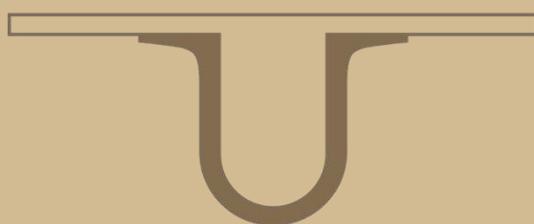




UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Luís David Gabriel Ferreira Simões

**Estudo cinemático comparativo entre o mortal e o duplo mortal,
ambos à retaguarda, em ginástica de trampolins**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Biocinética, orientada pelo Professor Artur Manuel Romão Pereira e coorientada pela Professora Doutora Beatriz Branquinho Gomes, apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra.

2021/2022

Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física
Universidade de Coimbra

Luís David Gabriel Ferreira Simões

**Estudo cinemático comparativo entre o mortal e o duplo mortal, ambos à retaguarda,
em ginástica de trampolins**

Dissertação apresentado à Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, com vista à obtenção do grau de Mestre em Biocinética.

Orientador: Professor Doutor Artur Manuel Romão Pereira

Coorientador: Professora Doutora Beatriz Branquinho Gomes

Coimbra 2021/2022

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado, apesar de ser um processo longo de trabalho solitário, com muitos caminhos sinuosos, é o resultado de muitas horas de trabalho e é importante exprimir os meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas que me ajudaram a ultrapassar mais uma etapa da minha vida.

Agradeço ao Professor Doutor Artur Manuel Romão Pereira e à Professora Doutora Beatriz Gomes, pela colaboração durante a realização desta dissertação.

À minha cadela, Beckie, minha companheira desta dissertação, por me alegrar nos momentos mais tristes, (mesmo sem dizer uma palavra) com todo o seu amor minúsculo.

Aos meus amigos, João Santos, David Oliveira e Miguel Curica, por me terem proporcionado os melhores anos da minha vida, pelo apoio e pela amizade e por todas as dificuldades que ultrapassámos juntos.

Aos meus amigos do grupo "churrasco" por me terem ajudado a criar momentos únicos fazendo com que muitos dos pensamentos acerca desta dissertação fossem apagados por instantes.

Aos meus amigos do grupo "machos" e de longa data desta modalidade e a todos os treinadores e atletas (desde a formação até à competição), com quem tive o privilégio de treinar. E um agradecimento especial aos atletas que participaram neste estudo.

À minha namorada Margarida, por ter caminhado ao meu lado, pela sua paciência, pelo Amor demonstrado em todo o caminho que já percorremos juntos, pelo realismo, mas ao mesmo tempo compreensão, pela ajuda prestada durante a elaboração da presente dissertação, especialmente por apresentar sempre um sorriso, quando sacrificava o resto dos dias de trabalho, os fins-de-semana e os feriados em prol da realização deste estudo.

Sendo os últimos os primeiros e tendo consciência que sozinho nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento à minha família especial, em especial aos meus pais e mano, por serem modelos de coragem, pelo seu apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e total ajuda na superação dos obstáculos que ao longo desta caminhada foram surgindo. Um agradecimento também ao meu primo Pêpê por me ter ajudado a combater diversos obstáculos e por ser um exemplo para mim.

Agradecer não é um gesto que se põe em papel, mas algo que se partilha ao longo da vida.

Lista de Abreviaturas

MLM Modelos Lineares multinível;

PA Ponto anatómico

SL Saída da lona

TOF Time of flight

Resumo

Na ginástica de trampolins os atletas podem realizar elementos, sem rotação, com rotação transversal ou longitudinal, mostrando perfeito controlo do corpo durante a sua fase de voo. O mortal à retaguarda e o duplo mortal, elementos gímnicos escolhidos para este estudo, são saltos que todos os atletas têm que dominar, sendo muito utilizados na realização das séries. As variáveis que mais influenciam para o sucesso destes saltos são a altura, as velocidades lineares de saída da lona e a posição do salto. Na medida em que, as variáveis apresentadas dependem do tempo de voo, sendo este o tempo em que o atleta se encontra sem estar em contacto com a lona.

Este estudo, contou com a participação de 7 atletas (N=7), sendo 5 do sexo feminino e 2 do sexo masculino, divididos por escalões (juvenil até ao sénior). Foram analisados dois saltos, o mortal e duplo mortal, ambos à retaguarda. As recolhas das imagens foram realizadas através da captação de vídeo (frequência de 120hz) ao nível de salto no plano sagital, do elemento gímnico. Quanto à digitalização do vídeo foi utilizado o *software* Tracker em que foram calculados os valores das variáveis cinemáticas estudadas.

Através deste estudo é possível compreender que, quando comparados os saltos, há diferenças significativas em termos de velocidade lineares de saída da lona para os diferentes pontos anatómicos avaliados, havendo mais diferença nos pontos do joelho e do tornozelo. Foi possível verificar que a altura e tempo de voo, são fortemente correlacionadas, não sendo registadas diferenças entre saltos mostrando dependência da velocidade relativamente à altura para a realização do duplo mortal quando comparado com o mortal.

Palavras-chave: ginástica, trampolins, biomecânica, rotação, mortal e duplo mortal, velocidade

Abstract

In trampoline gymnastics, athletes can perform elements without rotation, with transversal or longitudinal rotation, showing perfect body control during their flight phase. The backward somersault and the double somersault, the gymnastic elements chosen for this study, are jumps that all athletes must master, and are widely used in the performance of the routines. The variables that most influence the success of these jumps are height, exit linear velocities from the trampoline, and position. These variables depend on the time of flight (TOF), which is the time during which the athlete is not in contact with the canvas.

This study had the participation of 7 athletes (N=7), 5 females and 2 males, divided by age group (junior to senior). Two jumps were analyzed, the backward somersault and the double somersault. The video capture (120Hz frequency) was done at the jump level in the sagittal plane of the gymnastic element. As for the digitalization of the video, the Tracker software was used to calculate the values of the kinematic variables studied.

Through this study it is possible to understand that, when comparing the jumps, there are significant differences in terms of linear velocity of exit from the canvas for the different anatomical points evaluated, with more difference in the knee and ankle points. It was possible to verify that height and flight time, are strongly correlated, with no differences being registered between jumps showing dependence of velocity on height for the accomplishment of the double somersault when compared to the somersault.

Keywords: gymnastics, trampoline, biomechanics, rotation, back somersault and double somersault, velocity

Índice

Agradecimentos	i
Lista de Abreviaturas	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Ilustrações	xi
Índice de Tabelas	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Fatores determinantes do desempenho de um atleta	6
2.2. Técnica de mortal à retaguarda e duplo mortal à retaguarda.....	6
2.3. Código de pontuação de trampolim.....	9
2.4. Duração da fase de voo dos saltos em questão.....	10
2.5. Pressupostos da fase aérea	11
3. OBJETIVOS	13
4. METODOLOGIA	15
4.1. Amostra	15
4.2. Procedimentos	16
4.3. Digitalização.....	17
4.4. Variáveis.....	18
4.5. Análise dados.....	21
5. RESULTADOS	23
6. DISCUSSÃO	48
7. CONCLUSÃO	50
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	56

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Representação das diferentes fases de salto (adaptado de Blajer e Czaplicki, 2001).	7
Figura 2 - Digitalização dos pontos marcados nas proeminências ósseas no atleta no início e fim das subfases da fase de voo.	8
Figura 3 - Representação da posição do tronco na saída da lona. (adaptado do Código de Pontuação da FIG- Federação Internacional de Ginástica).	10
Figura 4 - Marcação da área de calibração.....	16
Figura 5 - Identificação do momento inicial e final do salto	17
Figura 6 - Representação das variações de das coordenadas x e y para o cálculo do deslocamento resultante	20
Figura 7 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída da costela obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	24
Figura 8 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída da crista ilíaca obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.....	25
Figura 9 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída do joelho obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.....	26
Figura 10 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de variação de velocidade linear do joelho na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto..	28
Figura 11 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear do tornozelo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	29
Figura 12 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de variação de velocidade linear do tornozelo na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto	30
Figura 13 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo relativo do joelho na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	31
Figura 14 - Médias (e respetivo erro padrão da média) do ângulo relativo do joelho na saída da lona obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.	32
Figura 15 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	33
Figura 16 - Relação entre o ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical e a estatura do ginasta.	34

Figura 17 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Preparatória” por tipo de salto.	35
Figura 18: Diagrama de cores para a correlação de spearman.	35
Figura 19 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da velocidade de rotação final engrupado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	36
Figura 20 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do tempo engrupado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	37
Figura 21 - Médias (e respetivo erro padrão da média) do tempo em posição engrupado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão. .	38
Figura 22 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Posição” por tipo de salto.	39
Figura 23 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	40
Figura 24 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da velocidade de rotação inicial empranchado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	41
Figura 25 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de empranchado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.	42
Figura 26 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de empranchado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.	42
Figura 27 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de empranchado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.	43
Figura 28 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Abertura” por tipo de salto.	43
Figura 30 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do tempo de voo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	44
Figura 31 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da altura de voo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	45
Figura 32 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da altura de voo no tracker obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.	45

Figura 33 - Matriz de correlação de spearman, com a variável tempo de voo e altura de voo (estimativa com base no tempo de voo) da subfase “Abertura” por tipo de salto..... 46

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Identificação das deduções dos diferentes parâmetros de avaliação (adaptado do Código de Pontuação da Federação Internacional de Ginástica).	9
Tabela 2 - Valores antropométricos da amostra dividida pelo nível de experiência dos participantes (média \pm desvio padrão).	15
Tabela 3 - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todas as variáveis dependentes.	23
Tabela 4 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade linear do joelho.....	27
Tabela 5 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade linear de saída do tornozelo..	29
Tabela 6 - Estatística Inferencial dos MLM para o ângulo relativo do joelho na saída da lona.	31
Tabela 7 - Estatística Inferencial dos MLM para a ângulo absoluto do tronco vertical.....	33
Tabela 8 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade de rotação final engrupado. ..	37
Tabela 10 - Limites de concordância de Bland-Altman.....	47
Tabela II 1 - Representação dos Coeficientes de Correlação de Ordem de Classificação de Spearman.....	57

1. INTRODUÇÃO

A Federação de Ginástica de Portugal, responsável máxima pela modalidade de ginástica em Portugal, integra várias disciplinas, sendo que as praticadas por ambos os sexos são: A Ginástica para todos, a Ginástica Artística Masculina e Feminina, a Ginástica de Trampolins, a Ginástica Acrobática, a Ginástica Aeróbica, o TeamGym e o Parkour. Já a Ginástica Rítmica, é a única disciplina praticada só pelo sexo feminino, em Portugal. A Ginástica de trampolins é uma prática desportiva criada em 1936, nos Estados Unidos, pelo professor de Educação Física George Nissen. Esta disciplina requer um grande controlo postural, equilíbrio, consciência espacial, coordenação, ritmo, tempo e de capacidades físicas como a força, velocidade, agilidade e flexibilidade (Atilgan, 2013). Sendo uma disciplina Olímpica, na categoria de Trampolim Individual, esta incorpora ainda o Trampolim Sincronizado, o Duplo-Minitrampolim e o Tumbling.

