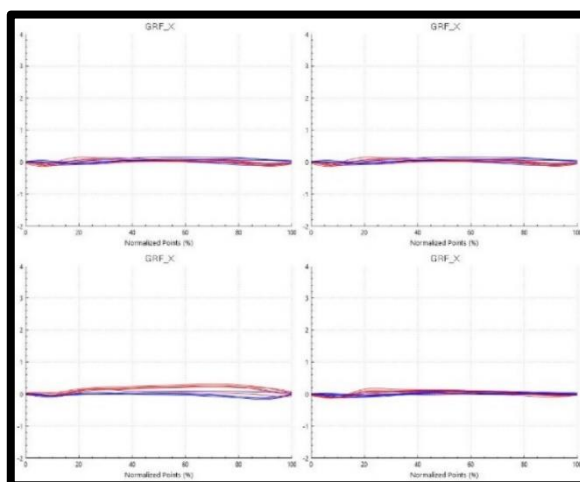


Figura n.º 12 - Cinética das FRS no eixo do x no Arraste do Ferido

Os gráficos das FRS durante o arraste do ferido (Figura n.º 12) evidenciam um padrão de estabilidade na componente horizontal ao longo de todo o apoio, apresentando oscilações mínimas. As curvas mantêm-se próximas de 0 do peso corporal, demonstrando ausência de forças médio-laterais expressivas. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas magnitudes dos picos. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores, com a exceção do TCA07 que apresenta diferenças ligeiras.

3.1.2.2. Eixo do Y

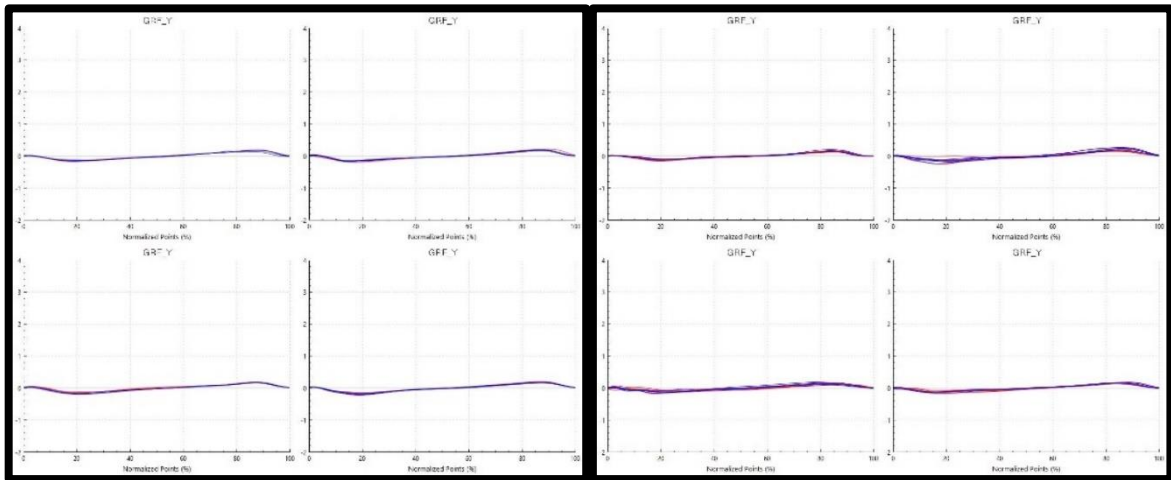


Figura n.º 13 - Cinética das FRS no eixo do y na Marcha Típica e Marcha Fletida

Os gráficos das FRS para a marcha típica e marcha fletida (Figura n.º 13) exibem um padrão consistente de forças ântero-posteriores de baixa magnitude, com características similares entre si. No contacto inicial (0% do apoio), as curvas de ambos os pés demonstram uma ligeira deflexão negativa (travagem), que atinge picos de aproximadamente -0.5 do peso corporal, seguida por uma deflexão positiva no apoio médio (propulsão), com picos que podem atingir 0.5 do peso corporal, mas permanecendo sempre próximas de 0 do peso corporal. O padrão das FRS é homogéneo em todos os quatro militares tanto na marcha típica como na marcha fletida, salientando a natureza controlada do movimento em ambas as tarefas.

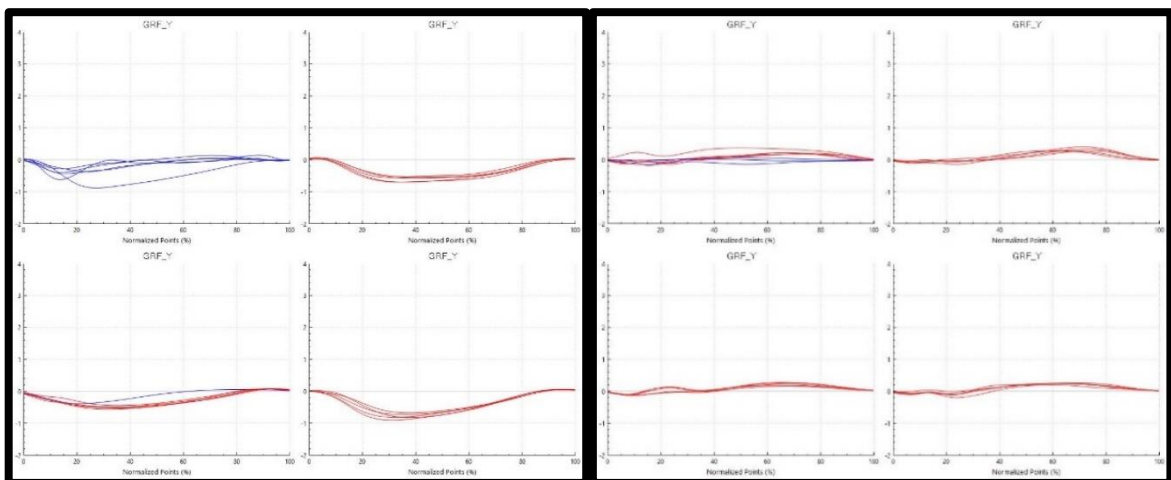


Figura n.º 14 - Cinética das FRS no eixo do y na Transposição e Receção do Obstáculo

Nos gráficos das FRS durante a transposição do obstáculo (Figura n.º 14 - esquerda), observa-se no contacto inicial (0-15% do apoio), um pico de travagem que atinge magnitudes de aproximadamente -1 a -0.5 do peso corporal. Este é seguido por uma redução desses valores, ficando próximo dos 0 do peso corporal. Entre os quatro militares, o TCA05 recorreu apenas ao membro inferior direito para executar a tarefa. Por sua vez, o TCA06, TCA07 e TCA08 recorreram maioritariamente ao membro inferior esquerdo.

Nos gráficos das FRS na receção do obstáculo (Figura n.º 14 - direita), observa-se um padrão de forças ântero-posteriores com valores extremamente baixos e consistentes ao longo de todo o apoio, apresentando alguma propulsão na segunda metade do apoio. Entre os quatro militares, o TCA05 recorreu a ambos os membros inferiores para executar a tarefa. Por sua vez, o TCA06, TCA07 e TCA08 recorreram apenas ao membro inferior direito.

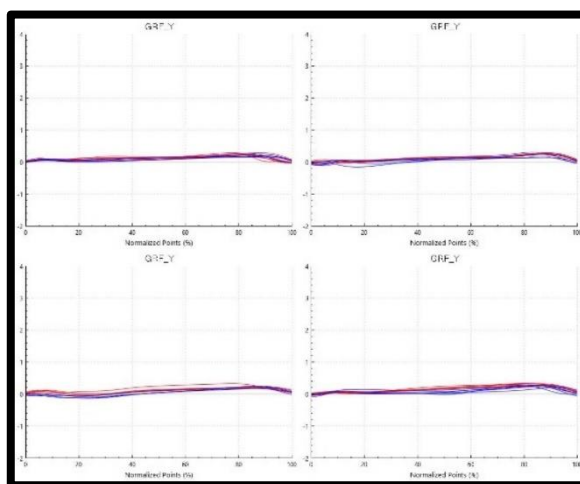


Figura n.º 15 - Cinética das FRS no eixo do y no Arraste do Ferido

Os gráficos das FRS durante o arraste do ferido (Figura n.º 15) demonstram um padrão de forças ântero-posteriores com valores extremamente baixos e consistentes. As curvas para ambos os pés permanecem próximas de 0 do peso corporal ao longo de todo o apoio, com oscilações mínimas e sem picos discerníveis de forças laterais. Este padrão de baixa magnitude e elevada similaridade entre os pés é observado em todos os quatro militares.

3.1.2.3. Eixo do Z

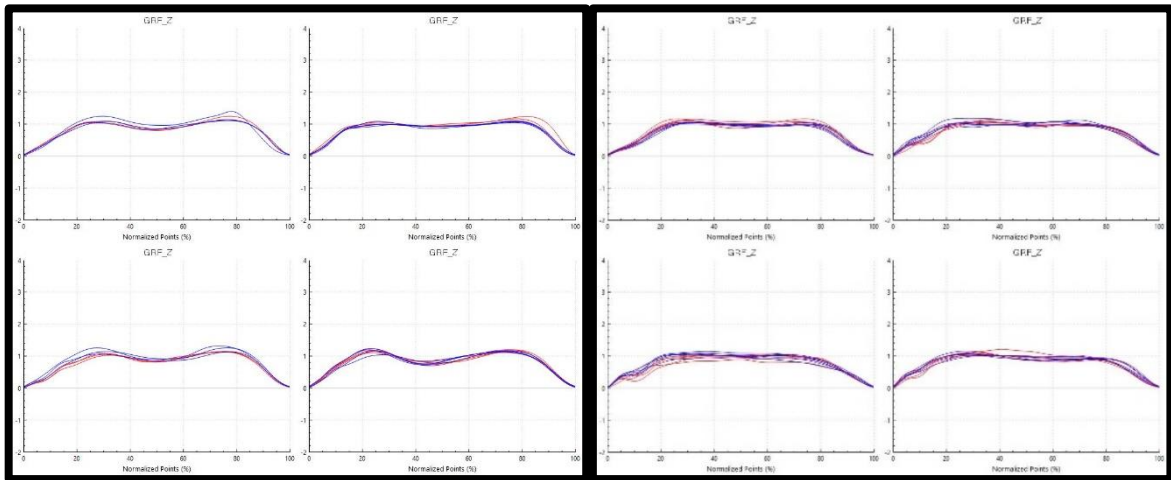


Figura n.º 16 - Cinética das FRS no eixo do z na Marcha Típica e Marcha Fletida

Os gráficos das FRS para a marcha típica (Figura n.º 16 - esquerda) exibem o padrão característico de "duplo pico" (forma de M). Um primeiro pico de impacto é observado na fase inicial do apoio (cerca de 20-30% do apoio), atingindo valores que podem variar entre 1.0 e 1.5 do peso corporal. Este é seguido por um vale durante o apoio médio (cerca de 40-60% do apoio), com valores próximos de 0.8 e 1.0 do peso corporal, e um segundo pico de impulsão na fase final do apoio (cerca de 60-85% do apoio), que atinge valores semelhantes aos do primeiro pico. Esta morfologia é reproduzida por ambos os pés e em todos os quatro militares.

Os gráficos das FRS para a marcha fletida (Figura n.º 16 - direita) revelam uma morfologia diferente da marcha típica. Em contraste com o padrão de "duplo pico" da marcha típica, a marcha fletida exhibe predominantemente uma única elevação arredondada, com ausência ou atenuação do pico de impacto inicial no contacto (0-15% do apoio). O pico de força vertical atinge valores entre 0.8 e 1.0 do peso corporal por volta dos 30-70% do apoio. Este padrão é produzido por ambos os pés e em todos os quatro militares de forma homogénea, demonstrando uma elevada similaridade entre os indivíduos e entre os pés.

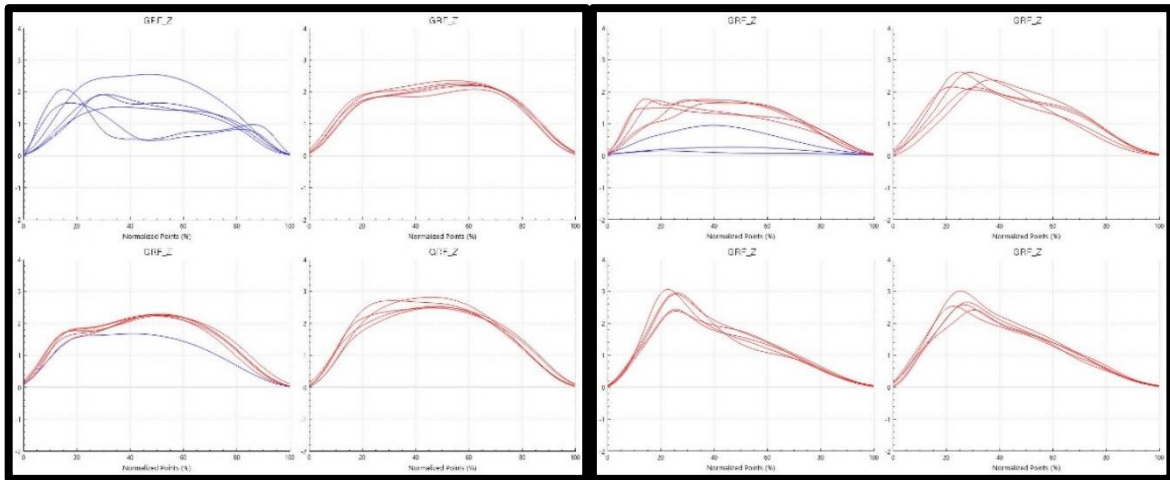


Figura n.º 17 - Cinética das FRS no eixo do z na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos das FRS durante a transposição do obstáculo (Figura n.º 17 - esquerda), observa-se um padrão de força vertical com um único pico proeminente. Este pico, localizado em meados da fase de apoio (cerca de 40-60% do apoio), atinge magnitudes que podem variar entre os 2.0 e 2.5 do peso corporal. A fase inicial de aplicação de força (0-15% do apoio) é gradual, sem picos de impacto acentuados. Entre os quatro militares, os valores de pico entre TCA06, TCA07 e TCA08 são semelhantes, atingindo valores próximos de 2.0 e 2.5 do peso corporal. Contrariamente, o TCA05, que recorreu apenas ao pé direito para a execução, exhibe um pico de força ligeiramente menor, cerca de 1.5 e 2.0 do peso corporal.

Nos gráficos das FRS na recepção do obstáculo (Figura n.º 17 - direita), observa-se um único pico de força vertical, que pode atingir valores entre 1.5 e 3.0 do peso corporal, ocorrendo na fase inicial do apoio (0-30%). Entre os quatro militares, os valores de pico entre TCA06, TCA07 e TCA08 são semelhantes, atingindo valores próximos de 2.5 e 3.0 do peso corporal, utilizando o pé esquerdo para a execução da tarefa. Contrariamente, o TCA05 recorreu a ambos os pés, com o pico de força para o pé direito a ser ligeiramente menor, que o esquerdo, com valores entre 0.8 e 1.0 do peso corporal.

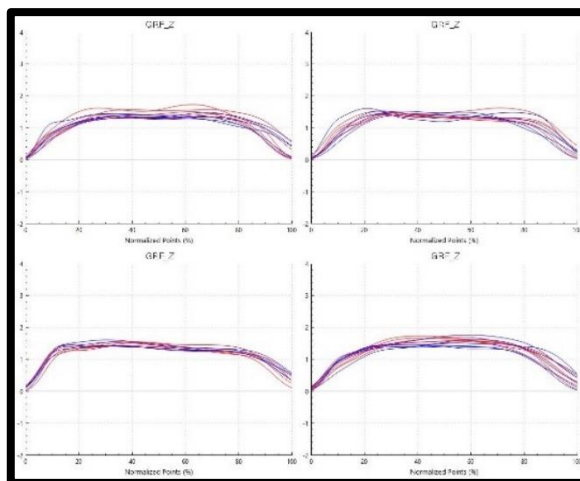


Figura n.º 18 - Cinética das FRS no eixo do z no Arraste do Ferido

Os gráficos das FRS durante o arraste do ferido (Figura n.º 18) apresentam um padrão de força com um único pico, largo e elevado, no meio da fase de apoio (cerca de 20-60% do apoio). Os picos atingem magnitudes que podem variar entre 1.5 e 1.8 do peso corporal. A fase inicial de aplicação de força (0-15% do apoio) é gradual e ocorre a ausência do pico de impacto inicial, em contraste com a marcha típica. Este padrão é produzido por ambos os pés e em todos os quatro militares de forma homogénea.

3.2. Cinemática

Nos próximos pontos, são apresentados os gráficos detalhando os ângulos articulares gerados nas articulações da anca, joelho e tornozelo durante a execução de cada tarefa crítica no plano sagital. Em cada gráfico, eixo horizontal (x), a informação presente é a Percentagem da fase de apoio (%), que representa o progresso do movimento desde o seu início até ao seu término. No eixo vertical (y), a informação presente é o Ângulo Articular (graus), que quantifica a medida angular da articulação.

