



ACADEMIA MILITAR

Caracterização da carga mecânica imposta pela função do municionador numa missão de tiro de Artilharia de Campanha

Aspirante de Artilharia Beatriz Fernandes Dâmaso

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Artilharia

Orientador: Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Coorientador: Professor Doutor Bruno Miguel Machado Pedro

Júri

Presidente: Professor Auxiliar Agregado António Paulo David Duarte

Arguente: Professora Doutora Ana Martins d'Assunção

Orientador: Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Artilharia Bruno Filipe Simões Ladeiro

junho 2025



ACADEMIA MILITAR

Caracterização da carga mecânica imposta pela função do muniçador numa missão de tiro de Artilharia de Campanha

Aspirante de Artilharia Beatriz Fernandes Dâmaso

Trabalho de Investigação Aplicada

Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Artilharia

Orientador: Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Coorientador: Professor Doutor Bruno Miguel Machado Pedro

Júri

Presidente: Professor Auxiliar Agregado António Paulo David Duarte

Arguente: Professora Doutora Ana Martins d'Assunção

Orientador: Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Artilharia Bruno Filipe Simões Ladeiro

junho 2025

EPÍGRAFE

“Artillery is as strong as the men who serve it.”

Dwight David Eisenhower

DEDICATÓRIA

Às minhas irmãs,
Que sempre me ensinaram o verdadeiro significado de
família.

E ao Bruno,
O irmão que a vida me deu.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa não só o culminar de cinco anos de uma etapa académica e profissional, mas também o reflexo do apoio e dedicação de muitas pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para a sua realização.

Em primeiro lugar, quero agradecer às minhas irmãs, Maria e Cátia, pelo amor e apoio incondicional. São a minha força e a minha motivação, tudo o que eu sou e conquistei tem um pouco de vocês nesta caminhada a que chamamos de vida.

Ao meu melhor amigo, Bruno, um irmão que a vida me deu. Obrigada pela verdadeira amizade, por me lembrares de quem eu sou, do quão longe posso chegar e por nunca me deixares desistir. A tua presença fez toda a diferença ao longo desta jornada.

Ao meu orientador, Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida, por ter aceite o desafio de orientar-me neste trabalho, pela sua disponibilidade e paciência constante ao longo deste percurso. A sua orientação foi essencial para a concretização desta investigação, agradeço todos os conhecimentos técnicos e científicos que me foram transmitidos. A sua dedicação e compromisso foram fundamentais para a construção deste trabalho, e por isso, expresso a minha mais sincera gratidão.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Bruno Miguel Machado Pedro, pela sua vasta experiência e no domínio dos conhecimentos abordados, que foram fundamentais para a estruturação e desenvolvimento deste trabalho.

Ao Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto Lucena, pela sua disponibilidade e o seu compromisso demonstrado em cada etapa do processo, por isso, manifesto o meu profundo reconhecimento e apreço. Um agradecimento especial também a todos os meus camaradas, que partilharam comigo esta caminhada, repleta de desafios, sacrifícios e conquistas.

Por fim, expresso o meu profundo agradecimento aos militares que participaram neste estudo, cuja disponibilidade e colaboração foram fundamentais para a concretização desta investigação. Sem o vosso contributo, este trabalho não teria sido possível, e espero que os seus resultados possam, de alguma forma, contribuir para a melhoria da nossa arma. Agradeço também o profissionalismo e dedicação dos docentes do Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional, da Faculdade de Motricidade Humana, da Universidade de Lisboa, cujo apoio e conhecimento foram essenciais para a realização deste estudo.

A todos, o meu sincero obrigado!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a carga mecânica e o custo metabólico imposto pela função do municionador numa secção de Artilharia de Campanha rebocada com o Obus 105mm M119 Light Gun, com o intuito de compreender as exigências solicitadas no desempenho das suas funções. A investigação centrou-se em três perguntas derivadas: o impacto da carga mecânica no desempenho físico e na cadência de tiro; o custo metabólico da função; e a avaliação da função que apresenta maior exigência entre as diferentes fases da missão. Para tal, recorreu-se à monitorização fisiológica, à análise biomecânica e neuromuscular, bem como à perceção subjetiva de esforço e recuperação, ao longo de duas fases distintas: a entrada em posição e a missão de tiro.

Os resultados revelaram que a missão de tiro impõe uma carga fisiológica mais acentuada, com picos de intensidade elevada embora os valores médios se mantenham dentro de parâmetros aeróbios, compatíveis com esforço submáximo. O municionador conseguiu cumprir a cadência de tiro prevista, demonstrando capacidade de adaptação e resistência. O custo metabólico revelou-se predominantemente aeróbio, mas com momentos de ativação do metabolismo anaeróbio, especialmente durante a missão de tiro. A análise neuromuscular indicou maior ativação dos músculos do ombro e dorso nesta fase, e a análise da biomecânica destacou gestos mais repetitivos e exigentes, com menor tempo de recuperação entre tarefas na missão de tiro.

Conclui-se que a função de municionador exige uma combinação de força, resistência e capacidade de recuperação, sendo a missão de tiro a fase mais exigente sob o ponto de vista fisiológico, metabólico e neuromuscular.

Palavras-chave: Artilharia de Campanha; Carga Mecânica; Custo Metabólico; Avaliação Fisiológica.

ABSTRACT

The present study aimed to analyse the mechanical load and metabolic cost imposed by the role of the loader in a towed Field Artillery section with the 105mm M119 Light Gun, with the purpose of understanding the demands placed on the performance of their duties. The research focused on three derived questions: the impact of mechanical load on physical performance and rate of fire; the metabolic cost of the role; and the assessment of which phase of the mission imposes the greatest demands. To this end, physiological monitoring, biomechanical and neuromuscular analysis, as well as subjective perception of effort and recovery, were employed across two distinct phases: entering position and executing the fire mission.

The results revealed that the fire mission imposes a higher physiological load, with high intensity peaks, although the average values remained within aerobic parameters, compatible with submaximal effort. The loader was able to meet the prescribed rate of fire, demonstrating adaptability and endurance. The metabolic cost was predominantly aerobic, but with moments of anaerobic activation, particularly during the fire mission. Neuromuscular analysis indicated higher activation of the shoulder and back muscles during this phase, while biomechanical analysis highlighted more repetitive and demanding movements with shorter recovery time between tasks during the fire mission.

It is concluded that the loader's role requires a combination of strength, endurance and recovery capacity, with the fire mission being the most demanding phase in physiological, metabolic and neuromuscular terms.

Keywords: Field Artillery; Mechanical Load; Metabolic Cost; Physiological Assessment.

ÍNDICE GERAL

EPÍGRAFE	I
DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE GERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
LISTA DE APÊNDICES	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	XII
INTRODUÇÃO	1
PARTE I - ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
CAPÍTULO 1. ARTILHARIA DE CAMPANHA.....	4
1.1 Descrição do Obus M119 105mm LG/30/m98	4
1.2 Munição de Treino.....	5
1.3 Funções do Municador	6
CAPÍTULO 2. CARGA MECÂNICA	7
2.1. Carga Mecânica	7
2.1.1 Definição de Carga Mecânica.....	7
2.1.2 Definição de Biomecânica.....	7
2.1.3 Relação entre a Carga Mecânica e a Biomecânica	8
CAPÍTULO 3. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO	9
3.1 Monitorização Cardíaca.....	9

3.1.1 Taxa Metabólica Basal	10
3.2 Avaliação da Recuperação Pós-Esforço	11
3.2.1 Escala de Percepção Subjetiva de Recuperação	11
3.2.2 Escala de Percepção Subjetiva do Esforço	12
3.3 Análise da Concentração de Lactato	13
3.4 Análise Biomecânica	14
3.4.1 Eletromiografia	15
PARTE II - ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E TRABALHO DE CAMPO	17
CAPÍTULO 4. METODOLOGIA, MÉTODOS E TÉCNICAS	17
4.1. Tipo de Estudo e Abordagem e Método Científico	18
4.2. Métodos e Técnicas de Recolha de Dados	18
4.3. Amostra	19
4.4. Procedimentos de Recolha e Análise de Dados.....	20
PARTE III - APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	24
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	24
5.1. Testes de Recuperação (Escala PSE e PSR).....	24
5.2 Análise da Biomecânica	25
5.2.1 Análise da Biomecânica na Entrada em Posição.....	25
5.2.2 Análise da Biomecânica na Missão de Tiro	31
5.2.2 Análise da Biomecânica na Saída de Posição	33
5.3 Eletromiografia.....	33
5.3.1 Análise da Ativação Muscular na Entrada em Posição	33
5.3.2 Análise da Ativação Muscular na Missão de Tiro.....	34
5.3.3 Comparação entre as Fases.....	35
5.4 Monitorização Cardíaca.....	35

5.4.1 Resultados da Taxa Metabólica Basal	36
5.4.2 Resultados da 1ª Recolha.....	36
5.4.3 Resultados da 2ª Recolha.....	41
5.4.4 Comparação entre as Recolhas	41
5.5 Testes de Lactato	42
CAPÍTULO 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
6.1 Impacto da Carga Mecânica no Desempenho Físico e na Cadência de Tiro	43
6.2 Custo Metabólico da Função do Municador	44
6.3 Comparação da Exigência Fisiológica entre as Fases da Missão	45
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
APÊNDICES.....	55
ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 - Obus M119 105mm LG.....	5
Figura n.º 2 - HR (bpm) - 1ª Recolha	36
Figura n.º 3 - VO ₂ (ml/min) - 1ª Recolha.....	37
Figura n.º 4 - MET - 1ª Recolha	38
Figura n.º 5 - EE (kcal/min) - 1ª Recolha	39
Figura n.º 6 - CARBS e FAT (kcal) - 1ª Recolha.....	39
Figura n.º 7 - QR - 1ª Recolha	40
Figura n.º 8 - HR (bpm) - 2ª Recolha	59
Figura n.º 9 - VO ₂ (ml/min) - 2ª Recolha.....	59
Figura n.º 10 - MET - 2ª Recolha	60
Figura n.º 11 - EE (kcal/min) - 2ª Recolha	60
Figura n.º 12 - CARBS e FAT (kcal) - 2ª Recolha.....	61
Figura n.º 13 - QR - 2ª Recolha	61
Figura n.º 14 - Ativação do Deltoide na Entrada em Posição.....	62
Figura n.º 15 - Ativação do Bícep na Entrada em Posição	62
Figura n.º 16 - Ativação do Peitoral na Entrada em Posição	63
Figura n.º 17 - Ativação do Trícep na Entrada em Posição	63
Figura n.º 18 - Ativação do Dorsal na Entrada em Posição.....	64
Figura n.º 19 - Ativação do Deltoide na Missão de Tiro	64
Figura n.º 20 - Ativação do Bícep na Missão de Tiro.....	65
Figura n.º 21 - Ativação do Peitoral na Missão de Tiro.....	65
Figura n.º 22 - Ativação do Trícep na Missão de Tiro	66
Figura n.º 23 - Ativação do Dorsal na Missão de Tiro.....	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro n.º 1 - Objetivos Específicos da Investigação.....	2
Quadro n.º 2 - Estrutura do TIA	2
Quadro n.º 3 - Características gerais do Obus M119 105mm LG	4
Quadro n.º 4 - Características gerais da munição de treino	6
Quadro n.º 5 - Funções do Municidor.....	7
Quadro n.º 6 - Objetivo Geral e Pergunta de Partida.....	17
Quadro n.º 7 - Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas	18
Quadro n.º 8 - Colocação dos SI do Xsens MVN.....	21
Quadro n.º 9 - Colocação dos sensores EMG.....	23
Quadro n.º 10 - Descrição dos Movimentos para as Contrações Voluntárias Máximas.....	23
Quadro n.º 11 - Resultados do Teste PSE	24
Quadro n.º 12 - Desatrelar o Obus da Viatura	26
Quadro n.º 13 - Retirar o Parafuso da Plataforma de Tiro.....	26
Quadro n.º 14 - Levantamento e Pouso da Plataforma de Tiro	27
Quadro n.º 15 - Colocar a Plataforma de Tiro junto às rodas	28
Quadro n.º 16 - Subida e Descida da Monoflecha para o interior do Obus.....	28
Quadro n.º 17 - Trabalho no interior da Monoflecha.....	29
Quadro n.º 18 - Subida e Descida da Monoflecha para o exterior do Obus	30
Quadro n.º 19 - Conteirar o Obus	30
Quadro n.º 20 - Carregar a Palamenta do Obus.....	31
Quadro n.º 21 - Carregar e Soquetar a Munição.....	32
Quadro n.º 22 - Tabela Comparativa das Recolhas	42
Quadro n.º 23 - Resultados dos Testes de Lactato.....	43
Quadro n.º 24 - Caracterização das tarefas do S3 na Saída de Posição.....	57
Quadro n.º 25 - Resumo da TMB do Municidor	67
Quadro n.º 26 - Escala de Perceção Subjetiva de Recuperação	68
Quadro n.º 27 - Escala de Perceção Subjetiva do Esforço	68

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - CONSENTIMENTO INFORMADO	55
APÊNDICE B - CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS DO S3	57
APÊNDICE C - RESULTADOS DA 2ª RECOLHA.....	59
APÊNDICE D - ELETROMIOGRAFIA NAS DIFERENTES FASES	62
APÊNDICE E - TAXA METABÓLICA BASAL DO S3	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - TESTES DE RECUPERAÇÃO	68
---------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AC	Artilharia de Campanha
Bpm	Batimentos por minuto
CARBS	<i>Carbohydrates</i> (Hidratos de Carbono)
CS	Comandante de Secção
CVM	Contração Voluntária Máxima
EE	<i>Energy Expenditure</i> (Gasto Energético)
EMG	Eletromiografia
FAT	<i>Fat</i> (Gordura)
HE	<i>High Explosive</i> (Altamente Explosivo)
HR	<i>Heart Rate</i> (Frequência Cardíaca)
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> (Unidades de Medição Inercial)
LG	<i>Light Gun</i> (Arma leve)
MET	Metabolic Equivalent of Task (Equivalente Metabólico)
MT	Missão de Tiro
OE	Objetivos Específicos
OG	Objetivos Geral
PD	Pergunta de Derivada
PP	Pergunta de Partida
PSE	Perceção Subjetiva do Esforço
PSR	Perceção Subjetiva de Recuperação
RA4	Regimento de Artilharia n.º 4
QR	Quociente Respiratório
S1	Servente Apontador
S2	Servente da Culatra
S3	Servente Carregador
S4	Servente Municizador
S5	Servente Municizador/Auxiliar do Comandante de Secção
TIA	Trabalho de Investigação Aplicada
TMB	Taxa Metabólica Basal
TOM	Tiros Obus por Minuto
TQR	Qualidade Total de Recuperação

VO₂ | Consumo de Oxigénio

INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) insere-se na área da Motricidade Humana e integra o ciclo de estudos do Mestrado Integrado em Ciências Militares, na especialidade de Artilharia. Desenvolvido sob o tema “Caracterização da carga mecânica imposta pela função do municionador numa missão de tiro de Artilharia de Campanha”, este estudo pretendeu analisar as exigências físicas e biomecânicas desta função e o seu impacto no desempenho operacional dos militares da Artilharia de Campanha (AC).

A entrada em posição e a missão de tiro (MT) com meios rebocados constituem procedimentos essenciais para a eficácia do apoio de fogos, sendo o tempo necessário para a entrada em posição um fator crítico que influencia diretamente o sucesso das operações (Estado-Maior do Exército, 1998). Assim, é fundamental caracterizar e analisar as tarefas desempenhadas pelos serventes da secção, compreendendo as exigências físico-fisiológica de cada função, nomeadamente durante a MT considerada um dos momentos de maior impacto operacional e exigência física.

A função do municionador (Servente Carregador - S3) reveste-se de particular exigência, desempenhando um papel determinante na cadência de tiro e na eficiência da missão. No caso de uma secção equipada com o Obus M119 *Light Gun* (LG), um municionador pode realizar até 12 tiros obus por minuto (TOM), exigindo um elevado nível de aptidão física para garantir a execução eficaz dos procedimentos. A caracterização da carga mecânica imposta ao municionador assume, por isso, importância para orientar, no futuro, treinos específicos que potenciem a eficiência na execução da MT e a prevenção de lesões associadas ao esforço repetitivo e à sobrecarga física.

Esta necessidade de colmatar lacunas no conhecimento sobre as exigências físico-funcionais da função do municionador constitui a motivação para a realização deste estudo. No atual contexto geopolítico, em que conflitos como a guerra entre a Rússia e a Ucrânia reforçam a relevância do apoio de fogos da Artilharia, torna-se ainda mais crucial garantir que os militares estejam devidamente preparados para enfrentar as exigências do combate.

Assim, o objetivo geral (OG) deste estudo consistiu em analisar a carga mecânica e o custo metabólico impostos pela função do municionador numa secção de AC rebocada com o Obus 105mm M119 LG, de modo a compreender as exigências inerentes no desempenho das suas funções.

Para alcançar este objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos (OE):

Quadro n.º 1 - Objetivos Específicos da Investigação

OE1	Analisar a carga mecânica imposta pela função do municionador na missão de tiro, identificando os fatores que influenciam o seu desempenho físico e a sua influência na cadência de tiro.
OE2	Analisar o custo metabólico do municionador.
OE3	Avaliar que função apresenta maior exigência no desempenho das funções do municionador.

A pergunta de partida (PP) que orientou este estudo foi: "Qual é a carga mecânica e o custo metabólico imposto pela função do municionador numa secção de AC rebocada com o Obus 105mm M119 LG?"

Para responder a esta questão, o trabalho estruturou-se em três partes principais. Na Parte I - Enquadramento Teórico, foi realizada uma revisão da literatura relativamente à AC, sobre: as características gerais do Obus M119 105mm LG/30/m98; características gerais da munição de treino; e as funções do municionador. Adicionalmente foi realizada uma revisão sobre a carga mecânica e todos os métodos e instrumentos de avaliação utilizados no estudo. A Parte II – Enquadramento Metodológico e Trabalho de Campo apresenta a metodologia, métodos e técnicas utilizadas para a recolha e análise de dados. Por fim, na Parte III – Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados, são apresentados os dados recolhidos, e foi feita uma análise estatística e ergonómica.

Quadro n.º 2 - Estrutura do TIA

Trabalho de Investigação Aplicada

Introdução		
Parte I - Enquadramento Teórico		
Capítulo 1 Artilharia de Campanha	Capítulo 2 Carga Mecânica	Capítulo 3 Métodos e Instrumentos de Avaliação
Parte II - Enquadramento Metodológico e Trabalho de Campo		
Capítulo 4 Metodologia, Métodos e Técnicas		
Parte III - Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados		

Capítulo 5 Resultados	Capítulo 6 Discussão dos Resultados
Conclusões e Recomendações	
Referências Bibliográficas	
Apêndices e Anexos	

PARTE I - ENQUADRAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. ARTILHARIA DE CAMPANHA

1.1 Descrição do Obus M119 105mm LG/30/m98

O Obus M119 105mm LG/30/m98, de origem inglesa, foi adquirido pelo Exército Português em 1998. Este armamento é classificado como uma Boca de Fogo de AC, caracterizada por um tubo com comprimento inferior ou igual a 30 calibres e por velocidades iniciais inferiores a 500m/s, possibilitando o tiro no segundo arco (>800 milésimos). Sendo uma arma leve, pode ser facilmente rebocada, helitransportada, aerotransportada e lançada por paraquedas (Exército Português, 2003).

Quadro n.º 3 - Características gerais do Obus M119 105mm LG

Obus M119 105mm LG/30/m98

Características	Valores
Peso Total	1814 kg
Peso do Tubo	329 kg
Peso do Projétil	14,970 kg
Campo de Tiro Vertical	-90 mls a 1244 mls
Campo de Tiro Horizontal	6400 mls
Alcance Máximo	19 500 m
Cadência de Tiro	12 TOM no 1º minuto; 6 TOM nos 2 minutos seguintes; 3 TOM nos minutos seguintes
Vida Útil do Tubo	7500 tiros
Guarnição	1 Sargento e 5 Praças

Fonte: Adaptado de Exército Português (2003)



Figura n.º 1- Obus M119 105mm LG

Fonte: Adaptado de Exército Português (2003)

1.2 Munição de Treino

A utilização de munições de treino na AC tornou-se uma prática recorrente, motivada por diversos condicionamentos financeiros e logísticos que limitam o uso de munições reais. A falta de investimento em equipamentos e munições ao longo das últimas décadas tem tido impacto direto nas Forças Armadas. Como salienta a ex-Ministra da Defesa, Helena Carreiras, “faltam-nos munições, faltam-nos equipamentos variados para poder operar os meios que temos, precisamente porque desinvestimos, porque as indústrias não produziram e porque vivíamos em tempo de paz, mas agora percebemos que precisamos de ter os meios, mas também as munições, a sustentação e o treino” (Carreiras, 2023).

Estes condicionamentos financeiros e logísticos impulsionam a adoção de munições de treino na AC. Como destaca Machado (2022), os elevados custos das munições reais, associados à manutenção do material, à limitação das áreas de impacto dos polígonos de tiro e à necessidade de deslocação de recursos, constituem obstáculos significativos à realização de exercícios de tiro real. Além disso, o custo médio por munição pode variar entre 150 e 200 euros, o que significa que uma secção que dispare 10 TOM pode facilmente ultrapassar os 2000 euros em poucos minutos (Gonçalves, 2021).

Estes desafios logísticos justificam a utilização de munições de treino e dispositivos de tiro reduzido, que permitem reduzir significativamente os encargos financeiros, simular com segurança as condições reais de uma MT e garantir a continuidade do treino operacional sem comprometer o rigor técnico e a preparação dos militares.

Embora as munições de treino não repliquem na totalidade as condições de uma MT real, mantêm um elevado nível de exigência física, permitindo uma análise rigorosa da carga mecânica e do custo metabólico associados à função do servente carregador. Esta abordagem assegura a fiabilidade dos resultados e contribui para a preparação operacional dos militares da AC.

A munição de treino utilizada neste estudo foi a Granada 105 mm *High Explosive* (HE) M1, uma munição semi-fixa cuja caixa de cartucho encaixa na base do projétil. Este projétil HE é constituído por um corpo de aço oco preenchido com alto explosivo, como o composto B ou TNT (Exército Português, 2005). No Quadro n.º 4 encontram-se as características gerais mais relevantes da munição utilizada.