Esta disciplina da ginástica é praticada num aparelho com o nome de trampolim ou cama elástica. É um desporto olímpico em que os ginastas têm duas passagens pelo aparelho (executam duas séries chamadas F1 e F2). Cada série é composta por 10 elementos executados sucessivamente e sem interrupções, onde os ginastas procuram obter a melhor nota possível. Esta nota resulta da soma dos valores obtidos na execução, dificuldade, tempo de voo e deslocamento horizontal.

No âmbito deste trabalho foi realizada uma comparação entre dois elementos gímnicos executados no trampolim: o mortal à retaguarda engrupado e o duplo mortal à retaguarda engrupado. A pertinência deste estudo baseia-se na necessidade sentida, enquanto treinador e atleta com mais de 20 anos de experiência, em procurar melhor esclarecer quais os parâmetros que determinam uma maior eficiência na execução dos elementos gímnicos em questão, nomeadamente no que se refere às diferenças que possam existir nas distintas fases que compõem os dois saltos, segundo o código de pontuação.

Neste trabalho, o objetivo primordial é perceber como se comportam as variáveis definidas nos diferentes elementos gímnicos, tentando verificar se existe algum tipo de correlação entre as mesmas que permitam melhorar a qualidade do salto

Segundo Bardy e Laurent (1998), o nosso corpo está sujeito a diversas forças divididas em forças internas (forças produzidas pelo nosso corpo, como por exemplo a nossa massa) e forças externas (forças produzidas sobre um corpo, como por exemplo gravidade, resistência do ar, entre outras). É possível verificar a existência destas forças no tempo de voo dos elementos da disciplina de trampolins. Desta forma, são consideradas como forças externas a gravidade e a

resistência do ar. Segundo os mesmos autores, se eliminarmos a força da resistência do ar, as restantes forças são equivalentes a uma força vertical constante, agindo sobre o centro de massa do corpo. Como todo o movimento é sujeito a uma variabilidade, causada ou não por erros de planeamento ou de execução (Cohen et. al., 2009; van Beers et. al., 2004) é possível observar aumentos de velocidade angular em todo o salto (Hiley et. al., 2016). Não tendo a força gravitacional uma relação diretamente proporcional ao centro de massa do corpo, o momento angular permanece constante durante todo o tempo em que o atleta está na fase de voo, conhecido como o princípio da conservação do momento angular. Também no entender de Bardy e Laurent (1998), o momento angular de um corpo é igual ao produto do momento de inércia e da velocidade angular. Quando ocorre uma variação no momento de inércia existe também uma variação na velocidade angular, mas em sentido contrário. Após o atleta deixar de estar em contacto com a lona do trampolim, denominado de “descolagem do trampolim”, o atleta dá início à definição da posição de engrupado, exercendo assim uma força interna, movendo a massa corporal, ficando mais próxima do eixo de rotação e diminuindo o momento de inércia. Ainda segundo os mesmos autores, o momento angular permanece constante, sendo que a diminuição do momento de inércia, gera um aumento na velocidade angular, aumentando a rotação em torno do eixo transversal do corpo no salto. A forma de o atleta controlar a rotação em torno do eixo transversal no salto é diminuindo ou aumentando o momento de inércia, isto é, juntando ou afastando os membros inferiores e superiores do eixo de rotação, engrupando ou emprachando, respetivamente.

Também é possível observar variações de aceleração, durante a fase de voo do elemento gímnic. No momento descendente, quando o atleta entra em contacto com a lona, verifica-se uma desaceleração do seu centro de gravidade. Contrariamente, quando o atleta se encontra no movimento ascendente, é verificada uma aceleração (Blajer e Czapliski, 2001).

Este estudo divide-se em cinco partes. Na primeira parte, Revisão da Literatura, procede-se a uma revisão teórica, abordando vários conceitos-chave para uma melhor compreensão das temáticas relacionadas com os elementos gímnicos acima identificados e a modalidade de ginástica, bem como os aspetos fulcrais que influenciam os saltos. Na segunda parte, Metodologia, é apresentada a amostra desta investigação, bem como os objetivos, os procedimentos e as variáveis desenvolvidas no decorrer do estudo. Relativamente à terceira parte, Análise de Resultados, são aprofundadas todas as variáveis consideradas relevantes para a boa execução dos saltos. Na quarta parte, Resultados, realizou-se uma exposição dos resultados obtidos das variáveis analisadas e o modo como as mesmas influenciam os saltos de mortal e

duplo mortal. A investigação dá-se por concluída com uma discussão dos resultados obtidos, sendo estes confrontados com resultados de estudos de diversos investigadores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os estudos científicos existentes sobre a disciplina da ginástica de trampolins são muito escassos.

Como a Ginástica de Trampolins é uma disciplina de alto impacto, Grossman (1974) e alguns investigadores, como Ellis et. al., (1960), dedicaram-se ao estudo desta disciplina, mas com foco nas lesões associadas a esta prática. Ainda, Grossman (1974), desenvolveu um estudo em que verificou que, quando o atleta está em contacto com a lona, suporta forças seis a sete vezes mais do seu peso. Mais tarde, esta conclusão foi corroborada por Vaughan (1980) que utilizou a massa corporal de uma ginasta e a aceleração linear da lona para calcular a força vertical para cima exercida pelo trampolim. Os resultados indicaram que os atletas são submetidos a cerca de cinco vezes o seu peso corporal durante os saltos executados. Em 2001, Kraft, estudou os tempos de contacto com a lona, demonstrando que uma ginasta pesando 60 kg e saltando a uma altura de dois metros terá um tempo de contato inferior de lona a um atleta de 70 kg que salta a três metros de altura.

A par da evolução técnica que se verificou nesta disciplina gímnica, que teve como consequência um incremento acentuado da dificuldade dos saltos executados, o foco dos investigadores direccionou-se, preferencialmente, para o estudo da cinemática e da cinética dos elementos de dificuldade, uma vez que se apresentavam como um interessante desafio para todos os que se interessam pela análise do movimento humano. Contudo, continuam a ser escassas as investigações para este tipo de disciplina. Por outro lado, outras modalidades desportivas ganharam mais notoriedade e, com isso, mais estudos foram aparecendo. Assim, é possível verificar que certos movimentos da modalidade de ginástica são aplicados em movimentos de outras modalidades, como saltos para a água. É possível identificar fases idênticas entre a disciplina de trampolins e a modalidade de saltos para a água, sendo ambos constituídos pela fase de suporte, apresentando o mesmo objetivo: a geração de momento angular e velocidade vertical para a descolagem da prancha como também do trampolim (Sayyah et.al., 2020). Investigadores também conseguiram observar que estas duas modalidades apresentam semelhanças entre o tempo para o ajustamento durante a fase de suporte, tendo a disciplina de trampolins 0,4 segundos (Blajer et.al., 2003) e 0,5 segundos para disciplina de saltos para a água (Miller et. al., 2002), apresentando apenas 0,1 segundos de diferença entre disciplinas.

Há aspetos que influenciam os gestos técnicos avaliados neste estudo, como os fatores determinantes do desempenho de um atleta, a técnica dos elementos gímnicos, o código de pontuação de trampolim, a duração dos saltos em questão e os pressupostos da fase aérea.

2.1. Fatores determinantes do desempenho de um atleta

Existem vários fatores, internos e/ou externos, a serem considerados e determinantes para o desempenho do atleta. Considerando que a ginástica de trampolins é um desporto que requer um grau de execução técnica muito elevado torna-se indispensável que o início nesta atividade aconteça em idades jovens, uma vez que é exigida ao atleta uma grande preparação física e mental, seja nos treinos seja em competição. Neste contexto, é fácil entender a importância do processo de treino no desenvolvimento dos ginastas, no sentido de os preparar, devidamente, para as exigências referenciadas anteriormente. Importa salientar que do sucesso alcançado na preparação inicial e fundamental dos ginastas durante o processo de treino dependerá, necessariamente, a aplicação da técnica correta nos elementos de dificuldade. Neste contexto importa também referir a importância da realização de um bom aquecimento uma vez que na literatura é relatado que a prática do aquecimento antes da realização da atividade principal é benéfica ao seu rendimento (Burkett et. al., 2005; Skov & Strojnik, 2007; Chattong et. al., 2010; Needham et. al., 2009; Gelen, 2010; Ziegler et. al., 2010), na medida em que possibilita o funcionamento mais ativo do organismo (Simão et. al., 2003), aumentando da elasticidade do tecido conjuntivo e espessura das cartilagens, além de prevenir lesões, mesmo sendo essa evidência questionável, dependendo das diversas variáveis intervenientes (Simão et. al., 2003; Bishop, 2003; Young et. al., 2002).

2.2. Técnica de mortal à retaguarda e duplo mortal à retaguarda

Para esta investigação, é necessário descrever as técnicas para a execução dos saltos que foram analisados. O mortal à retaguarda é um dos saltos fundamentais a realizar no trampolim. Este salto, em que há uma rotação de 360° em torno do eixo transversal do corpo e que decorre do contributo coordenado entre o movimento do tronco, dos membros inferiores e dos membros superiores em que o tronco tem que manter uma posição neutra da coluna vertebral e perpendicular ao trampolim, para alcançar maior altura salto. Quanto aos membros inferiores, os mesmos devem apresentar uma tonificação muscular para que, quando for necessário produzir algum tipo de movimento, seja possível gerar velocidade angular suficiente para a realização do mortal. Posto isto, segundo os autores Blajer et. al., (2001), para uma boa

execução deste movimento gímico, a parte superior do corpo deve apresentar uma trajetória para trás e para baixo, enquanto os membros superiores e a bacia apresentam uma trajetória para a frente e para cima. Relativamente ao duplo mortal, este elemento é um salto com rotação de 720° em torno do eixo transversal do corpo, conseguido devido à posição do tronco e da projeção dos membros inferiores para cima e para a frente, aquando da saída da lona. Quanto a esta projeção, a mesma deverá ser vigorosa de modo a torná-la mais rápida, para que o atleta consiga realizar a dupla rotação no eixo transversal. Este elemento é mais difícil de executar, na medida em que é necessário produzir uma maior velocidade de rotação. Adicionalmente, este movimento é conhecido como um “salto cego”, uma vez que o atleta perde referências espaciais (Natrup et. al., 2020).