3.2.1. Plano Sagital

3.2.1.1. Anca

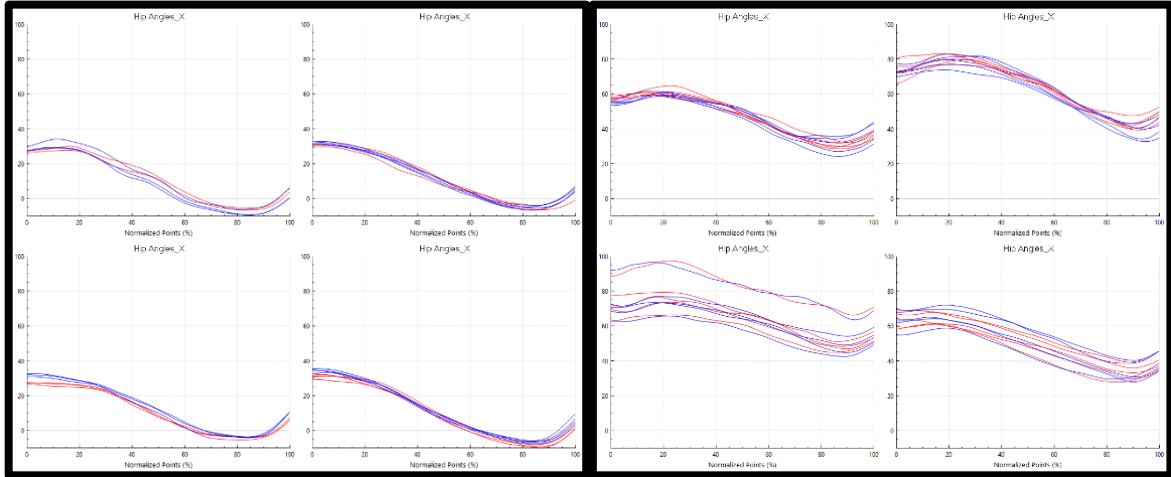


Figura n.º 19 – Cinemática da anca no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Os gráficos da marcha típica (Figura n.º 19 - esquerda) apresentam o padrão cinemático característico, observando-se no contacto inicial (0% do apoio), uma flexão da anca de aproximadamente 20° a 25°. Esta flexão progride para uma extensão gradual durante a fase de apoio médio (cerca de 20-80% do apoio), atingindo um pico de extensão de aproximadamente -5° antes da fase final de apoio. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas amplitudes de movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

Os gráficos da marcha fletida (Figura n.º 19 - direita) demonstram um padrão cinemático diferente da marcha típica. No contacto inicial (0% do apoio), observa-se uma flexão da anca de aproximadamente 55° a 80°, que se mantém em valores de flexão maiores e mais sustentados ao longo de todo o apoio, em comparação com a marcha típica. Durante a fase final do apoio (65-100%), a flexão da anca atinge picos que podem variar entre 35° e 45°. Entre os quatro militares, o TCA06 e o TCA07 exibem ângulos de flexão ligeiramente maiores, atingindo picos de flexão próximos de 70° e 80°. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

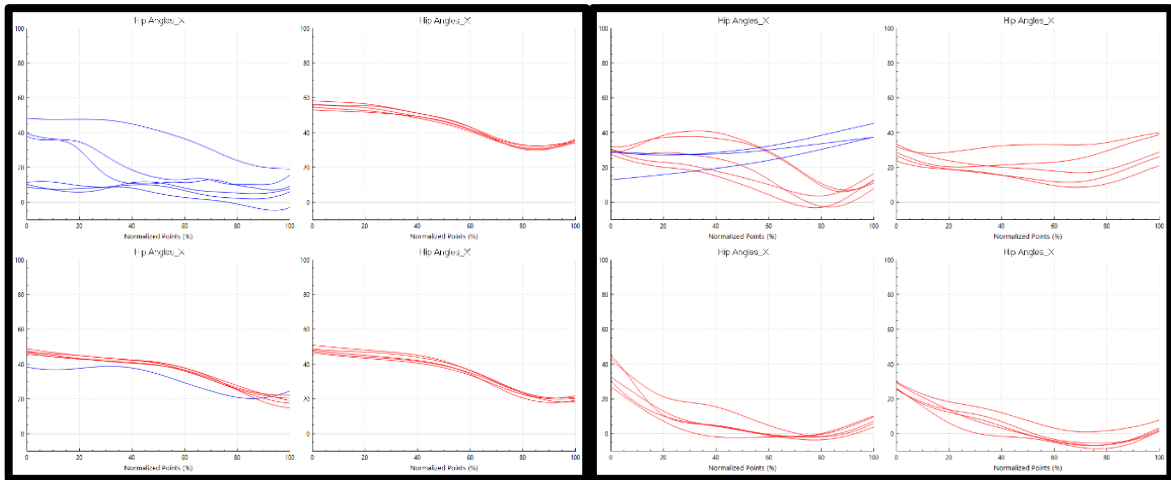


Figura n.º 20 – Cinemática da anca no plano sagital na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 20 - esquerda), observa-se uma flexão da anca na fase inicial de apoio da chamada (0% do apoio), que atinge valores de aproximadamente 45° a 60°. Esta fase é seguida por uma extensão da anca durante o apoio (cerca de 45-80% do apoio) e posterior flexão na fase final do apoio do membro que transpõe o obstáculo, atingindo picos de flexão que podem chegar aos 20° e 30°. Entre os quatro militares, o TCA06, TCA07 e TCA08 exibem padrões similares, com o TCA06 a apresentar maiores valores de flexão no contacto inicial, cerca de 55° e todos recorrerem na maioria das vezes ao pé esquerdo. Já o TCA05, apresenta um padrão distinto, tendo valores no contacto inicial próximos de 15° e 30° e recorrendo apenas ao pé direito.

Nos gráficos da recepção do obstáculo (Figura n.º 20 – direita), observa-se que no contacto inicial (0% do apoio), a anca apresenta uma flexão, que progride para uma extensão, dependendo da estratégia individual de recepção, atingindo valores de flexão entre 25° e 35° e de extensão próximos de 0°. Entre os quatro militares, o TCA07 e TCA08 demonstram as maiores amplitudes de flexão da anca durante esta fase, com alguma variabilidade nos padrões temporais gerais. Para o TCA05, observa-se a recepção com ambos os pés. Já para o TCA06, TCA07 e TCA08, as curvas mostram a recepção apenas com o pé esquerdo.

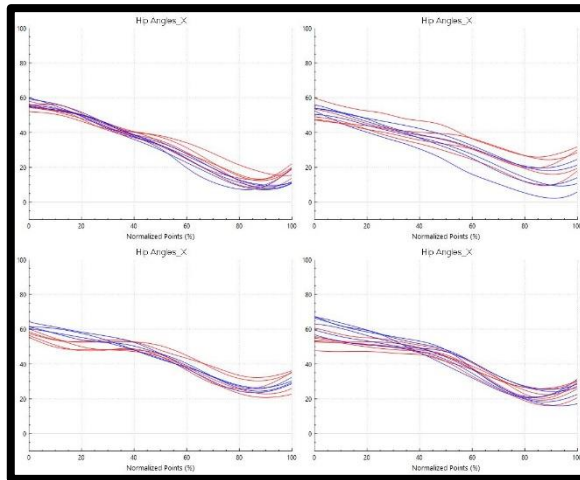


Figura n.º 21 – Cinemática da anca no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 21), demonstram um padrão cinemático diferente da marcha típica. No contacto inicial (0% do apoio), observa-se uma flexão da anca, com cerca de 50º a 60º, permanecendo em flexão maior e mais sustentada ao longo de grande parte do apoio em comparação com a marcha típica, onde a anca atinge maior extensão. Seguindo-se uma diminuição dos valores de flexão até aos 25º e um aumento na fase final do apoio (80-100%). Entre os quatro militares, o TCA05 e o TCA06 exibem amplitudes de flexão da anca maiores, com valores iniciais próximos dos 60º. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

3.2.1.2. Joelho

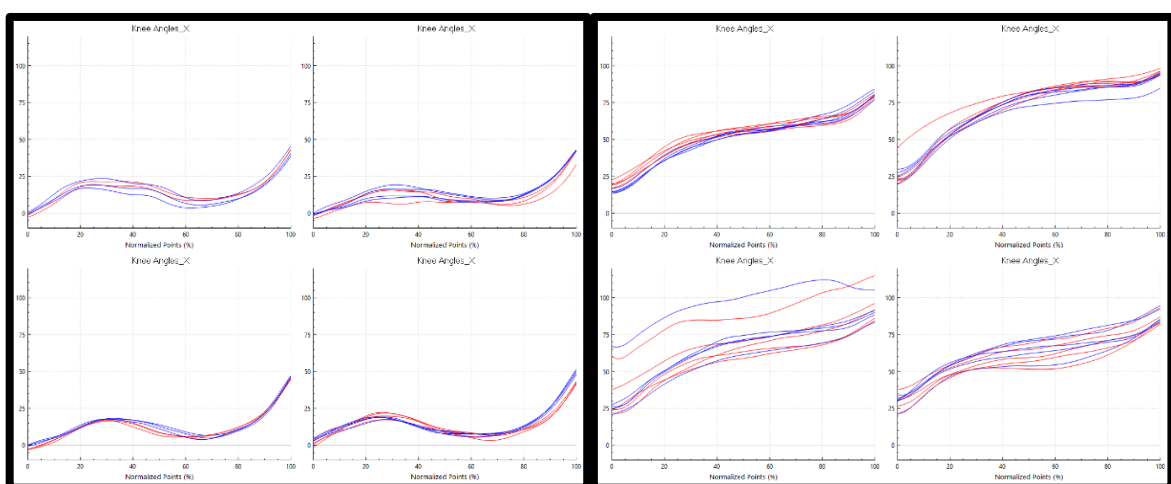


Figura n.º 22 - Cinemática do joelho no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Os gráficos da marcha típica (Figura n.º 22 - esquerda) exibem o padrão cinemático característico, observa-se no contacto inicial (0% do apoio), uma extensão completa do joelho, que aumenta para cerca de 15° a 25° de flexão na resposta à carga (30% do apoio), seguido por uma extensão para aproximadamente 5° a 10° de flexão no apoio médio (40% do apoio). Durante a fase final do apoio (60-100% do apoio), o joelho prolonga a sua flexão atingindo valores próximos de 50°. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas amplitudes de movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

Os gráficos da marcha fletida (Figura n.º 22 - direita) apresentam um padrão cinemático diferente da marcha típica. Observa-se que, no contacto inicial (0% do apoio), o joelho inicia com uma flexão mais elevada, perto dos 25° que se mantém durante todo o movimento aumentando os valores de flexão, que atingem os 75° na fase final do apoio (80-100%). Durante todo o apoio o joelho atinge valores de flexão superiores aos da marcha típica. Entre os quatro militares, o TCA05 e TCA06 exibem amplitudes de flexão do joelho maiores ao longo de todo o apoio, com a flexão no pico final a exceder os 75° e também verifica-se que o TCA07 apresenta repetições do movimento com maior flexão do joelho que outras. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

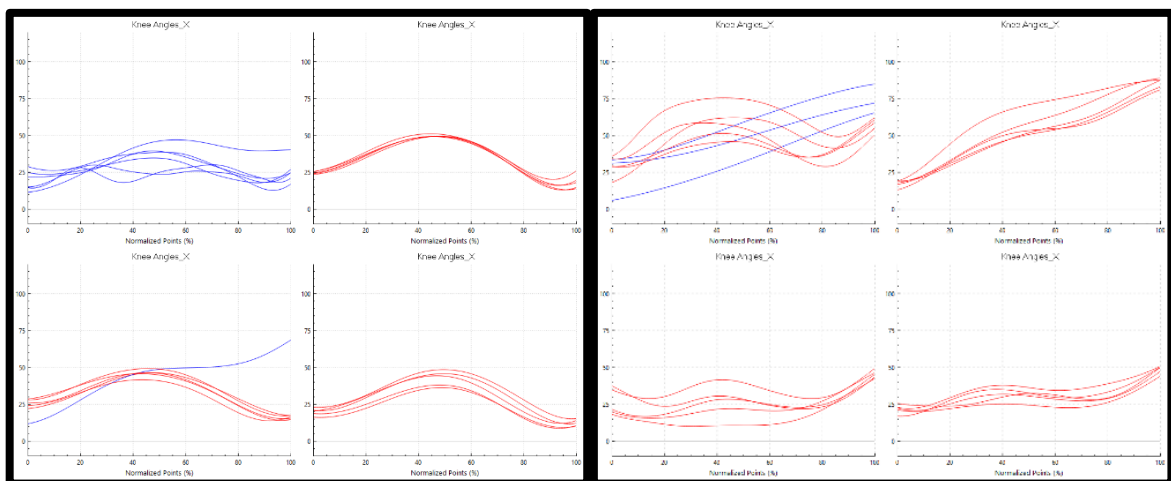


Figura n.º 23 – Cinemática do joelho no plano sagital na Transposição e Receção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 23 - esquerda), observa-se no contacto inicial (0% do apoio), uma flexão com cerca de 25°, que aumenta para aproximadamente 50°, entre os 40-60% do apoio. Atingindo esse pico, os valores da flexão diminuem e voltam novamente para perto dos 25°. Entre os quatro militares, verifica-se que o TCA06, TCA07 e TCA08 apresentam amplitudes de flexão semelhantes, com o seu

máximo a ser perto dos 45° e 50°, na maioria das vezes recorrendo ao pé esquerdo. Já o TCA05, apresenta o seu valor máximo perto dos 40° e recorre apenas ao pé direito para executar a tarefa.

Nos gráficos da receção do obstáculo (Figura n.º 23 - direita), observa-se no contacto inicial (0% do apoio), uma flexão que se acentua para a absorção do impacto, atingindo picos de flexão entre 30° e 40° na resposta à carga (cerca de 20-40%) nos indivíduos TCA07 e TCA08. Já no TCA06, ocorre um aumento progressivo nos valores de flexão, atingindo no pico final (80-100% do apoio), os 75°. O TCA05 possui um aumento dos valores de flexão, atingindo o pico aos 75° a 40-60% do apoio e diminuindo os valores após esse momento. Entre os quatro militares, o TCA06 destaca-se por apresentar um padrão de flexão inicial mais acentuado e de maior amplitude, seguido por TCA07, demonstrando variabilidade entre os indivíduos. Para o TCA05, verifica-se a receção com ambos os pés e os restantes apenas com o pé esquerdo.

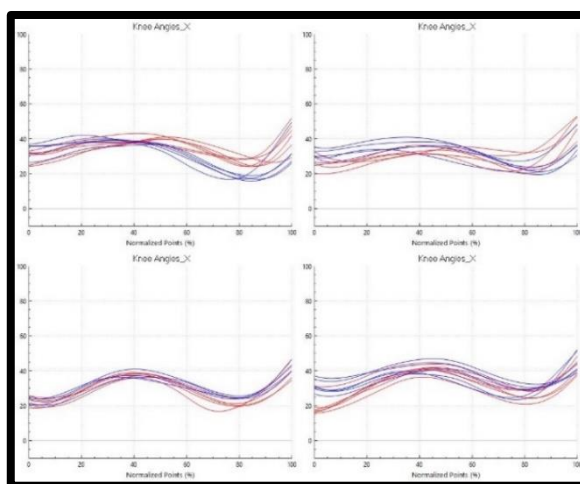


Figura n.º 24 - Cinemática do joelho no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 24) demonstram um padrão cinemático diferente da marcha típica. No contacto inicial (0% do apoio), observa-se uma flexão do joelho mais elevada, cerca de 25° a 35°, que na marcha típica cerca de 0°. Durante 20-40% do apoio, ocorre um aumento dos valores de flexão, atingindo o seu pico nos 40°, superior à marcha típica 25°, seguindo uma diminuição até novamente aos 25° de flexão e por fim na fase final (80-100% do apoio), os valores da flexão aumentam. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas do movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores, à exceção do TCA05.

3.2.1.3. Tornozelo

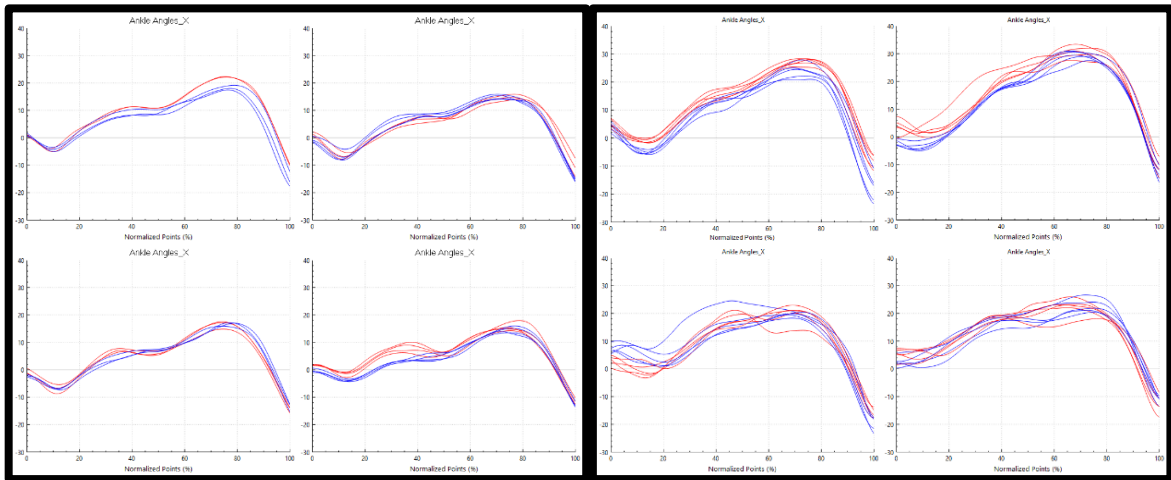


Figura n.º 25 – Cinemática do tornozelo no plano sagital na Marcha Típica e Marcha Fletida

Nos gráficos da marcha típica (Figura n.º 25 - esquerda), observa-se que no contacto inicial (0% do apoio), o tornozelo encontra-se numa posição neutra (próximo de 0°). Durante a fase de apoio, ocorre uma plantarflexão que atinge um pico de aproximadamente -10° a -5°, por volta dos 10-20% do apoio, seguida de uma dorsiflexão que progride até um pico de aproximadamente 20°, a cerca dos 60-80% do apoio. Finalizando com uma plantarflexão. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas amplitudes do movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

Os gráficos da marcha fletida (Figura n.º 25 - direita) apresentam um padrão cinemático semelhante da marcha típica, com picos superiores de dorsiflexão. No contacto inicial (0% do apoio), observa-se uma dorsiflexão, cerca de 5° a 10°, contrariamente à marcha típica, 0°. Durante o restante apoio, a dorsiflexão é mantida, diminuindo apenas na fase final 80-90%, passando posteriormente a plantarflexão. Verifica-se uma amplitude total de movimento a maior que na marcha típica. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas amplitudes do movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