Quadro n.º 4 - Características gerais da munição de treino

Munição de Treino	
Características	Valores
Peso Total	14,750 kg
Altura do projétil	49,6 cm
Altura do Cartucho	32,7 cm
Forma	Corpo cilíndrico de ponta ogival
Alcance máximo	11,6 km

Fonte: Adaptado de Exército Português (2005)

1.3 Funções do Muniador

A guarnição do Obus M119 105mm LG/30/m98 é composta por 1 sargento e 5 praças, distribuídos pelas seguintes funções: comandante de secção (CS), servente apontador (S1), servente da culatra (S2), servente carregador (S3), servente muniador (S4) e servente muniador/auxiliar do comandante de secção (S5) (Exército Português, 2003). No Quadro n.º 5 estão descritas as funções do S3, na entrada em posição e durante a execução da MT.

Quadro n.º 5 - Funções do Municiador

Funções	
Serventes	Responsabilidades
Na entrada em posição:	
S3	Desatrela o Obus e solta a plataforma de tiro (90kg) com o auxílio do S4 colocando-a junto às rodas. Desengata o obus e tensa os cabos da plataforma. Descarrega a palamenta e as munições. Finalizando inspeciona o tubo.
Na MT:	
S3	Recebe as munições do S4 e carrega o obus soqueteando a munição.

Fonte: Adaptado de Exército Português (2003)

CAPÍTULO 2. CARGA MECÂNICA

2.1. Carga Mecânica

2.1.1 Definição de Carga Mecânica

A carga mecânica corresponde ao conjunto de forças externas que atuam sobre um corpo durante a execução de uma tarefa física, provocando alterações biomecânicas nos músculos, articulações e tecidos corporais (Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Esta carga resulta de fatores como o peso do equipamento, a frequência de repetição dos movimentos, a velocidade e a postura corporal adotada durante a atividade. No contexto da AC, a carga mecânica reveste-se de particular importância devido ao manuseamento de munições pesadas, elevadas repetições por minuto e a exigência de precisão durante a MT.

2.1.2 Definição de Biomecânica

A Biomecânica é a área da ciência que estuda os efeitos das forças internas e externas no corpo humano, com foco na análise do movimento e das adaptações dos tecidos biológicos a esses esforços. De acordo com Amadio e Serrão (2007), a biomecânica interna analisa as forças geradas e transmitidas pelas estruturas biológicas, como os músculos, tendões, ligamentos, ossos e cartilagens. Por sua vez, a biomecânica externa refere-se à análise quantitativa e qualitativa do movimento humano, recorrendo a medições cinemáticas

e dinâmicas para avaliar mudanças de posição e deslocamento do corpo. Esta abordagem permite descrever as características observáveis na execução dos movimentos.

Esta distinção entre biomecânica interna e externa possibilita compreender como o corpo responde às exigências geradas pelos próprios músculos e articulações, bem como às forças impostas pelo ambiente, como a gravidade, o peso dos equipamentos ou o contato com outros objetos. Complementando esta visão, Vilas-Boas (2016) define a biomecânica como o estudo das deformações e das forças que as provocam, destacando não apenas a descrição do movimento, mas também a análise das suas causas e consequências.

A aplicação da biomecânica é essencial para a compreensão das exigências físicas em contextos militares, permitindo otimizar o desempenho e identificar e prevenir possíveis lesões derivadas do esforço repetitivo ou da exposição a cargas excessivas.

2.1.3 Relação entre a Carga Mecânica e a Biomecânica

Segundo Vilas-Boas (2016), os desportistas estão sujeitos a forças externas, resultantes de ações de terceiros ou da interação com o meio, e produzem forças internas principalmente através da ação muscular, responsável pela geração de força nos sistemas biológicos. Esta afirmação pode ser diretamente relacionada com a carga mecânica imposta ao municiador. Durante estas operações, os militares enfrentam forças externas substanciais, como o peso das munições e o recuo do obus após cada disparo, além das condições operacionais, que podem incluir terrenos irregulares e condições meteorológicas adversas. Estas forças externas exigem adaptações biomecânicas, aumentando o esforço físico sobre músculos e articulações.

Além disso, como destaca Vilas-Boas, os serventes produzem forças internas significativas para desempenhar as suas tarefas, especialmente o municiador, cuja tarefa envolve o levantamento e carregamento contínuo de munições, o seu posicionamento no obus e movimentos rápidos para manter a cadência de tiro. Estes movimentos implicam contrações musculares intensas e constantes, sobretudo nos músculos dos membros superiores e no *core* - termo que designa o conjunto de músculos do tronco (abdominais, lombares e pélvicos) responsáveis pela estabilização corporal durante o manuseamento das cargas.

A carga mecânica varia consoante as tarefas, quer no transporte do obus, quer no transporte das munições. Este trabalho repetitivo, aliado à necessidade de manter posturas específicas, pode conduzir a sobrecargas musculares. Assim, compreender as interações

entre as forças externas e internas é essencial para caracterizar as exigências físicas na AC e identificar pontos críticos de fadiga (Amadio & Serrão, 2007).

“O estudo das forças que são produzidas pelos sistemas biológicos e daquelas a que eles se sujeitam, bem como o estudo dos seus efeitos, constitui o objeto da Biomecânica” (Vilas-Boas, 2016, p.7). Assim, compreende-se que o municiador é afetado não só pelas forças externas associadas ao peso e manuseamento do obus e das munições, mas também pelas forças internas geradas para manter o equilíbrio e executar movimentos repetitivos com precisão. Esta interação constante pode resultar em sobrecargas musculoesqueléticas e fadiga acumulada, impactando diretamente o desempenho operacional e aumentando o risco de lesões em operações prolongadas. A análise rigorosa destes fatores é fundamental para otimizar o desempenho físico e garantir a segurança dos militares.

CAPÍTULO 3. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

3.1 Monitorização Cardíaca

A monitorização cardíaca é um processo essencial para acompanhar a frequência dos batimentos cardíacos em tempo real, permitindo avaliar a resposta fisiológica ao esforço físico e ao stress. A frequência cardíaca constitui um dos principais indicadores para monitorizar o impacto do esforço no sistema cardiovascular, fornecendo informações sobre a carga interna de treino e a capacidade de recuperação do organismo (Pereira, 2016).

O objetivo da utilização deste método foi: avaliar a intensidade do esforço e a resposta do sistema cardiovascular a diferentes estímulos físicos (Rama, 2016); identificar a capacidade de recuperação após esforços intensos, analisando a variabilidade da frequência cardíaca e o retorno à homeostasia (Pereira, 2016); prevenir riscos cardiovasculares, especialmente em situações que exigem elevados níveis de esforço físico (Curty & Bara Filho, 2011); e analisar a carga fisiológica, contribuindo para otimizar o desempenho e prevenir a fadiga (Rama, 2016).

A monitorização da frequência cardíaca pode ser realizada por diversos métodos, dependendo do grau de precisão necessário e do contexto de aplicação. Neste estudo, recorreu-se aos monitores de frequência cardíaca e aos dispositivos portáteis como cintas peitorais. A utilização da monitorização cardíaca como método de avaliação foi fundamental nesta investigação, permitindo analisar a resposta fisiológica ao esforço físico durante a entrada em posição e a MT (Rama, 2016). Este método também possibilitou o

estabelecimento de parâmetros de segurança para evitar sobrecarga cardiovascular, sobretudo em militares com menor resistência ao esforço intenso (Curty & Bara Filho, 2011).

Por fim, o estudo com o monitor de frequência cardíaca foi essencial para obter informações sobre a resposta fisiológica e a capacidade de recuperação do municiador, contribuindo para otimizar o planejamento operacional e a gestão da fadiga em futuras MT (Curty & Bara Filho, 2011).

3.1.1 Taxa Metabólica Basal

A Taxa Metabólica Basal (TMB) corresponde à quantidade mínima de energia necessária para manter as funções vitais do organismo em repouso, sendo um dos principais indicadores do gasto energético diário. Segundo Wahrlich e Anjos (2001), a TMB mede o consumo de oxigênio em condições basais, após jejum noturno e em repouso absoluto, refletindo a energia despendida para funções essenciais, como respiração, circulação sanguínea e regulação da temperatura corporal. A sua determinação é fundamental em estudos nutricionais e avaliações da aptidão física, permitindo ajustar dietas e programas de treino às necessidades individuais.

A medição da TMB pode ser realizada por métodos diretos e indiretos. O método direto, baseado na calorimetria direta, quantifica a produção de calor pelo corpo, mas apresenta limitações práticas e elevada complexidade. Já a calorimetria indireta, amplamente utilizada, estima a TMB através da análise do consumo de oxigênio e da produção de dióxido de carbono, possibilitando uma avaliação mais acessível e aplicável em diferentes populações (Alves, 2021).

Neste estudo, a TMB foi medida por calorimetria indireta, utilizando o analisador metabólico portátil PNOE. Este equipamento mede com elevada precisão o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono, fornecendo estimativas fiáveis da TMB. Estudos prévios validaram a sua precisão e aplicabilidade, demonstrando forte correlação com analisadores laboratoriais de referência (Tsekouras et al., 2019). Além disso, a portabilidade permite medições em ambiente operacional, sendo uma ferramenta vantajosa em contextos militares (Kwok et al., 2023).

Existem também equações preditivas, como as de Harris-Benedict (1919) e Mifflin-St Jeor (1990), que estimam a TMB com base em variáveis como idade, peso, altura e sexo. Estas fórmulas são úteis quando a medição direta não está disponível. No entanto, como alerta Broday (2013), podem apresentar erros significativos em algumas populações. A

norma ISO 8996 (2004) sugere intervalos de TMB para diferentes atividades, mas pode superestimar ou subestimar valores reais, exigindo correções para garantir precisão nas análises fisiológicas. Este fator é especialmente relevante em contextos militares, onde a distribuição da carga de trabalho e as condições ambientais podem alterar significativamente o metabolismo basal e a percepção do esforço físico.

A TMB é influenciada por fatores como composição corporal, idade, nível de atividade física e dieta. A massa muscular, altamente ativa metabolicamente, tem um papel preponderante no gasto energético basal. Com o envelhecimento, a TMB tende a diminuir, devido à perda de massa muscular e ao aumento da adiposidade corporal (Alves, 2021).

Além disso, a TMB tem um papel crucial na regulação do gasto energético do organismo, influenciando a necessidade metabólica durante e após o exercício físico. A estimativa precisa da TMB é essencial para avaliar o custo metabólico das atividades realizadas e compreender em detalhe as exigências energéticas individuais. O metabolismo basal é ainda influenciado por fatores como a intensidade do exercício, a renovação constante das proteínas e o consumo de oxigênio pós-exercício, que pode representar até 20% do metabolismo de repouso (Matsuura et al., 2006). No âmbito deste estudo, a determinação da TMB do S3 possibilitou uma análise mais precisa do impacto metabólico das suas funções.

3.2 Avaliação da Recuperação Pós-Esforço

Os testes de recuperação são ferramentas fundamentais para avaliar a capacidade do organismo de retornar à homeostasia após a realização de esforços físicos intensos. Estes testes permitem compreender a eficiência da recuperação, prevenindo estados de fadiga excessiva e otimizando a programação do treino e das atividades operacionais (Curty & Bara Filho, 2011).

A recuperação adequada está diretamente ligada ao desempenho subsequente e à redução do risco de lesões. Para este estudo, foram utilizados os questionários das escalas de recuperação, que avaliam a percepção individual sobre o estado de recuperação (Di Gilio, 2015).

3.2.1 Escala de Percepção Subjetiva de Recuperação

A Escala de Percepção Subjetiva de Recuperação (PSR), tem como objetivo monitorizar a Qualidade Total de Recuperação (TQR), sendo um dos métodos subjetivos

mais utilizados para monitorizar o estado de recuperação dos indivíduos. Foi desenvolvida para oferecer uma forma prática e acessível de quantificar a recuperação pós-esforço, sendo aplicada em atividades que exigem elevada resistência física (Di Gilio, 2015).

Embora a TQR seja tradicionalmente utilizada antes do esforço para monitorizar a recuperação acumulada, segundo Di Gilio (2015), também pode ser aplicada entre estímulos ou no final de atividades exigentes, funcionando como um indicador da percepção de recuperação imediata pós-esforço.

O método baseia-se numa escala numérica que varia de 6 (recuperação inadequada) a 20 (totalmente recuperado), como ilustrado no Quadro n.º 26 no anexo A, permitindo ao indivíduo avaliar o seu estado físico e mental após um período de esforço. Estudos indicam que a TQR pode ser uma ferramenta eficaz para monitorizar a recuperação individual e ajustar cargas de treino ou esforço conforme as necessidades específicas de cada pessoa (Businari et al., 2021).

A implementação da TQR como método de avaliação neste estudo possibilitou monitorizar, de forma rápida e simples, a recuperação do municiador, contribuindo para uma análise mais detalhada da gestão da fadiga.

3.2.2 Escala de Perceção Subjetiva do Esforço

A Escala de Perceção Subjetiva do Esforço (PSE) é uma ferramenta amplamente utilizada para quantificar a intensidade do esforço físico, baseada na percepção individual da fadiga durante a realização de uma atividade. Segundo Borg (1982), a PSE resulta da integração de sinais periféricos (músculos e articulações) e centrais (ventilação), que, interpretados pelo córtex sensorial, produzem a percepção geral ou local do empenho necessário para a execução de determinada tarefa.

Esta escala é considerada um instrumento válido e fiável para monitorizar a intensidade do esforço, sobretudo em contextos onde o acesso a medições fisiológicas diretas, como a frequência cardíaca ou o consumo de oxigénio, é limitado. Além disso, permite avaliar a carga interna do treino, fornecendo informações sobre a resposta fisiológica ao esforço sem necessidade de equipamentos complexos (Kaercher et al., 2018). A PSE tem sido amplamente utilizada em diversos contextos, desde o treino desportivo de alto rendimento até a reabilitação física. A escala varia de 0 (nenhum esforço) a 10 (esforço máximo), como apresentado no Quadro n.º 27 no anexo A.

Neste estudo, a PSE foi uma ferramenta essencial para avaliar a percepção do esforço do S3 após a MT, permitindo obter uma resposta rápida sobre a sua percepção do esforço durante o desempenho das suas funções.

3.3 Análise da Concentração de Lactato

A realização do teste de lactato permite avaliar o nível de energia produzida através da concentração desta substância no sangue. Segundo Sousa (2015), a presença de lactato no organismo mantém-se relativamente constante, sendo mais baixa em repouso e aumentando durante atividades de alta intensidade, tornando-se assim um importante indicador de treino. Ainda de acordo com Sousa (2015), durante exercícios de esforço submáximo, a medição do lactato fornece informações relevantes sobre a capacidade aeróbia, sendo este um indicador essencial da aptidão aeróbia. Assim, o teste de lactato é fundamental para avaliar a produção de energia durante atividades físicas, sendo a concentração sanguínea um indicador valioso da intensidade do esforço e um fator determinante da aptidão aeróbia.

Segundo Robergs et al. (2004), a concentração de lactato no sangue varia de acordo com a intensidade e a duração do exercício, sendo frequentemente usada como marcador indireto da exigência metabólica. Em repouso, os valores normais situam-se entre 0,5 e 2,2 mmol/l, mas durante exercícios de alta intensidade podem aumentar substancialmente. Este aumento não ocorre porque o lactato seja a origem da acidose, mas sim como consequência do aumento do metabolismo anaeróbio, associado à maior taxa de regeneração de Adenosina Trifosfato. Assim, o lactato atua como marcador indireto das condições de esforço muscular elevado e desempenha um papel essencial na regulação do ambiente celular, consumindo prótons e contribuindo para atenuar a acidose durante o exercício.

O lactato, outrora considerado apenas um subproduto do metabolismo anaeróbio, é atualmente reconhecido como um importante intermediário energético, sendo reutilizado por tecidos como o músculo, o fígado e o coração, onde é convertido em piruvato para posterior oxidação (Juel & Halestrap, 1999). A acumulação de lactato no sangue durante exercícios intensos reflete não só um aumento na sua produção, mas também uma eventual redução na capacidade de remoção pelos músculos, fígado e outros tecidos. Essa remoção envolve a conversão em piruvato, permitindo a sua entrada na mitocôndria para oxidação no ciclo de Krebs e contribuindo para a manutenção da homeostase energética (Bertuzzi et al., 2009).

A análise da concentração de lactato sanguíneo permite, assim, avaliar o impacto metabólico das tarefas realizadas, refletindo a predominância do metabolismo anaeróbio e o grau de fadiga muscular acumulada. O lactato, produto natural da glicólise anaeróbia, acumula-se no sangue durante ou após o exercício, estando associado à intensidade do esforço, à capacidade de tamponamento do organismo e à eficiência do sistema cardiorrespiratório na remoção de metabolitos (Kenney et al., 2020).

No âmbito deste estudo, a aplicação do teste de lactato ao S3 permitiu compreender melhor o impacto metabólico das suas funções, contribuindo para a otimização do desempenho e para a prevenção da fadiga muscular e cardiovascular.

3.4 Análise Biomecânica

A análise biomecânica é um campo que estuda e avalia os movimentos do corpo humano (Amadio & Serrão, 2007). Nos últimos 70 anos, a análise biomecânica tem sido aplicada para compreender os efeitos da distribuição de carga e da postura corporal no desempenho militar. Estudos demonstram que o ajuste do equipamento e a redistribuição da carga podem reduzir significativamente o impacto biomecânico e o custo energético das operações (Knapik, Reynolds & Harman, 2004). Este processo é fundamental para compreender como o transporte de carga afeta a eficiência energética e a mecânica corporal dos militares. A distribuição da carga, o tipo de equipamento utilizado e a postura corporal são fatores cruciais para reduzir o stress biomecânico e minimizar o custo energético durante as operações (Birrell & Haslam, 2010).

Além disso, foi demonstrado que a localização da carga no corpo influencia diretamente o custo energético e a mecânica da marcha. Knapik, Reynolds e Harman (2004) referem que as cargas transportadas nas pernas podem aumentar o custo energético entre cinco a sete vezes em comparação com cargas equivalentes transportadas na parte superior do corpo. De forma semelhante, o transporte de carga nos membros inferiores exige um gasto energético superior ao do tronco. Estes dados evidenciam que o posicionamento do equipamento e o ajuste da carga são fatores determinantes para a eficiência da locomoção dos militares.

O posicionamento e o transporte adequado da carga, bem como o seu ajuste, são essenciais para maximizar a eficiência biomecânica dos militares. Segundo Knapik, Reynolds e Harman (2004), a redução da carga, a melhoria da sua distribuição, a adoção de

um treino físico adequado e a seleção de equipamento apropriado contribuem para facilitar o transporte e minimizar o impacto no desempenho dos militares.

Para garantir uma análise biomecânica precisa e detalhada, este estudo recorreu ao sistema Xsens MVN, uma tecnologia avançada de captura de movimento baseada em sensores inerciais. De acordo com Pedro et al. (2024), o sistema utiliza 17 sensores IMU (Unidades de Medição Inercial) distribuídos pelo corpo dos militares, permitindo medir variáveis como aceleração, velocidade angular e orientação espacial. Estes sensores são colocados estrategicamente em segmentos anatómicos específicos, proporcionando um rastreamento tridimensional contínuo do movimento e permitindo a análise da carga mecânica e as posturas adotadas durante as tarefas operacionais. A tecnologia Xsens MVN Analyse processa os dados em tempo real, possibilitando identificar padrões de movimento, calcular ângulos articulares e detetar potenciais riscos ergonómicos associados ao desempenho das funções militares (Pedro et al., 2024).

Uma das grandes vantagens do Xsens MVN é a capacidade de operar sem necessidade de câmaras externas, permitindo medições em ambientes controlados e em operações de campo. O motor de processamento utiliza modelos biomecânicos avançados para calcular a posição e orientação dos segmentos corporais, garantindo a precisão das medições, mesmo em ambientes magneticamente desafiadores (Schepers & Giuberti, 2018). Além disso, o sistema possui algoritmos de calibração automática, reduzindo significativamente os erros de medição e assegurando a fiabilidade dos dados, independentemente do contexto operacional (Xsens Technologies B.V., 2017).

Assim, a análise biomecânica permitiu avaliar o impacto do manuseamento das munições no desempenho do S3, identificando padrões de movimento e sobrecarga muscular. A compreensão destes fatores possibilita implementar estratégias futuras para otimizar o desempenho, prevenir a fadiga excessiva e garantir maior segurança e eficiência operacional durante as MT.

3.4.1 Eletromiografia

Os métodos de análise biomecânica são fundamentais para compreender o movimento humano e avaliar a eficiência biomecânica em diferentes contextos. Nesta investigação, recorreu-se ao método da eletromiografia (EMG), que regista a atividade elétrica dos músculos e permite analisar o recrutamento muscular e a fadiga. Segundo Amadio et al. (2000), a EMG regista a atividade elétrica associada às contrações musculares,

possibilitando uma avaliação detalhada do funcionamento do sistema neuromuscular. Ao contrário dos métodos mecânicos, que avaliam propriedades físicas, a EMG fornece informações sobre o estímulo neural direcionado ao sistema muscular, permitindo modelar o sistema dinâmico neuro-músculo-esquelético. Este método constitui, assim, uma verdadeira janela para o interior do sistema neuromuscular, sendo essencial para compreender como os músculos são recrutados durante diferentes funções.

A EMG monitoriza a atividade muscular através de sensores colocados na pele, que registam os sinais elétricos dos músculos e os transmitem para um ecrã de computador. Este procedimento permite detetar e registar os potenciais elétricos das fibras musculoesqueléticas, possibilitando uma melhor compreensão da ativação muscular e da sua relação com o movimento (Malta et al., 2006).

A aplicação da EMG de superfície neste estudo possibilitou uma avaliação detalhada da ativação muscular do S3, determinando os grupos musculares mais solicitados no atrelar/dsatrelar do obus, na colocação da plataforma e no municiamento do obus.

PARTE II - ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E TRABALHO DE CAMPO

CAPÍTULO 4. METODOLOGIA, MÉTODOS E TÉCNICAS

Segundo Quivy e Campenhoudt (1998) o OG deve estabelecer o propósito central da investigação, garantindo um direcionamento claro para a recolha e análise dos dados, possibilitando a obtenção de respostas fundamentadas sobre a problemática em estudo. Já a PP representa o ponto inicial de qualquer investigação científica, funcionando como o fio condutor que orienta todo o trabalho.