Para entender melhor estes elementos gímicos, deve-se ter em consideração as seguintes fases: a fase de suporte e a fase de voo (Blajer e Czaplicki, 2001). A fase de suporte inicia-se no momento em que o atleta toca com a superfície plantar dos pés na lona do trampolim até ao momento de saída. Já a fase de voo, esta integra todo o período temporal em que o atleta não está em contacto com a lona do trampolim. A fase de voo está dividida ainda em três subfases: a subfase preparatória, a subfase de posição e a subfase de abertura, tal como é possível verificar na figura 1.

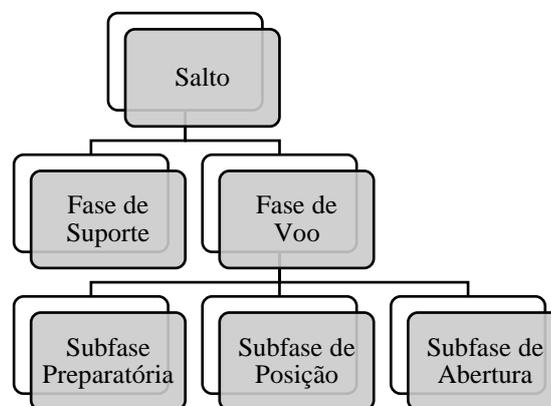


Figura 1 - Representação das diferentes fases de salto (adaptado de Blajer e Czaplicki, 2001).

O momento de ligação entre a fase de suporte e a primeira subfase da fase de voo – chamado momento de saída da lona - está relacionado com o ângulo de entrada, visto que,

depende da variabilidade das condições de “descolagem do trampolim” e da extensão em que os ajustes são feitos para mudanças durante a fase de voo (Sayyah et al., 2018).

Tal como foi acima identificado, entende-se por subfase preparatória o período de tempo em que o atleta deixa de estar em contacto com a lona do trampolim até definir a posição de engrupado; a subfase de posição, determinada pelo tempo em que o atleta se encontra em posição de engrupado e a subfase da abertura, estabelecida a partir do momento em que o atleta “larga” os membros inferiores e fica em posição de empranchado, resultando num aumento do momento de inércia, conduzindo a uma desaceleração angular (Bardy e Warren , 1997; Yeadon e Mikulcik, 2000). Na figura 2, é possível observar o início e o fim de cada subfase.

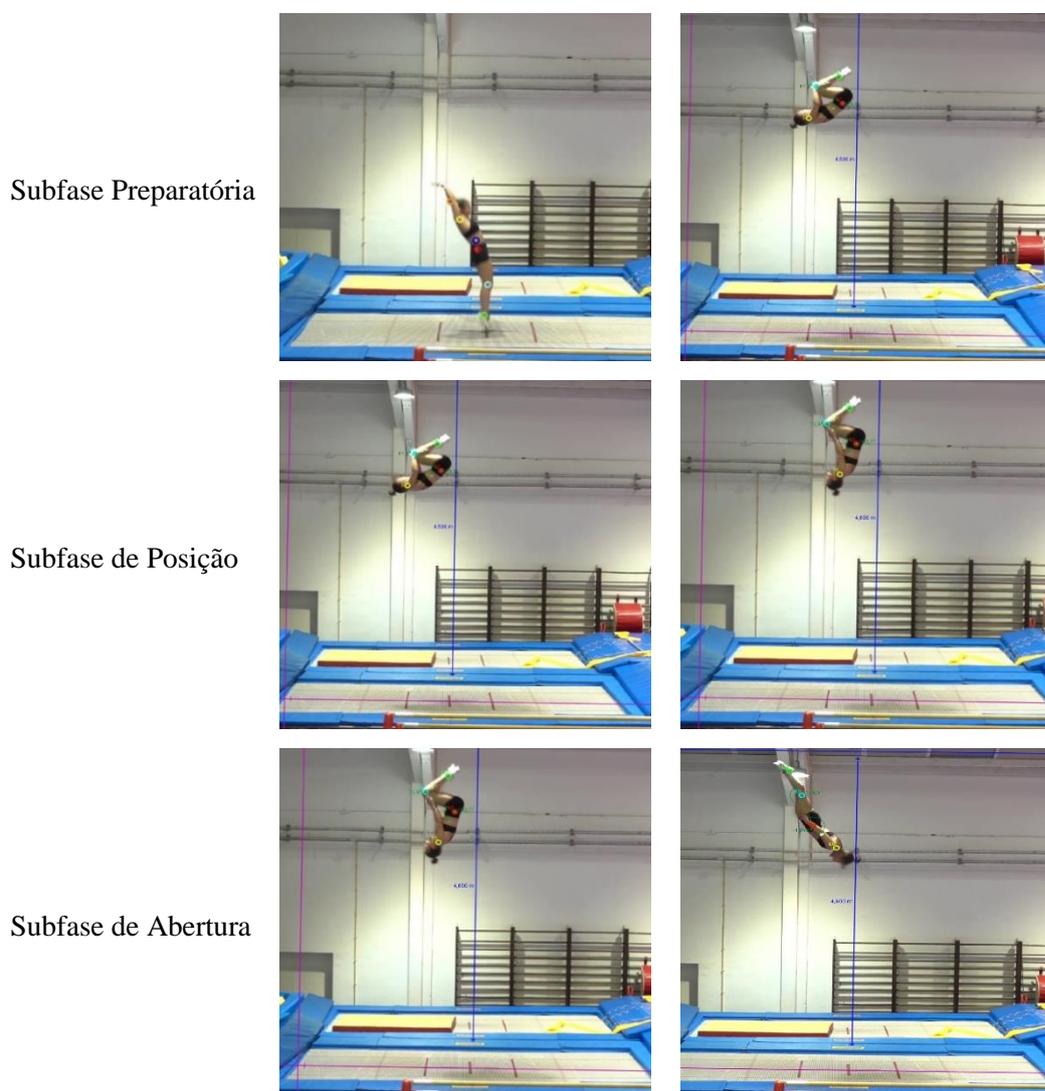


Figura 2 - Digitalização dos pontos marcados nas proeminências ósseas no atleta no início e fim das subfases da fase de voo.

2.3. Código de pontuação de trampolim

Para perceber se o salto está a ser bem executado, são utilizados conteúdos do código de pontuação de trampolim, para avaliar as fases acima referidas. Para isso, é fundamental entender que os atletas na fase de voo, são avaliados em três diferentes parâmetros: posição, abertura e manutenção. Na tabela 1 é possível observar as várias deduções nos diferentes parâmetros de avaliação.

Tabela 1 - Identificação das deduções dos diferentes parâmetros de avaliação (adaptado do Código de Pontuação da Federação Internacional de Ginástica).

Parâmetros de Avaliação	Dedução Nula	Deduções	Exemplificação
Posição	O atleta deve conseguir ter os segmentos coxa, tronco e perna em posição fetal.	Quando se verifica um maior afastamento destes segmentos do corpo, tendo uma dedução máxima de 0,2 pontos).	<p style="text-align: center;">0.2 ← 0.1 ← 0 → 0.1 → 0.2</p>
Abertura de Salto	O atleta deve largar os joelhos antes da vertical, para conseguir apresentar uma posição emprachada.	Caso a abertura aconteça entre 150° e 120° ou entre 120° e 90° face à vertical, a dedução é de 0,1 ou 0,2 pontos, respetivamente. Se o atleta não manifestar abertura do salto, será aplicada uma penalização máxima de 0,3 pontos	
Manutenção	o atleta tem que apresentar a posição emprachada até estar paralelo com a linha horizontal.	Serão aplicadas deduções de 0,1 ou 0,2 pontos nos casos em que o atleta apresente a posição entre 120° e 90° ou entre 180° e 120°, respetivamente.	

Em elementos gímnicos com múltiplos mortais na subfase preparatória, onde se insere o duplo mortal, é necessário que o tronco apresente uma posição neutra da coluna vertebral e perpendicular ao trampolim, tal como é possível observar na figura 3. Outros posicionamentos que se desviem da vertical, são passíveis de sofrer um desconto na pontuação por parte do

comité de julgamento, segundo consta do Código de Pontuação da Federação Internacional de Ginástica.



Figura 3 - Representação da posição do tronco na saída da lona. (adaptado do Código de Pontuação da FIG- Federação Internacional de Ginástica).

A execução perfeita destes elementos é influenciada pelo “torque” (conceito físico, relacionado ao movimento de rotação de um corpo após uma determinada força aplicada sobre ele). Segundo os autores Blajer W et. al., (2001), devem ser considerados pelo atleta a antecedência do início do movimento, isto é, estes devem saber como resolver se um salto anterior à realização dos saltos é mal-executado, adaptando a rapidez em que o movimento é executado e a quantidade de força aplicada no movimento conforme as circunstâncias. Assim, um mortal é eficiente, quando cada um destes parâmetros é potencializado pelos atletas.

2.4. Duração da fase de voo dos saltos em questão

A duração do salto é altamente influenciável pelo tempo de voo, isto é, quanto maior a altura atingida pelo atleta, maior será o tempo de voo do salto.

É possível observar que o mortal é um elemento gímico que apresenta maior tempo de voo, visto ser um salto simples e de uma só rotação no eixo transversal. Desta forma, os atletas devem sair da lona numa posição reta com o trampolim, para obter uma maior altura de voo. Ao contrário do duplo mortal, é de esperar que neste elemento seja apresentada menor altura de voo. Esta diminuição deve-se ao facto de existir um aumento de velocidade da inclinação do tronco para trás, provocando uma hiperextensão da bacia por parte do atleta, gerando uma maior rotação dos membros inferiores, passando por ser um efeito “elástico”.