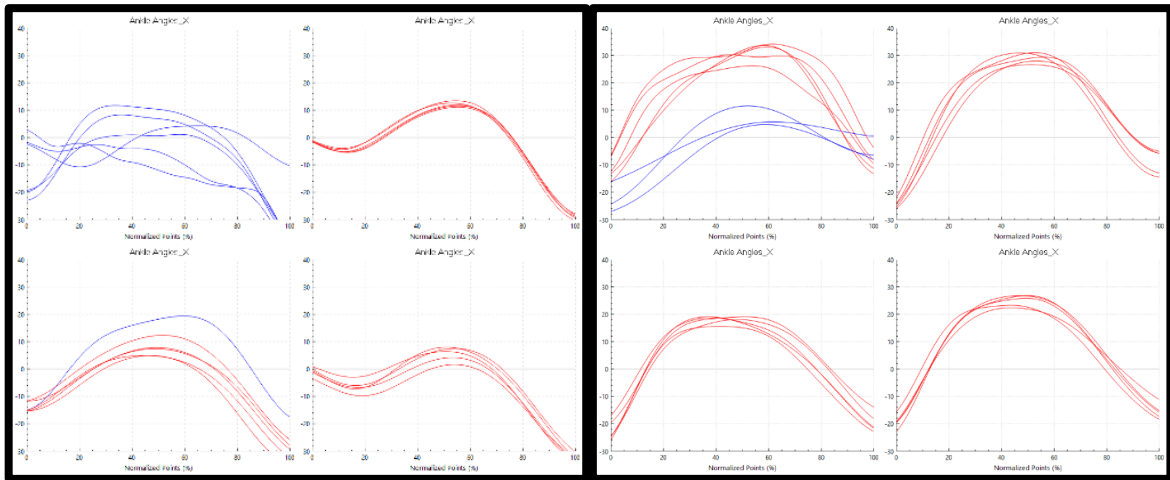


Figura n.º 26 - Cinemática do tornozelo no plano sagital na Transposição e Recepção do Obstáculo

Nos gráficos da transposição do obstáculo (Figura n.º 26 - esquerda), para os indivíduos TCA06 e TCA08 observa-se no contacto inicial (0% do apoio), o tornozelo numa posição que pode variar entre neutra e ligeira plantarflexão, progredindo para uma plantarflexão de aproximadamente -5° a -10° durante a resposta à carga (cerca de 10-20% do apoio). Na fase de apoio médio, ocorre uma dorsiflexão que atinge um pico de aproximadamente 15° e 20° por volta dos 40-50% do apoio. Durante a segunda metade do apoio (70-100%), ocorre uma plantarflexão. Já para o TCA05 e TCA07, estes iniciam o contacto inicial numa plantarflexão, de -20° a -10° , perto dos 20% do apoio passam para uma dorsiflexão e mais tarde entre 60-80%, voltam novamente a plantarflexão. Para o TCA05, verifica-se a transposição apenas com o pé direito e os restantes na maioria das repetições executam apenas com o esquerdo.

Nos gráficos da receção do obstáculo (Figura n.º 26 - direita), observa-se para os indivíduos TCA06, TCA07 e TCA08 um contacto inicial (0% do apoio), em plantarflexão, aproximadamente -25° a -15° , que diminui na resposta à carga (cerca de 15-20% do apoio). Segue-se uma dorsiflexão que atinge um pico de aproximadamente 20° e 30° por volta dos 40-60% do apoio. Já o TCA05, no contacto inicial para o pé direito inicia com valores de plantarflexão -20° e para o pé esquerdo com valores de -10° , no entanto o padrão do apoio é semelhante aos restantes indivíduos. Para o TCA06, TCA07 e TCA08, verifica-se a receção apenas com o pé esquerdo.

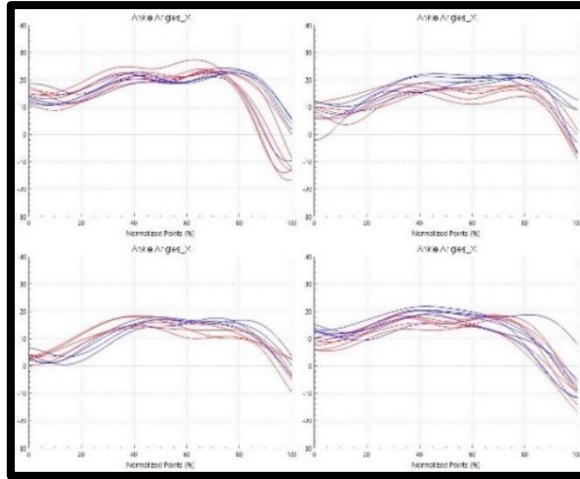


Figura n.º 27 - Cinemática do tornozelo no plano sagital no Arraste do Ferido

Os gráficos do arraste do ferido (Figura n.º 27) demonstram um padrão cinemático diferente da marcha típica. No contacto inicial (0% do apoio), o tornozelo encontra-se em dorsiflexão, cerca de 5° a 10°, mantém esta posição ou ligeira dorsiflexão durante a resposta à carga (0-15%) e apoio médio (15-40%), em contraste com a plantarflexão observada na marcha típica. Segue-se uma dorsiflexão, durante cerca de 40-80% do apoio, com valores de 15° a 20°, semelhantes aos da marcha típica, no entanto não ocorrem os picos como na marcha típica. Termina o apoio em plantarflexão. Entre os quatro militares, verifica-se uma homogeneidade nos padrões temporais e nas amplitudes do movimento. Em cada militar, não existem diferenças entre os dois membros inferiores.

CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise descritiva de todos os gráficos apresentados anteriormente, permitiu identificar padrões característicos e adaptações específicas associadas às diferentes tarefas avaliadas. Para cada tarefa, foi possível identificar relações existentes entre os dados cinéticos e cinemáticos.

Na marcha típica, a anca inicia numa flexão controlada por um momento extensor que estabiliza e amortece o impacto, evoluindo gradualmente para extensão controlada por um momento flexor. O joelho apresenta uma flexão inicial para absorver a carga, associada a um momento extensor, seguida de extensão progressiva durante o apoio médio e novo momento extensor na fase final, essencial para a propulsão. O tornozelo inicia em posição neutra, seguida de uma ligeira plantarflexão acompanhada por um momento de dorsiflexão, o qual reflete a resistência muscular à dorsiflexão plantar. Na fase média e final do apoio, evolui para dorsiflexão predominante, essencial para a impulsão e termina em plantarflexão. De acordo com Majumdar *et al.* (2010), quando ocorre o transporte de equipamento e armamento (cerca de 15 kg) verificam-se aumentos na flexão da anca (com valores perto dos 20°), no joelho (perto dos 20°) e na dorsiflexão do tornozelo (perto dos 11°), durante a fase de apoio médio. O aumento da dorsiflexão do tornozelo comprova-se alcançando os 17° a 20°, bem como o aumento da flexão do joelho alcançando os 15° a 20°, no entanto os aumentos da flexão da anca não são comprovados, mantendo valores perto dos 10°, devido ao treino habitual desta tropa especial em suportarem estas cargas.

As FRS verticais (componente Fz) exibem o clássico padrão bifásico correspondendo às fases de absorção de impacto inicial e de propulsão final. Conforme Majumdar *et al.* (2013), quando os militares transportam carga extra (cerca de 15 kg), os valores das FRS aumentam, principalmente nas forças verticais (Fz), valores de pico de impacto perto dos 1.5 do peso corporal, já as médio-laterais (Fx) não revelam resultados significativos, valores de pico perto dos 0 do peso corporal. O aumento no valores do pico de impacto em Fz comprovam-se obtendo valores perto de 1 e 1.5 do peso corporal, bem como a estabilidade nos valores de Fx. De referir que esta aparente estabilidade, deve-se também à escala utilizada nos gráficos, que dificulta a observação das variações e dos valores obtidos. Todos os dados cinemáticos e cinéticos, bem como as FRS, mostram uma homogeneidade entre os militares e os membros inferiores, sem resultados inesperados ou padrões atípicos. Esta

uniformidade evidencia uma execução tecnicamente consistente da marcha típica, sem ocorrência de estratégias compensatórias ou padrões atípicos.

Na marcha fletida, a anca mantém uma flexão elevada durante o apoio, sustentada por um momento extensor contínuo, exigindo intensamente dos extensores da anca (glúteo máximo e os isquiotibiais). O joelho apresenta uma flexão elevada e contínua, associada a um momento extensor elevado, evidenciando sobrecarga nos quadríceps femorais. A manutenção de elevados ângulos de flexão e a produção sustentada de momentos extensores, indica uma exigência muscular contínua, que pode contribuir para lesões por sobrecarga, nomeadamente ao nível patelo-femoral. No tornozelo, ocorre uma ligeira plantarflexão inicial, com um momento de dorsiflexão de baixa intensidade, seguida de uma dorsiflexão prolongada e um momento de plantarflexão intenso na fase final. Esta ação é essencial para a propulsão em posição fletida. Este padrão postural imposto por esta tarefa, associado à flexão elevada nas articulações dos membros inferiores durante todo o movimento, contribui para um aumento significativo no impacto da carga nas articulações, particularmente na articulação do joelho. Deste modo, este facto está de acordo com os resultados de Yunus *et al.* (2020), que apontam para uma correlação entre a flexão sustentada do joelho e o risco de desenvolvimento de osteoartrose, em virtude do aumento da pressão de contacto nas superfícies articulares.

As FRS em Fz, apresentam um padrão de pico único e arredondado, distinto do “duplo pico” da marcha típica. Este perfil indica uma estratégia de absorção de carga mais suave e controlada, provavelmente motivada pela tentativa de preservar a estabilidade articular numa postura exigente. No entanto, as FRS horizontais, mantêm um padrão de baixa magnitude, indicando estabilidade médio-lateral e ântero-posterior. Ainda que exista uma homogeneidade geral nos padrões angulares e de força entre os militares, principalmente nos membros inferiores, foram notadas algumas variações nas magnitudes de pico, com destaque para os indivíduos TCA06 e TCA07, que demonstraram momentos extensores mais elevados na anca, bem como maiores amplitudes de flexão do joelho nos indivíduos TCA05 e TCA06. No tornozelo, o TCA08 evidenciou maior variabilidade cinética, o que pode indicar diferenças na estratégia de impulsão ou estabilização local.

Na tarefa de arrastar o ferido, a anca mantém-se numa flexão elevada acompanhada por um momento extensor predominante, exigindo grande esforço dos músculos extensores, nomeadamente o glúteo máximo, para propulsão do corpo e tração da carga. O joelho apresenta uma flexão elevada, acompanhada por momento extensor significativo, exigindo ativação constante dos quadríceps femorais, cuja as principais funções neste contexto são

resistir ao colapso da articulação, assegurar a estabilidade funcional durante o esforço de tração e a propulsão. O tornozelo inicia em dorsiflexão, com um ligeiro momento de dorsiflexão, seguido uma dorsiflexão predominante e um momento de plantarflexão de grande magnitude no apoio, essencial para a propulsão e controlo do movimento durante a locomoção sob carga e termina com uma plantarflexão e um momento de dorsiflexão. Esta dorsiflexão prolongada, resulta de uma postura mais inclinada para a frente e à presença carga externa do arraste do ferido, o que segundo Mexi *et al.* (2023), contribui para um stress considerável nos membros inferiores, alterando a biomecânica natural do corpo, intensificando as forças sobre as articulações e ossos e aumentando o risco de LME, sobretudo fraturas de stress na tibia.

As FRS em Fz apresentam um padrão de um único pico, largo e elevado, localizado no meio da fase de apoio. A ausência do pico de impacto inicial, sugere uma estratégia de contacto mais controlada. Esta adaptação pode estar associada à redistribuição das forças para melhor absorção e transmissão da carga externa. As FRS horizontais demonstram valores baixos e consistentes, com oscilações mínimas e ausência de picos, indicando uma elevada estabilidade médio-lateral e ântero-posterior. Embora os padrões gerais sejam homogêneos entre os militares e os membros inferiores, os indivíduos TCA06 e TCA07 destacam-se pelos maiores valores de momento extensor da anca e o TCA05 e TCA06 pelas maiores amplitudes na flexão da anca. Ao nível do joelho, o TCA06 demonstrou os maiores valores de momento extensor, denotando uma possível vantagem funcional, devido à sua estatura na execução da tarefa.

De modo a responder a um dos objetivos desta investigação, comparou-se as duas tarefas da marcha fletida e arraste do ferido com a marcha típica, evidenciando-se as adaptações mecânicas significativas às exigências impostas pelas tarefas. Estas adaptações são observáveis tanto ao nível dos momentos articulares como nas FRS, refletindo o impacto funcional do aumento de carga e da alteração postural.

Em termos cinéticos, os momentos de força são mais elevados, sobretudo na anca e joelho, nas duas tarefas comparativamente à marcha típica. Esta diferença reflete a necessidade de produção de força acrescida pelos grupos musculares extensores (nomeadamente glúteo máximo e quadríceps femorais) para manter a postura fletida e/ou executar a tração da carga externa.

As FRS assumem padrões distintos entre tarefas. Na marcha típica, observa-se o padrão de duplo pico em Fz, refletindo as fases de absorção de impacto e propulsão. Por outro lado, tanto na marcha fletida como no arraste do ferido, o padrão apresenta um único

pico alargado e de maior magnitude, indicativo de absorção de carga mais distribuída e progressiva, de modo a proteger a articulação. A marcha típica revelou menor variabilidade entre sujeitos, refletindo um padrão motor mais automatizado e eficiente. Em contrapartida, tanto a marcha fletida como o arraste do ferido apresentaram maior variabilidade, especialmente nas magnitudes de momento e amplitudes articulares. Esta variabilidade poderá ser explicada por diferentes níveis de força ou técnica, bem como por diferentes estaturas e comprimento da passada, como evidenciado no caso do indivíduo TCA05. Outro motivo poderá ser o nível de fadiga acumulado, uma vez que os intervalos entre repetições não foram controlados de forma rigorosa, podendo ter sido insuficientes para garantir uma recuperação fisiológica adequada.

Para a transposição do obstáculo, a anca executa uma flexão no apoio inicial, seguida de uma extensão parcial e uma posterior flexão para o balanço do membro que transpõe o obstáculo. Este movimento é acompanhado por um momento extensor de grande magnitude na fase inicial, essencial para a elevação do corpo e início da transposição. O joelho apresenta uma flexão inicial, que aumenta a meio do apoio, permitindo a propulsão para cima do obstáculo. A nível cinético, ocorre um curto momento flexor inicial, seguido por um momento extensor de grande magnitude durante o apoio, o qual permite a propulsão. O tornozelo exibe uma plantarflexão inicial com um momento de dorsiflexão, seguida por uma dorsiflexão que atinge um pico, acompanhada de um momento de plantarflexão elevado no meio do apoio, essencial para a propulsão do corpo e deslocamento do membro sobre o obstáculo.

As FRS verticais apresentam um único pico proeminente a meio da fase de apoio, precedido por uma fase de apoio inicial progressiva, refletindo uma estratégia de controlo para preparar a impulsão. As FRS horizontais revelam padrões assimétricos, particularmente na componente ântero-posterior (F_y), com picos de travagem no pé de impulsão. Nesta tarefa, observa-se variabilidade nas magnitudes e estratégias de execução entre os militares. Por exemplo, o TCA05 recorreu apenas ao membro inferior direito como pé de chamada, enquanto os restantes utilizam maioritariamente o pé esquerdo. Esta mudança na escolha do membro inferior, poderá ser devido ao TCA05 apresentar uma estatura inferior e, consequentemente, um comprimento de passada reduzido, exigindo um maior número de passos para completar a transposição. Nesta tarefa, também destaca-se o TCA06 e TCA08 que apresentam maiores momentos extensores da anca e do joelho, possuindo movimentos bastante semelhantes, sugerindo uma técnica de transposição mais eficaz.

Por fim, para a receção do obstáculo, a cinemática da anca, indica uma flexão no contacto inicial, acompanhada de um momento extensor, indicando a ativação dos extensores para controlar a desaceleração do segmento da coxa e atenuar o impacto gerado pela aterragem, que pode progredir para uma extensão, dependendo da estratégia de cada militar. No joelho, a cinemática mostra uma flexão inicial progressiva, que atinge valores superiores a 30°. Este padrão é acompanhado por um momento extensor crescente, indicativo da ativação controlada dos quadríceps, cuja função é absorver a energia cinética proveniente da queda e preservar a integridade articular. Tal como referido por Yeap *et al.* (2025), valores de flexão inferiores a 30° na receção ao solo estão associados a um aumento do risco de lesão do LCA. Assim, os dados desta amostra, que apresentam valores superiores a este limiar, indicam um bom nível de preparação funcional dos sujeitos para lidar com cargas de impacto, muito devido ao treino que esta tropa especial possui. Para o tornozelo, a cinemática revela uma plantarflexão inicial, seguida por uma dorsiflexão que atinge um pico. Ao nível cinético, um momento plantarflexão domina, elevando-se para um pico, responsável por controlar a descida do corpo e redistribuir as forças de contacto, minimizando o stress articular.

As FRS verticais exibem um único pico de força vertical, elevado e agudo, ocorrendo na fase inicial do apoio e evidenciado pelo pé de aterragem. As FRS horizontais revelam padrões com valores próximos de zero, mas com picos de travagem ligeiros no pé direito do TCA07 e TCA08, sugerindo variações individuais na distribuição da força reativa e possíveis assimetrias de apoio. Nesta tarefa, observa-se variabilidade nas estratégias de receção entre os militares. O TCA05 recorreu a ambos os membros inferiores, enquanto TCA06, TCA07 e TCA08 utilizaram maioritariamente o pé esquerdo para a receção. Para além disso, destaca-se os indivíduos TCA07 e TCA08 com valores de momentos extensores da anca e amplitude de flexão da anca superiores, o TCA06 a efetuar uma flexão progressiva e de maior amplitude no joelho, contribuindo para uma estratégia de aterragem mais segura. Em contrapartida, o TCA05 a apresentar menores valores de dorsiflexão no tornozelo que os restantes, o que pode indicar uma estratégia mais rígida de contacto, potencialmente associada a uma maior carga mecânica articular.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As interações criadas pela área da biomecânica com o contexto militar, são importantes para a melhor compreensão de causas que provocam lesões nos militares, como também fundamentais para a descoberta de métodos auxiliares que promovam a prevenção dessas lesões. Desse modo, recorre-se a esta área com intuito de prevenir lesões derivadas de movimentos repetitivos executados de forma incorreta e posturas específicas exigidas durante as missões e instruções.