Desta forma, foram definidos o seguinte OG e a PP no Quadro n.º 6, que serviram de base para a condução da investigação, orientando a escolha dos métodos, a recolha e análise de dados e a formulação das conclusões.

Quadro n.º 6 - Objetivo Geral e Pergunta de Partida

Objetivo Geral	Pergunta de Partida
Analisar a carga mecânica e o custo metabólico imposto pela função do municionador numa secção de Artilharia de Campanha rebocada com o Obus 105mm M119 LG, com o intuito de compreender as exigências solicitadas no desempenho das suas funções.	Qual é a carga mecânica e o custo metabólico imposto pela função do municionador numa secção de Artilharia de Campanha rebocada com o Obus 105mm M119 LG?

As PD surgem a partir da PP, desdobrando-se em questões mais específicas que permitem aprofundar o estudo e orientar a recolha de dados. Segundo Quivy e Campenhoudt (1998), essas PD ajudam a estruturar a investigação, tornando-a mais clara e sistemática. Os OE, por sua vez, derivam dessas PD, permitindo operacionalizar a investigação de forma concreta. Representam etapas distintas que, ao serem cumpridas, possibilitam alcançar o OG da investigação. Assim, ao estabelecer as PD, definem-se os caminhos metodológicos a seguir, garantindo coerência e rigor na análise dos dados.

Para clarificar a relação entre as PD e os OE desta investigação, apresenta-se no Quadro n.º 7, a correspondência estabelecida, em que cada PD orientou a formulação de um OE, assegurando que a investigação se desenvolveu de forma estruturada e coerente.

Quadro n.º 7 - Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas

Objetivos Específicos	Perguntas Derivadas
OE1: Analisar a carga mecânica imposta pela função do municionador na missão de tiro, identificando os fatores que influenciam o seu desempenho físico e a sua influência na cadência de tiro.	PD1: De que forma a carga imposta pela função do municionador na missão de tiro influencia o seu desempenho físico e a cadência de tiro, e quais os fatores que a condicionam?
OE2: Analisar o custo metabólico do municionador.	PD2: Qual o custo metabólico do municionador?
OE3: Avaliar que função apresenta maior exigência no desempenho das funções do municionador.	PD3: Qual a função que apresenta maior exigência no desempenho das funções do municionador?

4.1. Tipo de Estudo e Abordagem e Método Científico

Segundo Coutinho (2015), cada paradigma define uma perspetiva específica para interpretar a realidade e abordar os problemas científicos. Este estudo segue um paradigma quantitativo, uma vez que a investigação se baseou na recolha e análise de dados mensuráveis. Através de instrumentos científicos, como a EMG e a monitorização cardíaca, foi possível obter resultados concretos que permitem caracterizar de forma precisa a resposta fisiológica e a exigência mecânica das funções analisadas.

Relativamente à estratégia de investigação, optou-se por uma abordagem quantitativa, centrada na análise de factos observáveis e na medição de variáveis quantificáveis (Coutinho, 2015). O desenho de pesquisa foi transversal, avaliando a carga mecânica num único momento, permitindo uma análise instantânea das exigências da função do municionador, sem estabelecer relações causais ao longo do tempo (Lima, 2011).

De acordo com Rosado (2017), os estudos científicos podem ser classificados consoante a possibilidade de manipulação das variáveis. Este estudo enquadra-se como não experimental, uma vez que não houve manipulação das condições da MT.

4.2. Métodos e Técnicas de Recolha de Dados

De acordo com Sá, Costa e Moreira (2021), a recolha de dados deve ser definida em função da natureza e dos objetivos do estudo, assegurando a sua adequação ao processo de investigação. Os autores salientam ainda a importância de distinguir entre método, técnica e

instrumento: o método corresponde ao percurso para alcançar os resultados, a técnica refere-se ao procedimento utilizado e o instrumento designa o meio concreto para recolher os dados.

No desenvolvimento desta investigação, foram utilizadas como estratégias de recolha de dados a técnica de observação direta e os testes de recuperação. Kumar (2011) explica que a observação direta consiste no registo sistemático de comportamentos ou fenómenos no seu contexto natural, sem que o investigador intervenha ou manipule as condições do estudo. Esta abordagem permite recolher dados autênticos, garantindo que a realidade observada não é influenciada por fatores externos.

Relativamente aos testes, estes desempenham um papel fundamental na medição de variáveis, sendo utilizados para avaliar o desempenho ou a perceção dos participantes. Segundo Coutinho (2015), os testes podem ser desenvolvidos de forma estandardizada, implicando a sua aplicação e avaliação de maneira uniforme, de acordo com as instruções definidas pelos autores que os conceberam. Nesta investigação, os testes foram realizados através de escalas padronizadas, como a PSR e a PSE, que permitiram quantificar a fadiga e a recuperação do indivíduo, complementando os dados recolhidos por meio da observação e das medições fisiológicas.

4.3. Amostra

A amostra desta investigação, de natureza qualitativa e configurada como estudo de caso (Sátyro & D’Albuquerque, 2020), foi definida através de uma amostragem criterial, assegurando que o participante possuía as características necessárias para responder às questões de investigação. Segundo Coutinho (2015), este tipo de amostragem consiste na seleção de participantes que cumpram critérios previamente definidos.

Uma amostra extensa nem sempre é viável ou necessária, uma vez que pode implicar desafios logísticos e financeiros. Por isso, vários autores defendem que o rigor na seleção dos participantes é mais determinante para a qualidade da investigação do que o próprio tamanho da amostra (Kahn & Best, 2014).

No presente estudo, a amostra foi composta exclusivamente por um servente carregador (S3) da secção rebocada de AC, pertencente ao Regimento de Artilharia n.º 4 (RA4). Este militar, com a experiência e a competência técnica necessárias para a função, trabalhou em conjunto com a sua secção, realizando os procedimentos habituais de entrada em posição e da MT.

4.4. Procedimentos de Recolha e Análise de Dados

A recolha de dados foi realizada durante uma entrada em posição da secção rebocada, simulando uma MT no RA4. Foram assegurados procedimentos padronizados para garantir a reprodutibilidade dos dados, seguindo a cadência de tiro: 12 TOM no 1.º minuto, 6 TOM nos dois minutos seguintes e 3 TOM no 4.º minuto.

Nesta investigação, as atividades foram realizadas com munições de treino, em substituição das munições reais, garantindo a segurança dos participantes e a exequibilidade financeira do estudo. Os corpos das munições permaneceram ociosos, sem explosivo, assegurando um ambiente controlado sem comprometer a validade da investigação. Mesmo sem munições reais, a necessidade de cumprir tempos rigorosos, coordenar a secção e garantir a precisão colocou os militares sob constante pressão, exigindo elevada resiliência e capacidade de tomada de decisão sob stress (Gomes, 2022).

A recolha de dados incluiu métodos objetivos e subjetivos, combinando medições fisiológicas e biomecânicas com escalas de percepção individual. Para avaliar o gasto energético em repouso, foi realizada no início do dia a medição da TMB do S3. O militar realizou o teste da TMB (Resting Metabolic Rate Test) com o sistema PNOE, em repouso (deitado), respirando através de uma máscara conectada ao analisador, durante 10 minutos. Este procedimento seguiu as condições padronizadas para assegurar a fiabilidade dos resultados (Tsekouras et al., 2019). Após esta medição, iniciou-se a entrada em posição e a realização da MT, durante a qual foi feita a monitorização cardiorrespiratória em tempo real, utilizando o sistema PNOE acoplado ao municionador (Quadro n.º 8).

Para a recolha de dados cinemáticos tridimensionais, foi utilizado o sistema de captura de movimento inercial Xsens MVN, reconhecido pela sua precisão e fiabilidade em contexto de campo (Xsens Technologies B.V., 2017). Os sensores foram colocados de acordo com as recomendações do fabricante (Xsens Tecnologia B.V., 2017) e sobre zonas ósseas para mitigar o Artefacto dos Tecidos Moles (Soft Tissue Artefact - STA) (Chiari et al., 2005) (Quadro n.º 8).

Quadro n.º 8 - Colocação dos SI do Xsens MVN



Os dados captados pelos sensores foram transmitidos em tempo real para um computador através do software MVN Analyze Pro, permitindo a recolha de variáveis como deslocamento, velocidade e ângulos articulares, sem a necessidade de câmaras externas. Este processo facilitou a obtenção de informações detalhadas durante as tarefas em ambiente de campo.

Antes da recolha, foram introduzidas no software as medidas antropométricas do municiador, nomeadamente a altura e o comprimento do pé, para ajustar o modelo biomecânico ao indivíduo. Posteriormente, procedeu-se à calibração do sistema, que incluiu uma fase estática (n-pose) e uma fase dinâmica (caminhada), seguindo os protocolos de Roetenberg et al. (2009). Esta calibração permitiu alinhar corretamente os sensores com os segmentos corporais, assegurando a precisão da reconstrução biomecânica. Após a calibração, o S3 desempenhou normalmente as suas funções, com os dados cinemáticos a serem registados para posterior análise.

De seguida, o municiador realizou seis contrações voluntárias máximas (CVM) de três segundos, repetidas três vezes com um intervalo de um minuto, conforme descrito por Chow et al. (1999) (Quadro n.º 10). Este procedimento permite transformar a atividade elétrica do músculo, expressa em microvolts, em percentagem da atividade muscular após calibração, através de uma CVM (Lehman & McGill, 1999). A atividade elétrica de cinco músculos (Deltoide Anterior, Bíceps Braquial, Peitoral Maior, Grande Dorsal, e Tríceps Braquial) do lado dominante, foi registada utilizando cinco elétrodos de EMG de superfície (Trigno™ Wireless System, Delsys, Inc. 1000Hz; interelectrode distance = 1cm; Silver). A colocação dos elétrodos seguiu as diretrizes do Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM) para evitar limitações (Hermens et al., 2000). Antes da colocação, foram removidos os pelos e higienizadas as superfícies com álcool. Os elétrodos foram posicionados no sentido das fibras musculares e fixados com fita cola de dupla face, reforçada com adesivo adicional (Quadro n.º 9). Após a colocação, foi realizado um teste para verificar se os elétrodos estavam corretamente posicionados. Os dados de EMG foram recolhidos através do software EMGWorks Acquisition durante as CVM e toda a atividade, sendo filtrados (Filtro Butterworth passa-banda 20-450 HZ) pelos próprios sensores antes do cálculo do valor quadrático médio. Os valores de EMG foram calculados com base nos dados das CVM através de uma análise de amplitude no software Delsys EMGwork Analysis, calculada através da raiz quadrada média do sinal com uma janela de 125ms permitindo observar os dados de EMG e os dados cinemáticos temporalmente sincronizados.

Após a MT, foram recolhidos dados pós-esforço, nomeadamente o teste de lactato (imediatamente após a missão, 3 minutos depois e também antes da MT) para avaliar a acumulação metabólica resultante do esforço. Adicionalmente, o militar preencheu as escalas de PSE e PSR, permitindo uma avaliação subjetiva da fadiga e da recuperação.

Relativamente à análise dos dados quantitativos, utilizou-se estatística descritiva para caracterizar os resultados obtidos. Os dados de EMG foram analisados para identificar padrões de ativação muscular durante a execução das tarefas. Paralelamente, a análise biomecânica permitiu descrever os gestos técnicos em cada fase da missão, identificando a sequência das ações e a complexidade e repetibilidade dos movimentos associados à função do municiador. A monitorização cardíaca foi avaliada com base na TMB, permitindo através do sistema PNOE quantificar a exigência cardiovascular do servente. Já os dados das escalas subjetivas foram tratados por distribuição de frequências e correlacionados com os indicadores fisiológicos, possibilitando uma análise comparativa entre a perceção individual do esforço e a resposta fisiológica.

Quadro n.º 9 - Colocação dos sensores EMG



Quadro n.º 10 - Descrição dos Movimentos para as Contrações Voluntárias Máximas

Músculos CVM	Descrição do Movimento
Deltoide Anterior	Com o braço ao longo do tronco, aplicar resistência no punho para trás.
Bícep Braquial	Com o braço ao longo do tronco e o antebraço fletido a 90° em supinação, aplicar resistência inferiormente ao nível do punho.
Peitoral Maior	Com o braço num plano superior horizontal e o antebraço vertical, aplicar resistência para fora contra o cotovelo.
Grande Dorsal	Com o braço num plano superior horizontal e o antebraço vertical, aplicar resistência para dentro contra o cotovelo.
Trícep Braquial	Com o braço ao longo do tronco e o antebraço em posição neutra com o cotovelo fletido a 90°, aplicar resistência anteriormente, empurrando para a extensão do cotovelo.

Fonte: Adaptado de Chow et al. (1999)

PARTE III - APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1. Testes de Recuperação (Escala PSE e PSR)

O S3 executou a entrada em posição e a MT, preenchendo no final a escala de PSE, indicando a sua percepção do esforço nas diferentes séries de disparos (Quadro n.º 11).

Quadro n.º 11 - Resultados do Teste PSE

		12TOM	6TOM	6TOM	3TOM
0	Nenhum esforço				
1	Muito fraco				
2	Fraco	X			
3	Moderado		X		X
4	Um pouco forte				
5	Forte			X	
6					
7	Muito forte				
8					
9					
10	Esforço máximo				

A análise da PSE revelou uma variação ligeira da intensidade percebida ao longo das diferentes séries de disparos. O S3 classificou a execução da série de 12 TOM como "fraca", sugerindo um bom nível de preparação física e resistência inicial. À medida que a missão progrediu, registou-se um aumento gradual da percepção do esforço: as séries de 6 TOM foram avaliadas como "moderado" e "forte", respetivamente, refletindo um possível acúmulo de fadiga muscular. Já a série final, de 3 TOM, voltou a ser classificada como "moderado", o que poderá indicar uma ligeira recuperação, provavelmente influenciada pela menor carga da tarefa.

Após a realização da escala PSE, o servente preencheu a escala PSR de Kenttã & Hassmén (1998). O militar assinalou um valor de 16, situando-se entre "bem recuperado" e "muito bem recuperado", o que sugere que, apesar do esforço realizado, a percepção de recuperação foi positiva. Este resultado reforça a ideia de que o militar apresenta uma boa capacidade de resistência e recuperação fisiológica após a execução das tarefas exigentes da missão.

A análise conjunta dos resultados da PSE e da TQR demonstra coerência entre a percepção de esforço e o estado de recuperação relatado pelo servente. A baixa percepção de esforço inicial (PSE = 2 na série de 12 tiros) e a manutenção de níveis moderados nas séries seguintes, aliada a uma percepção final de boa recuperação (TQR = 16), indicam que o militar apresenta uma adequada preparação física para o desempenho da função de municionador, com uma boa gestão do esforço e rápida capacidade de recuperação.

5.2 Análise da Biomecânica

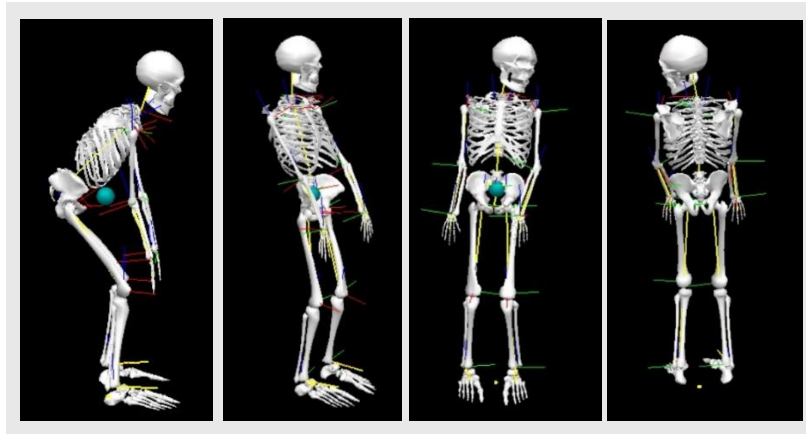
Foi realizada a análise biomecânica das tarefas do S3 na Entrada em Posição, na MT e na Saída de Posição. As funções selecionadas representam movimentos característicos do desempenho do S3 e foram analisadas com base em registos cinemáticos e eletromiográficos (presentes no Apêndice D), de modo a identificar os padrões posturais, articulares e de ativação muscular mais exigentes, permitindo compreender o impacto biomecânico das tarefas desempenhadas.

5.2.1 Análise da Biomecânica na Entrada em Posição

Iniciamos pelo primeiro passo, o desatrelar o obus. Esta tarefa evidencia uma postura inclinada do tronco com flexão acentuada da lombar e ligeira flexão dos joelhos. O membro superior dominante encontra-se em flexão do ombro com ligeira abdução, enquanto os cotovelos mantêm uma flexão constante. O posicionamento assimétrico e inclinado do tronco sugere uma carga significativa na região lombar e nos estabilizadores do *core*.

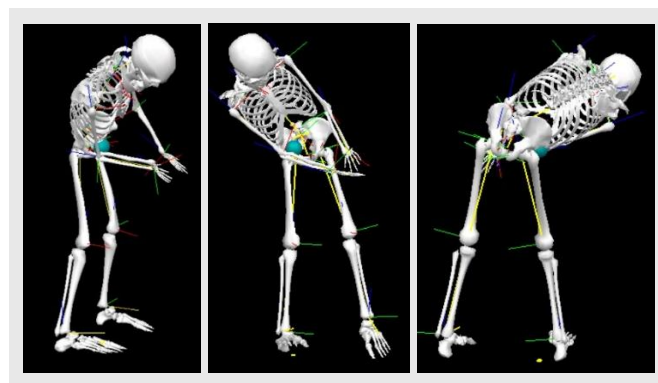
Esta exigência postural está em consonância com os resultados da EMG registados durante esta tarefa. O Deltoide Anterior apresentou um pico de 100%, refletindo o esforço máximo durante a elevação ou estabilização do membro superior. Como também o Grande Dorsal com um pico nos 90%, compatível com a sua função de extensão e tração do ombro. Este padrão de recrutamento muscular foi igualmente observado por Lehman et al. (2004), que relataram uma maior ativação do dorsal durante exercícios de tração horizontal, como a remada sentada, em comparação com outras variações de puxar. O Grande Peitoral atingiu 36%, um dos seus valores máximos, o que sugere um contributo relevante na adução do braço e estabilização anterior da cintura escapular.

Quadro n.º 12 - Desatrelar o Obus da Viatura



Posteriormente o S3 retirou o Parafuso da Plataforma de Tiro. Esta tarefa envolve uma postura de inclinação significativa do tronco à frente, com os joelhos em ligeira flexão e os membros superiores projetados anteriormente em direção à zona de atuação do parafuso. A rotação do tronco e a inclinação lateral, visíveis nas imagens, indicam um esforço assimétrico que implica estabilidade do *core* e controlo do ombro e antebraço. A ativação muscular registada foi moderada, com o Deltoide a apresentar um pico de 38%, sugerindo um envolvimento relevante na estabilização e posicionamento do braço durante o gesto de desenroscar o parafuso. O Grande Peitoral revelou uma ativação de 17%, compatível com a sua função de adução e controlo da articulação do ombro durante o movimento de empurrar e ajustar o membro superior. Esta distribuição sugere que o esforço mecânico se concentrou no posicionamento e estabilização do membro superior, e não na geração de força bruta.

Quadro n.º 13 - Retirar o Parafuso da Plataforma de Tiro

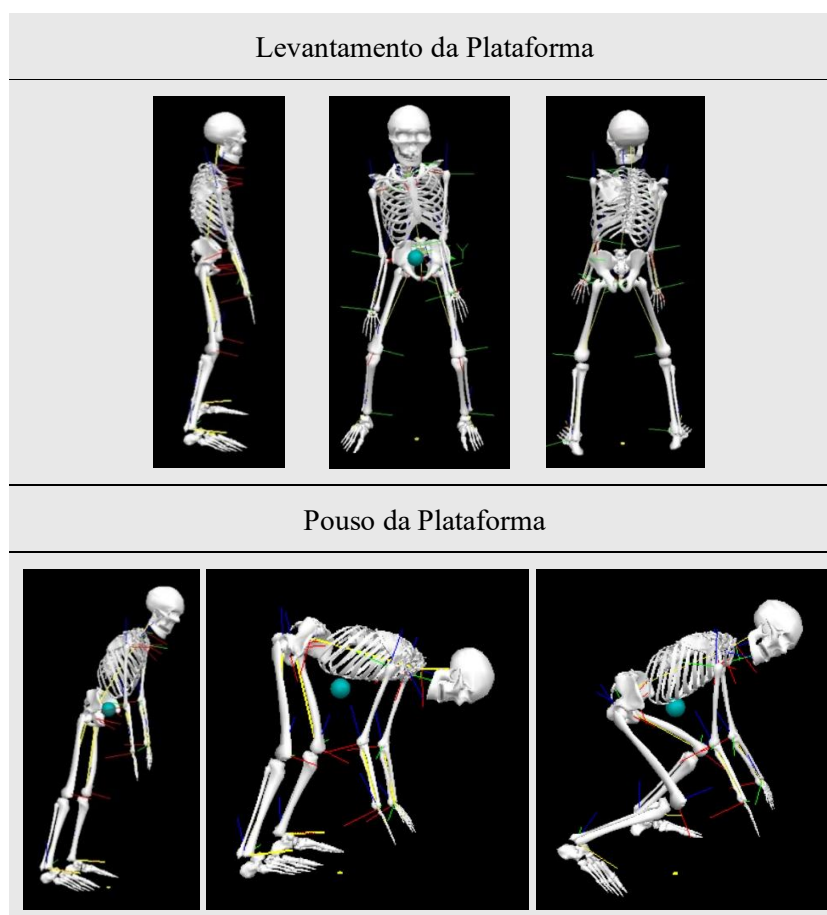


Ainda em contacto com a plataforma, no seu levantamento, o S3 adotou uma postura com flexão parcial dos membros inferiores e afastamento dos pés, conferindo uma base de

suporte para garantir estabilidade durante a ação de elevação. A coluna mantém-se numa posição mais neutra, e os membros superiores encontram-se em ligeira abdução com uma rotação interna para agarrar nas pegas da plataforma. A análise da EMG revelou uma ativação moderada do Deltoide (20%) e do Bíceps Braquial (18%), sugerindo uma participação muscular relevante, embora não máxima, no suporte e controlo dos movimentos dos membros superiores.