2.5. Pressupostos da fase aérea

Para a rotação na trajetória aérea, é necessário que o atleta realize algum tipo de movimento, tendo este conhecimento prévio. Para que o atleta consiga obter a rotação, é fundamental que os membros superiores se encontrem completamente estendidos ao lado das orelhas, formando assim, com o tronco, uma linha vertical perpendicular ao trampolim. Em segundo lugar é importante perceber que, para a execução de um mortal à retaguarda, o atleta deve projetar os tornozelos com alguma dinâmica e mais força para a frente e o posicionamento do tronco terá que ser ligeiramente inclinado para trás, tal como afirma Bardy B et. al., (1998). Sendo assim, o atleta para realizar um mortal ou um duplo/ triplo mortal, deve exercer mais força de impulsão dos tornozelos sobre a lona e o “chuto”, na medida em que haverá uma maior energia a ser transferida para a rotação do salto.

3. OBJETIVOS

Como já foi destacado, esta disciplina da ginástica é uma disciplina com poucos estudos no que toca a análises cinética e cinemática. Os estudos sobre esta disciplina da ginástica, levam a querer que ainda existe muitas questões para serem esclarecidas e percebidas. Desta forma, o estudo pretende analisar de forma comparativa as diferenças cinemáticas dos elementos gímnicos mortal e duplo mortal, ambos à retaguarda, analisando os saltos individualmente, bem como perceber o que distingue os dois elementos nas diferentes fases e subfases do salto.

4. METODOLOGIA

4.1. Amostra

A amostra foi composta por 7 ginastas (N=7), sendo 2 ginastas do sexo masculino e 5 ginastas do sexo feminino, com participações nacional e internacional, entre os escalões de juvenil e sénior. A amostra apresenta idade média de $17,12 \pm 3,05$ anos, média de massa corporal de $51,86 \pm 4,16$ kg e altura média $1,59 \pm 0,08$ m. Na tabela 2, são apresentados a média e desvio-padrão da idade, estatura e massa corporal:

Tabela 2 - Valores antropométricos da amostra dividida pelo nível de experiência dos participantes (média \pm desvio padrão).

	N	Idade [Anos]	Estatura [m]	Massa Corporal [kg]
Atletas	7	$17,12 \pm 3,05$	$1,59 \pm 0,08$	$51,86 \pm 4,16$

Nome	Género (M/F)	Idade [Anos]	Estatura [m]	Massa Corporal [kg]	Escalão
Atleta 1	Feminino	13,7	1,53	45	Juvenil
Atleta 2	Feminino	18,2	1,5	50	Sénior elite
Atleta 3	Feminino	20,3	1,52	47	Sénior elite
Atleta 4	Feminino	14,6	1,62	55	Júnior
Atleta 5	Feminino	15,3	1,75	56	Júnior
Atleta 6	Masculino	15,5	1,58	55	Sénior
Atleta 7	Masculino	22,5	1,65	55	Júnior

Neste estudo, foi considerado como critério de inclusão, a capacidade de o atleta realizar ambos os saltos propostos nesta avaliação.

Todos os sujeitos aparentavam boas condições de saúde e não apresentavam nenhuma lesão que poderia interferir na realização dos saltos. Antes da recolha dos dados, os atletas tomaram conhecimento do estudo em causa, como a natureza dos objetivos de estudo e protocolos, permitindo a sua participação através da assinatura do consentimento informado (anexo I), bem como os participantes menores de idade, através da assinatura dos seus tutores legais.

4.2. Procedimentos

Em estudo piloto, foram testados procedimentos relativamente às filmagens no plano sagital os elementos gímnicos. Inicialmente, foram utilizadas duas câmaras: uma câmara inferior que capturava o movimento dos membros inferiores com a lona do trampolim, e uma câmara superior que filmava o salto de modo a capturar o movimento na sua fase de voo. Com a realização deste teste piloto, verificou-se que com a câmara superior era possível captar os elementos que supostamente seriam analisados pela câmara inferior. Assim, esta foi anulada para o estudo, utilizando só e apenas uma câmara superior. Deste modo, os dados do presente estudo foram recolhidos com recurso à utilização da câmara Sony DSC-RX100M5A a recolher imagem a uma taxa de amostragem de 120hz, a 6,14 metros de altura em relação à lona do trampolim e a uma distância de 10,10 metros ao plano em que o salto era realizado, capturando o tronco e os membros superiores e inferiores desde o momento de saída do trampolim. Importante realçar que foi realizada a calibração da totalidade do enquadramento do salto, denominado por área de calibração, filmando a saída do trampolim até à extremidade corporal que atingia o ponto mais elevado no salto e, novamente, até à receção no trampolim. Esta área foi criada com duas varas, com altura de 4,60 metros em relação à lona do trampolim, presas uma à outra com dois cabos de 5,05 metros de comprimento, como é representado na Figura 4.

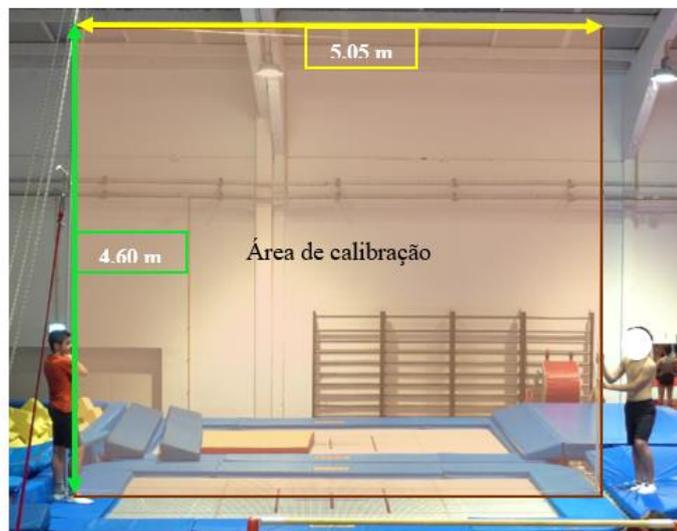


Figura 4 - Marcação da área de calibração

Para a execução dos saltos, foi utilizado um trampolim olímpico (Eurotramp) com 5,05 metros de comprimento por 2,91 metros de largura, tendo a lona 4,28 metros de comprimento por 2,14 metros de largura. Para este estudo, os atletas tiveram duas tentativas para executar cada um dos saltos, aprovado pela Federação Internacional de Ginástica.

Em cada participante, foram colocados cinco marcadores em proeminências ósseas para permitir a sua a digitalização no lado direito do atleta: 1) no ombro para definir a articulação gleno-umeral; 2) diáfise da 10ª costela 3) na crista ilíaca; 4) no epicôndilo lateral do fêmur para definir a articulação joelho; 5) no maléolo lateral da fíbula para definir a articulação do tornozelo. As referências anatômicas foram marcadas com fita cinesiológica branca com um círculo prateado refletor com um diâmetro de 22 mm, que permite aumentar o contraste e visibilidade no vídeo de forma a facilitar a sua digitalização.

4.3. Digitalização

Como já acima referido, para o tratamento dos vídeos foi considerado um espaço de calibração que enquadrava a totalidade do salto, tendo sido necessário proceder à calibração desse espaço para permitir transformar as coordenadas virtuais em reais. Foi também necessário definir o momento inicial, em que o atleta saía da lona, até ao momento em que voltava a ter contacto com o trampolim, como é possível observar na figura 5.

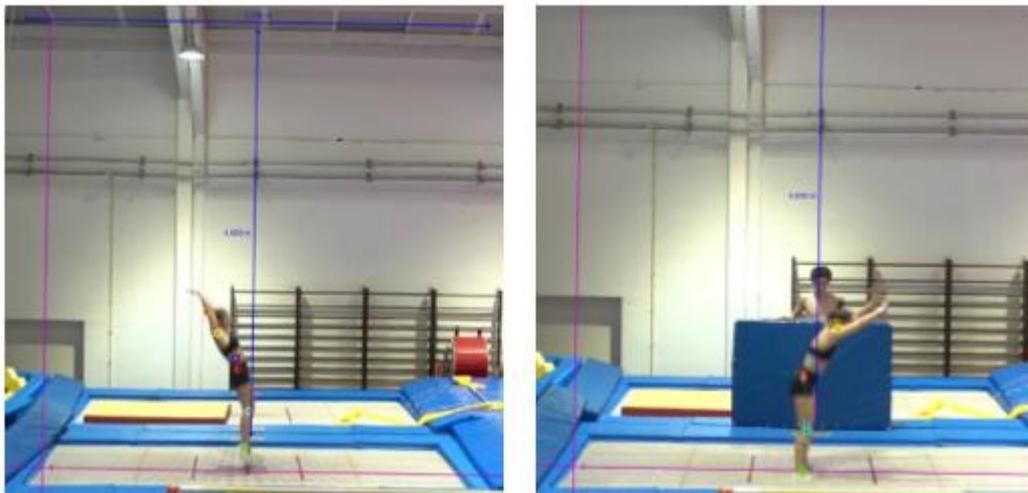


Figura 5 - Identificação do momento inicial e final do salto

O processo de digitalização dos vídeos foi previamente realizado num estudo piloto de forma a verificar se o *set-up* de filmagem e a área de calibração eram apropriados. Os procedimentos de digitalização foram mantidos semelhantes ao longo do processo e realizados sempre pelo mesmo investigador. Após o processo de filmagem, foram reconstruídas as trajetórias das marcas refletoras para a escala real (coordenadas reais), a qual foi realizada através do método designado por DLT 2D. Este método é utilizado em análise cinemática do movimento humano (Pourcelot et. al., 2000), sendo que, com este tipo de calibração, o erro de paralaxe (que ocorre pela observação errada na escala de graduação causada por um desvio

ótico devido ao ângulo de visão do observador) é eliminado, concebendo medições mais precisas para a análise. Segundo Pourcelot et. al. (2000), este método é utilizado em análise cinemática do movimento humano, já que permite a determinação de coordenadas 2D com base em coordenadas virtuais do ponto em análise.

Quanto à análise cinemática foi realizada com recurso ao programa Tracker, utilizando o acima referido algoritmo de transformação linear direta. Este, é um software de análise de vídeo que permite analisar o movimento do corpo incluindo os respetivos vetores, ajustando diversas variáveis lineares e angulares, como a posição, o deslocamento, a velocidade e a aceleração, entre outras, resultando as respetivas tabelas com os dados gerados.

4.4. Variáveis

Neste estudo, pretende-se calcular as seguintes variáveis cinemáticas para as diferentes fases de salto: fase de suporte e fase de voo, sendo esta última dividida em 3 subfases, como já descritas acima. A fase de suporte, é uma fase de transição, com a primeira subfase (preparatória) da fase de voo. Assim sendo, a variável a ser estudada na fase de suporte vai de encontro com a variável da subfase preparatória. Isto acontece porque a análise da variável velocidade linear de saída do/a ginasta do trampolim considera o fim da fase de suporte (última imagem do pé em contacto com a lona) e o início da subfase preparatória (primeira imagem imediatamente após ter deixado de estar em contacto com a lona).