Esta investigação procurou caracterizar de forma sistemática os padrões cinéticos e cinemáticos associados às tarefas críticas realizadas, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento científico nesta área.

Os resultados obtidos evidenciaram padrões diferenciados de exigência biomecânica entre as cinco tarefas analisadas. Na marcha típica, os participantes apresentaram padrões de movimento semelhantes, com amplitudes articulares moderadas e FRS dentro de limites biomecânicos aceitáveis, sendo esta tarefa considerada a referência para comparação. A marcha fletida revelou-se particularmente exigente do ponto de vista articular, com destaque para o aumento dos momentos de extensão da anca e maiores amplitudes de flexão, denotando esforço acentuado para manter a postura baixa exigida pela tarefa. Na transposição do obstáculo, observaram-se variações nos momentos articulares, principalmente ao nível do joelho e tornozelo, resultantes do impulso para transpor a altura definida, com picos de carga significativos nas fases de impulsão e apoio. A receção ao solo, foi a tarefa que registou os valores mais elevados de FRS, associados a uma dorsiflexão marcada do tornozelo, sugerindo um elevado esforço na absorção do impacto e controlo da aterragem. Por fim, o arraste do ferido demonstrou um padrão de movimento relativamente uniforme entre os participantes, mas com envolvimento relevante dos membros inferiores, sobretudo ao nível do joelho, implicando um esforço contínuo de tração e estabilidade postural.

A partir da análise dos dados, foi possível responder às três perguntas de investigação formuladas. Deste modo, para a primeira questão (PD1) **“Quais os momentos de força envolvidos nas tarefas críticas do atirador?”**, foi possível concluir que os momentos de força foram predominantemente momentos extensores no plano sagital das articulações da anca, joelho e tornozelo. A análise cinética revelou que, durante o arraste do ferido, a articulação da anca suportou momentos extensores até 3.5 Nm/kg, superiores aos verificados

na marcha típica (0.5 Nm/kg). Da mesma forma, o joelho apresentou uma tendência de manutenção de momentos extensores durante toda a execução da marcha fletida, sinalizando uma sobrecarga prolongada nessa articulação. No tornozelo, evidenciaram-se momentos de plantarflexão acentuados na marcha fletida e no arraste, sugerindo um envolvimento intenso da musculatura estabilizadora. As FRS mostraram-se amplificadas, sobretudo nas tarefas com carga adicional, com valores que ultrapassaram 1.8 do peso corporal, particularmente no eixo vertical (z), reforçando a magnitude da carga articular imposta pelas tarefas.

Para a segunda questão (PD2) **“Quais os ângulos articulares envolvidos nas tarefas críticas do atirador?”**, verificou-se uma flexão pronunciada em todas as articulações dos membros inferiores. Durante a marcha fletida, os ângulos de flexão da anca e do joelho atingiram valores máximos próximos dos 80°, implicando elevada solicitação postural e muscular. Na tarefa de transposição e recepção de obstáculo, observou-se uma oscilação significativa da articulação do tornozelo entre dorsiflexão e plantarflexão para garantir estabilidade na recepção ao solo. Durante o arraste do ferido, os ângulos articulares mostraram-se adaptativos, com incremento da dorsiflexão do tornozelo e flexão do joelho para gerar tração estável e contínua.

Para a terceira questão (PD3) **“Quais são as diferenças nos parâmetros cinéticos e cinemáticos entre a marcha típica, a marcha fletida e o arraste do ferido?”**, concluiu-se a existência de diferenças relevantes tanto em termos cinéticos quanto cinemáticos. A marcha típica apresentou padrões regulares de flexão e extensão, com momentos de força e ângulos de movimento dentro dos limites esperados para deslocamentos padrão com carga. Em oposição, a marcha fletida implicou uma manutenção de flexão acentuada na anca e no joelho, gerando momentos articulares mais elevados, especialmente nos músculos extensores. No arraste do ferido, a cinética revelou um esforço acrescido na articulação da anca, com picos de momento extensores, e na articulação do tornozelo com dorsiflexão persistente, associada à necessidade de tração e estabilização do corpo. A cinemática do arraste demonstrou ainda maior oscilação do centro de massa e maior assimetria nos movimentos dos membros inferiores.

Por último, de modo a responder à pergunta de partida (PP) **“Quais os padrões de movimento e momentos de força articulares característicos das tarefas críticas?”**, a investigação permite concluir que, os movimentos e momentos de força envolvidos nestas tarefas críticas em contexto de CAU, apresentam características biomecânicas específicas que implicam um elevado grau de exigência articular. Tarefas como a marcha fletida, a transposição e recepção de obstáculos, e o arraste do ferido desencadeiam padrões distintos

nas articulações. Constatou-se que, nessas tarefas, há uma predominância de momentos extensores acentuados na anca e no joelho, especialmente durante o arraste do ferido e a marcha fletida, indicando uma carga mecânica interna substancial. A marcha fletida exige flexões sustentadas da anca e joelho, atingindo valores de 55° a 80° na anca, enquanto o tornozelo manifesta dorsiflexão contínua durante o arraste.

Como contributos desta investigação, os resultados obtidos sustentam a formulação de recomendações direcionadas para a prevenção de lesões e a promoção da eficiência motora no contexto militar. Os dados obtidos poderão ser utilizados como base para o desenvolvimento de protocolos operacionais baseados em evidência científica, otimizando a execução técnica das tarefas críticas em CAU e promovendo a segurança e longevidade funcional dos militares, reformulando a doutrina existente. Outro contributo desta investigação, é uma reflexão sobre a importância de implementação de programas de treino centrados no reforço da musculatura estabilizadora das articulações da anca, joelho e tornozelo.

No decorrer de toda a investigação, existiram algumas limitações. A principal limitação desta investigação foi o reduzido número de participantes, comprometendo a generalização estatística, embora tal não invalide os resultados pela natureza exploratória do estudo. A realização em ambiente laboratorial, apesar do controlo metodológico, não replicou integralmente as condições reais dos teatros de operações. A complexidade logística e o acesso limitado aos militares, devido a exigências operacionais, também foram constrangimentos relevantes. Outra limitação, foi a ausência do controlo da velocidade do movimento durante as tarefas, que poderia influenciar alguns resultados obtidos. Além disso, a escassez de literatura científica sobre tarefas específicas, como marcha fletida, arraste do ferido ou transposição de obstáculos, dificultou a comparação com os resultados obtidos.

Para investigações futuras, recomenda-se o alargamento da amostra a diferentes unidades operacionais, bem como a repetição do estudo em contexto real de treino ou em cenários simulados com elevada fidelidade operacional. Seria ainda pertinente explorar o impacto de programas de intervenção baseados na otimização dos padrões biomecânicos identificados, integrando estratégias como o reforço muscular e treino funcional. Estudos longitudinais poderão igualmente clarificar a evolução dos padrões biomecânicos ao longo da carreira militar e a sua relação com lesões acumuladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A. T., Davis, Z. G., Browder, K. F., Dearth, C. L., & Goldman, S. M. (2025). The musculotendinous interface: insights into development, injury, and recovery for military medical applications. *Frontiers in Physiology*, *16*, 1555199. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1555199>
- Almeida, J. M. M. (2023). *Exigências Metabólicas do Equipamento Individual no Desempenho Físico em Ambiente Urbano* [Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada]. Academia Militar.
- Alves, E. M. A. F., & Evangelista, A. L. (2024). A importância da análise biomecânica na prevenção de lesões e melhora no desempenho físico em praticantes de atividade física. *Revistaft*, *28*(131), 05. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10630405>
- Alves, J. C. G. (2022). *Physical Employment Standards para o Combate em Ambiente Urbano* [Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada]. Academia Militar.
- Baltzopoulos, V. (2021). Inverse dynamics, joint reaction forces and loading in the musculoskeletal system: guidelines for correct mechanical terms and recommendations for accurate reporting of results. *Sports Biomechanics*, *23*(3), 287–300. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1841826>
- Barroga, E., & Matanguihan, G. J. (2022). A Practical Guide to Writing Quantitative and Qualitative Research Questions and Hypotheses in Scholarly Articles. *Journal of Korean Medical Science*, *37*(16), e121. <https://doi.org/10.3346/jkms.2022.37.e121>
- Birrell, S. A., Hooper, R. H., & Haslam, R. A. (2007). The effect of military load carriage on ground reaction forces. *Gait & Posture*, *26*(4), 611–614. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.12.008>
- Boffey, D., Harat, I., Gepner, Y., Frosti, C. L., Funk, S., & Hoffman, J. R. (2019). The Physiology and Biomechanics of Load Carriage Performance. *Military Medicine*, *184*(1–2), E83–E90. <https://doi.org/10.1093/milmed/usy218>
- Chen, Z., & Franklin, D. W. (2025). Joint moment–angle/velocity relations in the hip, knee, and ankle: A meta-visualization of datasets. *Journal of Biomechanics*, *183*, 112621–112621. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2025.112621>
- Crawford, J. O., & Davis, A. (2020). *Work-related musculoskeletal disorders: why are they still so prevalent? Evidence from a literature review*. European Agency for Safety

and Health at Work (EU-OSHA). <https://osha.europa.eu/pt/publications/work-related-musculoskeletal-disorders-why-are-they-still-so-prevalent-evidence-literature-review>

Dempsey, P. C., Handcock, P. J., & Rehrer, N. J. (2013). Impact of police body armour and equipment on mobility. *Applied Ergonomics*, 44(6), 957-961. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.02.011>

Department of the Army, H., & United States Marine Corps, H. (2022). ATP 3-06/MCTP 12-10B - URBAN OPERATIONS. https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/ARN35826-ATP_3-06-000-WEB-1.pdf

Dijksma, I., Zimmermann, W., Hertenberg, E.-J., Lucas, C., & Stuiver, M. (2022). One out of four recruits drops out from elite military training due to musculoskeletal injuries in the Netherlands Armed Forces. *BMJ Military Health*, 168, 136-140. <https://doi.org/10.1136/bmjmilitary-2020-001420>

Fenn, B. P., Song, J., Casey, J., Waryasz, G. R., DiGiovanni, C. W., Lubberts, B., & Guss, D. (2021). Worldwide epidemiology of foot and ankle injuries during military training: a systematic review. *BMJ Military Health*, 167(2), 131–136. <https://doi.org/10.1136/bmjmilitary-2020-001591>

Gimigliano, F., Resmini, G., Moretti, A., Aulicino, M., Gargiulo, F., Gimigliano, A., Liguori, S., Paoletta, M., & Iolascon, G. (2021). Epidemiology of Musculoskeletal Injuries in Adult Athletes: A Scoping Review. *Medicina*, 57(10), 1118. <https://doi.org/10.3390/medicina57101118>

Giorgio, I., dell'Isola, F., Andreaus, U., & Misra, A. (2023). An orthotropic continuum model with substructure evolution for describing bone remodeling: an interpretation of the primary mechanism behind Wolff's law. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 22, 2135–2152. <https://doi.org/10.1007/s10237-023-01755-w>

Hall, S. J. (2021). *Basic Biomechanics*. (9th ed.). McGraw Hill LLC.

Kaplan, J.T., Ramsay, J.W., Cameron, S.E., Seymore, K. D., Brehler, M., Thawait, G. T., Zbijewski, W. B., Siewerdsen J. H., & Brown, T. N. (2020). Association Between Knee Anatomic Metrics and Biomechanics for Male Soldiers Landing With Load. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(6), 1389-1397. <https://doi.org/10.1177/0363546520911608>

- Logerstedt, D. S., Ebert, J. R., MacLeod, T. D., Heiderscheit, B. C., Gabbett, T. J., & Eckenrode, B. J. (2021). Effects of and Response to Mechanical Loading on the Knee. *Sports Medicine*, 52(2), 201–235. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01579-7>
- López-Rodríguez, G., & Montoya-Roldan, D. (2024). Challenges and Prospects in Urban Warfare: An Analytical Framework. *Contemporary Military Challenges*, 26(2), 35–47. <https://doi.org/10.2478/cmc-2024-0012>
- Lovalekar, M., Hauret, K., Roy, T., Taylor, K., Blacker, S. D., Newman, P., Yanovich, R., Fleischmann, C., Nindl, B. C., Jones, B., & Canham-Chervak, M. (2021). Musculoskeletal injuries in military personnel—Descriptive epidemiology, risk factor identification, and prevention. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.016>
- Majumdar, D., Pal, M. S., & Majumdar, D. (2010). Effects of military load carriage on kinematics of gait. *Ergonomics*, 53(6), 782–791. <https://doi.org/10.1080/00140131003672015>
- Majumdar, D., Pal, M. S., Pramanik, A., & Majumdar, D. (2013). Kinetic changes in gait during low magnitude military load carriage. *Ergonomics*, 56(12), 1917–1927. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.835871>
- Mexi, A., Kafetzakis, I., Korontzi, M., Karagiannakis, D., Kalatzis, P., & Mandalidis, D. (2023). Effects of Load Carriage on Postural Control and Spatiotemporal Gait Parameters during Level and Uphill Walking. *Sensors*, 23(2), 609. <https://doi.org/10.3390/s23020609>
- Molloy, J. M., Pendergrass, T. L., Lee, I. E., Chervak, M. C., Hauret, K. G., & Rhon, D. I. (2020). Musculoskeletal Injuries and United States Army Readiness Part I: Overview of Injuries and their Strategic Impact. *Military Medicine*, 185(9-10), e1461-e1471. <https://doi.org/10.1093/milmed/usaa027>
- Orr, R. M., Pope, R., Johnston, V., & Coyle, J. (2013). Soldier occupational load carriage: a narrative review of associated injuries. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21(4), 388–396. <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.833944>
- Ponkilainen, V., Kuitunen, I., Liukkonen, R., Vaajala, M., Reito, A., & Uimonen, M. (2022). The incidence of musculoskeletal injuries: a systematic review and meta-analysis. *Bone & Joint Research*, 11(11), 814–825. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.1111.bjr-2022-0181.r1>
- Purevsuren, T., Khuyagbaatar, B., Kim, K., & Hyuk, Y. (2018). Investigation of Knee Joint Forces and Moments during Short-Track Speed Skating Using Wearable Motion

- Analysis System. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 19(7), 1055–1060. <https://doi.org/10.1007/s12541-018-0125-9>
- Reis, F. L. (2022). *Investigação Científica e Trabalhos Académicos - Guia Prático* (2ª ed.). Edições Sílabo
- Richards, J. (2018). *The Comprehensive Textbook of Clinical Biomechanics* (2ª ed.). Elsevier.
- Robertson, D. G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2014). *Research Methods in Biomechanics* (2ª ed.). Human Kinetics.
- Santos, J. (2021). *Identificação de Requisitos para Desenvolvimento de Exosqueletos no âmbito da Infantaria* [Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada]. Academia Militar.
- Santos, L. A. B., & Lima, J. M. M. (Coord.) (2019). *Orientações metodológicas para a elaboração de trabalhos de investigação* (2ª ed., revista e atualizada). Cadernos do IUM, 8. Lisboa: Instituto Universitário Militar. https://www.ium.pt/files/publicacoes/Cadernos/8/Cadernos_IUM_8_Orientacoes_Metodologicas_TI_2Ed.pdf
- Sawicki, G. S., Beck, O. N., Kang, I., & Young, A. J. (2020). The exoskeleton expansion: Improving walking and running economy. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(25). <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00663-9>
- Scofield, D. E., & Kardouni, J. R. (2015). The Tactical Athlete: A Product of 21st Century Strength and Conditioning. *National Strength and Conditioning Association*, 37(4), 2–7. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000149>
- Siedlecki, S. L. (2020). Understanding Descriptive Research Designs and Methods. *Clinical Nurse Specialist*, 34(1), 8–12. <https://doi.org/10.1097/NUR.0000000000000493>
- Stein, J. A., Hepler, T. C., Cosgrove, S. J., & Heinrich, K. M. (2021). Critical tasks from the Global War on Terror: A combat-focused job task analysis. *Applied Ergonomics*, 95, 103465. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103465>
- Swedberg, R. (2020). Exploratory Research. In C. Elman, J. Gerring, & J. Mahoney (Eds.), *The Production of Knowledge: Enhancing Progress in Social Science* (pp. 17–41). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108762519.002>
- Tipton, M. J., Milligan, G. S., & Reilly, T. J. (2013). Physiological Employment Standards I. Occupational Fitness Standards: Objectively Subjective?. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2435–2446. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2569-4>

- Tong, J., Subramani, A. V., Kote, V., Baggaley, M., Edwards, W. B., & Reifman, J. (2023). Effects of Stature and Load Carriage on the Running Biomechanics of Healthy Men. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(8), 2445–2453. <https://doi.org/10.1109/tbme.2023.3248504>
- Tornero-Aguilera, J.F., Stergiou, M., Rubio-Zarapuz, A., Martín-Rodríguez, A., Massuça, L.M., & Clemente-Suárez, V. J. (2024). Optimising Combat Readiness: Practical Strategies for Integrating Physiological and Psychological Resilience in Soldier Training. *Healthcare*, 12(12), 1160. <https://doi.org/10.3390/healthcare12121160>
- Walsh, G. S., & Low, D. C. (2021). Military load carriage effects on the gait of military personnel: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 93, 103376. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103376>
- Wooditch, A., Johnson, N. L., Solymosi, R., Medina Ariza, J., & Langton, S. (2021). *A Beginner's Guide to Statistics for Criminology and Criminal Justice Using R* (1^a ed.). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-50625-4>
- Yao, X., Li, H., & Xiu, C. (2024). Biomechanical Analysis of Injury Risk in Two High-Altitude Landing Positions Using Xsens Inertial Units and EMG Sensors. *Sensors*, 24(21), 6822. <https://doi.org/10.3390/s24216822>
- Yeap, M. W., Ramasamy, Y., Usman, J., King, M., & Razman, R. (2025). Knee Abduction Angles and Landing Kinematics in Badminton Jump Smash: A Study of ACL Injury Risk Factors. *Bioengineering*, 12(4), 343. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12040343>
- Yunus, M. H. M., Nordin, A., & Kamal, H. (2020). Pathophysiological Perspective of Osteoarthritis. *Medicina*, 56(11), 614. <https://doi.org/10.3390/medicina56110614>

APÊNDICES

APÊNDICE A – CONSENTIMENTO INFORMADO

CONSELHO DE ÉTICA DA FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA

CONSENTIMENTO INFORMADO LIVRE E ESCLARECIDO PARA INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA COM SERES HUMANOS

Título do projeto ou estudo: Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa

Pessoa responsável pelo projeto: Bruno Mendes

Instituição de acolhimento: Academia Militar

Este documento, designado **Consentimento, Informado, Livre e Esclarecido**, contém informação importante em relação ao estudo para o qual foi abordado/a, bem como o que esperar se decidir participar no mesmo. Leia atentamente toda a informação aqui contida. Deve sentir-se inteiramente livre para colocar qualquer questão, assim como para discutir com terceiros (amigos, familiares) a decisão da sua participação neste estudo.