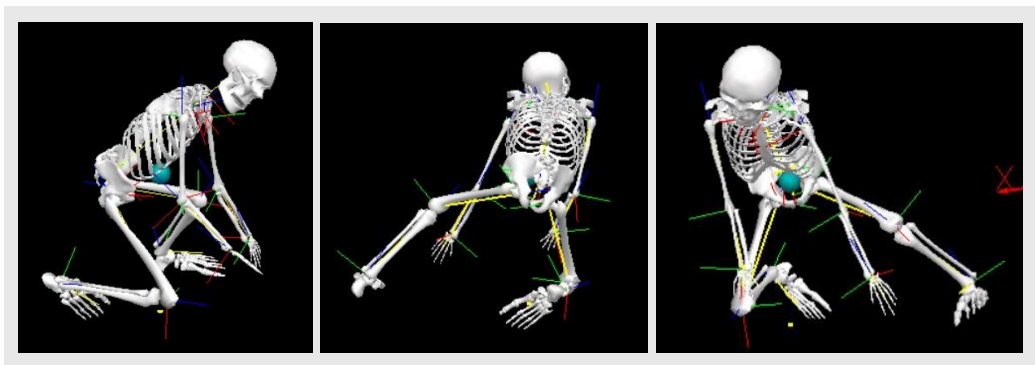
Já a pousar a plataforma exigiu uma descida controlada, para uma posição de agachamento, com o tronco projetado à frente e os membros superiores em extensão. A biomecânica desta tarefa evidencia um esforço excêntrico para controlar a colocação da plataforma no solo, com exigência de estabilidade postural. A EMG revelou uma ativação muscular globalmente discreta, com exceção do Tríceps, que apresentou o seu segundo maior pico nesta fase com 85%, e do Dorsal com uma ativação de 40%, valor compatível com a necessidade de extensão e travagem do cotovelo e da estabilização do ombro e do tronco durante a descida da plataforma.

Quadro n.º 14 - Levantamento e Pousa da Plataforma de Tiro



Finalizando as funções com a plataforma, o S3 empurra a mesma para junto das rodas. A posição do tronco, inclinado para a frente, associada à flexão dos membros inferiores, cria uma base de suporte ampla e favorece a aplicação de força horizontal com os membros superiores. A EMG nesta tarefa revelou envolvimento muscular moderado, destacando-se o Deltóide com uma ativação de 35%, coerente com a função de estabilização e abdução do ombro durante o movimento de empurrar. E o Bíceps registou o seu segundo maior pico de ativação com 23%, indicando a sua participação no controlo da flexão do cotovelo e no ajuste no posicionamento da plataforma. O Peitoral apresentou uma ativação de 17%, também relevante para a adução e estabilidade anterior da articulação do ombro durante o avanço da plataforma.

Quadro n.º 15 - Colocar a Plataforma de Tiro junto às rodas



Após isso, o municiador executa uma subida e descida da monoflecha para o interior do espaço de trabalho do obus. Essa transição exige movimentos de flexão e extensão dos membros inferiores, associados à tração e ao apoio de um dos membros superiores para garantir o equilíbrio e a passagem controlada.

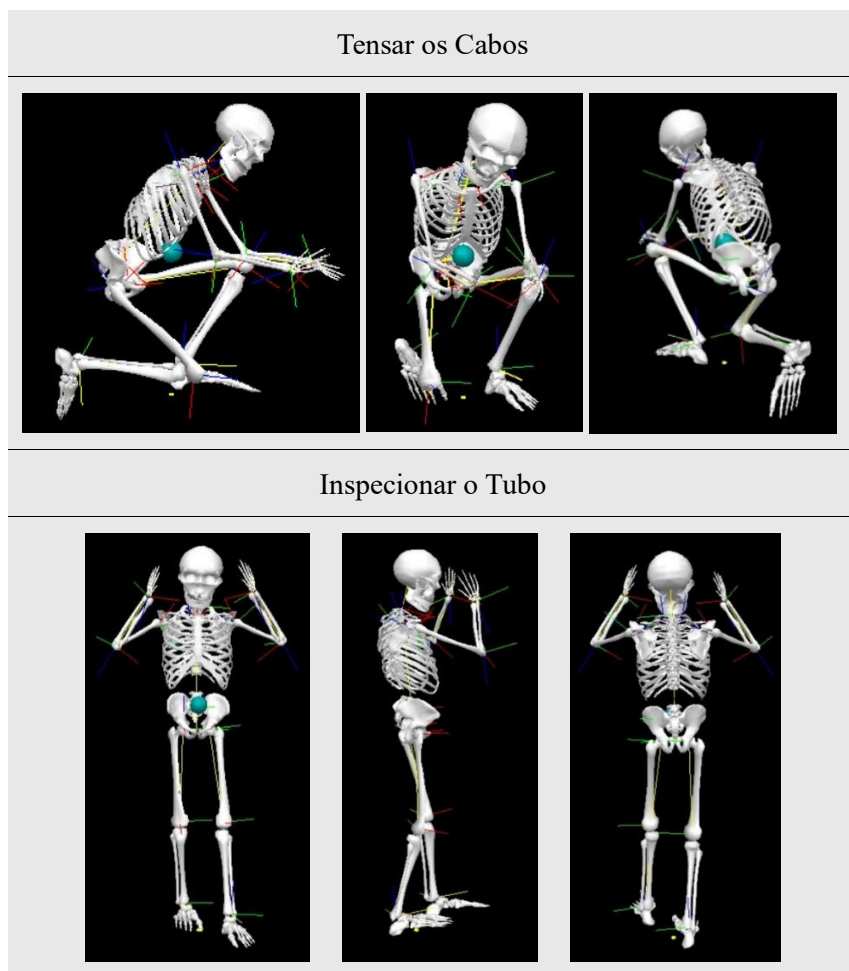
Quadro n.º 16 - Subida e Descida da Monoflecha para o interior do Obus



Já no interior na monoflecha o S3 executou a tarefa de tensionar os cabos da plataforma, o que exigiu uma posição de um apoio, com a flexão do joelho direito no solo, associada à extensão parcial dos membros superiores. O movimento foi de baixa exigência muscular para os membros superiores não existindo grandes ativações de EMG.

Ainda no interior, o S3 inspeciona o tubo, com uma postura ereta, com elevação dos membros superiores à altura do tubo, orientando o olhar para o interior do mesmo. Embora biomecanicamente exista algum recrutamento para a manutenção da postura dos membros superiores, a intensidade do esforço foi reduzida.

Quadro n.º 17 - Trabalho no interior da Monoflecha

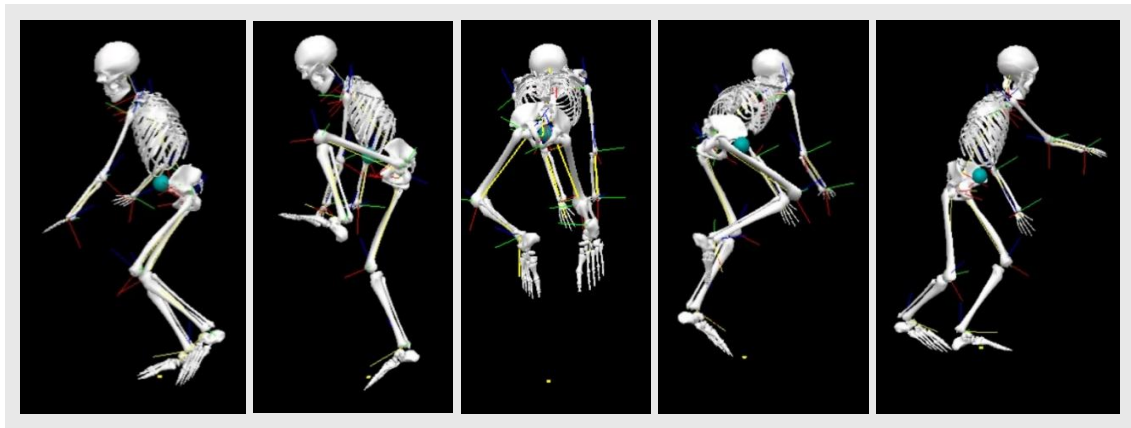


Após realizadas as tarefas no interior, o S3 passa para o exterior da monoflecha executando novamente uma subida e descida. Nesta tarefa registou-se uma ativação muscular significativamente superior em comparação com a mesma tarefa realizada para o interior. O Deltoide apresentou um pico de 73%, enquanto o Tríceps Braquial atingiu o seu

valor máximo com 90%. O Grande Peitoral revelou uma ativação de 22%, sendo este o seu segundo maior valor registado nesta fase como também o Grande Dorsal com 16%.

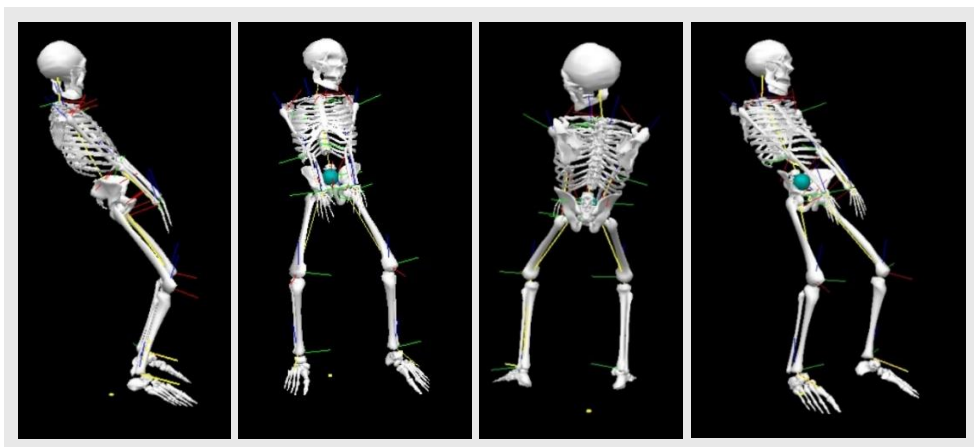
Esta diferença de ativação justifica-se pelo facto de, nesta tarefa, o S3 ter utilizado ambas as mãos para apoiar a descida, ao contrário da primeira subida em que apenas um membro superior foi mobilizado. Tendo em conta que os elétrodos estavam colocados unilateralmente, esta maior participação do lado dominante pode ter influenciado os registos, refletindo uma maior exigência muscular global nesta fase do movimento.

Quadro n.º 18 - Subida e Descida da Monoflecha para o exterior do Obus



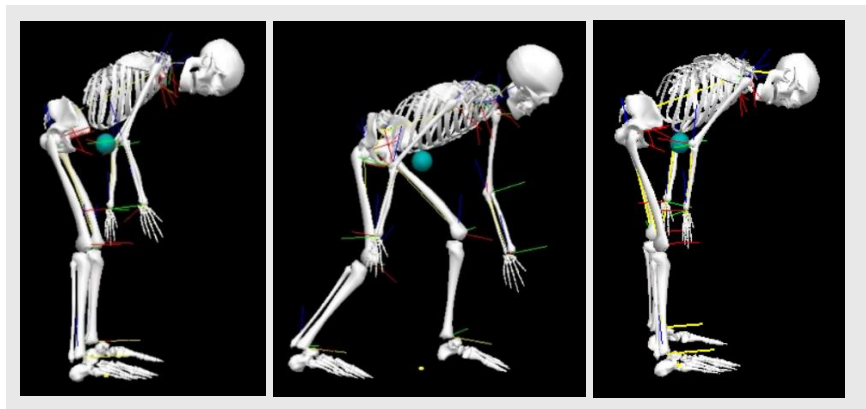
Durante a ação de conteirar o obus, o S3 adota uma postura com extensão do tronco e ligeira flexão dos membros inferiores, inclinando o corpo para movimentar o obus. A EMG revelou uma ativação moderada do Tríceps com 40%, o que sugere o seu papel predominante na extensão do cotovelo e no controlo da carga.

Quadro n.º 19 - Conteirar o Obus



Ao carregar a esteira da palamenta do obus exigiu do S3 uma combinação de flexão do tronco e ativação coordenada dos membros superiores, numa ação de levantamento e transporte do material. Esta foi, biomecanicamente, uma das tarefas mais exigentes da MT. O Deltoide registou 55%, indicando o esforço na elevação e estabilização do braço. O Bíceps apresentou o seu pico máximo nesta fase (37%), evidenciando a sua função na flexão do cotovelo e suporte da carga. O Peitoral também atingiu o seu valor mais alto (27%), compatível com a adução e estabilização anterior do ombro. O Tríceps contribuiu com 28%, demonstrando envolvimento na extensão controlada do cotovelo, enquanto o Dorsal atingiu 14%, verificando o seu papel na extensão e tração do ombro. A exigência postural e o nível de força requerido nos membros superiores para suportar peso da palamenta justificam esta elevada ativação muscular.

Quadro n.º 20 - Carregar a Palamenta do Obus

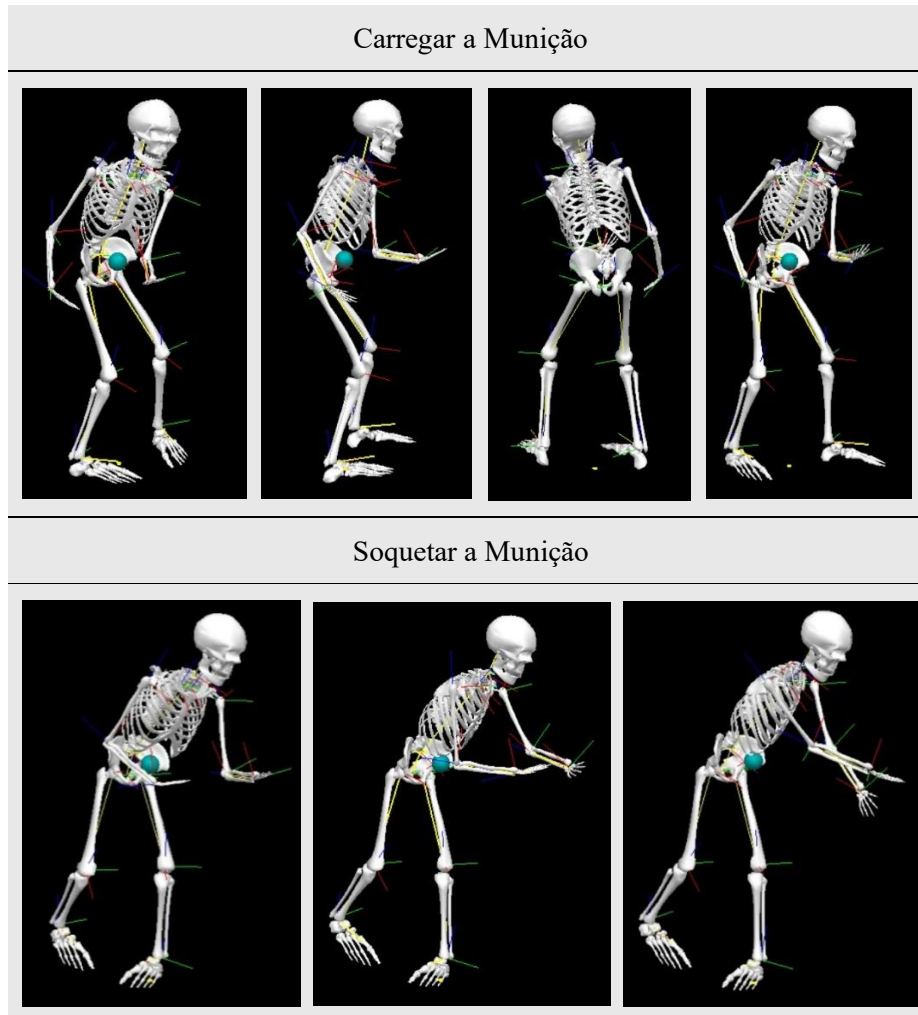


5.2.2 Análise da Biomecânica na Missão de Tiro

Durante a fase de carregar a munição, o S3 adotou uma postura ereta com ligeira flexão do tronco e rotação do tronco, permitindo agarrar a munição à sua frente. Os membros superiores encontram-se numa posição de flexão do cotovelo e rotação interna do ombro, compatível com o transporte controlado da munição até à culatra. Esta tarefa implicou um controlo motor estável e força nos membros superiores, especialmente ao considerar o peso e a forma do projétil. Na tarefa de soquetar a munição, o S3 adota uma postura inclinada para a frente com os membros superiores em extensão à frente do corpo, realizando uma força dirigida no sentido horizontal. Biomecanicamente, esta ação exige uma combinação de força e controlo postural, implicando especialmente a estabilização da cintura escapular. A projeção do tronco à frente do centro de massa, associada à necessidade de precisão e

força no encaixe da munição no tubo, torna esta tarefa exigente ao nível dos ombros e cotovelos.

Quadro n.º 21 - Carregar e Soquetar a Munição



Durante o primeiro minuto da MT (12 TOM), a tarefa de carregar a munição implicou uma elevada exigência muscular, refletida pelos valores de EMG observados. O Deltoide e o Dorsal atingiram vários picos máximos de ativação (100%), refletindo o esforço repetido e intenso na estabilização e controlo postural. O Bíceps e o Tríceps Braquial atingiram o seu maior valor nesta fase (43% e 30%, respetivamente), reforçando o seu papel na flexão e extensão do cotovelo, fundamentais para o suporte da carga e o controlo do movimento durante a introdução da munição. Também o Grande Peitoral demonstrou elevada participação com um pico de 38%, indicando uma contribuição importante na adução e estabilização do ombro. Estes resultados evidenciam a intensa coordenação muscular, caracterizando esta fase como uma das mais exigentes em termos biomecânicos para o S3.

Nos dois minutos seguintes (6TOM), a atividade muscular manteve-se elevada, com o Deltoide e o Dorsal a registarem picos de ativação de 95% e 100%, respetivamente. O Bíceps Braquial e o Grande Peitoral mantiveram níveis médios de 30%, essenciais para o controlo e transporte da munição. Já o Tríceps Braquial registou uma diminuição da sua ativação, com valores médios abaixo dos 10%.

No quarto e último minuto da MT (3TOM), observou-se uma descida considerável da atividade muscular. Ainda assim, o Deltoide atingiu os 70% e o Dorsal chegou aos 100%, salientando a sua relevância na estabilização do tronco e no controlo dos movimentos repetidos. O Bíceps e o Peitoral registaram uma média superior a 25%, enquanto o Tríceps manteve valores abaixo dos 10%.

5.2.2 Análise da Biomecânica na Saída de Posição

Durante a fase de saída de posição, o S3 executa uma sequência de tarefas que correspondem, na sua maioria, à inversão dos gestos previamente realizados na entrada em posição, o que permite inferir padrões biomecânicos semelhantes aos anteriormente observados. Do ponto de vista postural e articular, permanece a exigência de estabilidade da cintura pélvica e da coluna lombar, sustentada por movimentos coordenados dos membros inferiores em flexão e extensão, e dos membros superiores em tarefas de manipulação. Embora não tenham sido recolhidos dados de EMG destas tarefas, é expectável que a ativação muscular se mantenha em níveis comparáveis, dadas as semelhanças nas exigências cinemáticas e de suporte da carga. Estas tarefas podem ser visualizadas no Apêndice B.

5.3 Eletromiografia

Foram seleccionados os principais grupos musculares do membro superior direito, essenciais para os gestos técnicos da função do S3. Os dados de EMG encontram-se no Apêndice C, sob a forma de gráficos individuais por músculo e por fase da missão.

5.3.1 Análise da Ativação Muscular na Entrada em Posição

Durante a fase de entrada em posição, a EMG mostrou variações claras na ativação dos grupos musculares, com picos distribuídos ao longo do tempo e associados aos momentos críticos de manipulação de material.

O músculo Deltoide Anterior (Apêndice C - Figura n.º 14) apresentou picos superiores a 70%, principalmente entre os 40 e 60 segundos, período em que o S3 levantou

e posicionou a plataforma, traduzindo a elevada exigência neuromuscular (>60%) segundo De Luca (1997) e a natureza intermitente do esforço.

O Bíceps Braquial (Apêndice C - Figura n.º 15) evidenciou ativações predominantemente entre os 10% e os 22%, com um pico isolado de 36% aos 108 segundos, que foi o momento em que o S3 conteirou o obus. Esta ativação situa-se maioritariamente na faixa de esforço moderado (Konrad, 2006), refletindo a função de flexão do antebraço durante a tensão dos cabos, a retirar o parafuso da plataforma de tiro bem como o transporte da palamenta.

O Grande Peitoral (Apêndice C - Figura n.º 16) demonstrou uma ativação globalmente mais discreta, com valores inferiores a 20% e com um pico de 27% ao conteirar o obus. Estes resultados são compatíveis com a sua função secundária de estabilização e adução do ombro durante a fase de empurrar a plataforma de tiro e ao posicionar a palamenta (Basmajian & De Luca, 1985).

No caso do Tríceps Braquial (Apêndice C - Figura n.º 17), verificaram-se picos de ativação superiores a 60%, com um valor máximo de 89% aos 56 segundos. Este padrão revela a importância da extensão do cotovelo durante o empurrar ou a sustentar as cargas, sendo o mais solicitado nesta fase.

Já o Grande Dorsal (Apêndice C - Figura n.º 18) apresentou níveis de ativação baixos, maioritariamente inferior a 7%, com um pico registado aos 34 segundos de 41%, no levantamento da plataforma. Este músculo parece desempenhar uma função estabilizadora e auxiliar, com atividade EMG discreta e intermitente.

5.3.2 Análise da Ativação Muscular na Missão de Tiro

Na MT, observou-se uma alteração nos padrões de ativação muscular, evidenciando um envolvimento mais prolongado e, em alguns casos, mais intenso em determinados músculos, refletindo o carácter repetitivo e de sustentação da tarefa de municiar.

O Deltoide Anterior (Apêndice C - Figura n.º 19) voltou a destacar-se, com diversos picos a 100%. Este resultado confirma o elevado esforço imposto ao ombro para manusear as munições. A intensidade e frequência da ativação sustentam a ideia de que este músculo assume um papel central na tarefa (De Luca, 1997).

No Bíceps Braquial (Apêndice C - Figura n.º 20), observou-se uma ativação maioritariamente entre 20% e 36%. confirmando o seu papel essencial na flexão do cotovelo e estabilização do membro superior durante a introdução das munições (Konrad, 2006).

O Grande Peitoral (Apêndice C - Figura n.º 21) registou uma ativação consistente entre os 30% e os 37%. evidenciando um esforço contínuo para empurrar a munição ao soquetar ou a manter o braço em adução contra resistência no transporte da munição (Basmajian & De Luca, 1985).