Para a fase de voo, consideram-se as seguintes variáveis:

- Altura máxima de salto (Tracker) – definida com a altura máxima entre a distância do ponto anatómico crista-ilíaca e o trampolim atingida durante os elementos gímnicos, calculada pela diferença dos valores y máximo e no momento imediatamente que o atleta sai da lona do trampolim.
- Altura máxima de salto (fórmula) - definida como a altura máxima entre o ponto crista-ilíaca e o trampolim atingida durante os elementos gímnicos. Segundo Hall (2016), a distância vertical (d) percorrida por um objeto é calculada a partir da aceleração gravitacional (a) e o tempo (t) durante a qual o objeto caiu. Sendo assim, para calcular esta altura máxima que é atingida pelo atleta a meio do salto, é necessário dividir o tempo de salto em dois.

$$d(m) = \frac{1}{2} a * \left(\frac{t}{2}\right)^2 \quad (1)$$

- Tempo de voo - para estimar a altura do mesmo, é calculada a variação de tempo entre o momento imediatamente a seguir em que o atleta sai da lona até ser ao momento em que volta a ter contacto com a lona;

Sendo a fase de voo dividida em três subfases, consideram-se as seguintes variáveis para a subfase preparatória:

- Ângulo absoluto do tronco com a vertical na saída da lona - Este ângulo foi calculado com base na posição do segmento tronco, definido entre os pontos anatómicos 10^a costela e crista ilíaca, com o eixo vertical. Isto porque na saída para o salto, os atletas apresentam os membros superiores estendidos ao lado das orelhas, bloqueando a visão do ponto anatómico ombro. Para isso, colocou-se um ponto na diáfise da 10^a costela relativamente à vertical, no momento imediatamente após saída com a lona;
- Ângulo relativo do joelho no momento na saída da lona - calculado a partir dos pontos crista ilíaca; joelho e o tornozelo, no momento imediatamente a seguir em que o atleta sai da lona.
- Velocidades lineares de saída do atleta da lona considerando quatro pontos anatómicos - nos diversos pontos anatómicos (10^a costela, crista ilíaca, joelho e tornozelo). Para calcular estas velocidades, foi necessário analisar os dados das coordenadas de cada uma das referências anatómicas no *software* Excel, observando a posição no momento imediatamente antes do atleta sair da lona do trampolim e a imediatamente a seguir. Estudando a variação das coordenadas x e y e, através do teorema de Pitágoras, foi possível calcular o deslocamento resultante, como mostra a figura 6.

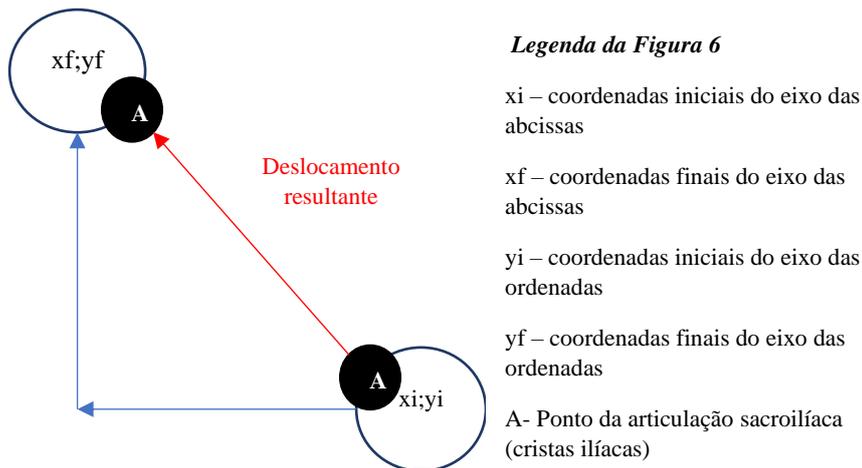


Figura 6 - Representação das variações de das coordenadas x e y para o cálculo do deslocamento resultante

Por fim, a velocidade de saída da lona foi calculada através das variações de posição e de tempo. Desta forma, a velocidade de saída foi calculada com a seguinte fórmula, segundo Hall (2016):

$$v(m/s) = \frac{\Delta \text{posição (m)}}{\Delta \text{tempo (s)}} = \frac{d}{\Delta t} \quad (2)$$

- Velocidade de saída do atleta da lona nos diversos pontos anatómicos analisando a componente x e y da velocidade resultante - Esta variável, ajuda-nos a entender como é que o atleta atua no mortal e no duplo mortal. Na medida em que, é possível ver através destes cálculos, se há maior deslocamento vertical ou horizontal no momento de saída da lona.

Para a subfase de posição, foram identificadas as seguintes variáveis:

- Velocidade de rotação de salto no momento final de engrupado - considerando o segmento coxa para avaliação deste parâmetro, foi necessário analisar as duas imagens imediatamente antes de o atleta deixar de estar em contacto com as mãos nos joelhos.
- Tempo na posição de engrupado - definido a partir do momento em que o atleta agarra no joelho com a mão até voltar a largar o mesmo.

Para a subfase de abertura, foram identificadas as seguintes variáveis:

- Ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura do salto - Este ângulo foi calculado através do segmento tronco e a vertical, definido entre os pontos anatómicos ombro o e crista ilíaca, no momento de inicial de emprachado. Se o atleta apresentar uma posição emprachada antes da vertical os valores do ângulo serão negativos, se apresentar depois da vertical os valores serão positivos.
- Velocidade de rotação de salto no momento inicial de emprachado - considerando o segmento tronco, definido entre os pontos anatómicos ombro e crista ilíaca para avaliação deste parâmetro, foi necessário perceber os dois momentos imediatamente a seguir ao atleta apresentar posição emprachada ou, então, no momento em que apresenta paralelismo com o trampolim, conforme o código de pontuação.

4.5. Análise dados

Para a análise estatística foi utilizado o software *Jamovi*, que permite obter os resultados estatísticos que servem de base ao quinto capítulo desta investigação.

Antes de se proceder à análise dos dados foi realizado um teste de Shapiro-Wilk para cada variável dependente (VD) com o intuito de avaliar se esta se ajustava à curva de distribuição normal. Este passo reveste-se de crucial importância uma vez que o número de participantes do estudo é bastante baixo. Considerando que o desenho metodológico possui uma manipulação *within* (o mesmo ginasta com dois saltos diferentes), foram realizados testes t para amostras emparelhadas nas variáveis dependentes que obedeciam a uma distribuição normal e testes de wilcoxon quando as variáveis violavam esse pressuposto. Estes testes permitiram avaliar se foram obtidas diferenças estatisticamente significativas entre saltos para cada uma das variáveis dependentes. Nos casos onde foram registadas diferenças estatisticamente significativas entre saltos, realizaram-se modelos lineares multinível (MLM), colocando-se no modelo algumas variáveis que podiam interagir ou confundir o efeito de salto registado. As covariáveis introduzidas de forma isolada no modelo foram: a massa corporal (kg), a altura (metros) e a idade (anos). Tomando o exemplo da massa corporal, esta análise (MLM) permitiu verificar se a inserção da variável massa corporal no modelo eliminava ou mantinha efeito do salto. Permitiu ainda avaliar se a massa corporal influenciava a variável dependente e se o efeito de salto dependia do nível de massa corporal (interação; 3 níveis = Média \pm 1Desvio Padrão). Correlações de spearman foram realizadas entre variáveis de cada subfase, para perceber as

relações entre elas de acordo com o tipo de salto. Quando as correlações não eram significativas, mas tinham um coeficiente grande, foram classificadas de acordo com o postulado por Dancey e Ridey (2004).

Tendo em consideração o baixo número de participantes, que resulta numa baixa potência estatística (ou poder estatístico), os resultados terão de ser vistos com cautela. Ainda assim, considerando que amostras baixas são mais permeáveis a erros tipo II do que a erros tipo I, pode-se ter mais confiança nas diferenças significativas obtidas, do que nos casos onde foi registado uma ausência de significado estatístico (erro na ausência de rejeição de H_0).

5. RESULTADOS

No que diz respeito à comparação da distribuição das variáveis dependentes com a curva de distribuição normal, a tabela 3 mostra o resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Considerando o facto de que as velocidades são calculadas computando as variações em “X” e “Y”, quando foram registadas diferenças significativas de velocidades na secção preparatória, foram realizadas análises de eixo “X” e “Y” para perceber qual dos eixos explica a melhor a variação significativa existente.

Tabela 3 - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todas as variáveis dependentes.

	Shapiro-Wilk W	Shapiro-Wilk p
Varição de x - Costela	0.87	0.040
Varição de y - Costela	0.91	0.180
Varição de x - Ombro	0.70	< .001
Varição de y - Ombro	0.82	0.009
Varição de x - Tornozelo	0.94	0.414
Varição de y - Tornozelo	0.93	0.277
Varição de x - Joelho	0.91	0.137
Varição de y - Joelho	0.98	0.966
Varição de x - Crista Ilíaca	0.95	0.552
Varição de y - Crista Ilíaca	0.85	0.020
Velocidade linear de saída do atleta da lona – Ponto Anatómico 10 ^a Costela	0.94	0.409
Velocidade linear de saída do atleta da lona - Ponto Anatómico Tornozelo	0.92	0.196
Velocidade linear de saída do atleta da lona - Ponto Anatómico Joelho	0.98	0.990
Velocidade linear de saída do atleta da lona - Ponto Anatómico Crista Ilíaca	0.85	0.022
Ângulo relativo do joelho no momento de saída da lona	0.97	0.827
Ângulo absoluto do tronco com a vertical na saída da lona	0.96	0.736
Velocidade de rotação de salto no momento final de engrupado	0.91	0.172
Tempo na posição de engrupado	0.87	0.050
Ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura do salto	0.69	< .001
Velocidade de rotação de salto no momento inicial de empranchado	0.82	0.009
Altura máxima de salto (fórmula)	0.95	0.621
Altura máxima de salto (Tracker)	0.95	0.707
Tempo de voo	0.96	0.740

Como se pode observar através da análise da tabela 3, as variáveis a sublinhado – velocidade linear de saída - ponto anatómico crista ilíaca, tempo na posição de engrupado, ângulo absoluto

do tronco com a vertical no momento de abertura do salto e velocidade rotação inicial empranchado - não obedecem a uma distribuição normal pelo que terão de ser sujeitas a testes não paramétricos. Todas as outras variáveis serão analisadas utilizando estatística paramétrica.