Informação geral
Esta investigação visa uma abordagem pormenorizada acerca das tarefas do atirador, mais precisamente a transposição e receção ao solo de dada altura, a marcha fletida e o arraste de feridos, através de uma análise em contexto laboratorial relativa aos aspetos cinemáticos e cinéticos destes movimentos. A metodologia empregada compreenderá a utilização de tecnologias avançadas de captura de movimento, juntamente com equipamentos especializados para a mensuração das forças presentes neste tipo de tarefas.
Esta pesquisa tem como finalidade identificar e caracterizar os movimentos e forças presentes neste tipo de tarefas, de modo a promover uma melhor compreensão destes dados biomecânicos responsáveis por influenciar a movimentação do atirador.
Qual a duração esperada da minha participação?
A duração da sessão será de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

Quais os procedimentos do estudo em que vou participar?

Para a realização deste estudo está a ser convidado a:

- Responder a 1 questionário que inclui questões sobre alguns dados pessoais, de modo a obter uma melhor caracterização da amostra.

- Realizar 5 repetições de marcha fletida (cerca de 5 m)
- Realizar 5 repetições de transposição e 5 repetições de receção ao solo
- Realizar 5 repetições arraste do ferido (cerca de 10 m)

Para a marcha fletida, ser-lhe-á pedido que caminhe agachado, de acordo com o seu treino habitual em áreas subterrâneas (Ex: esgotos) e passar por baixo de janelas, ao longo da diagonal do laboratório, até serem recolhidos 5 passos para cada lado, com dados cinemáticos e cinéticos. Estima-se que tenha de passar pela diagonal aproximadamente 10 vezes. Para a transposição e receção da mesma, ser-lhe-á pedido que faça a aproximação ao obstáculo (plinto de ginástica com 90 cm de altura) e o transponha, como se estivesse numa situação de combate. Estima-se que sejam necessárias aproximadamente 12 repetições desta tarefa. Para o arraste do ferido, deverá atravessar a diagonal do laboratório enquanto arrasta um manequim (75 kg) que usa habitualmente no treino desta tarefa. Serão também pedidas 5 repetições desta tarefa. Todas as tarefas serão realizadas com o seu equipamento de proteção individual, pronto para combate.

Antes de realizar estas tarefas, poderemos fixar 17 sensores inerciais com velcro ao seu equipamento em vários segmentos corporais (pés, pernas, coxas, sacro, externo, omoplatas, cabeça, braços, antebraços e mãos), e pedir-lhe que realize uma calibração que consiste em primeiramente manter-se estático na posição anatómica, e posteriormente dar cerca de 10 passos de marcha. Alternativamente aos sensores, durante a realização das tarefas, serão utilizadas câmaras de vídeo para registar o seu padrão de movimento.

A minha participação é voluntária?

A sua participação é voluntária e pode recusar-se a participar. Caso decida participar neste estudo é importante ter conhecimento que pode desistir a qualquer momento, sem qualquer tipo de consequência para si. No caso de decidir abandonar o estudo, a sua relação com a Faculdade de Motricidade Humana (FMH) não será afetada. Se for o caso, o seu estatuto enquanto estudante ou funcionário da FMH será mantido e não sofrerá nenhuma consequência da sua não-participação ou desistência.

Quais os possíveis benefícios da minha participação?

A participação neste estudo contribuirá para aprofundar a análise e a descrição dos movimentos e das forças presentes nas tarefas críticas do atirador, com o intuito de ampliar a sua compreensão relativa aos dados biomecânicos que moldam seu desempenho. A falta de informação relativa a esta temática, faz desta investigação um marco importante na área, contribuindo com a identificação de melhorias na eficácia e eficiência nas tarefas críticas do atirador, auxiliando e corrigindo os movimentos do atirador.

Quais os possíveis riscos da minha participação?
Existe sempre algum risco de lesão associado a ações desportivas, contudo as ações desportivas que serão testadas, são realizadas inúmeras vezes durante a prática das várias instruções na unidade, com maior imprevisibilidade do que será realizada no teste. Por esta razão, não é espectável que exista qualquer risco superior ao que já está sujeito durante uma sessão de instrução militar.
Quem assume a responsabilidade, no caso de um evento negativo?
A instituição e a equipa de investigação rejeitam qualquer responsabilidade por lesões ou acidentes que possam ocorrer, bem como pelos seus efeitos ou consequências, cuja causa não seja atribuível a manifestos erros ou omissões de ordem técnica na aplicação dos testes de avaliação. A assinatura deste termo de consentimento implica a aceitação expressa desta limitação de responsabilidade.
Há cobertura por uma companhia de seguros?
No caso de algum evento negativo, os militares estão cobertos pelo subsistema de saúde público ADM – Assistência na Doença aos Militares.
Como é assegurada a confidencialidade dos dados?
A informação obtida nestes estudos é confidencial e não será revelada a pessoa alguma, exceto à equipa responsável por este estudo. A confidencialidade dos dados será sempre garantida substituindo o seu nome por um código, conhecido exclusivamente pelos investigadores. Este código consta no canto superior direito da primeira página deste documento. Os resultados dos estudos serão tratados e apresentados de forma inteiramente anónima. As imagens de vídeo destinam-se a um tratamento exclusivamente reservado aos investigadores, sem que seja objeto de divulgação pública. Apenas os dados cinemáticos que resultam deste tratamento é que serão divulgados sob a forma de uma base de dados normativa. No entanto, para além de ser retirado o seu nome, nesta base de dados (normativa) não constará qualquer informação que permita a sua identificação direta ou indireta (por exemplo, contacto telefónico ou endereço de email, nome da instituição, ou imagens). Após a recolha, os dados em formato de papel serão guardados num armário trancado, e os dados digitais serão armazenados num servidor seguro, ambos pertencentes à instituição que acolhe este estudo, apenas acessíveis pelos membros da equipa de investigação.
O que acontecerá aos dados quando a investigação terminar?
Com a sua autorização, os dados brutos da base de dados eletrónica passarão a fazer parte da base de dados do Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional e poderão ser posteriormente usados exclusivamente para fins de investigação, sendo sempre garantido o seu anonimato. Caso contrário, os dados serão apagados do servidor 5 anos após a última publicação deste projeto.

Como irão os resultados do estudo ser divulgados e com que finalidades?
Os resultados deste projeto irão ser utilizados apenas para fins de investigação, estando planeado a publicação de um trabalho de investigação aplicada de acordo com as regras de publicação da Academia Militar, ficando disponível no repositório da instituição, bem como na plataforma RCAAP disponível para toda a comunidade científica. Em nenhuma circunstância será possível a sua identificação durante a apresentação dos dados. Se estiver interessado em receber alguma destas publicações por favor contacte-nos para mendes.brl@academiamilitar.pt
Em caso de dúvidas quem devo contactar?
Para qualquer questão relacionada com a sua participação neste estudo, por favor, contactar a equipa de investigação. Nessa situação, faremos o nosso melhor para responder às suas questões. Poderá contactar-nos através do seguinte mendes.brl@academiamilitar.pt

Assinatura do Consentimento Informado, Livre e Esclarecido

Li (ou alguém leu para mim) o presente documento e estou consciente do que esperar quanto à minha participação no estudo “Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa”. Tive a oportunidade de colocar todas as questões e as respostas esclareceram todas as minhas dúvidas. Assim, aceito voluntariamente participar neste estudo. Foi-me dada uma cópia deste documento.

Nome do participante

Assinatura do participante

Data

Investigador/Equipa de Investigação

Os aspetos mais importantes deste estudo foram explicados ao participante ou ao seu representante, antes de solicitar a sua assinatura. Uma cópia deste documento ser-lhe-á fornecida.

Nome da pessoa que obtém o consentimento

Assinatura da pessoa que obtém o consentimento

Data

APÊNDICE B – INQUÉRITO POR QUESTIONÁRIO

Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa

O presente questionário serve para fins meramente académicos, inserindo-se no estudo “Avaliação da carga mecânica articular das tarefas críticas do atirador por dinâmica inversa”, que tem como objetivo investigar os movimentos e forças articulares envolvidas nas tarefas críticas do atirador, no âmbito da realização de uma investigação em Ciências Militares.

Este trabalho de investigação visa uma abordagem pormenorizada acerca das tarefas do atirador, mais precisamente a transposição e receção ao solo de dada altura, a marcha fletida e o arraste de feridos, através de uma análise em contexto laboratorial. Com esta investigação pretende-se identificar as forças envolvidas neste tipo de tarefas e também identificar possíveis melhorias na eficácia e eficiência dos movimentos realizados pelo soldado.

Para a realização desta investigação a sua participação é fundamental. Este questionário é confidencial e serve apenas para contribuir para uma melhor caracterização da amostra dos participantes.

O estudo tem como investigadores:

Professora Doutora Sílvia Cabral (FMH)

Professor Auxiliar Convidado Nuno Almeida (AM)

Aspirante-Aluno INF Bruno Mendes (principal investigador) -
mendes.br@academiamilitar.pt

Nenhuma resposta será considerada certa ou errada. Analise as respostas de forma inequívoca e não deixe nenhuma questão por responder.

Tempo total para responder (previsto): 3 minutos.

Declaro ter tomado conhecimento dos objetivos do questionário da participação que me é solicitada, dando o meu consentimento. Estou ciente de que a minha participação é voluntária e que posso abandonar o questionário a qualquer altura. Estou também ciente de que os dados recolhidos serão apenas utilizados para fins de investigação e que serão tratados confidencialmente.

Concordo

Não concordo (Avançar para o fim do questionário)

Dados sociodemográficos

Idade: _____

Sexo:

Masculino

Feminino

Posto: _____

Função: _____

Anos de experiência (nº de anos desde o ano em que se alistou nas fileiras do Exército): _____

Nº Missões que realizou:

0

1

2

3 ou mais

Pratica atividade física:

Sim

Não

Se sim, quantas vezes pratica atividade física por semana (7 dias):

0 – 2

3 – 5

5 – 7

Peso (em kg): _____

Altura (em cm): _____

Agradecimentos

Agradecemos a sua participação e caso queira colocar alguma questão relacionada com o presente estudo pode fazê-lo através do seguinte contacto:

Email: mendes.brl@academiamilitar.pt

APÊNDICE C – ARMAMENTO E EQUIPAMENTO

Quadro n.º 2– Peso do Armamento e Equipamento de Combate

Designação	Representação (sem material acoplado)	Peso total (kg)
<p style="text-align: center;">Espingarda de Assalto FN SCAR-L com Designador Laser Rheinmettel LW, Lanterna Aimforce e Aimpoint CompM4 (carregador vazio)</p>		4.49
<p style="text-align: center;">Espingarda de Atirador Especial FN SCAR-H com Designador Laser Rheinmettel LW, Lanterna Aimforce e Trijicon VCOG (carregador vazio)</p>		5.27
<p style="text-align: center;">Pistola Glock 17 Gen 5 FS (carregador vazio)</p>		0.64
<p style="text-align: center;">Capacete Team Wendy com supressores de ruído Earmor M32 e braços/aranhas</p>		2.10

<p>Colete</p>		<p>7.23</p>
<p>Cinturão de Combate com Porta carregadores, Coldre, Drop Pouch, Torniquete e IFAK</p>		<p>1.55</p>
<p>Mochila Assault Pack com Água, material de planeamento e material extra</p>		<p>4.26</p>

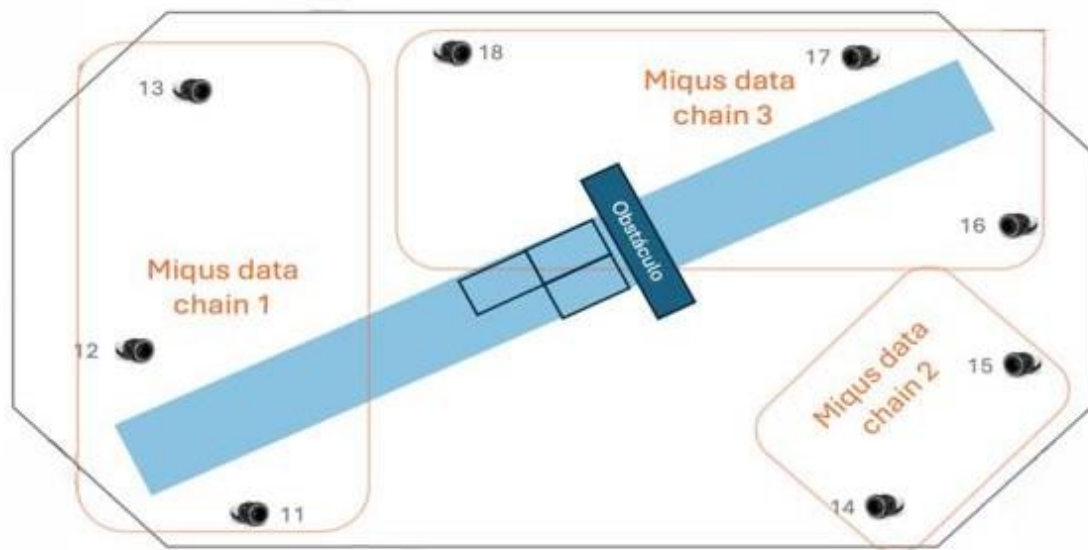
Fonte: Adaptado Alves (2022)