O Tríceps Braquial (Apêndice C - Figura n.º 22) apresentou valores entre os 5% e os 30%, sugerindo uma função sobretudo estabilizadora, dado o menor protagonismo da extensão do braço na MT.

Por fim, o Grande Dorsal (Apêndice C - Figura n.º 23) revelou uma atividade mais consistente do que na fase anterior, com vários picos de 100% e várias ativações acima dos 80%, refletindo o elevado envolvimento do tronco e do ombro nas tarefas de estabilização e soquetagem.

5.3.3 Comparação entre as Fases

A comparação entre a fase de entrada em posição e a MT revela diferenças na distribuição e intensidade da ativação muscular. O Deltoide destacou-se em ambas como um dos músculos mais solicitados, com vários picos de 100% na MT, sugerindo uma carga mais exigente durante o tiro.

O Bíceps aumentou significativamente a sua ativação na MT, refletindo o maior número de ações de tração e controlo postural. De forma inversa, o Tríceps, muito ativo na entrada em posição, apresentou menor envolvimento na MT.

O Dorsal assume maior protagonismo na MT, sugerindo que o esforço se distribui de forma mais global à medida que a tarefa evolui, exigindo estabilização e força contínua.

Estes resultados reforçam a importância de estratégias de preparação física específicas para os municiadores, com ênfase no membro superior, bem como no treino de resistência muscular localizada.

5.4 Monitorização Cardíaca

Foram realizadas e monitorizadas duas entradas em posição, seguidas da respetiva MT, com o objetivo de comparar ambas as avaliações, identificando padrões de resposta fisiológica e possíveis variações entre execuções.

É de referir que a entrada em posição varia consoante o treino da secção. No entanto o tempo máximo de entrada em posição é de 8 minutos (Exército Português, 2003). Na primeira recolha a entrada em posição demorou até ao minuto 4:24, depois até ao minuto

8:24 fez parte a MT. Já na segunda recolha a MT começou aos 3:34 e permaneceu até ao minuto 8:51.

5.4.1 Resultados da Taxa Metabólica Basal

Os resultados da TMB estão presentes no Apêndice E - Quadro n.º 25.

A TMB estimada em 2503 kcal/dia para o S3 indica um metabolismo de repouso elevado, o que está de acordo com o perfil fisiológico de indivíduos com elevada proporção de massa corporal magra e elevado nível de atividade física, como é comum em militares (Schneider, 2005).

5.4.2 Resultados da 1ª Recolha

Os resultados da monitorização evidenciaram diferenças fisiológicas relevantes entre a entrada em posição e a MT, analisadas através das variáveis da frequência cardíaca (HR), consumo de oxigénio (VO₂) e equivalente metabólico (MET).

A média do HR aumentou de 125 batimentos por minuto (bpm) na entrada em posição para 136 bpm na MT, atingindo picos de 160 e 163 bpm, respetivamente. Este padrão é consistente com a maior intensidade exigida durante a MT.

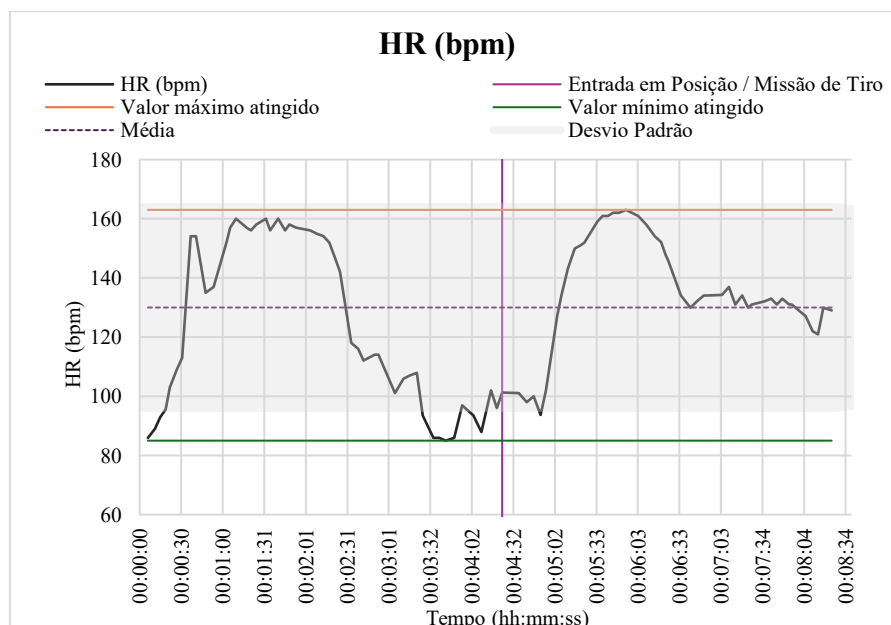


Figura n.º 2 - HR (bpm) - 1ª Recolha

O VO₂ médio foi igualmente superior na MT, o que pode ser justificado pela maior complexidade com o movimento preciso das munições, ajustes na direção e esforço coordenado com a restante secção.

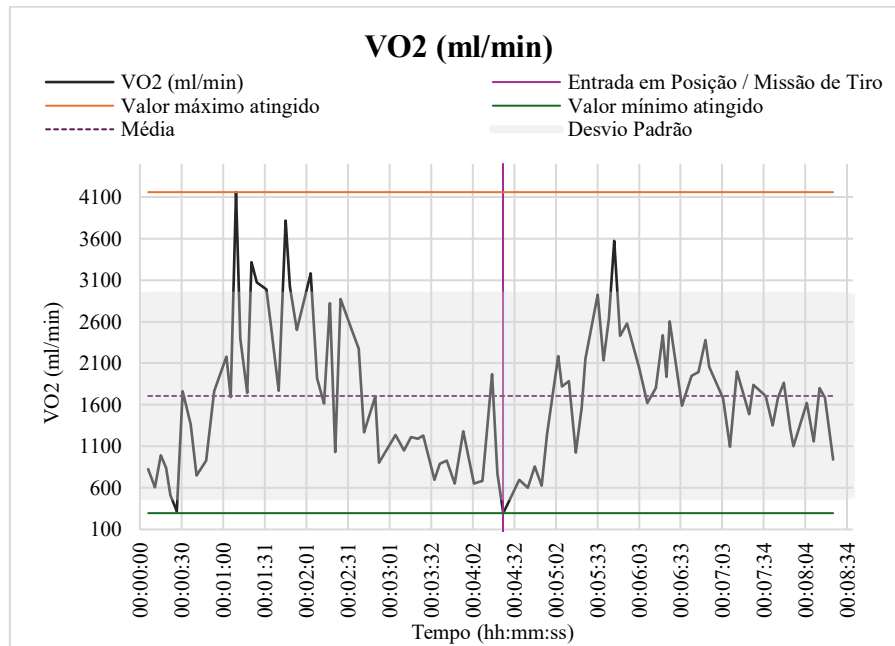


Figura n.º 3 - VO₂ (ml/min) - 1ª Recolha

O valor médio de MET seguiu a mesma tendência, sendo 5,91 na entrada em posição e 6,30 na MT, aproximando-se do limiar para atividade vigorosa (≥ 6 METs), segundo o American College of Sports Medicine (2021). Confirmando que a MT representa um esforço físico substancial, enquadrado em intensidades moderadas a vigorosas.

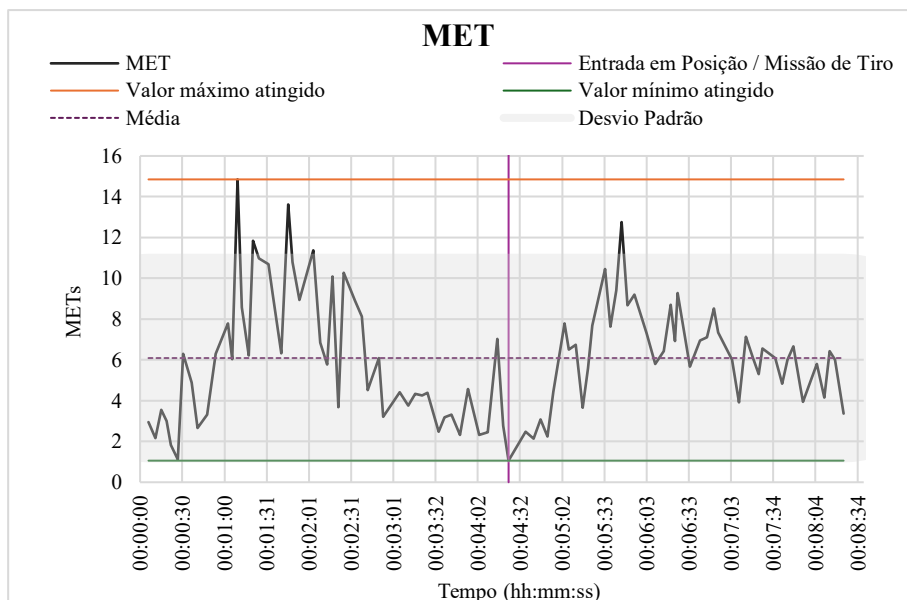


Figura n.º 4 - MET - 1ª Recolha

Os gráficos reforçam visualmente estes padrões: tanto a HR como o VO_2 e os METs apresentam picos significativos no início e durante a MT, destacando momentos de maior exigência física. A variação acentuada do VO_2 , em particular, pode refletir o caráter intermitente da tarefa, que inclui esforços explosivos, movimentos rápidos e tempos de curta recuperação.

A análise do custo metabólico, baseada em variáveis como o gasto energético (EE) (kcal/min), os hidratos de carbono (CARBS) (kcal), as gorduras (FAT) (kcal) e o quociente respiratório (QR), revelou dois picos principais. Estes momentos coincidem com tarefas que exigem maior mobilização física, como o transporte da plataforma de tiro e o manuseamento das munições. A média de EE durante as atividades foi de 8,09 kcal/min, o que representa um esforço metabólico considerável, situando-se acima do limiar de 6 kcal/min que, segundo Ainsworth et al. (2011), caracteriza atividades vigorosas. Confirmando a intensidade do esforço requerido pelo municionador.

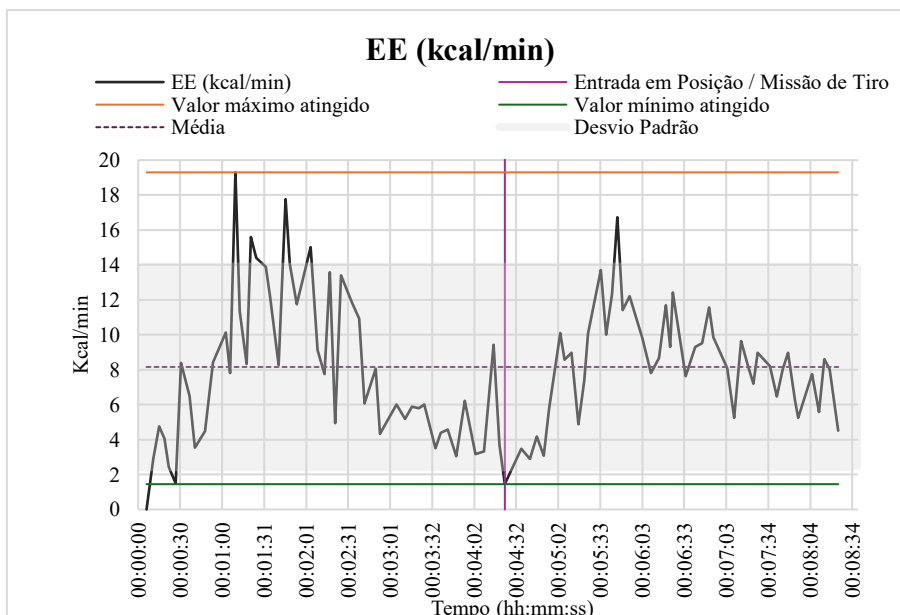


Figura n.º 5 - EE (kcal/min) - 1ª Recolha

A utilização de substratos energéticos ao longo do tempo pode ser visualizada no gráfico de área empilhada (Figura n.º 6). Ambos os substratos são ativamente mobilizados, com destaque para o FAT como principal fonte energética, sugerindo uma predominância da via aeróbia lipídica com esforços prolongados e moderados. O valor médio de CARBS foi ligeiramente superior na MT que na entrada em posição, refletindo momentos de maior solicitação energética.

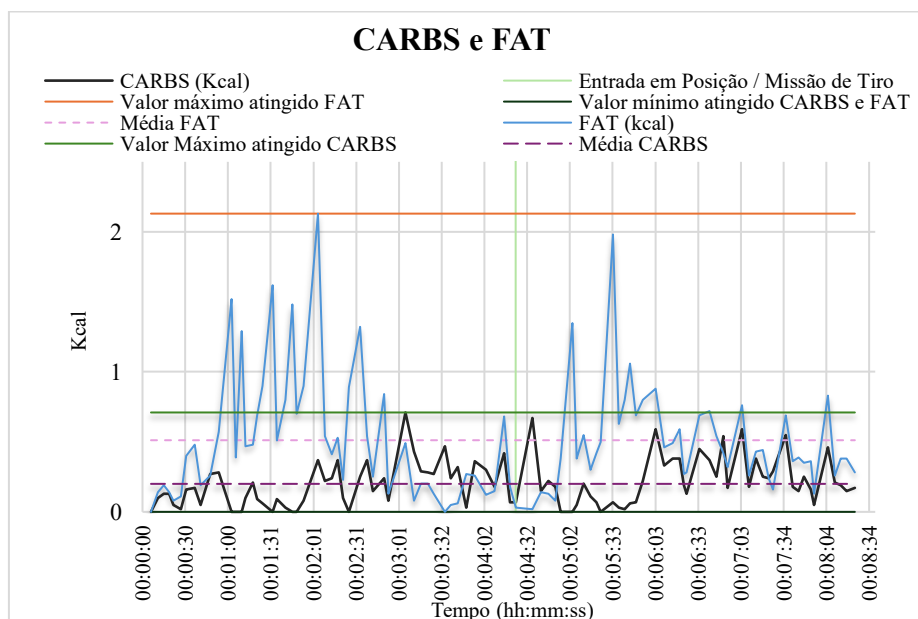


Figura n.º 6 - CARBS e FAT (kcal) - 1ª Recolha

O QR manteve-se estável, com valor médio de 0,80 em ambas as fases, o que indica uma predominância da oxidação lipídica, já que valores próximos de 0,70 indicam uso exclusivo de gordura, enquanto valores perto de 1,0 sugerem uma utilização predominante de CARBS (McArdle et al., 2015). No entanto, picos ligeiramente acima de 0,90 coincidem com os momentos de maior EE, apontando para uma maior mobilização de hidratos nos períodos mais intensos.

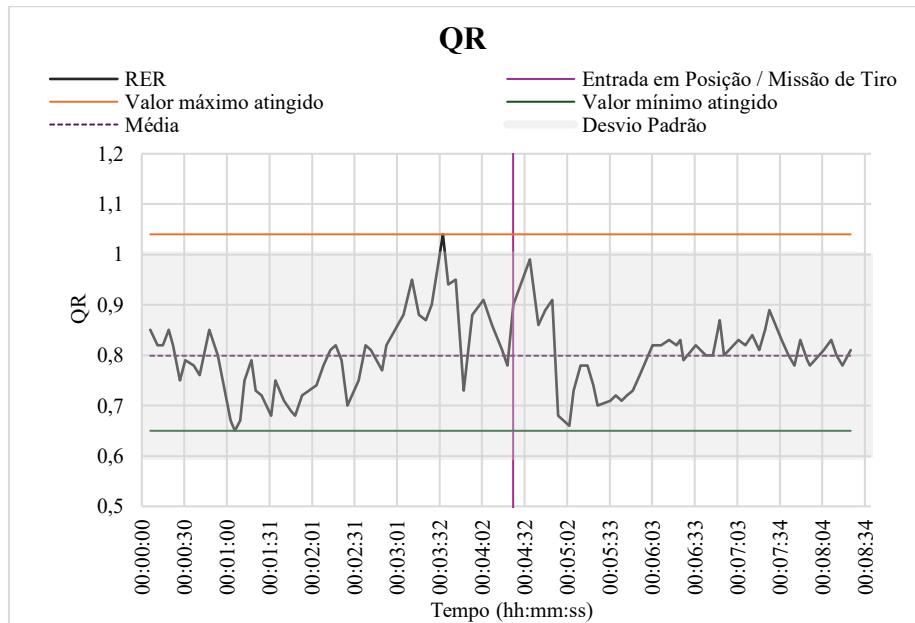


Figura n.º 7 - QR - 1ª Recolha

Verifica-se que a MT apresenta uma EE média superior, bem como maior consumo de CARBS, apesar de manter o valor de FAT e QR. Estes resultados indicam que há uma ligeira elevação na exigência metabólica durante a MT.

A avaliação das variáveis fisiológicas - HR, VO_2 , EE, MET e QR - mostraram um padrão de esforço físico elevado em ambas as fases, mas com diferenças distintas. Enquanto a entrada em posição se caracteriza por picos de VO_2 e MET, reflexo de esforços intensos e intermitentes, a MT apresenta valores médios superiores em HR, VO_2 , EE e MET, evidenciando uma exigência metabólica mais contínua e prolongada. Esta diferença aponta para a necessidade de resistência muscular localizada e capacidade aeróbica na MT, em contraste com a explosividade e intensidade transitória da entrada em posição. O QR manteve-se estável em ambas as fases, indicando uma predominância aeróbica e equilíbrio entre lípidos e CARBS, ainda que com picos de maior intensidade ao longo da missão (Kenney et al., 2020).

5.4.3 Resultados da 2ª Recolha

Na 2ª recolha, os dados apresentados no Apêndice C reforçam o padrão identificado na 1ª recolha. O gráfico do HR evidencia médias superiores durante a MT, refletindo a exigência física acrescida do manuseamento rápido e repetido de munições. Os valores médios de VO₂ e MET também aumentaram na MT, com picos de 3378,43 ml/min e 12,07 MET, respetivamente, caracterizando um esforço vigoroso (Ainsworth et al., 2011). Estes resultados corroboram o que foi descrito por Looney et al. (2018), que sublinharam o impacto das tarefas militares no custo metabólico, sobretudo quando envolvem elevada carga muscular e movimentos repetitivos. O ligeiro aumento do EE durante a MT reforça o impacto do esforço técnico e contínuo destas tarefas.

Os gráficos de substratos energéticos revelam um aumento progressivo no consumo de CARBS durante a MT, padrão coerente com o descrito por Brooks et al. (2005), indicando maior solicitação energética de fontes de rápida disponibilidade. O QR manteve-se estável em ambas as fases, evidenciando o equilíbrio energético característico de esforços intermitentes e prolongados, ainda que com momentos de maior intensidade.

5.4.4 Comparação entre as Recolhas

A comparação entre as duas recolhas revela padrões consistentes nas respostas fisiológicas do municionador, mas com ligeiras variações que podem refletir adaptações fisiológicas ou condições externas. Observou-se uma pequena redução nos valores médios da segunda recolha, como a HR e o VO₂, sugerindo uma execução mais eficiente ou adaptações motoras à tarefa. O QR manteve-se estável em ambas as fases, indicando predomínio do metabolismo lipídico (McArdle et al., 2015).

Durante a MT, embora também tenha ocorrido uma ligeira diminuição nos valores médios na segunda recolha, a fase manteve-se como o momento de maior intensidade fisiológica, com picos elevados de MET. Estas variações poderão estar relacionadas com fatores como aprendizagem motora, estado de fadiga ou condições operacionais. O Quadro n.º 22 apresenta um resumo detalhado destes resultados.

Quadro n.º 22 - Tabela Comparativa das Recolhas

Entrada em Posição						
Variável	<i>1ª Recolha</i>			<i>2ª Recolha</i>		
	Média	Pico	Desvio Padrão	Média	Pico	Desvio Padrão
HR (bpm)	125	160	28,48	120	154	22,38
VO ₂ (ml/min)	1654	4158	965,27	1499	3272	829,20
EE (kcal/min)	7,77	19,3	4,49	7,00	15,21	4,30
MET	5,91	14,85	3,45	5,36	11,69	2,96
QR Média	0,80			0,79		
CARBS (kcal) Média	0,18			0,13		
FAT (kcal) Média	0,50			0,45		
Missão de Tiro						
Variável	<i>1ª Recolha</i>			<i>2ª Recolha</i>		
	Média	Pico	Desvio Padrão	Média	Pico	Desvio Padrão
HR (bpm)	136	163	18,08	125	162	22,11
VO ₂ (ml/min)	1764	3572	617,90	1565	3378	724,71
EE (kcal/min)	8,41	16,74	2,89	7,50	16,02	3,34
MET	6,30	12,76	2,21	5,59	12,07	2,59
QR Média	0,80			0,82		
CARBS (kcal) Média	0,23			0,22		
FAT (kcal) Média	0,50			0,38		

5.5 Testes de Lactato

Para avaliar a resposta metabólica à MT, foram realizados testes de lactato em três momentos distintos (em repouso, imediatamente após e três minutos após a MT), utilizando o analisador portátil Lactate Pro II Arkay. Os resultados demonstraram um aumento moderado na concentração de lactato imediatamente após o esforço (3,4 mmol/L), com uma recuperação parcial observada aos três minutos (2,8 mmol/L), refletindo uma capacidade eficiente de remoção de lactato. Estes valores encontram-se dentro dos intervalos fisiológicos normais para esforços de intensidade moderada, sugerindo um bom equilíbrio entre produção e remoção de lactato, bem como uma boa tolerância ao esforço e recuperação (Powers & Howley, 2017; Brooks et al., 2005).

Esta capacidade de recuperação sugere uma remoção eficiente do lactato está alinhada com os resultados das escalas PSE e TQR, evidenciando a boa tolerância ao esforço e rápida capacidade de recuperação do S3.

Quadro n.º 23 - Resultados dos Testes de Lactato

Momento da Medição	Concentração de Lactato (mmol/L)
Antes da MT	1,9
Imediatamente após a MT	3,4
3 minutos após a MT	2,8

CAPÍTULO 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Impacto da Carga Mecânica no Desempenho Físico e na Cadência de Tiro

A MT em AC implica a realização de tarefas fisicamente exigentes sob espaços temporais rigorosos. O presente estudo evidenciou que a carga mecânica associada à função do municionador influencia o seu desempenho físico, repercutindo-se na cadência de tiro.