Para melhor entendimento conceptual, os resultados obtidos foram divididos em três subfases distintas da fase de voo, tal como está detalhado na secção dos métodos (cf. Revisão da literatura, página 14). Assim, é apresentado um subcapítulo analítico para as variáveis da subfase “preparatória”, outro para variáveis da subfase de” posição”, outro para as variáveis da subfase de “abertura” e um último que contempla todas as variáveis que pertencem à fase de voo, mas não são específicas de nenhuma das subfases anteriores.

SUBFASE PREPARATÓRIA

Velocidade linear de saída – Ponto Anatómico 10ª Costela

Relativamente à velocidade linear da costela, a diferença desta medida entre os dois saltos pode ser observada na figura 7.

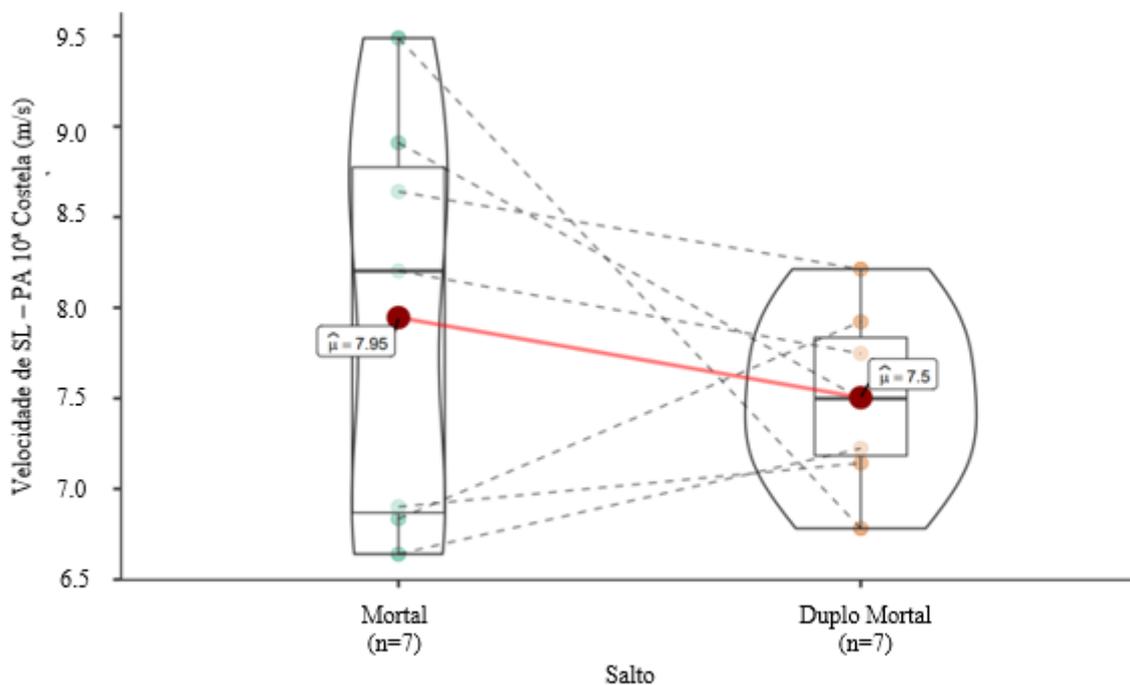


Figura 7 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída da costela obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Mediante análise da figura 7 podemos verificar um valor de velocidade linear da costela ligeiramente inferior no duplo mortal. Contudo, uma análise inferencial mostrou que esta diferença absoluta não é estatisticamente significativa, $t(6) = 0.91$, $p = 0.399$, $gHedge = 0.30$, $CI95\% [-0.41, 1.03]$. Em termos de contagens, podemos ver que não existe um padrão, havendo ginastas com maior velocidade no mortal e outros no duplo mortal. Novamente, considerando que a velocidade é computada com dados de variação de X e Y, foram avaliadas diferenças de X e Y entre os dois saltos. Como era esperado, os resultados mostraram um valor ligeiramente maior de ambas as variáveis no mortal, contudo, tal como na velocidade, estas diferenças não foram estatisticamente significativas ($p_x=.151$; $p_y=.313$).

Velocidade linear de saída – Ponto Anatómico Crista Ilíaca

Relativamente à velocidade linear da crista ilíaca a diferença desta medida entre os dois saltos pode ser examinada na figura 8.

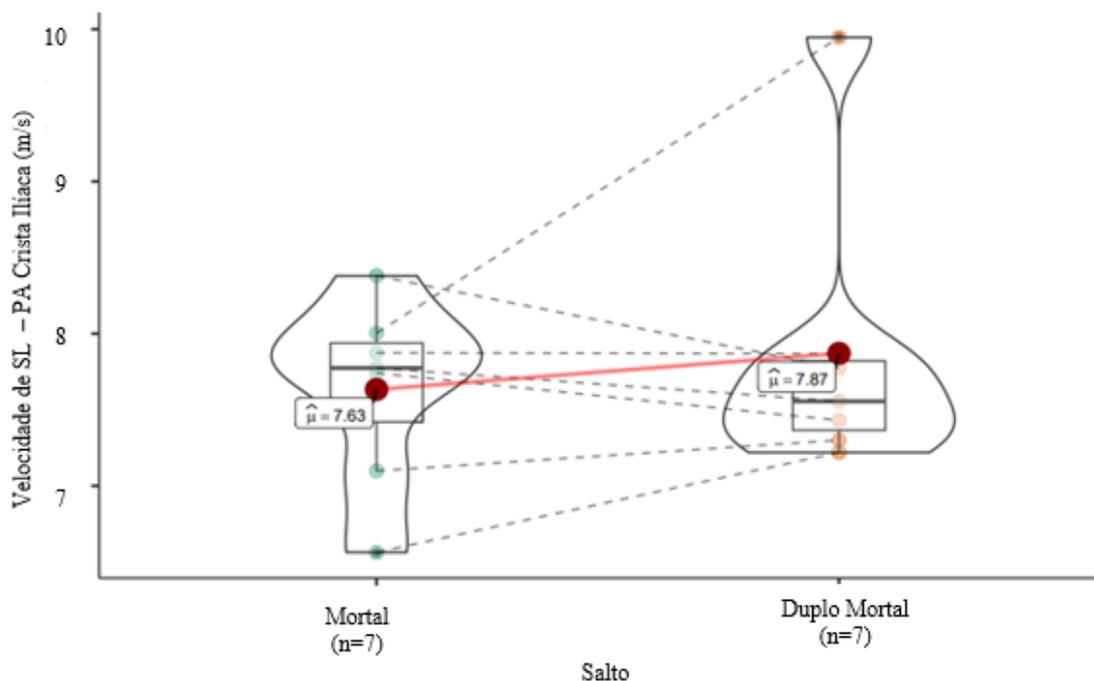


Figura 8 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída da crista ilíaca obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Os dados da figura 8 exibem um valor de velocidade linear de crista ilíaca tenuemente superior no duplo mortal. Porém, esta diferença absoluta não é estatisticamente significativa

$\log_e(V_{Wilcoxon}) = 2.56$, $p = 0.933$, $r = -0.06$, CI95% [-0.80, 0.66]. Verifica-se a ausência de um padrão claro entre participantes com uns a terem maior velocidade no duplo e outros no mortal.

Velocidade linear de saída – Ponto Anatômico Joelho

A figura 9 mostra a diferença da velocidade linear do joelho entre os dois saltos analisados. Verifica-se que a velocidade linear do joelho obtida durante a execução do duplo mortal é maior ($M=10.94$) do que a velocidade registada no mortal. O teste t para amostras emparelhadas mostra que esta diferença é estatisticamente significativa $t(6) = -2.72$, $p = 0.035$, $gHedge = -0.89$, CI95% [-1.82, -0.06]. Apesar deste resultado verifica-se que existe bastante variabilidade nos registos dos diferentes participantes, havendo um ginasta que tem o padrão contrário (maior velocidade do joelho no duplo mortal).

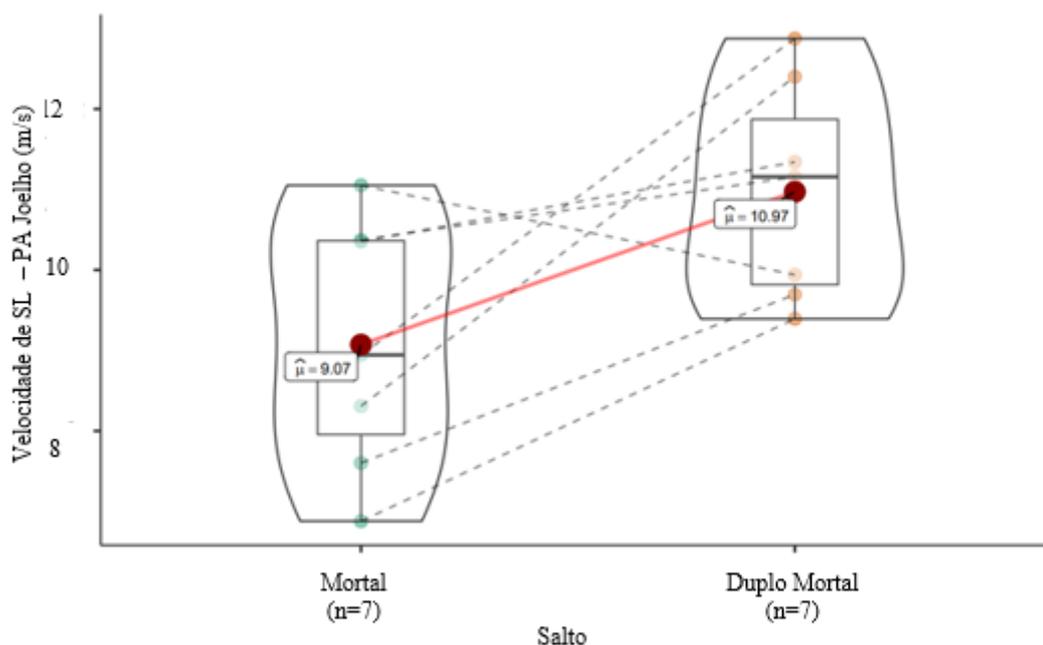


Figura 9 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear de saída do joelho obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Foram realizadas análises de MLM para as 3 covariáveis massa corporal, idade e estatura usando a velocidade linear de joelho como variável dependente e o salto como fator fixo. Os dados dos 3 modelos podem ser vistos na tabela 4.