**APÊNDICE D – MILITAR EQUIPADO PARA REALIZAR OS
TESTES LABORATORIAIS**



Figura n.º 28 – Militar equipado e com sensores (marcas refletoras) no armamento

APÊNDICE E – DISPOSIÇÃO DO LABORATÓRIO



Computer

Figura n.º 29 – Disposição das 8 câmaras em laboratório

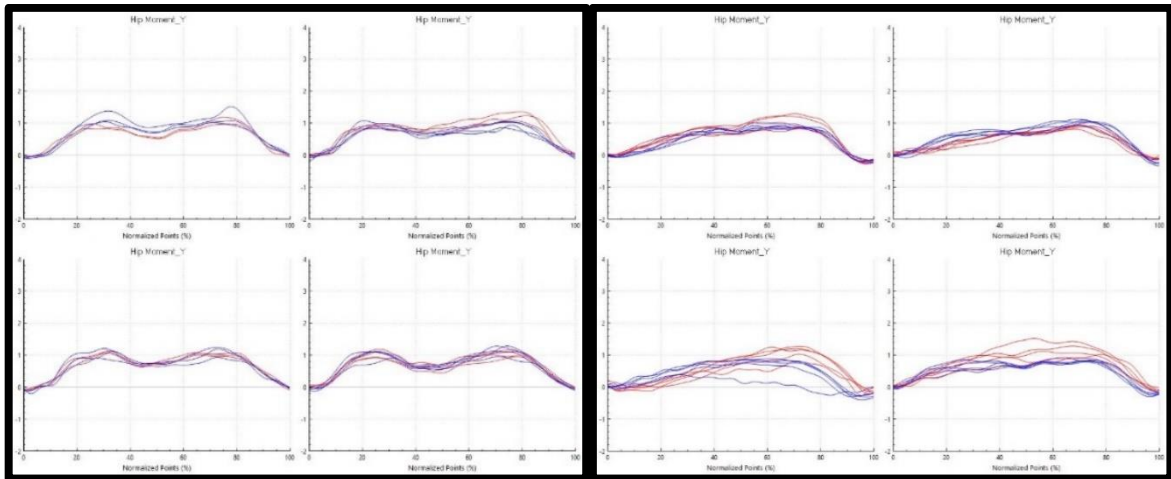
APÊNDICE F – RESULTADOS CINÉTICA

1. Plano Frontal

1.1. Anca

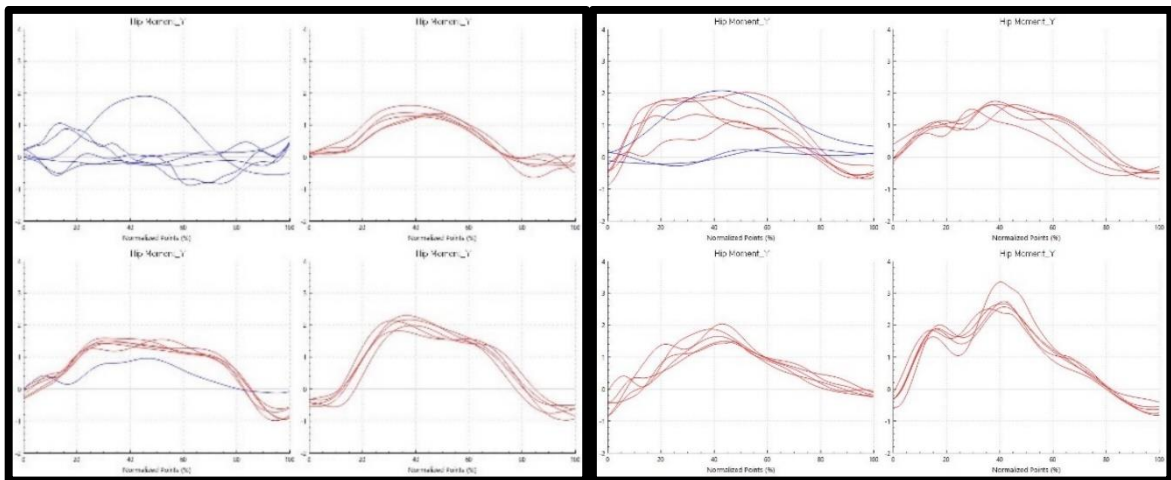
Marcha Típica

Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo

Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

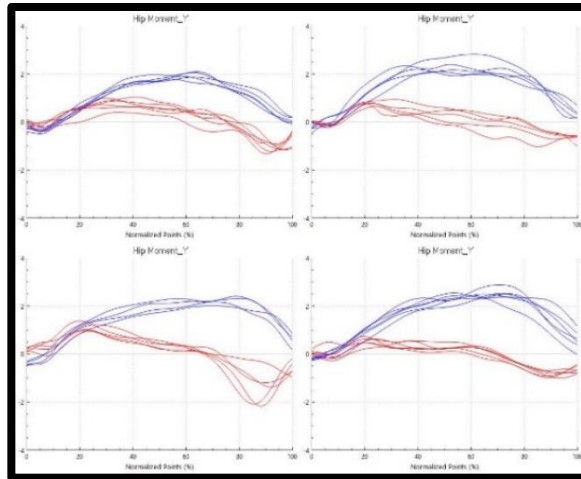
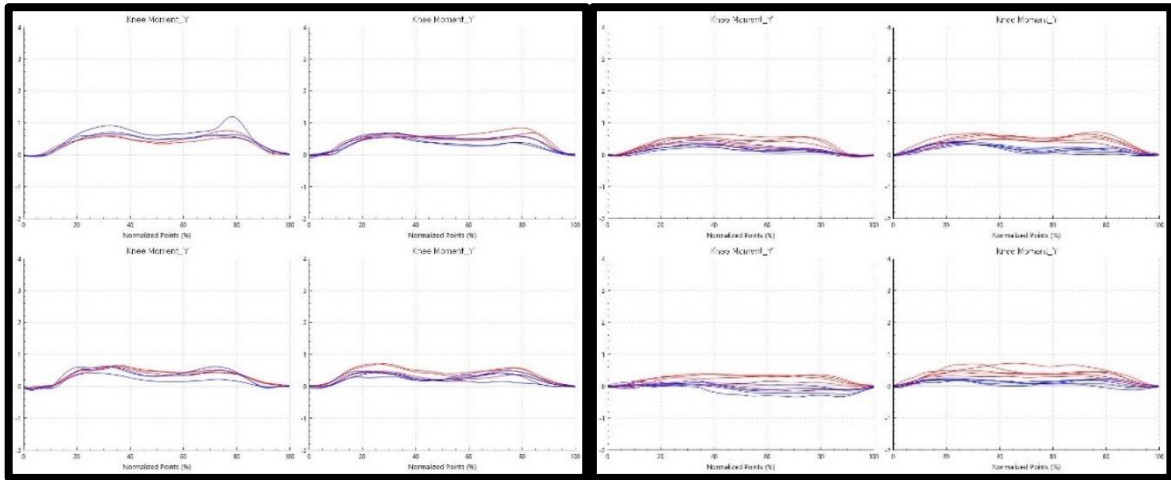


Figura n.º 30 – Cinética da anca no plano frontal

1.2. Joelho

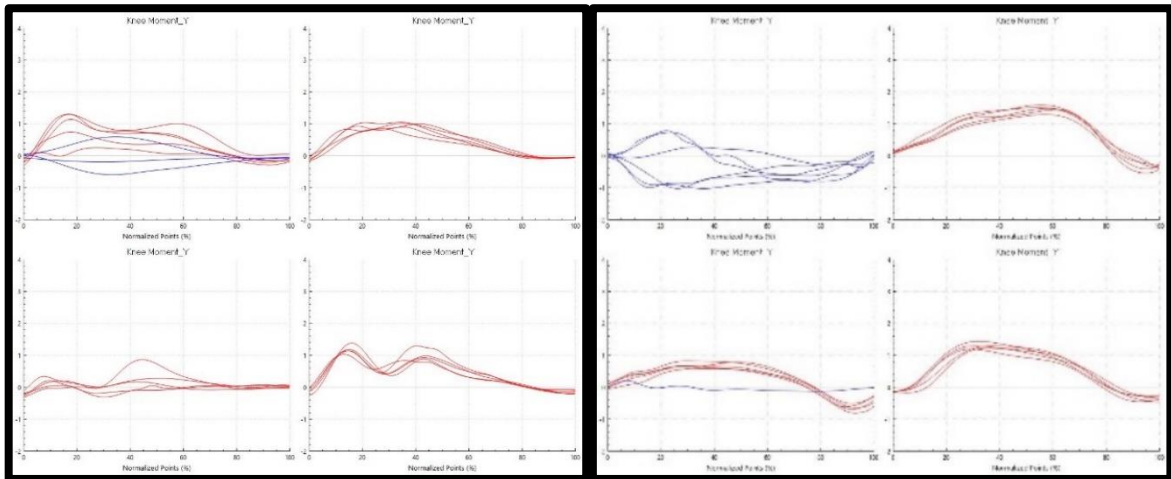
Marcha Típica

Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo

Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

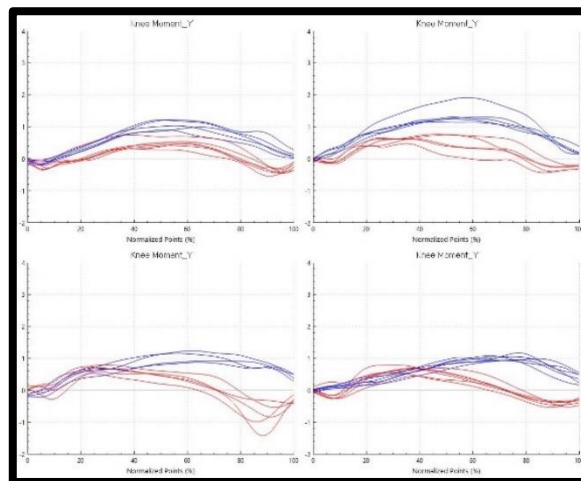
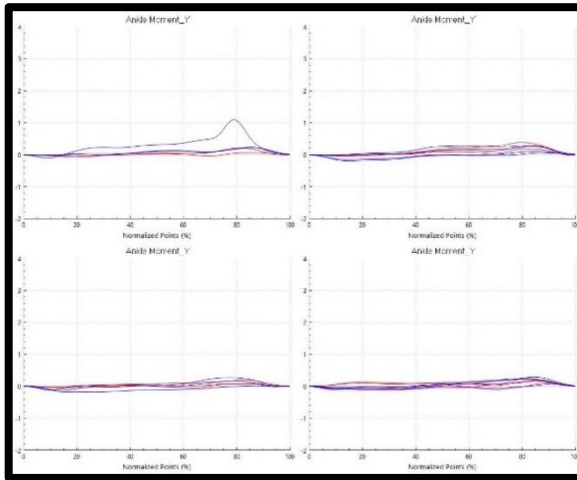


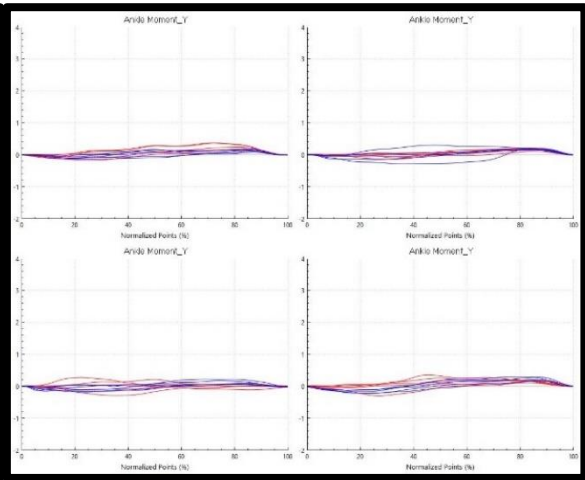
Figura n.º 31 – Cinética do joelho no plano frontal

1.3. Tornozelo

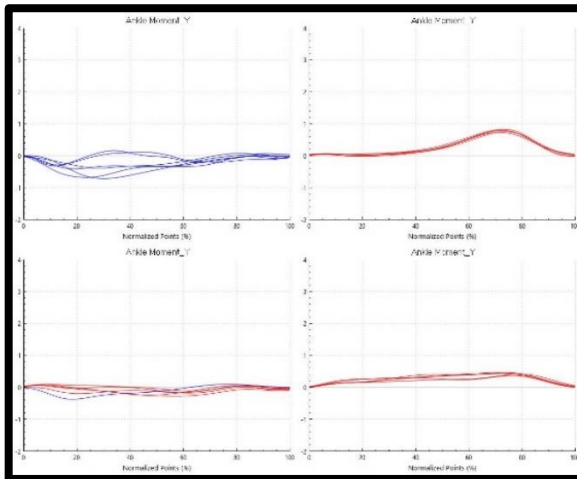
Marcha Típica



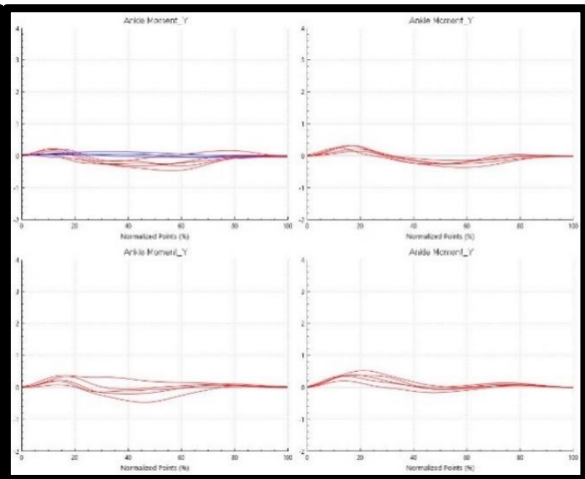
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

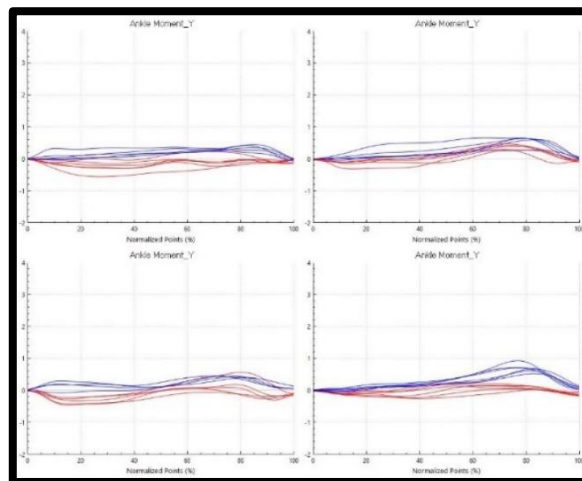
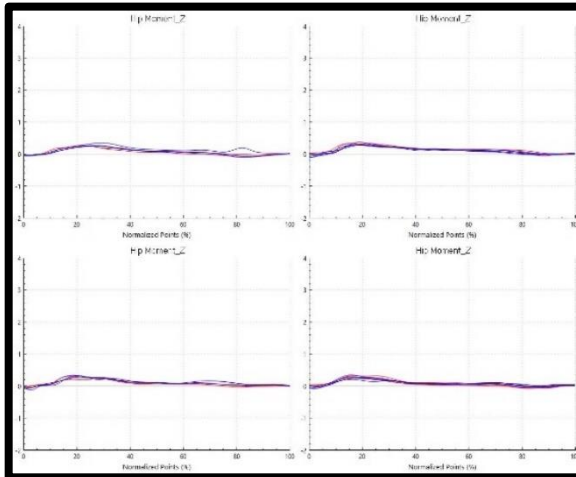


Figura n.º 32 – Cinética do tornozelo no plano frontal

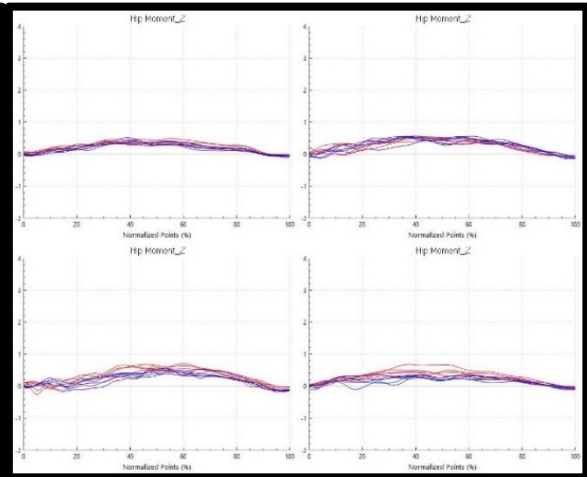
2. Plano Transversal

2.1. Anca

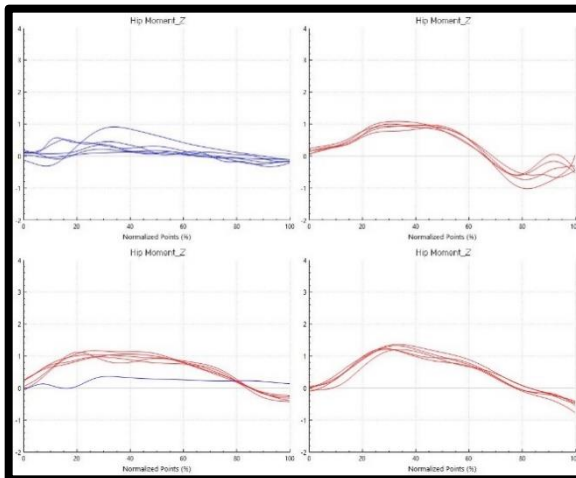
Marcha Típica



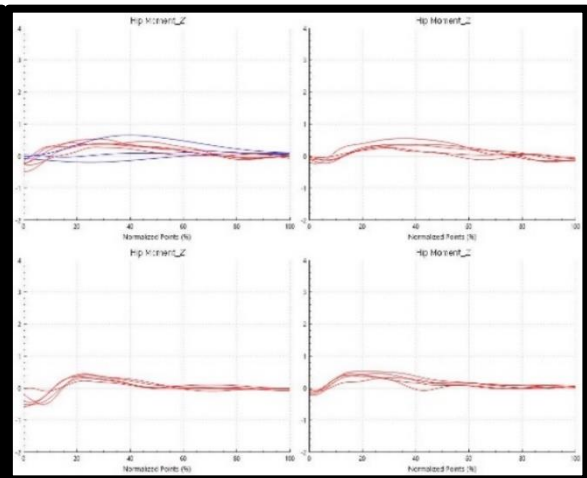
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

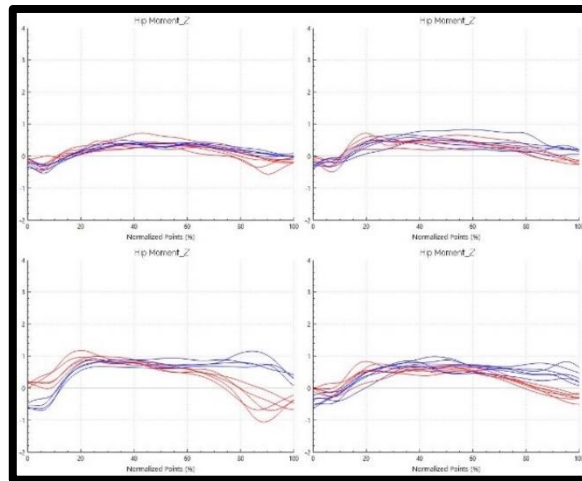
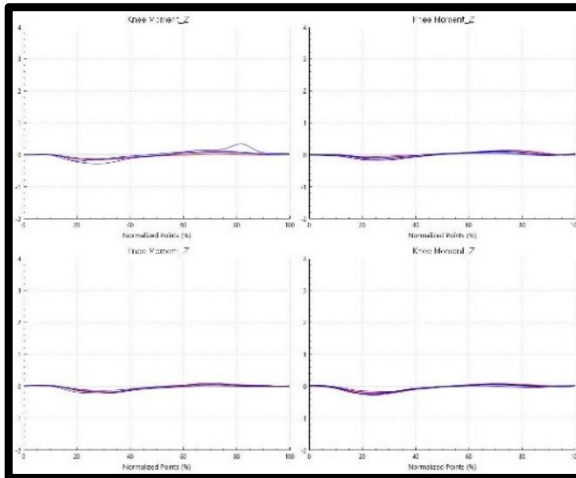


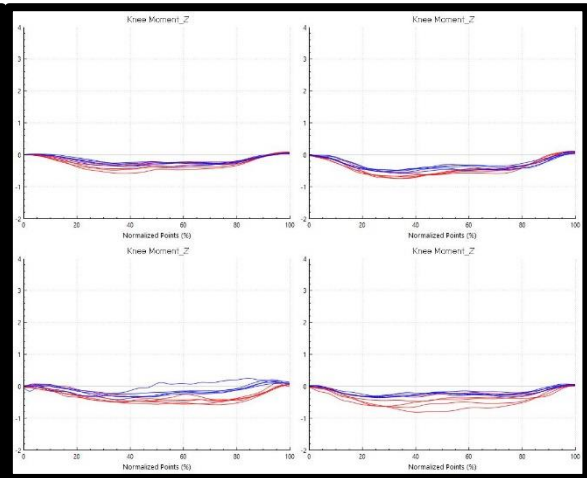
Figura n.º 33 - Cinética da anca no plano transversal