A análise biomecânica permitiu identificar um padrão de movimento cíclico e repetitivo, com momentos de elevado stress articular e muscular, especialmente durante a manipulação das munições. Os dados de EMG confirmam esta solicitação, evidenciando ativações elevadas (picos > 70% da CVM) nos músculos Trícep Braquial, Grande Dorsal e Deltoide Anterior em vários momentos da missão. Estes resultados coincidem com o reportado por Kowalski et al. (2021), que documentaram níveis elevados de EMG em músculos do ombro durante tarefas de empurrar e estabilizar, reforçando a semelhança biomecânica e a elevada carga nos membros superiores.

A monitorização cardíaca evidenciou uma elevação progressiva da HR ao longo da missão. Considerando a idade do S3 (20 anos), a sua HR máxima estimada seria de aproximadamente 200 bpm (220 - idade). Assim, a HR média durante a missão, de 130 bpm, corresponde a cerca de 65% da FCmáx (limiar inferior da zona de intensidade moderada), enquanto o pico de 163 bpm representa aproximadamente 82% da FCmáx, inserindo-se claramente na zona de intensidade vigorosa, de acordo com as diretrizes do American College of Sports Medicine (2021). Estes dados apontam para um esforço cardiovascular significativo durante os 12TOM e um decréscimo à medida que a quantidade de TOM diminui. De acordo com Achten e Jeukendrup (2003), o HR é um indicador fiável da intensidade do exercício e reflete diretamente a carga cardiovascular imposta ao organismo.

A análise dos dados de substratos energéticos e de VO₂ clarifica o padrão metabólico do municionador: o ligeiro aumento do lactato (1,9 mmol/L em repouso, 3,4 mmol/L no pós-MT e 2,8 mmol/L três minutos após) reflete uma ativação moderada da via anaeróbia, típica

de picos de intensidade. Este padrão está em consonância com Brooks et al. (2005), que destacam a intensificação de CARBS em esforços de maior intensidade, mantendo a utilização de FAT como principal substrato em esforços prolongados. Além disso, de acordo com Powers & Howley (2017), o aumento do VO_2 durante o exercício está diretamente relacionado com a quantidade de massa muscular ativa e a exigência do movimento, reforçando o perfil intermitente e exigente das MT.

Os resultados das escalas PSE e PSR mostram um aumento progressivo da percepção de esforço, contudo a PSR de 16 revela boa capacidade de recuperação. Estes dados, associados à HR média de 130 bpm, aos níveis moderados de lactato e à rápida recuperação, confirmam que o esforço do S3 se manteve controlado, sem comprometer a cadência de tiro.

Em suma, mesmo com as exigências físicas e a fadiga acumulada, o municionador demonstrou uma boa capacidade de resistência e adaptação, conseguindo cumprir as séries de disparos (12TOM, 6TOM, 6TOM e 3TOM) sem falhas. Isto reforça a necessidade de um treino físico específico para manter a cadência de tiro em contextos de operações prolongadas.

6.2 Custo Metabólico da Função do Municionador

A análise do custo metabólico associado à função do municionador revela uma exigência fisiológica significativa, maioritariamente sustentada por vias aeróbias, mas com momentos de intensidade mais elevada que exigem flexibilidade metabólica. Os valores registados nas variáveis HR, VO_2 , EE e MET registados situam-se em zonas de intensidade moderada a vigorosa, especialmente durante a MT, reforçando a exigência das tarefas desempenhadas (Kenney et al., 2020). Este padrão coincide com o descrito por Pihlainen et al. (2014), que documentaram respostas cardiorrespiratórias mais elevadas em tarefas militares intensas, caracterizadas por movimentos repetitivos e carga física substancial. Esses valores refletem o maior envolvimento muscular e a repetição técnica contínua, confirmando que, mesmo sem atingir níveis máximos, o esforço coloca o sistema cardiorrespiratório sob constante exigência (Powers & Howley, 2017; American College of Sports Medicine, 2021).

O QR manteve-se estável, confirmando o predomínio do metabolismo lipídico e a mobilização acrescida de CARBS durante os picos de esforço, um padrão coerente com os modelos descritos por Brooks et al. (2005). Embora os valores de EE permaneçam dentro de margens geríveis para indivíduos treinados, os picos de 15 a 19 kcal/min confirmam a

exigência intermitente e técnica, o que justifica programas de treino focados na resistência aeróbia, na tolerância a variações rápidas de intensidade e na recuperação (Foulis et al., 2017; Orr et al., 2014).

De forma geral, os resultados reforçam que a função do municionador exige planos de treino específicos para desenvolver a resistência muscular localizada e a capacidade de responder a esforços contínuos e explosivos.

6.3 Comparação da Exigência Fisiológica entre as Fases da Missão

A comparação entre a entrada em posição e a MT evidenciou uma maior exigência fisiológica na fase do tiro. Estes resultados estão em consonância com Pihlainen et al. (2014), que documentaram variações significativas nas respostas cardiorrespiratórias durante diferentes tarefas militares, sublinhando a necessidade de programas de treino adaptados à especificidade de cada função.

A massa magra do S3 constitui o principal determinante do seu gasto energético em repouso, o que justifica o valor registado para a TMB. O valor médio de QR de 0,71 confirma a predominância da oxidação de lípidos em repouso, indicativa de uma boa eficiência metabólica (Pereira et al., 2008). O gasto energético basal de 1,7 kcal/min e a HR de repouso de 66 bpm encontram-se dentro dos valores de referência para indivíduos ativos, reforçando a boa capacidade de regulação energética e cardiovascular (Jockner et al., 2019).

A HR foi ligeiramente superior na MT, tal como o VO_2 , que atingiu picos mais elevados nesta fase, sugerindo maior continuidade no esforço. Os valores de EE e METs foram também superiores na MT, o que reflete maior acumulação metabólica ao longo da execução dos disparos. Apesar disso, os valores médios mantiveram-se dentro de parâmetros aeróbios, coerentes com esforço submáximo (Kenney et al., 2020).

A nível neuromuscular e biomecânico, a MT destacou-se pela maior solicitação muscular localizada e repetitiva (Deltoide e Dorsal), contrastando com a entrada em posição. A MT implicou gestos cíclicos, padronizados e de curta duração, mas repetidos em alta frequência, o que favorece o aparecimento de fadiga localizada. Já na entrada em posição, os movimentos foram mais variados, no entanto com menor repetição técnica. Esta distinção reforça que a MT impõe não só maior carga fisiológica, mas também maior sobrecarga muscular localizada e risco de fadiga mecânica acumulada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como finalidade analisar a carga mecânica e o custo metabólico associados à função do municionador numa secção de AC rebocada com o Obus 105mm M119 LG, procurando compreender a intensidade de esforço imposto por esta função em contexto operacional. Através da monitorização fisiológica, da análise biomecânica e da EMG e da percepção subjetiva (de esforço e recuperação), foi possível avaliar, de forma integrada, o impacto do desempenho do municionador nas diferentes fases da missão. As conclusões obtidas permitem responder às PD, identificar os fatores que condicionam o desempenho operacional e propor recomendações fundamentadas em evidência empírica.

Relativamente à PD1 “De que forma a carga imposta pela função do municionador na missão de tiro influencia o seu desempenho físico e a cadência de tiro, e quais os fatores que a condicionam?”, conclui-se que a MT impõe uma carga fisiológica acentuada, refletida pelos valores elevados de HR, VO₂ e o MET com picos que se enquadram em intensidades vigorosas. Apesar disso, os valores médios mantiveram-se dentro de parâmetros aeróbios, coerentes com esforço submáximo. A cadência de tiro demonstrou-se influenciável pela acumulação de fadiga, sendo que a recuperação entre ciclos e a eficiência técnica individual se revelaram fatores atenuantes. Importa salientar que, apesar da exigência física, o municionador conseguiu cumprir a cadência de tiro prevista em todas as séries, evidenciando uma resposta operacional adequada. A consistência dos perfis fisiológicos nas diferentes recolhas indica que o treino físico e a organização da guarnição desempenham um papel determinante na mitigação do impacto da carga.

Relativamente à PD2 “Qual o custo metabólico do municionador?”, apurou-se, com base nos dados recolhidos por análise direta de gases (PNO₂) e dos valores de QR, que o custo metabólico é predominantemente aeróbio, embora existam momentos de ativação do metabolismo anaeróbio láctico, como indicado pelo aumento do lactato e da oxidação de CARBS. Os valores médios de EE situaram-se entre 7 e 8,5 kcal/min, com picos superiores a 16 kcal/min, o que demonstra uma carga relevante para um esforço funcional intermitente.

A comparação entre as duas recolhas demonstra que o padrão de resposta fisiológica - com médias moderadas e picos de maior exigência durante a MT - se manteve estável, indicando que o perfil de esforço é consistente mesmo quando repetido. Verificou-se, contudo, que na 1ª recolha a MT foi ligeiramente mais intensa, possivelmente devido a um

menor grau de habituação à tarefa ou à ausência de mecanismos compensatórios que se desenvolveram posteriormente. Estes resultados confirmam que a função do municionador requer não só resistência aeróbia, mas também capacidade de resposta a picos de intensidade anaeróbia, sobretudo durante as fases mais exigentes da missão.

Por fim, relativamente à PD3 “Qual a função que apresenta maior exigência no desempenho das funções do municionador?”, os resultados evidenciam que a MT apresenta, de forma sistemática, maior exigência fisiológica do que a entrada em posição. Embora a entrada em posição inclua momentos pontuais de esforço intenso, é na MT que os dados da revelam um esforço mais contínuo e metabolicamente exigente.

Apesar de o QR se manter estável entre fases, o consumo de CARBS foi consistentemente superior na MT, sugerindo uma maior solicitação energética de rápida disponibilidade, associada à execução repetida e técnica do tiro. Estes dados indicam que a função de municionador, particularmente durante a MT, requer não apenas força e potência, mas também elevada resistência à fadiga e boa capacidade de recuperação, para manter o desempenho ao longo das operações.

A nível neuromuscular, os dados de EMG reforçam esta diferenciação: os músculos Deltoide e Dorsal apresentaram níveis médios de ativação mais elevados na MT, com picos de até 100%, indicando uma solicitação intensa e localizada durante a execução técnica do carregamento e soquetagem da munição. Na entrada em posição, embora também se verifiquem momentos de elevada ativação, a distribuição do esforço muscular foi mais repartida e menos repetitiva.

Por sua vez, a análise biomecânica revelou que os gestos realizados na MT são mais cíclicos e rigorosos, devido ao tempo para execução dos tiros, o que, aliado à intensidade da tarefa, contribui para um perfil de esforço mais exigente. Em contraste, os movimentos da entrada em posição foram mais variados, mas com menor carga neuromuscular contínua e com maior tempo de descanso entre exercícios.

Em suma, a fase da MT representa a função mais exigente no desempenho do municionador, integrando maior carga fisiológica, metabólica e neuromuscular.

Desta forma é possível responder à PP: “Qual é a carga mecânica e o custo metabólico imposto pela função do municionador numa secção de Artilharia de Campanha rebocada com o Obus 105mm M119 LG?”, conclui-se que a função implica exigência fisiológica elevada, esforço submáximo com picos de intensidade vigorosa e uma solicitação muscular significativa, particularmente durante a MT. Estes fatores evidenciam a importância de uma

preparação física específica, ajustada às tarefas reais da missão, e de estratégias eficazes de recuperação e gestão do esforço.

Os resultados deste estudo podem ter implicações práticas na otimização do treino dos serventes de AC e na implementação de estratégias mais eficazes de recuperação. Além disso, as conclusões podem contribuir para o aperfeiçoamento dos protocolos de preparação física no contexto militar, garantindo um desempenho mais sustentável e adaptado às exigências das MT.

Apesar dos contributos deste estudo para a compreensão do impacto metabólico da função do S3, algumas limitações devem ser consideradas, abrindo caminho para futuras investigações. Destaca-se, em primeiro lugar, o facto de ter sido utilizada uma amostra reduzida, o que limita a generalização dos resultados a outros contextos ou grupos de militares. Além disso, poderão ser aprofundadas variáveis como a composição corporal, o estado nutricional e o nível de treino dos militares na resposta metabólica durante a MT. A realização de estudos longitudinais permitiria, também, avaliar as adaptações fisiológicas decorrentes do treino e da exposição prolongada a essas exigências operacionais.

Investigações futuras que comparem diferentes sistemas de AC, como o Obus AP M109 155mm e o M114 155mm/23 no Exército Português, bem como outras funções militares, poderiam fornecer uma visão mais abrangente das exigências metabólicas em diferentes cenários operacionais.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas incluam a realização de MT com munições reais, uma vez que a utilização destas pode gerar um impacto fisiológico e psicológico acrescido, associado ao aumento da adrenalina, do stress e da exigência cognitiva. Esses fatores podem influenciar significativamente a resposta metabólica dos militares, sendo essencial compreender a sua magnitude e possíveis estratégias de mitigação. Da mesma forma, investigações que avaliem a influência das condições ambientais poderão fornecer dados adicionais sobre os desafios enfrentados pelos militares no terreno e contribuir para o desenvolvimento de protocolos de treino e recuperação eficazes. Esta análise reforça a necessidade de considerar também as condições do terreno e o tipo de carga transportada, fatores que, segundo Looney et al. (2018), influenciam significativamente os custos metabólicos em operações militares, mesmo em tarefas aparentemente similares. Assim, este estudo representa um ponto de partida para novas abordagens que possam reforçar a eficiência e o bem-estar dos militares no desempenho das suas funções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). *Heart rate monitoring: applications and limitations*. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538.

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer J., Vezina J., Whitt-Glover M. C., & Leon, A. S. (2011). *2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1575-1581.

Alves, L. C. P. (2021). *Fatores que afetam o metabolismo basal: Uma revisão de literatura*. Universidade Federal do Amazonas.

Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2007). *Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: Fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva*. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 21(5), 61-85.

American College of Sports Medicine (ACSM). (2021). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (11th ed.).

Basmajian, J. V., & De Luca, C. J. (1985). *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography* (5th ed.). Williams & Wilkins.

Bertuzzi, R. C. M., Silva, A. E. L., Abad, C. C. C., & Pires, F. O. (2009). *Metabolismo do lactato: uma revisão sobre a bioenergética e a fadiga muscular*. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 11(2), 226-234.

Best, J. W., & Kahn, J. V. (2014). *Research in education* (10th ed.). Pearson Education Limited.

Birrell, S. A., & Haslam, R. A. (2010). *The effect of load distribution within military load carriage systems on the kinetics of human gait*. *Applied Ergonomics*, 41(4), 585–590.

Borg, G. A. V. (1982). *Psychophysical bases of perceived exertion*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.

Broday, E. E. (2013). *Análise comparativa entre os métodos de determinação da taxa metabólica visando o equilíbrio entre o homem e o ambiente* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications* (4th ed.). McGraw-Hill.

Businari, G. B., Batista, D. R., Rosolem, J. M., Braz, T. V., & Lopes, C. R. (2021). *Monitoramento da carga, fadiga, infecções, bem-estar e recuperação em jovens futebolistas*

durante treinamentos e competição. Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício, 20(2), 177-187.

Carreiras, H. (2023). *Faltam-nos munições e equipamentos para operar os meios porque desinvestimos*. Diário de Notícias. <https://www.dn.pt/arquivo/diario-de-noticias/helena-carreiras-faltam-nos-municoes-e-equipamentos-para-operar-os-meios-porque-desinvestimos-15975682.html>

Chiari, L., Della Croce, U., Leardini, A., & Cappozzo, A. (2005). *Human movement analysis using stereophotogrammetry: Part 2. Instrumental errors*. Gait & Posture, 21(2), 197–211.

Chow, J. W., Darling, W. G., & Ehrlich, W. J. (1999). *Muscle activation of the vastus medialis and vastus lateralis during functional activities in patients with patellofemoral pain syndrome*. Clinical Biomechanics, 14(2), 109–115.

Coutinho, C. P. (2015). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática* (2ª Edição). Almedina.

De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135–163.

Di Gilio, J. P. T. (2015). *Percepção subjetiva de esforço e qualidade total de recuperação em situações de jogo no futebol de 5*. Universidade Estadual de Campinas.

Estado-Maior do Exército. (1998). *Manual de Campanha C 6-20: Grupo de Artilharia de Campanha* (4ªed.). Ministério do Exército.

Exército Português. (2003). *MT 20-50: Manual do Obus M119 105mm LG/30/m98*. Comissão Técnica da Arma de Artilharia.

Exército Português. (2005). *MT 20 - Manual de Munições de Artilharia de Campanha*. Estado-Maior do Exército, Comissão Técnica da Arma de Artilharia.

Foulis, S. A., Redmond, J. E., Frykman, P. N., Warr, B. J., Zambraski, E. J., & Sharp, M. A. (2017). *U.S. Army physical demands study: Reliability of simulations of physically demanding tasks performed by combat arms soldiers*. Journal of Strength and Conditioning Research, 31(12), 3245–3252.

Gomes, D. P. (2022). *A formação dos Oficiais Subalternos de Artilharia de Campanha - Análise comparativa entre Tirocinio para Oficial de Artilharia e Field Artillery Basic Officer Leader Course* (Trabalho de Investigação Aplicada). Academia Militar, Lisboa.

Gonçalves, A. (2004). *Métodos e técnicas de investigação social I*. Universidade do Minho, Instituto de Ciências Sociais.

Gonçalves, J., & Rosa, D. M. C., & Rosado, D. P. (2021). *Capacidade do exército em suportar os custos operacionais de uma unidade de artilharia ligeira: Regimento de Artilharia n° 4*. Proelium – Revista Científica (Série VIII, N.º 8). Academia Militar.

Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). *Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures*. Journal of Electromyography and Kinesiology, 10(5), 361–374.

Jockner, M. R., Cavina, A. P. S. de S., Junior, A. C., Michelett, J. K., Takahama, B. R., Netto Junior, J., & Vanderlei, F. M. (2019). *Correlação entre taxa metabólica basal e variabilidade da frequência cardíaca no treinamento resistido funcional em indivíduos com síndrome metabólica*. Colloquium Vitae, 11(1), 45–55.

Juel, C., & Halestrap, A. P. (1999). *Lactate transport in skeletal muscle – Role and regulation of the monocarboxylate transporter*. Journal of Physiology, 517(3), 633-642.

Kaercher, P. L. K., Glänzel, M. H., Rocha, G. G., Schmidt, L. M., Nepomuceno, P., Stroschöen, L., Pohl, H. H., & Reckziegel, M. B. (2018). *Escala de Percepção Subjetiva de Esforço de BORG como Ferramenta de Monitorização da Intensidade de Esforço Físico*. Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício, 12(80), Suplementar 3, 1180-1185.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2020). *Physiology of Sport and Exercise* (7th ed.). Human Kinetics.

Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). *Overtraining and recovery: A conceptual model*. Sports Medicine, 26(1), 1-16.

Knapik, J. J., Reynolds, K. L., & Harman, E. (2004). *Load carriage in military operations: A review of historical, physiological, biomechanical, and medical aspects*. Military Performance Division, U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine.

Konrad, P. (2006). *The ABC of EMG: A practical introduction to kinesiological electromyography*. Noraxon Inc.

Kowalski, K., Machała, W., & Sobota, G. (2021). *Shoulder electromyography activity during push-up variations: a scoping review*. Journal of Human Kinetics, 80(1), 5–15.

Kumar, R. (2011). *Research methodology: a step by step guide for beginners* (3rded.). London: Sage.

Kwok, M. M. Y., Ng, S. S. M., & So, B. C. L. (2023). *Validity and reliability of the portable metabolic analyzer PNOE to assess cardiometabolic capacity during walking exercise*. Research Square.

Lehman, G. J., Buchan, D. D., Lundy, A., Myers, N., & Nalborczyk, A. (2004). *Variations in muscle activation levels during traditional latissimus dorsi weight training exercises: An experimental study*. *Dynamic Medicine*, 3(1), 4.

Lehman, G. J., & McGill, S. M. (1999). *The importance of normalization in the interpretation of surface electromyography: A proof of principle*. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 22(7), 444–446.

Lima, D. V. M. de. (2011). *Desenhos de pesquisa: Uma contribuição para autores*. Universidade Federal Fluminense.

Looney, D. P., Warren, C. D., Roy, T. C., & Sharp, M. A. (2018). *Metabolic Costs of Military Load Carriage over Complex Terrain*. *Military Medicine*, 183(9-10), e357- e362.

Machado, J. F. M. (2022). *Treino e simulação na artilharia de campanha*. Trabalho de Investigação Aplicada, Academia Militar.

Magalhães Curty, V., & Gattás Bara Filho, M. (2011). *Estado de recuperação avaliado através de dois métodos após teste de aptidão física*. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 5(3), 186-199. Universidade Iguazu.

Malta, J., Campolongo, G. D., Barros, T. E. P., & Oliveira, R. P. (2006). *Electromyography applied to chewing muscles*. *Acta Ortopédica Brasileira*, 14(2), 106-110.

Matsuura, C., Meirelles, C. M., & Gomes, P. S. C. (2006). *Gasto energético e consumo de oxigênio pós-exercício contra-resistência*. *Revista de Nutrição*, 19(6), 729-740.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2011). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance* (7th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (8th ed.). Wolters Kluwer Health.

Orr, R. M., Pope, R., Johnston, V., & Coyle, J. (2014). *Soldier occupational load carriage: a narrative review of associated injuries*. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21(4), 388–396.

Pedro, B., Assunção, A., Carnide, F., Damião, B., Lucena, R., Almeida, N., Simões, P., & Veloso, A. P. (2024). *Risk factors associated with musculoskeletal injuries within the crew of the Leopard 2 A6 main battle tank using inertial movement unit sensors: A pilot study*. *Sensors*, 24(4527)

Pereira, J. G. (2016). *Fisiologia do exercício*. Instituto Português do Desporto e Juventude.

Pereira, M. P., Rocha, G. T., Santos, L. G. M., Viana, G. C. G., & Navarro, A. C. (2008). *Avaliação das equações de predição da taxa metabólica basal em homens e mulheres*

ativos residentes em Brasília, DF, Brasil. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva*, 2(8), 67–75.

Pihlainen, K., Santtila, M., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2014). *Cardiorespiratory Responses Induced by Various Military Field Tasks*. *Military Medicine*, 179(2), 218–224.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2017). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. McGraw-Hill.

Quivy, R., & Campenhoudt, V. L. (1998). *Manual de investigação em ciências sociais* (2ª ed., J. Minhoto Marques, M. A. Mendes, & M. Carvalho, Trads.). Gradiva.