Tabela 4 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade linear do joelho.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Salto	8.03	0.036	6.16	0.056	9.95	0.025
Covariável	0.22	0.658	1.60	0.262	0.20	0.671
Salto * Covariável	1.52	0.272	0.00	0.979	3.08	0.140

Os resultados mostraram que mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo apesar do valor marginal no modelo da idade. Este resultado mostrou que a velocidade linear do joelho é significativamente maior no duplo mortal independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta.

Variação x e y do Joelho

Considerando que a velocidade é computada com dados de variação de “X” e “Y”, foram avaliadas diferenças de “X” e “Y” entre os dois saltos. Os resultados das duas análises podem ser vistos os nos gráficos da figura 10.

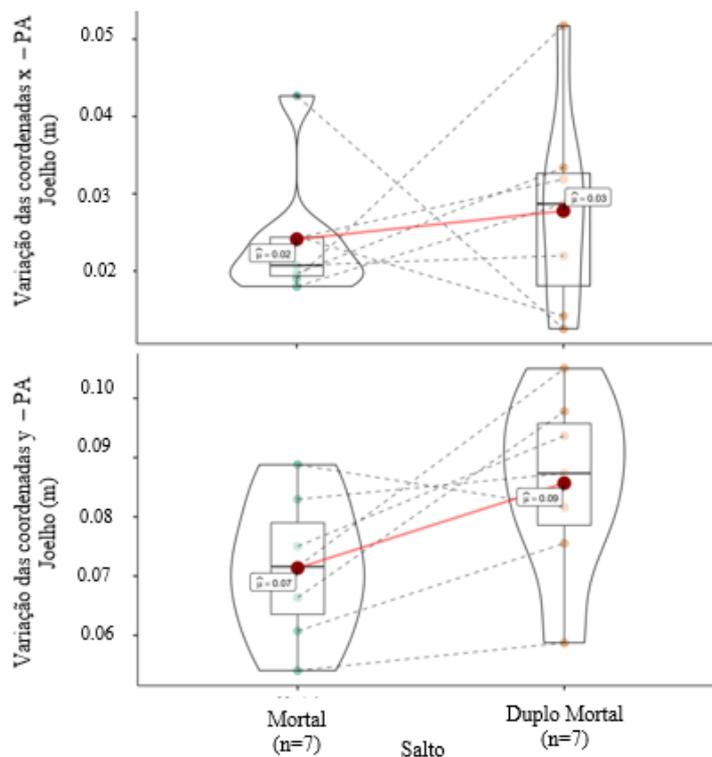


Figura 10 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de variação de velocidade linear do joelho na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Apesar do número de participantes não permitir fazer o cálculo da interação (salto*coordenadas) de forma precisa, quando fazemos a análise das variações em “X” e em “Y” de forma separada percebemos que só foram registadas diferenças significativas entre saltos no “Y” $t(6) = -2.54, p = 0.044, gHedge = -0.84, CI95\% [-1.74, -0.02]$. De facto, apesar de haver maior variação em “X” no duplo mortal esta diferença não assumiu significado estatístico $t(6) = -0.49, p = 0.643, gHedge = -0.16, CI95\% [-0.87, 0.54]$. Assim, parece que a diferença de velocidade linear do joelho entre salto mortal e duplo mortal parece estar a ser mais explicada pela variação no “Y” (altura) do que a variação no “X”.

Velocidade linear de saída – Ponto Anatómico Tornozelo

Relativamente à diferença da velocidade linear do tornozelo entre os dois saltos, os dados descritivos podem ser visualizados na figura 11.

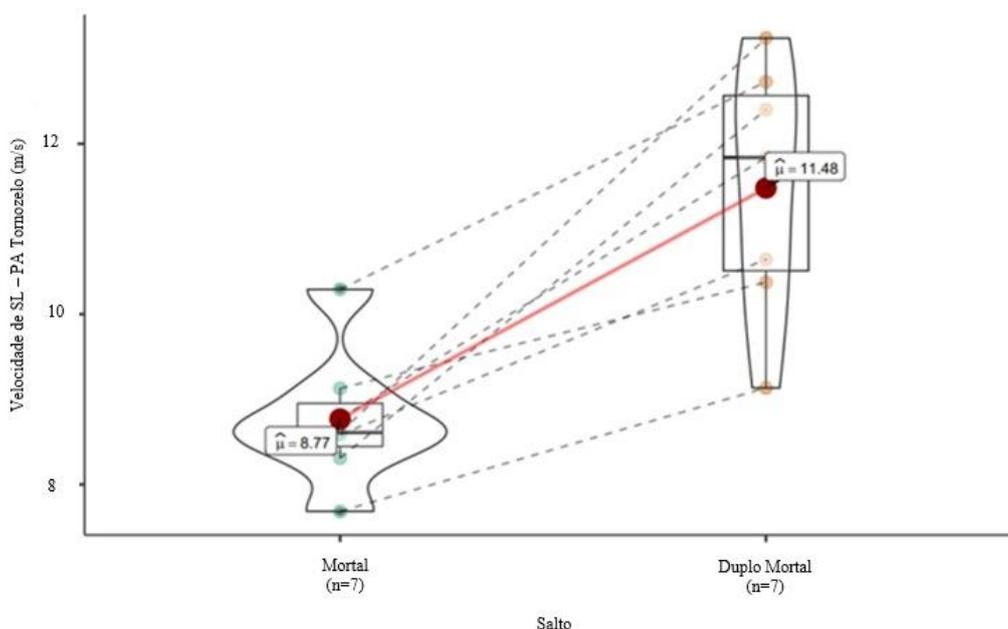


Figura 11 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de velocidade linear do tornozelo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Mediante análise da figura 11 pode-se verificar uma maior velocidade linear do tornozelo no duplo mortal ($M=11.48$) relativamente ao mortal ($M=8.77$). De forma interessante, o test t mostrou que esta diferença é estatisticamente significativa, $t(6) = -5.57, p = 0.001, gHedge = -1.83, CI95\% [-3.25, -0.67]$. De facto, é possível observar que todos os ginastas obtiveram maiores valores de velocidade linear no duplo mortal.

Considerando este resultado foram realizadas análises dos MLM as 3 covariáveis massa corporal, idade e estatura. Os dados sumariados dos 3 MLM podem ser consultados na tabela 5.

Tabela 5 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade linear de saída do tornozelo.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Salto	28.05	0.003	36.62	0.002	26.19	0.004
Covariável	0.54	0.496	1.70	0.249	0.07	0.796
Salto * Covariável	0.43	0.543	2.08	0.209	0.06	0.810

Como se pode observar na tabela 5, mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo, mostrando que a velocidade linear do tornozelo é significativamente maior no duplo mortal independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta. Não foram registados outros efeitos ou interações.

Variação x e y do tornozelo

Novamente, foram avaliadas diferenças de “X” e “Y” entre os dois saltos. Os resultados podem ser consultados nos gráficos da figura 12.

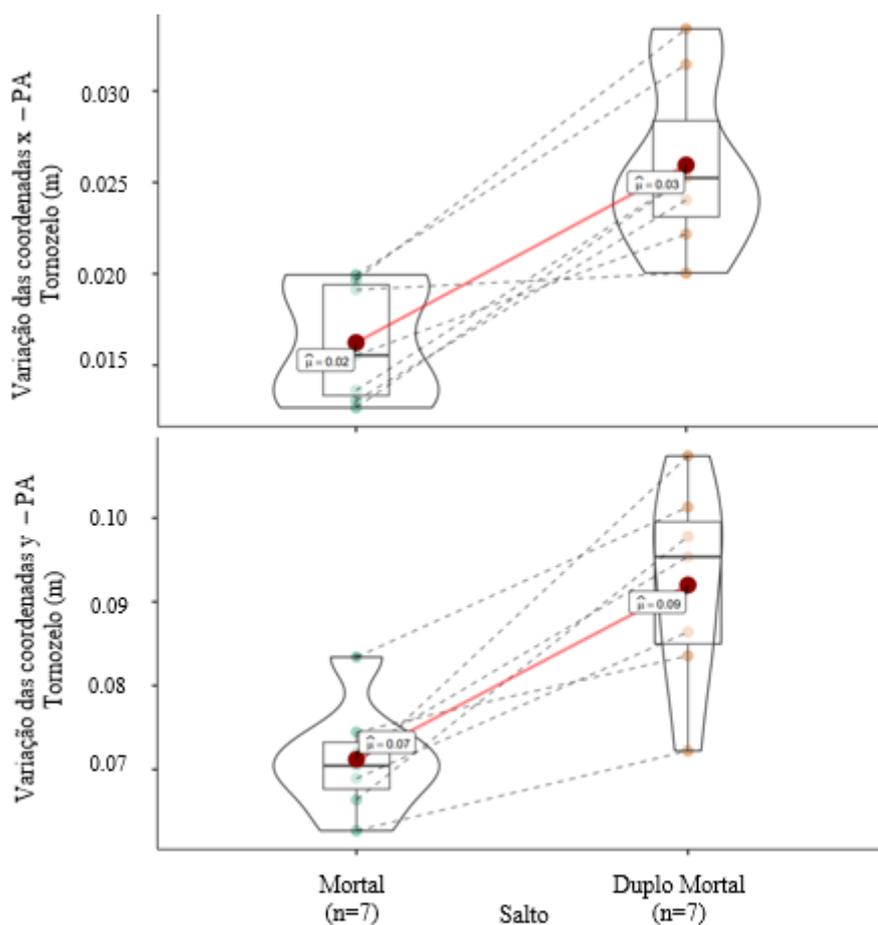


Figura 12 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios de variação de velocidade linear do tornozelo na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Ao contrário do que aconteceu para o joelho, foram obtidas diferenças significativas entre duplo mortal e mortal, na variação de “Y” $t(6) = -5.24$, $p = 0.002$, $gHedge = -1.72$, $CI95\% [-3.08, -0.60]$ e na variação de “X”, $t\ Student(6) = -5.76$, $p = 0.001$, $gHedge = -1.89$, $CI95\% [-3.35, -0.70]$, com maiores variações a serem obtidas no duplo mortal. Efetivamente, parece que

a diferença significativa de velocidade linear do tornozelo entre mortal e duplo mortal está a ser explicada igualmente por variações de “X” e “Y”.

Ângulo relativo do joelho no momento de saída da lona

Relativamente à diferença da velocidade linear do tornozelo entre os dois saltos, os dados descritivos podem ser visualizados na figura 13.