2.2. Joelho

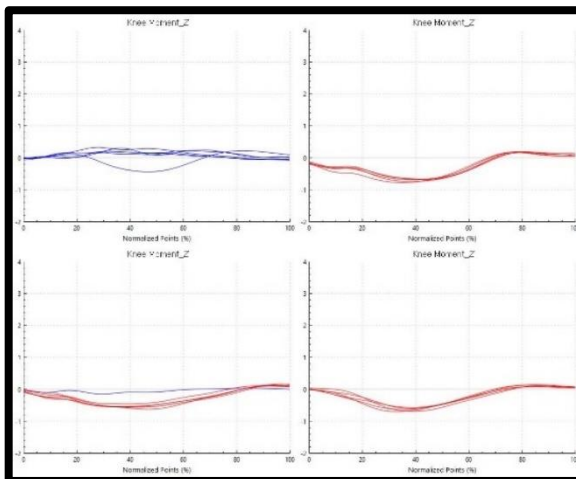
Marcha Típica



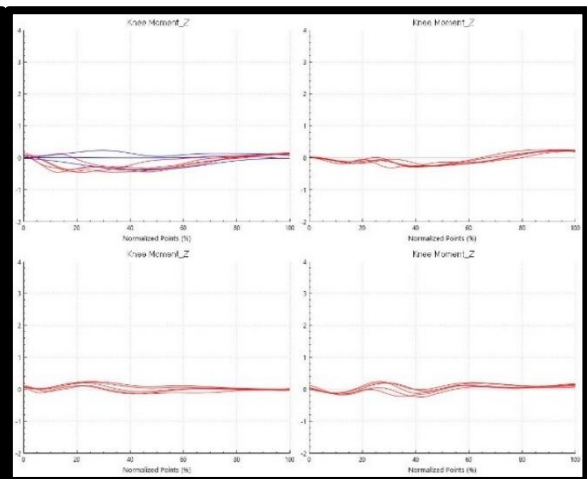
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

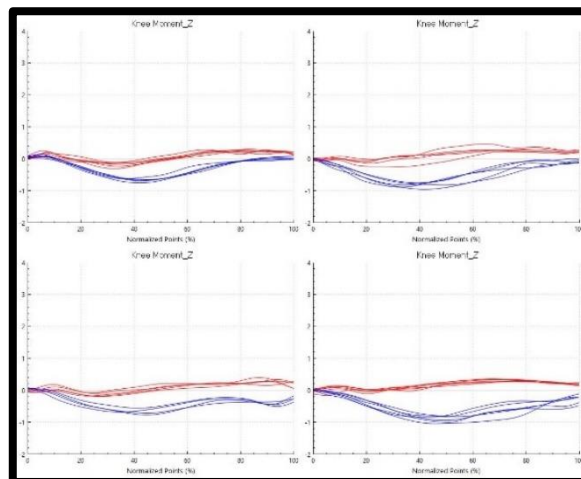
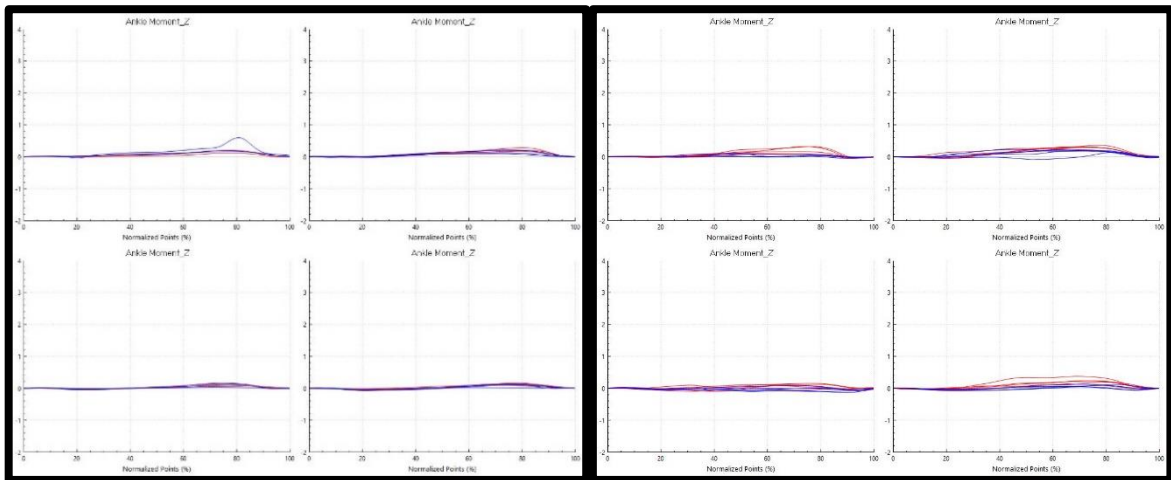


Figura n.º 34 - Cinética do joelho no plano transversal

2.3. Tornozelo

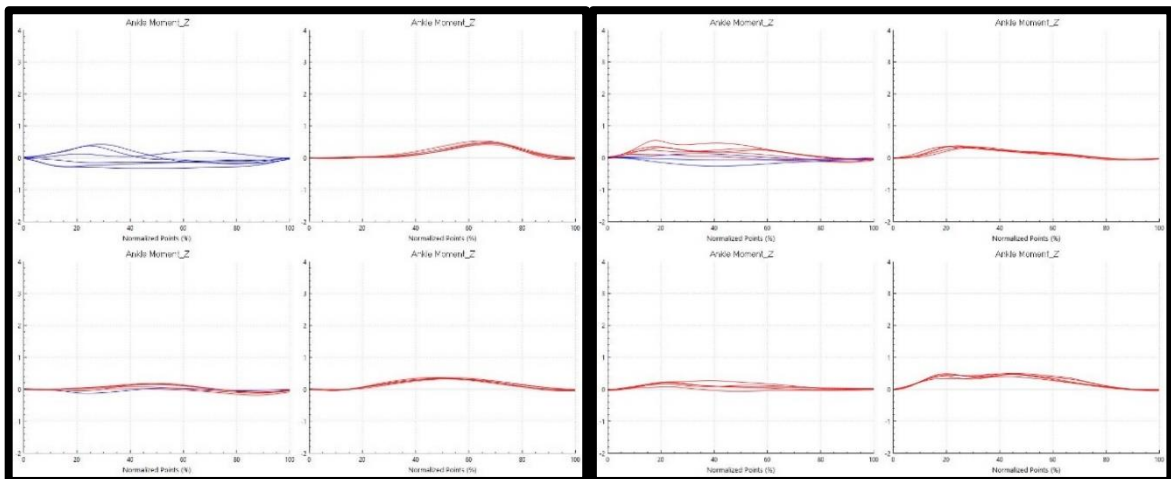
Marcha Típica

Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo

Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

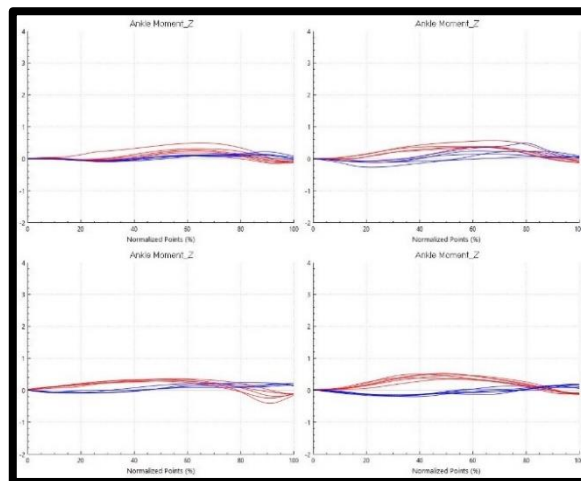


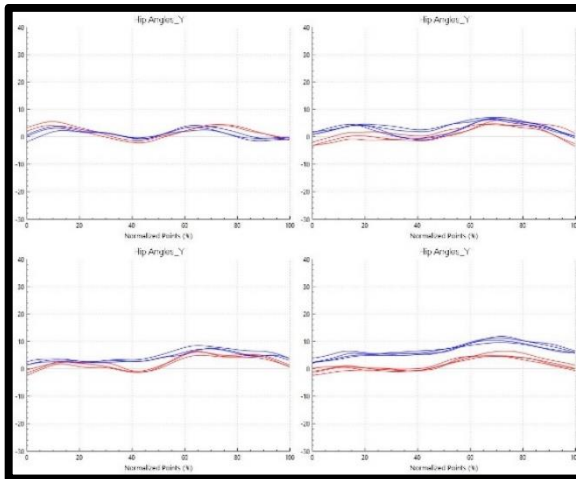
Figura n.º 35 - Cinética do tornozelo no plano transversal

APÊNDICE G - RESULTADOS CINEMÁTICA

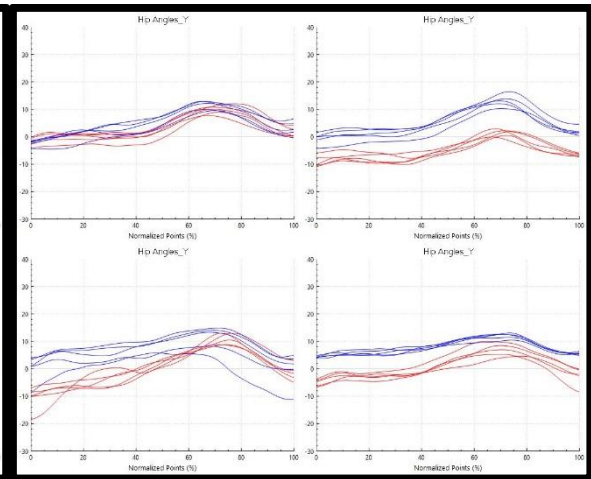
1. Plano Frontal

1.1. Anca

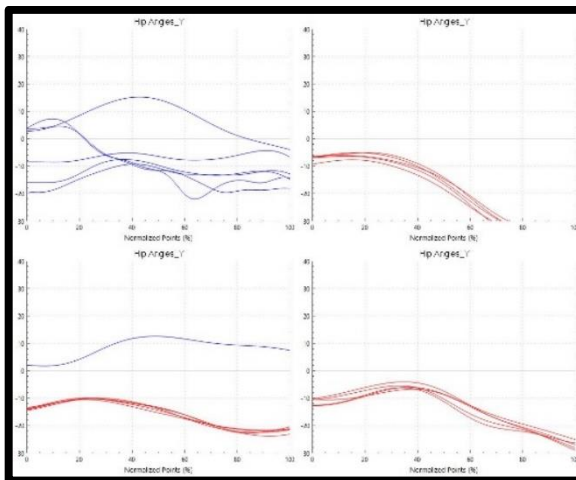
Marcha Típica



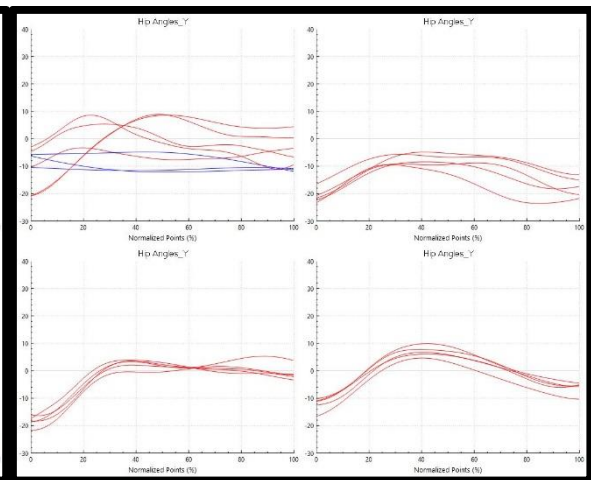
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

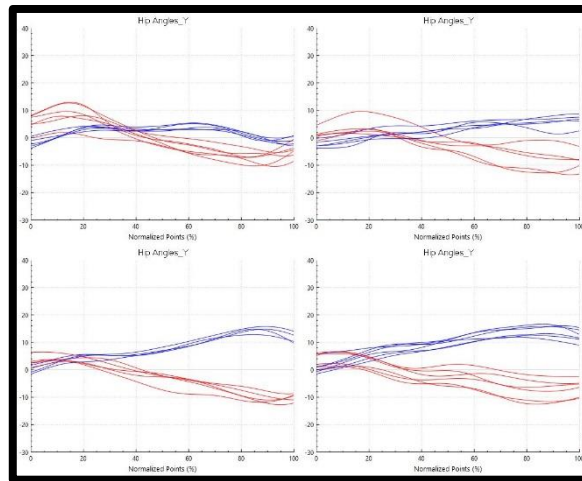
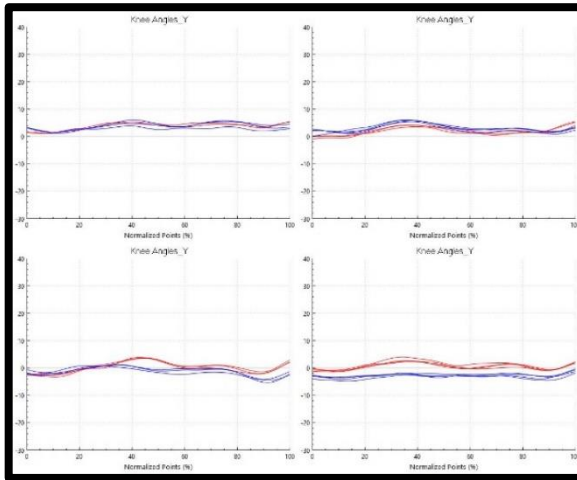


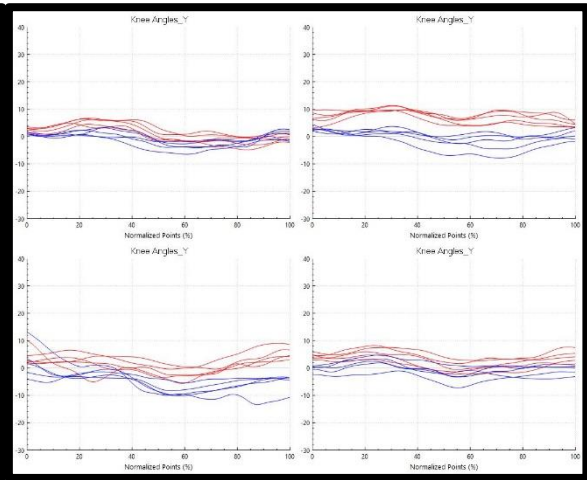
Figura n.º 36 - Cinemática da anca no plano frontal

1.2. Joelho

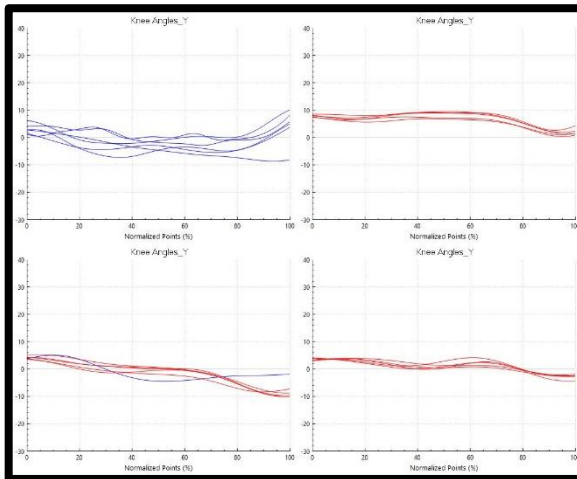
Marcha Típica



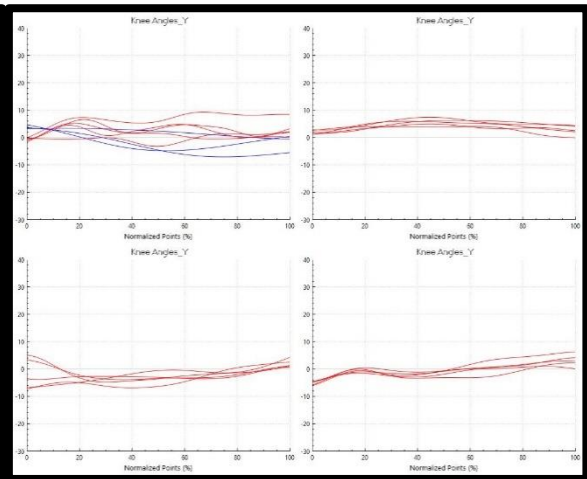
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

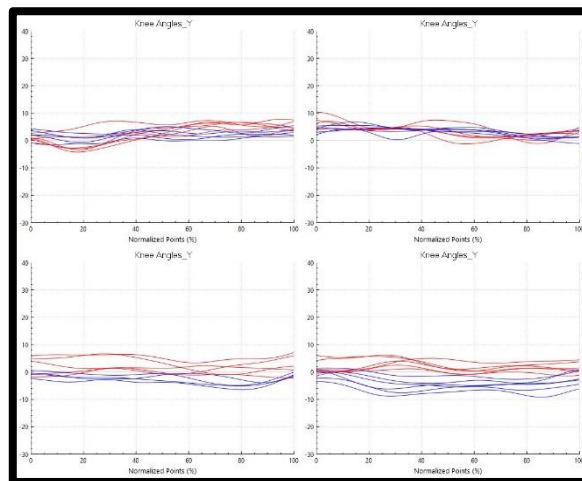
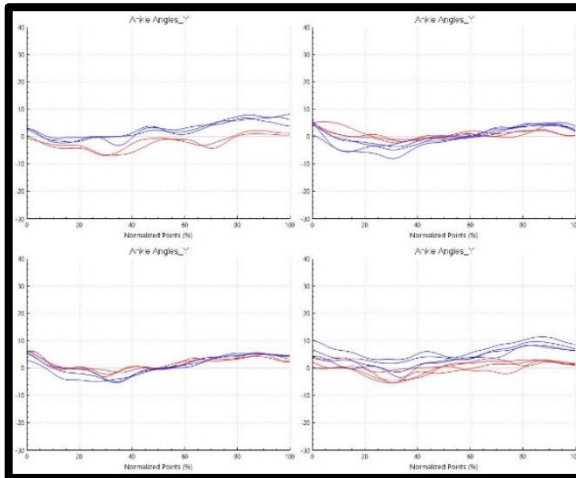