Rama, L. (2016). *Teoria e metodologia do treino: Modalidades individuais*. Instituto Português do Desporto e Juventude.

Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). *Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis*. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), R502–R516.

Roetenberg, D., Luinge, H., & Slycke, P. (2009). *Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors*. Xsens Technologies B.V.

Rosado, D. P. (2017). *Elementos Essenciais de Sociologia Geral* (1ª Edição). Gradiva.

Sá, P., Costa, A. P., & Moreira, A. (2021). *Reflexões em torno de metodologias de investigação: Recolha de dados* (Vol. 2). UA Editora.

Sátyro, N. G. D., & D’Albuquerque, R. W. (2020). *O que é um estudo de caso e quais as suas potencialidades?* *Revista Sociedade e Cultura*, 23, e55631.

Schepers, M., & Giuberti, M. (2018). *Xsens MVN: Consistent tracking of human motion using inertial sensing* (Technical Report). ResearchGate.

Schneider, P. (2005). *Composição corporal, taxa metabólica basal e pico de consumo de oxigênio após um treinamento físico misto em meninos adolescentes com sobrepeso ou obesidade* [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sousa, P. H. R. (2015). *Resposta do lactato sanguíneo ao teste de corrida de 1600 m*. Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, DF.

Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). *Validity and reliability of the new portable metabolic analyzer PNOE*. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1(24).

Vilas-Boas, J. P. (2016). *Biomecânica do desporto*. Instituto Português do Desporto e Juventude (IPDJ)

Wahrlich, V., & dos Anjos, L. A. (2001). *Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura*. *Cadernos de Saúde Pública*, 17(4), 801-817.

Xsens Technologies B.V. (2017). *Xsens MVN User Manual: User Guide Xsens MVN, MVN Link, MVN Awinda (Document MV0319P, Revision U)*. Xsens Technologies B.V.

Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics

APÊNDICES

APÊNDICE A - CONSENTIMENTO INFORMADO

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Título do Estudo: Caracterização da carga mecânica imposta pela função do municionador numa missão de tiro de Artilharia de Campanha

Investigador Responsável: Aspirante de Artilharia Beatriz Dâmaso

E-mail: biafernandesdamaso@hotmail.com

Orientador: Mestre Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Eu, abaixo-assinado, declaro que:

- a. Fui devidamente informado de que a presente investigação se destina à realização de um Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) no âmbito da Motricidade Humana, sendo necessário para a recolha de dados obter imagens tridimensionais através de sensores, bem como a captação de imagens e registos vídeos;
- b. Compreendo que serão utilizados sensores colocados em diferentes articulações do corpo durante a realização das tarefas associadas à função desempenhada na secção;
- c. Está igualmente prevista a gravação de vídeos e o registo fotográfico de todo o processo mencionado;
- d. Foi-me garantido que todos os dados recolhidos serão utilizados exclusivamente para fins académicos. A minha identidade permanecerá anónima em todas as fases do estudo, assegurando a confidencialidade da informação;
- e. Estou ciente de que posso recusar a participação ou interromper a minha participação na presente investigação a qualquer momento, sem nenhum tipo de penalização ou repercussão negativa;
- f. Compreendi todas as informações apresentadas e tive oportunidade de esclarecer todas as minhas dúvidas relacionadas com este estudo.

Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado. Autorizo igualmente a divulgação dos resultados obtidos em meios científicos e acadêmicos, com a garantia de anonimato e proteção da minha identidade.

Assinatura do Participante:

Data:

__/__/__

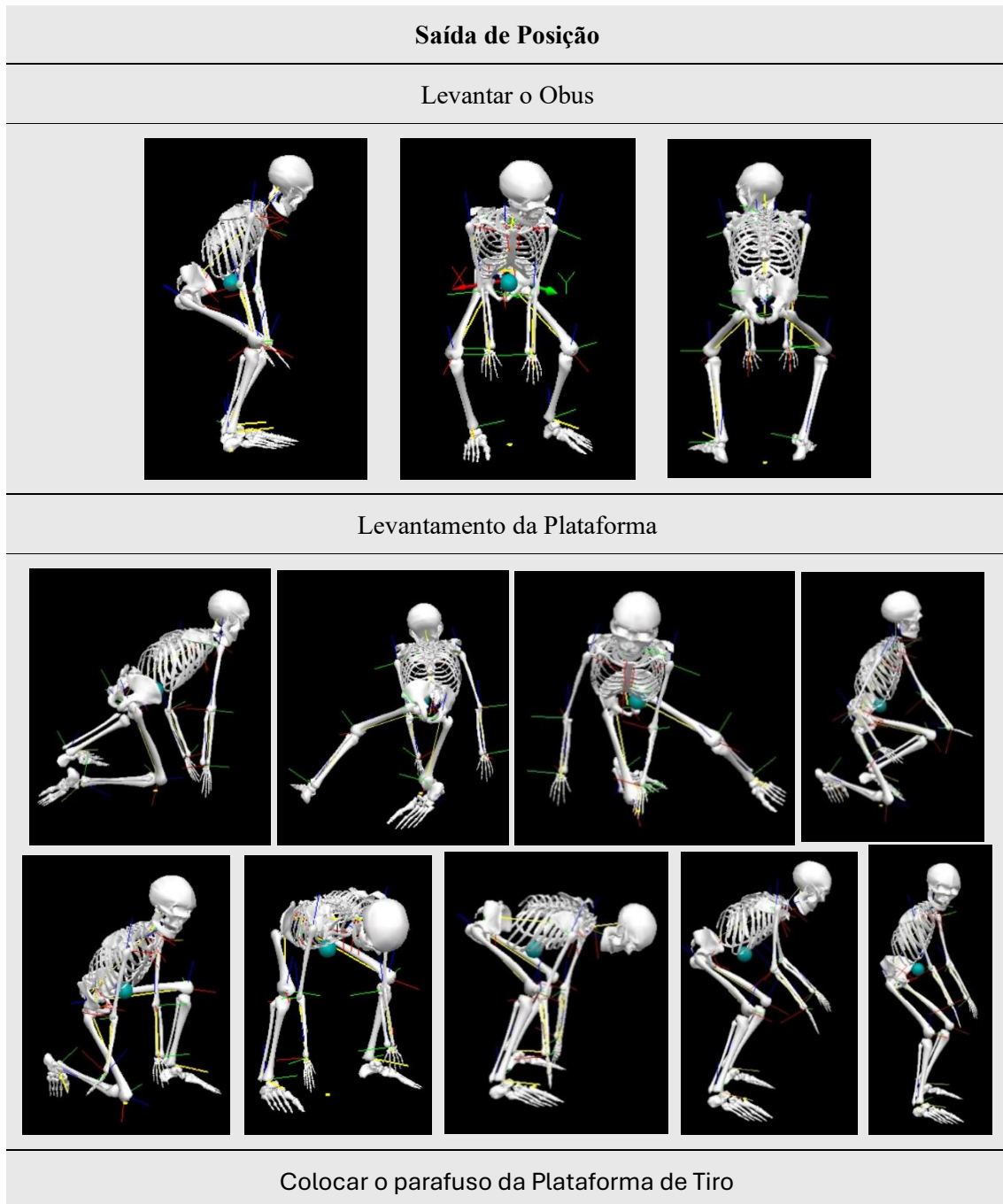
Assinatura do Investigador:

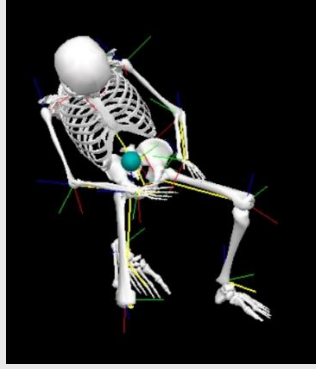
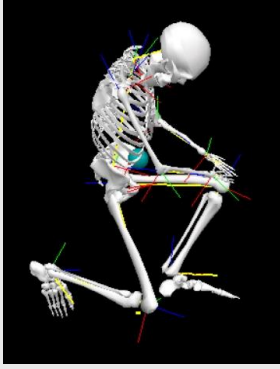
Data:

__/__/__

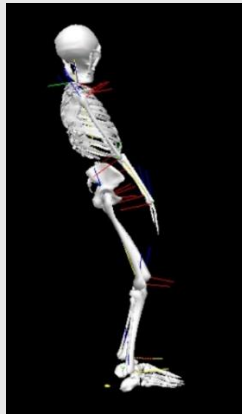
APÊNDICE B - CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS DO S3

Quadro n.º 24 - Caracterização das tarefas do S3 na Saída de Posição





Atrelar o Obus à viatura



APÊNDICE C - RESULTADOS DA 2ª RECOLHA

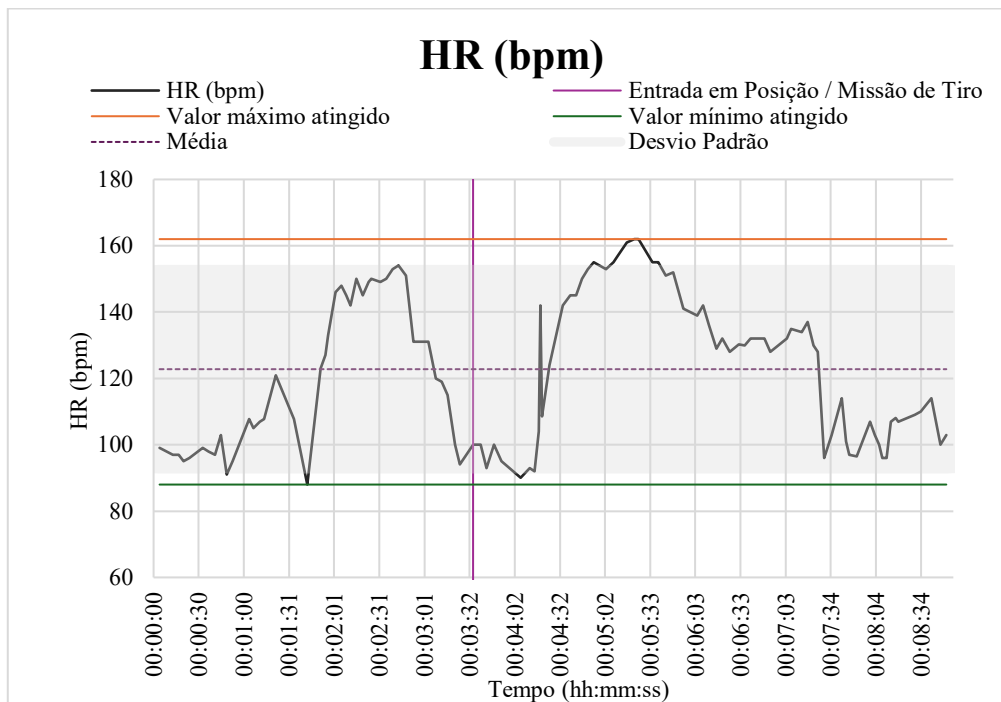


Figura n.º 8 - HR (bpm) - 2ª Recolha

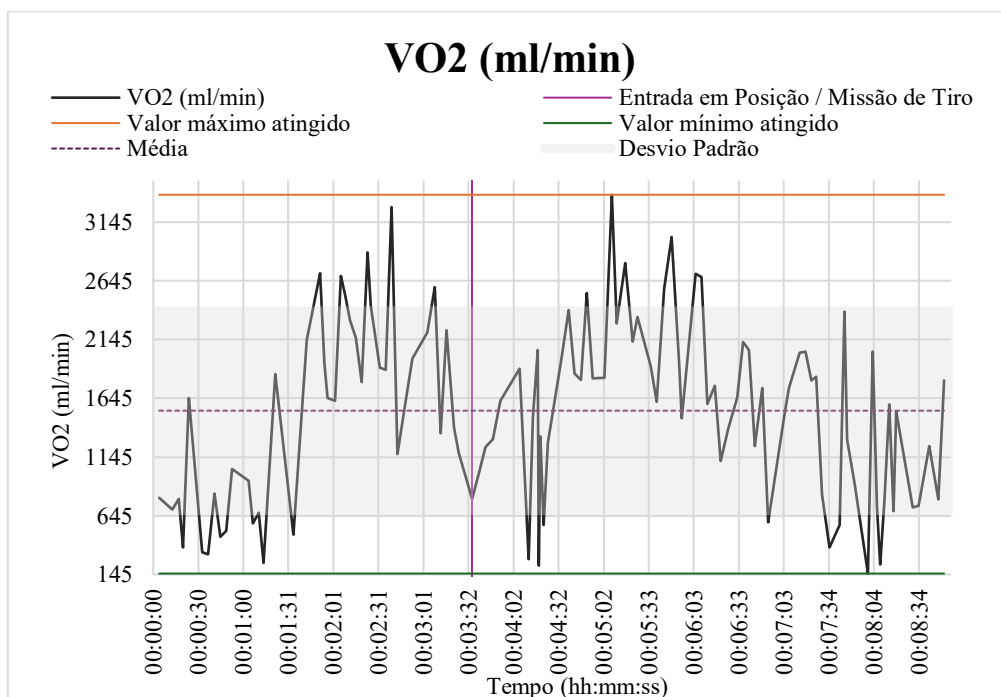


Figura n.º 9 - VO₂ (ml/min) - 2ª Recolha

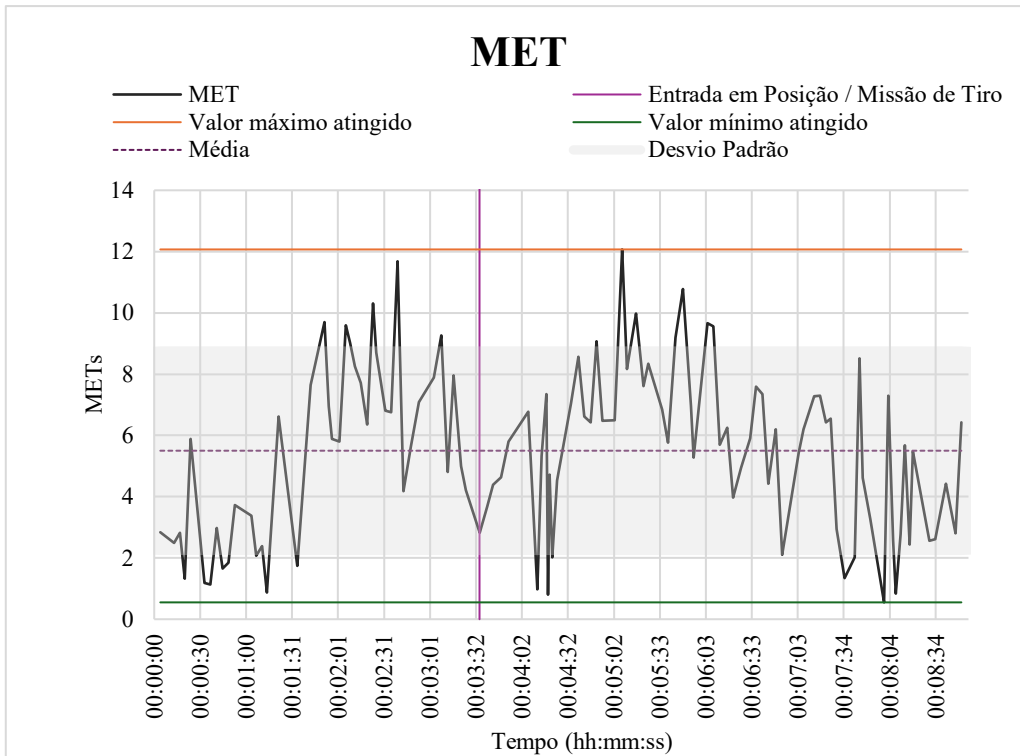


Figura n.º 10 - MET - 2ª Recolha

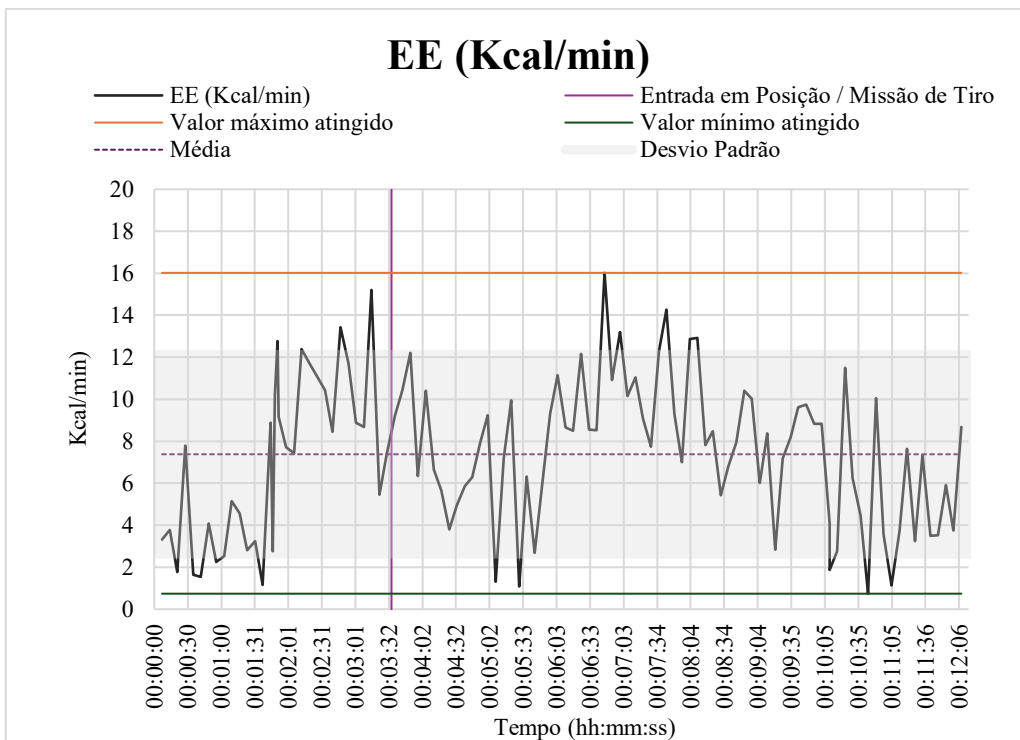


Figura n.º 11 - EE (kcal/min) - 2ª Recolha

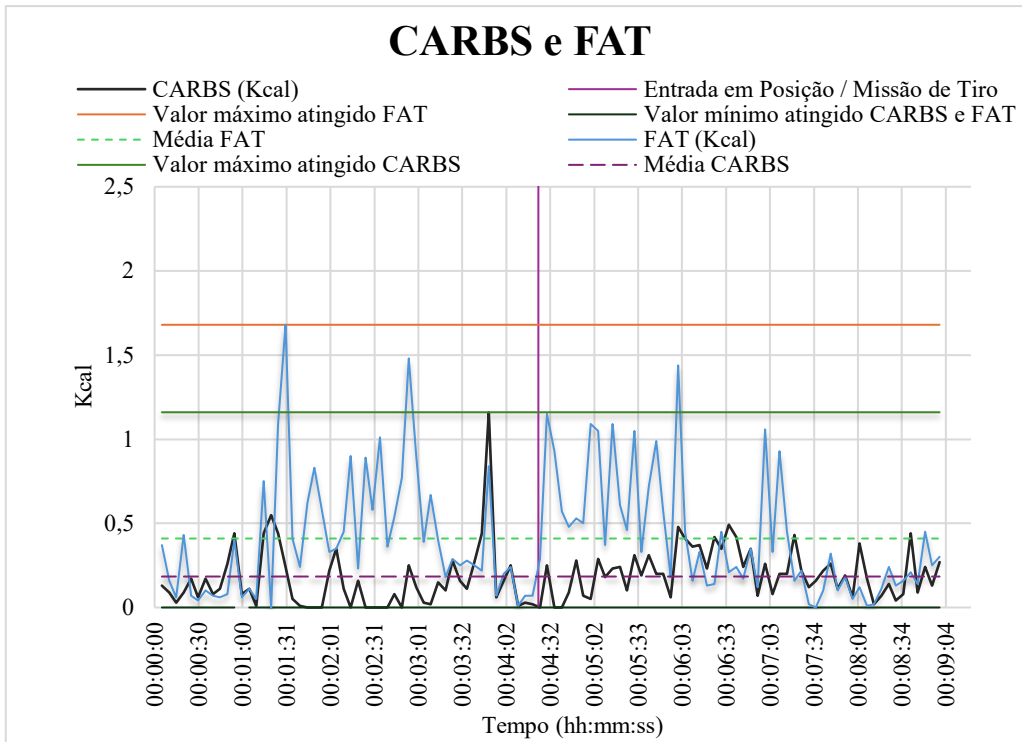


Figura n.º 12 - CARBS e FAT (kcal) - 2ª Recolha

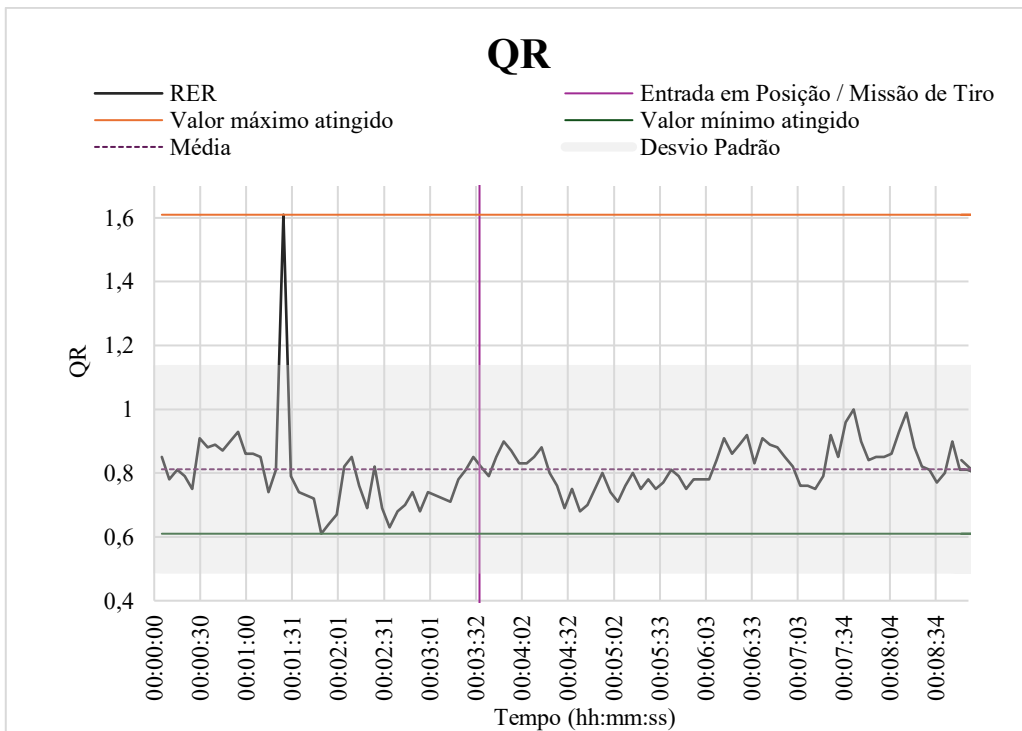


Figura n.º 13 - QR - 2ª Recolha

APÊNDICE D - ELETROMIOGRAFIA NAS DIFERENTES FASES

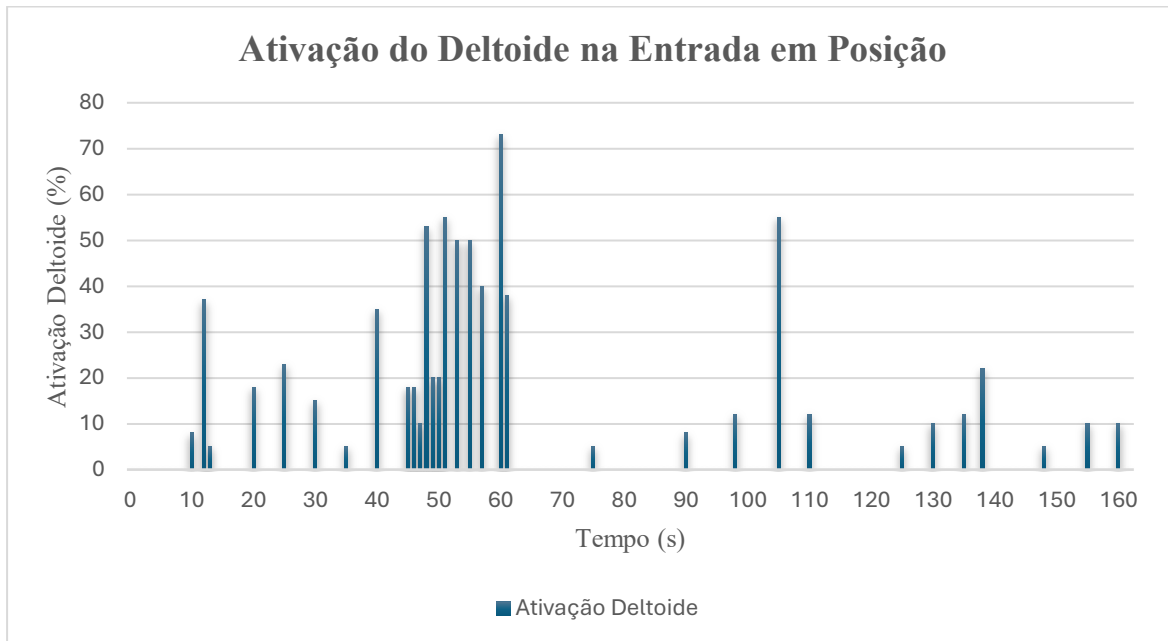


Figura n.º 14 - Ativação do Deltoide na Entrada em Posição

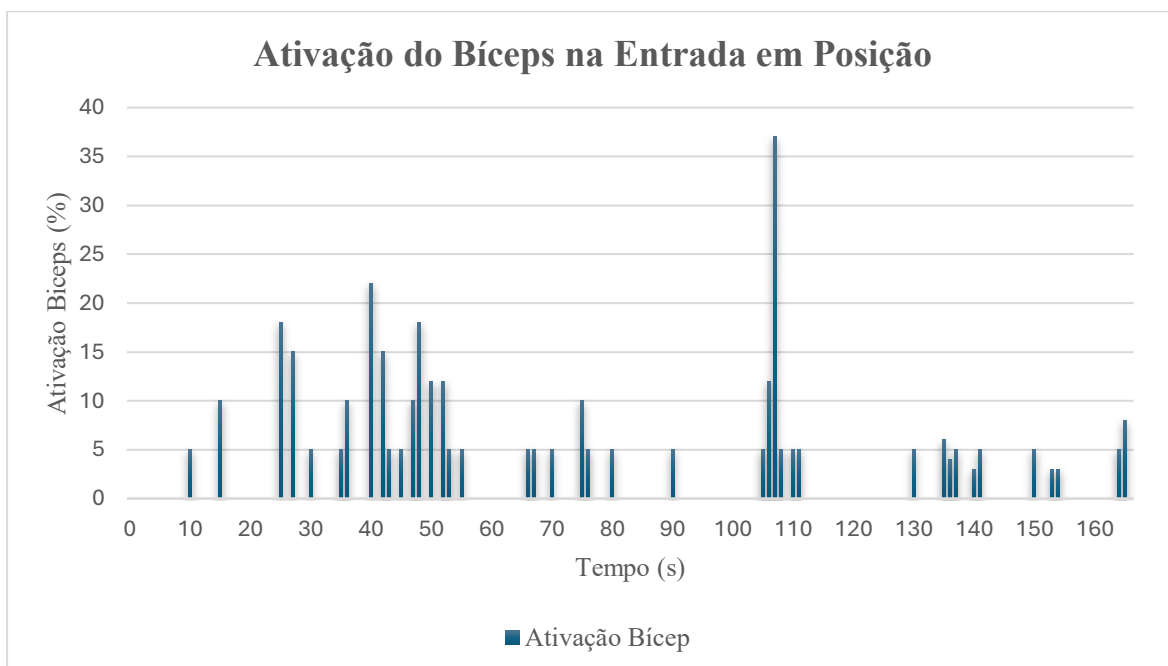


Figura n.º 15 - Ativação do Bícep na Entrada em Posição

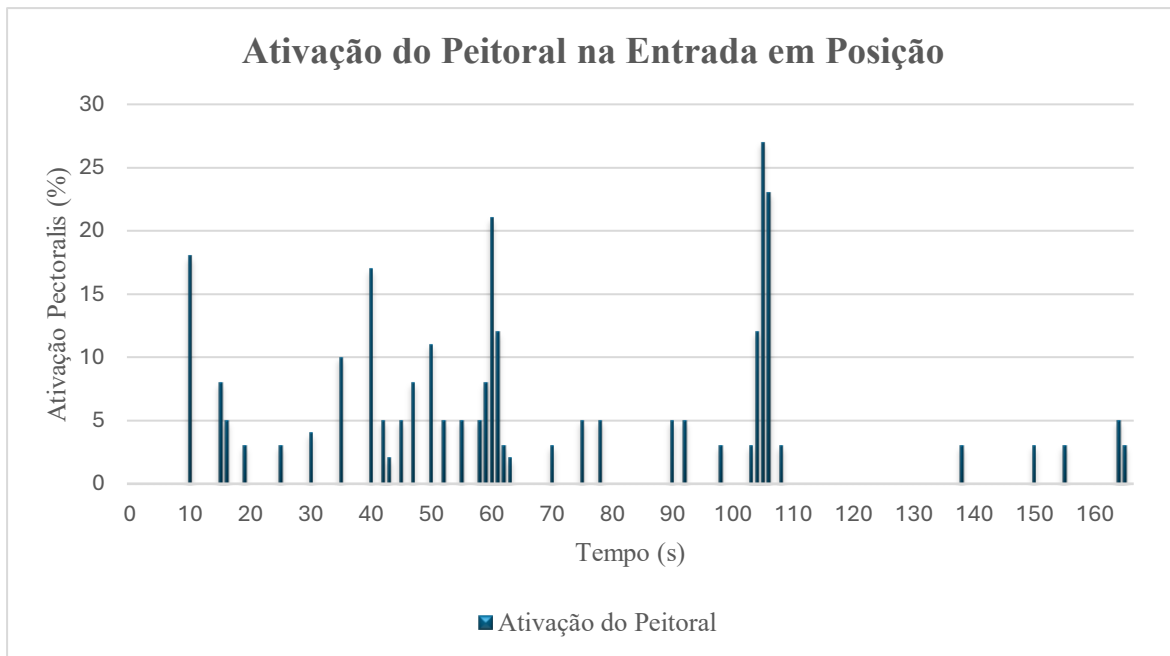


Figura n.º 16 - Ativação do Peitoral na Entrada em Posição

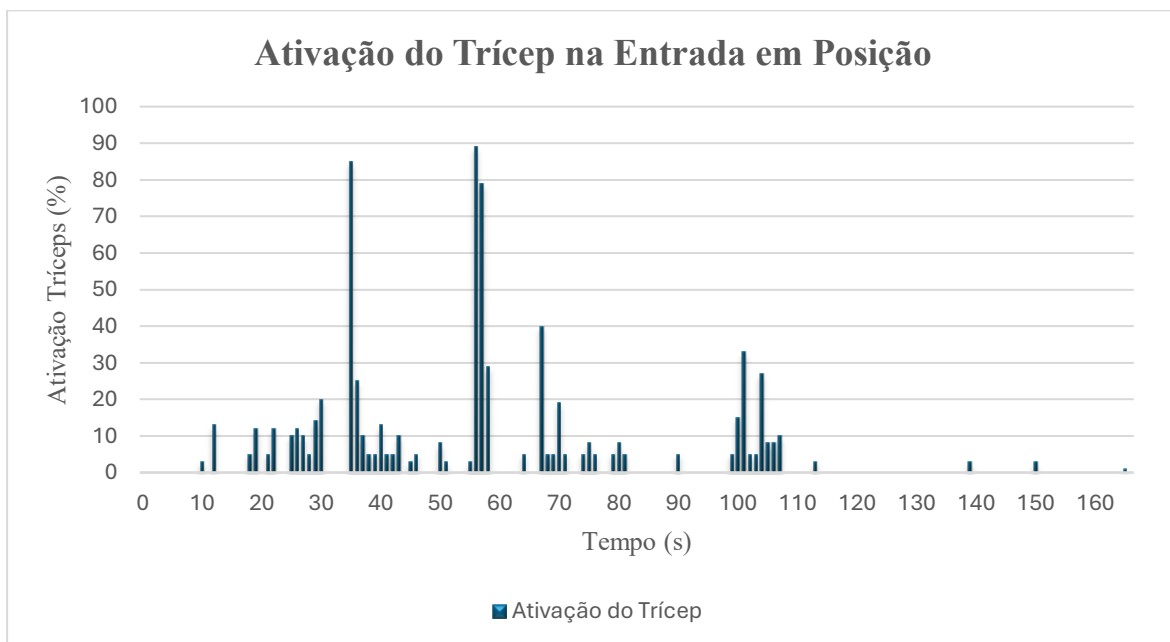


Figura n.º 17 - Ativação do Tríceps na Entrada em Posição

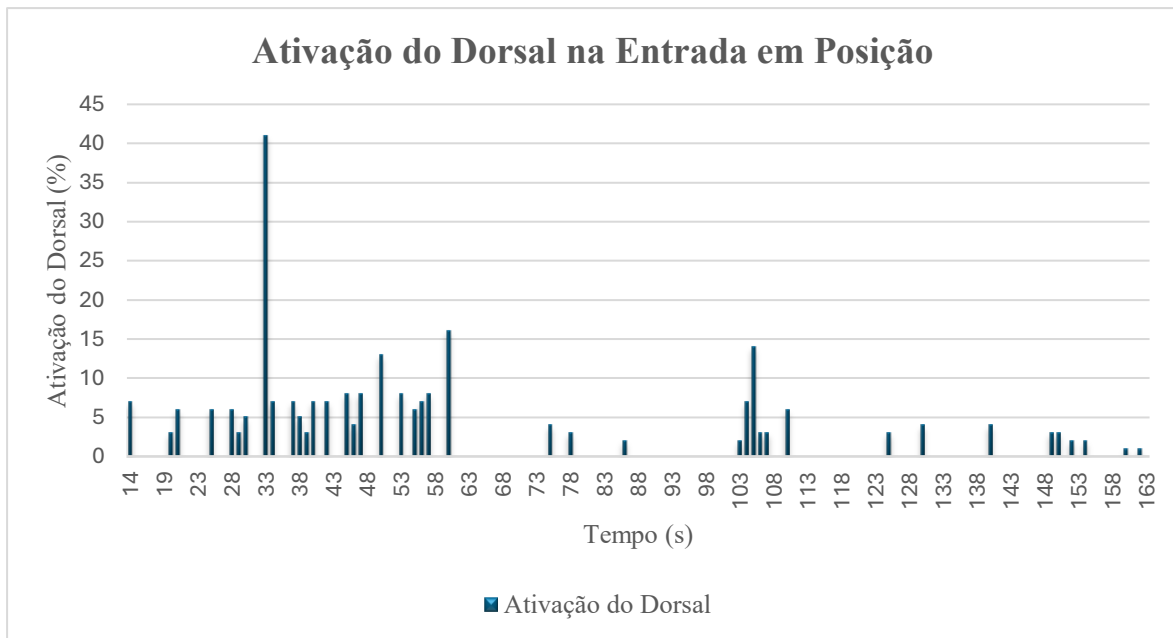


Figura n.º 18 - Ativação do Dorsal na Entrada em Posição

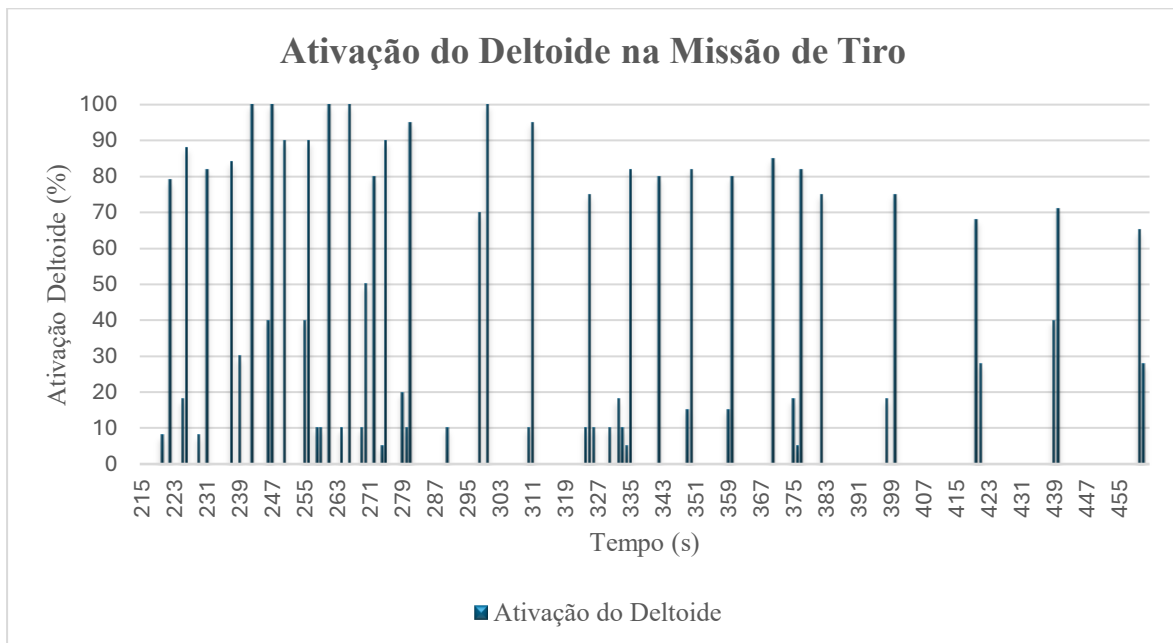


Figura n.º 19 - Ativação do Deltoide na Missão de Tiro

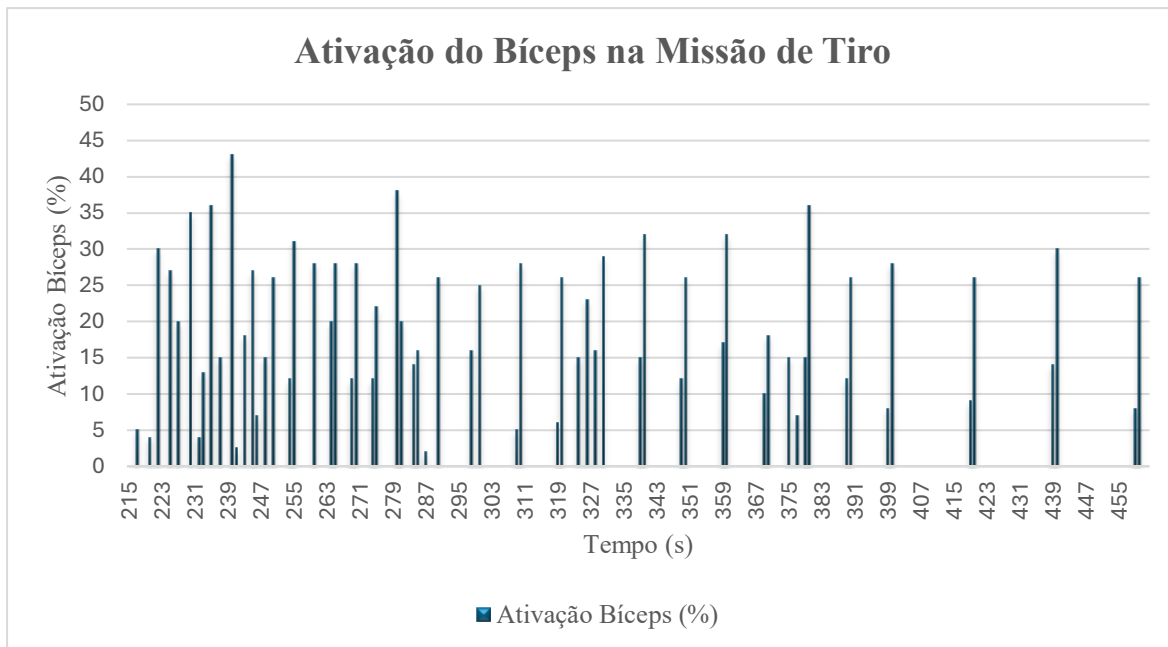


Figura n.º 20 - Ativação do Bíceps na Missão de Tiro

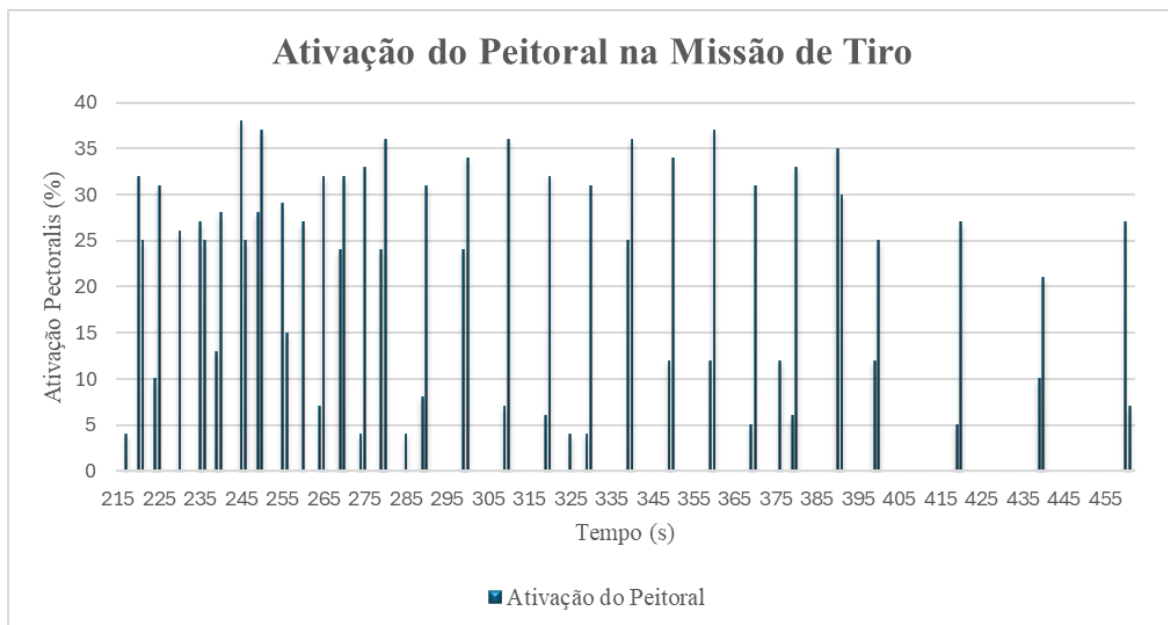


Figura n.º 21 - Ativação do Peitoral na Missão de Tiro



Figura n.º 22 - Ativação do Tríceps na Missão de Tiro



Figura n.º 23 - Ativação do Dorsal na Missão de Tiro

APÊNDICE E – TAXA METABÓLICA BASAL DO S3

Quadro n.º 25 - Resumo da TMB do Municiador

Resumo da TMB do Municiador

<i>Parâmetro</i>	Valor
<i>VO₂ médio</i>	317,4ml/min
<i>VCO₂ médio</i>	263,4 ml/min
<i>QR médio</i>	0,71
<i>HR médio</i>	66 bpm
<i>EE médio</i>	1,7 kcal/min
<i>TMB estimada</i>	2503 kcal/dia
<i>Total de Gordura Queimada</i>	14,3 kcal
<i>Total de Hidratos de Carbono</i>	2,7 kcal
<i>Percentagem de Gordura</i>	83,4%
<i>Percentagem de Hidratos</i>	16,6%
<i>EE total durante o teste</i>	16,5 kcal

ANEXOS

ANEXO A - TESTES DE RECUPERAÇÃO

Quadro n.º 26 - Escala de Percepção Subjetiva de Recuperação

6	Em nada Recuperado
7	Extremamente mal recuperado
8	
9	Muito mal recuperado
10	
11	Mal recuperado
12	
13	Razoavelmente recuperado
14	
15	Bem recuperado
16	
17	Muito bem recuperado
18	
19	Extremamente bem recuperado
20	Totalmente bem recuperado

Fonte: Kenttã & Hassmén (1998)

Quadro n.º 27 - Escala de Percepção Subjetiva do Esforço

0	Nenhum esforço (Repouso)
1	Muito fraco
2	Fraco
3	Moderado
4	Um pouco forte
5	Forte
6	
7	Muito forte
8	
9	
10	Esforço Máximo

Fonte: A Escala de PSE (Foster, 2001)