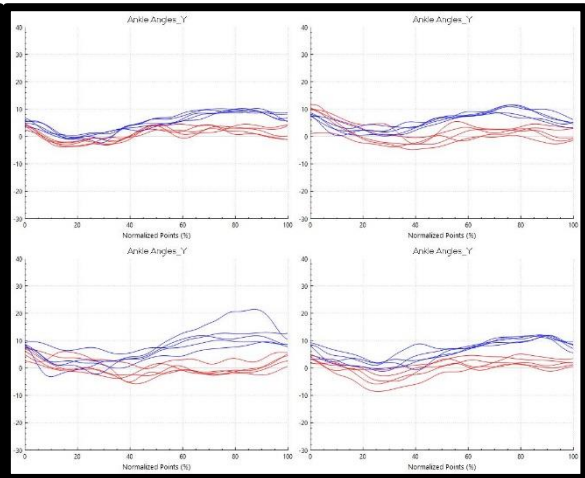
Figura n.º 37 – Cinemática do joelho no plano frontal

1.3. Tornozelo

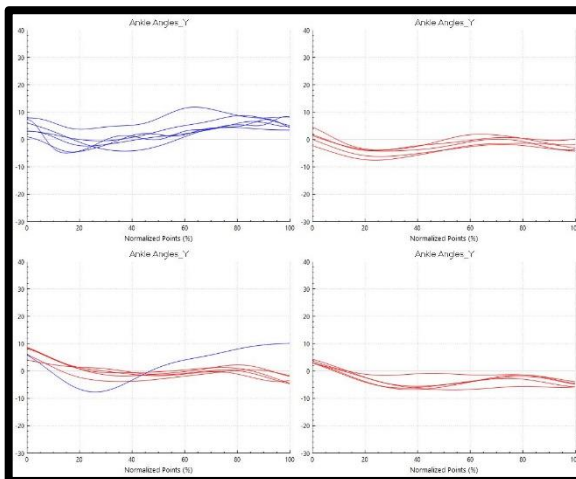
Marcha Típica



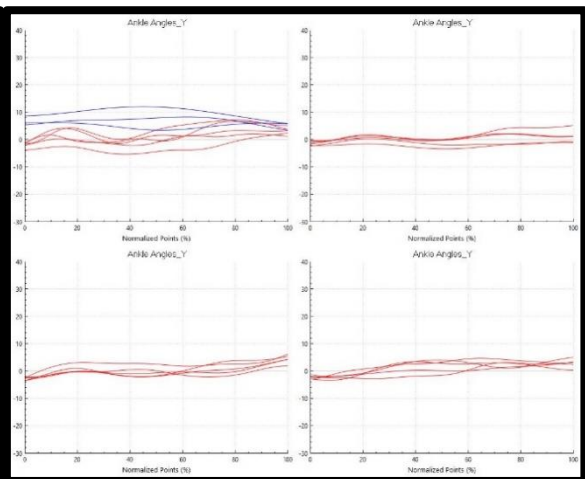
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

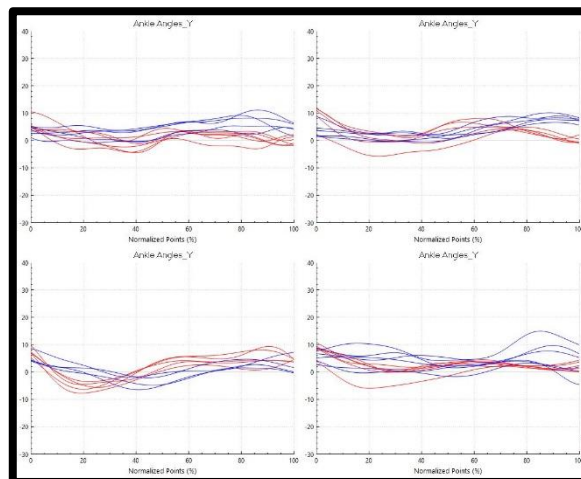
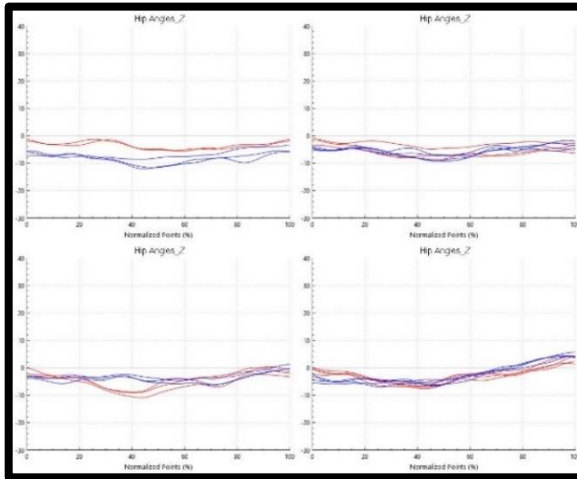


Figura n.º 38 – Cinemática do tornozelo no plano frontal

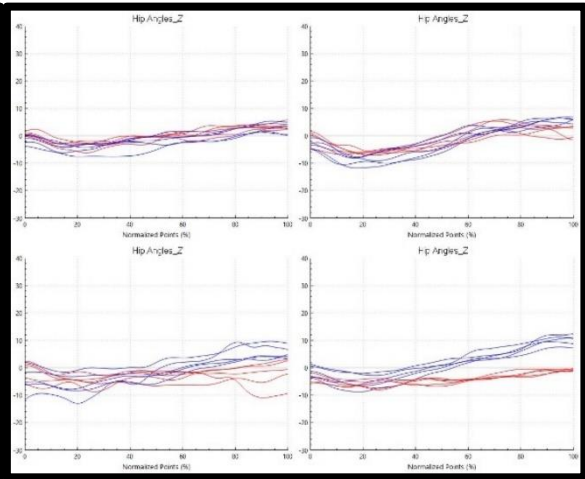
2. Plano Transversal

2.1. Anca

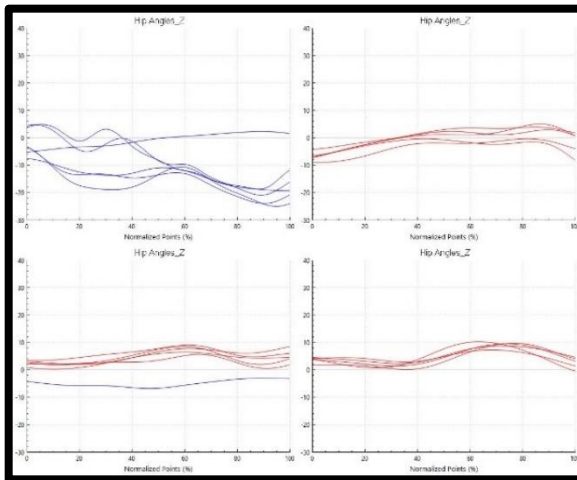
Marcha Típica



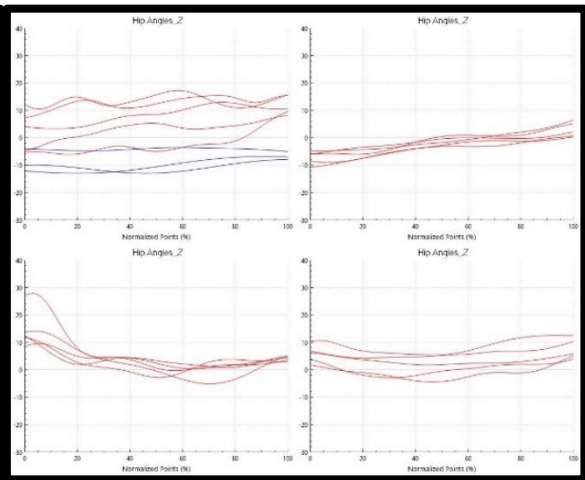
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

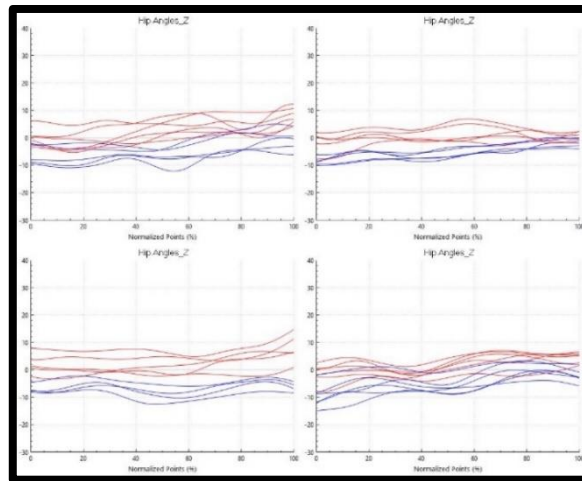
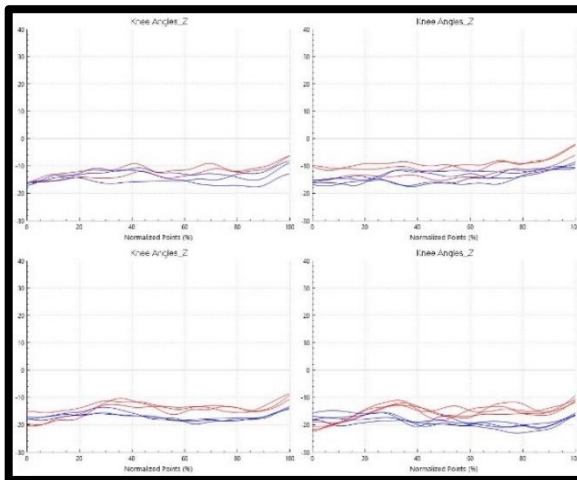


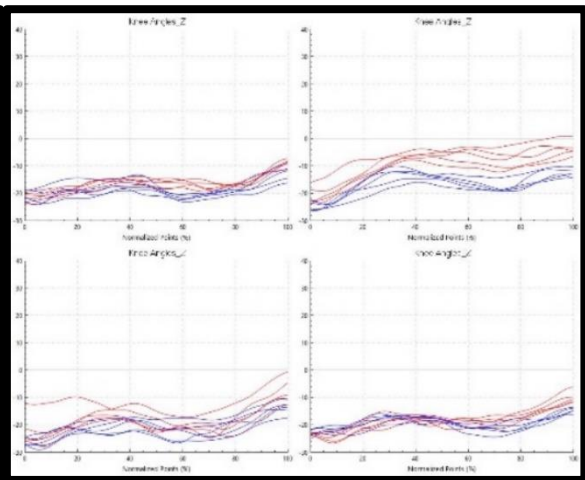
Figura n.º 39 - Cinemática da anca no plano transversal

2.2. Joelho

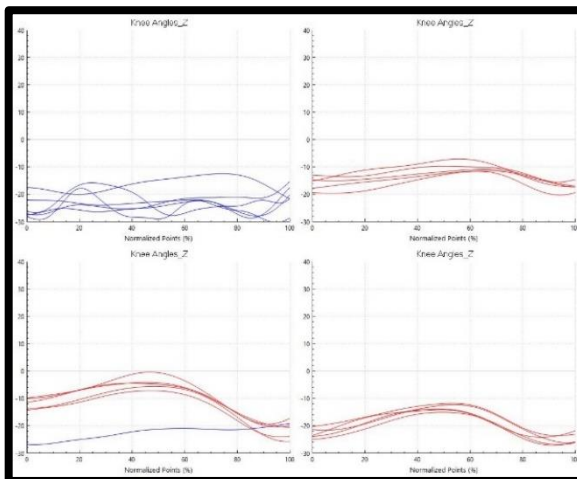
Marcha Típica



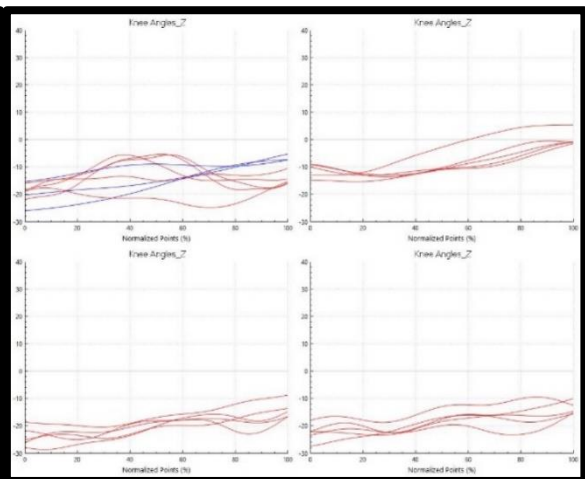
Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo



Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

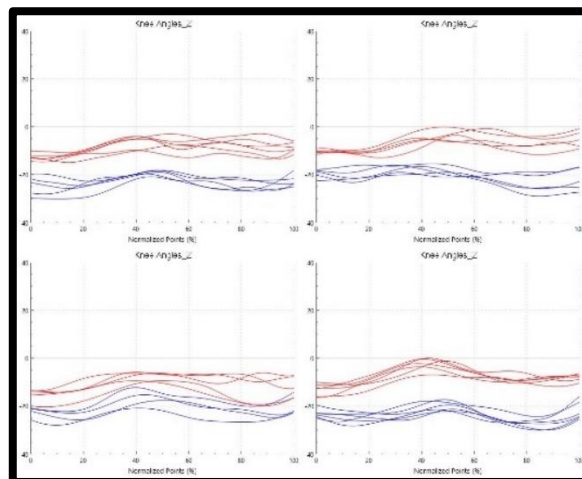
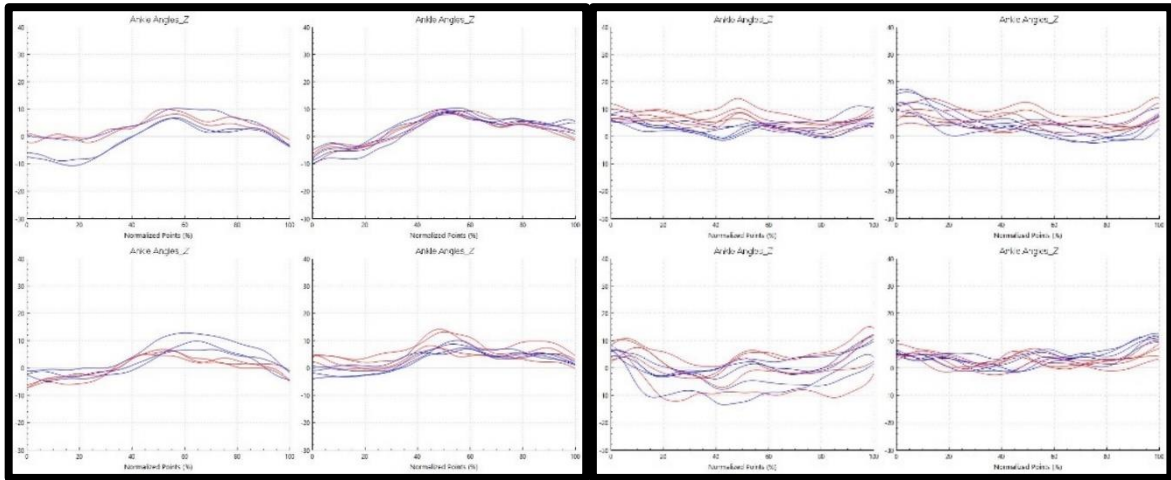


Figura n.º 40 - Cinemática do joelho no plano transversal

2.3. Tornozelo

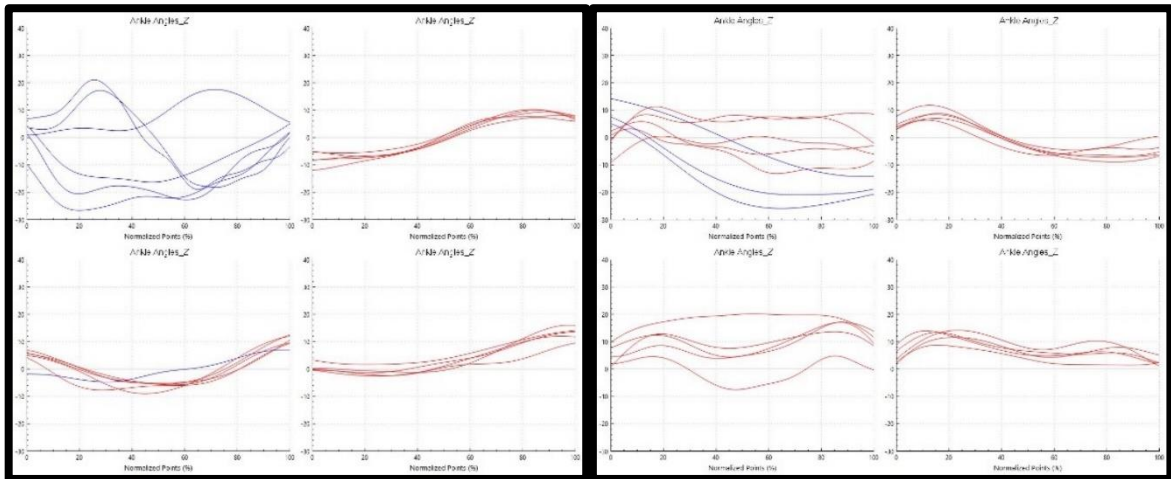
Marcha Típica

Marcha Fletida



Transposição do Obstáculo

Receção do Obstáculo



Arraste do Ferido

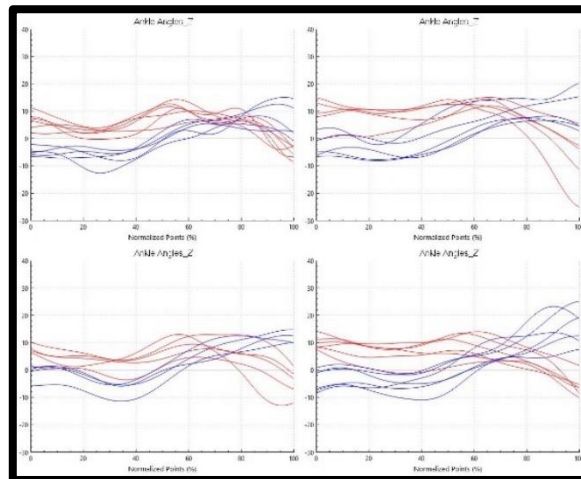


Figura n.º 41 - Cinemática do tornozelo no plano transversal