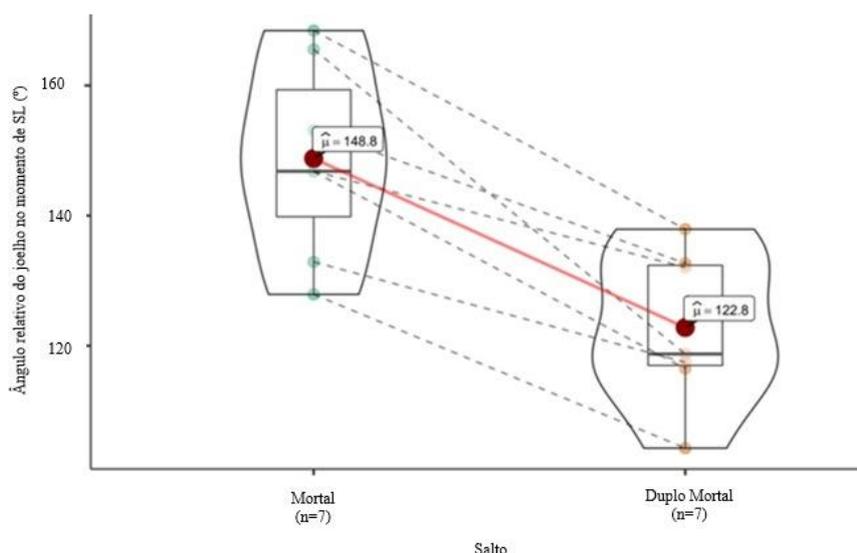


Figura 13 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo relativo do joelho na saída da lona obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Observando a figura 13 pode-se verificar menor ângulo relativo do joelho na saída da lona no duplo mortal (M=122.8) relativamente ao mortal (M=148.8). De forma interessante, o test t mostrou que esta diferença é estatisticamente significativa, $t(6) = 6.17$, $p = 0.001$, $gHedge = 2.03$, $CI95\% [0.78, 3.56]$. O facto de todos os ginastas terem obtido maiores valores de ângulo absoluto do joelho na saída da lona no mortal.

Foram novamente realizadas análises de MLM para a massa corporal, a idade e a estatura. Os dados dos 3 MLM podem ser vistos na tabela 6.

Tabela 6 - Estatística Inferencial dos MLM para o ângulo relativo do joelho na saída da lona.

Covariáveis					
Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
F	p	F	p	F	p

Salto	34.53	0.002	81.56	<.001	44.98	0.001
Covariável	0.28	0.619	2.05	0.212	1.47	0.280
Salto * Covariável	0.45	0.532	7.87	0.038	2.10	0.207

Novamente, mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo, mostrando que o ângulo absoluto do joelho na saída da lona é significativamente maior no mortal, independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta. No entanto, obteve-se um efeito de interação sexo* idade. Este efeito é explicado pelo facto dos ginastas mais velhos (Média +1 desvio padrão) possuírem maiores ângulos de abertura do joelho na saída quando executam o mortal, como mostra a figura 14. Este facto faz com que a diferença de ângulo de saída no joelho entre o mortal e o duplo seja ampliada.

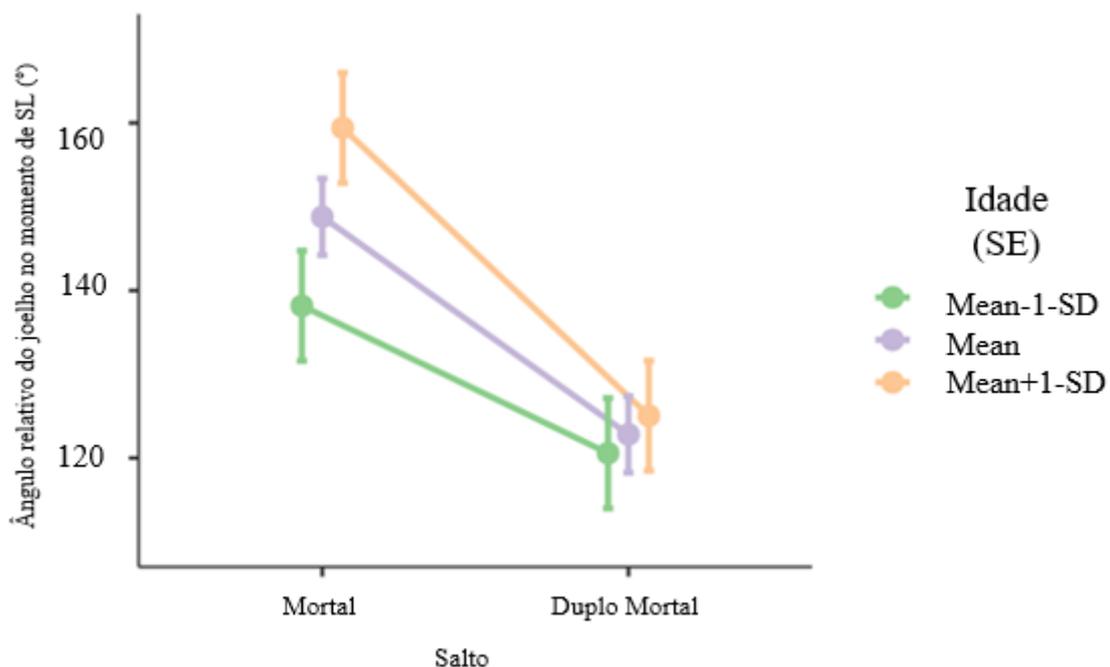


Figura 14 - Médias (e respetivo erro padrão da média) do ângulo relativo do joelho na saída da lona obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média \pm 1Desvio padrão.

Ângulo absoluto do tronco com a vertical na saída da lona

A figura 15, mostra a diferença do ângulo absoluto do tronco vertical entre os dois saltos analisados. Mediante análise visual da figura, pode-se verificar que o ângulo absoluto do tronco vertical alcançado durante a realização do duplo mortal é maior ($M=26.67$) do que a velocidade

registada no mortal ($M=8.93$). O teste t para amostras emparelhadas mostra que esta diferença é estatisticamente significativa $t(6) = -5.09$, $p = 0.002$, $gHedge = -1.67$, $CI95\% [-3.00, -0.57]$.

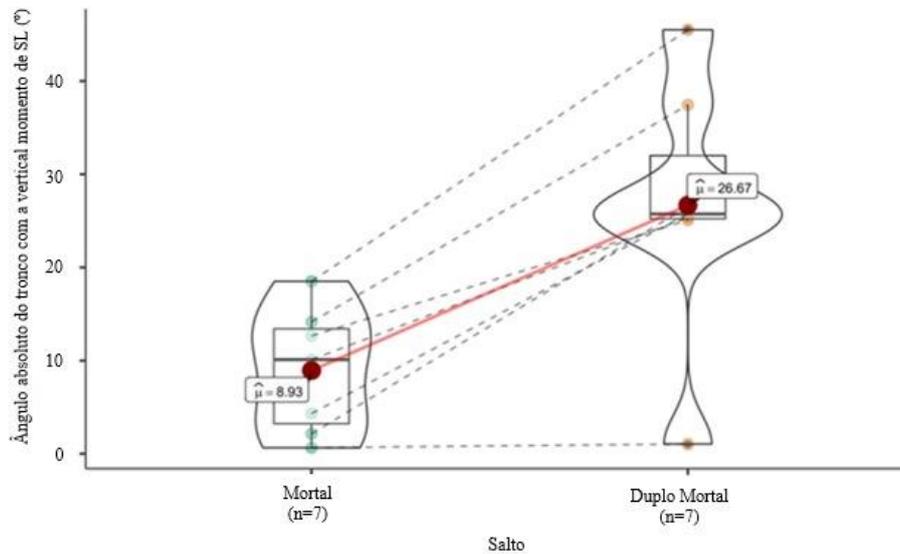


Figura 15 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Os dados inferenciais dos 3 MLM (massa corporal, idade, estatura) podem ser vistos na tabela 7.

Tabela 7 - Estatística Inferencial dos MLM para a ângulo absoluto do tronco vertical.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Salto	22.20	0.005	30.41	0.003	39.34	0.002
Covariável	0.46	0.528	1.17	0.329	8.96	0.030
Salto * Covariável	0.13	0.731	2.03	0.213	4.09	0.099

Novamente, mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo, mostrando que ângulo absoluto do tronco vertical é significativamente maior no duplo mortal, independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta. Contudo, foi também registado um efeito de estatura, onde os atletas mais altos apresentam menores ângulos absolutos do tronco, como é possível verificar na figura 16.

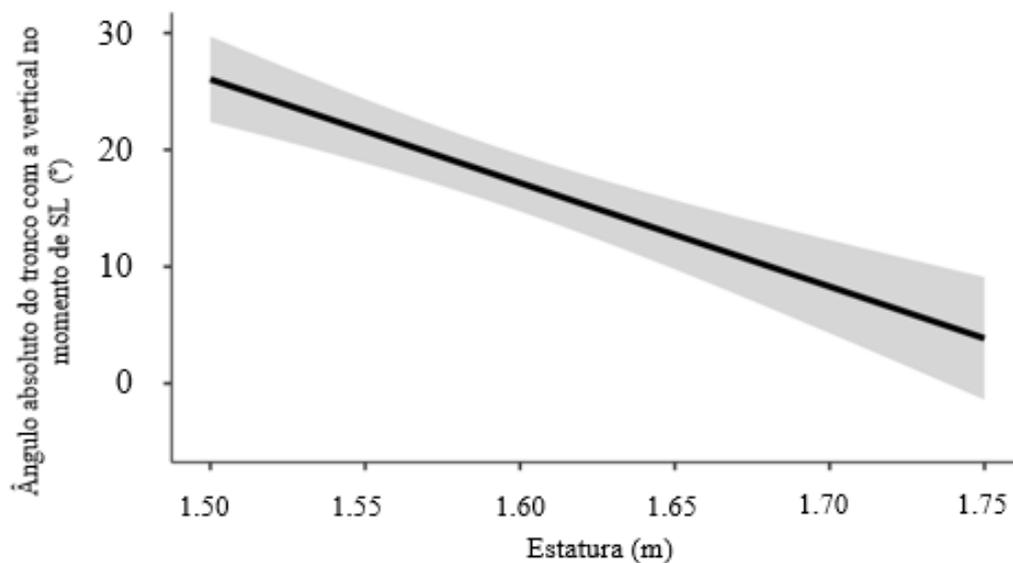
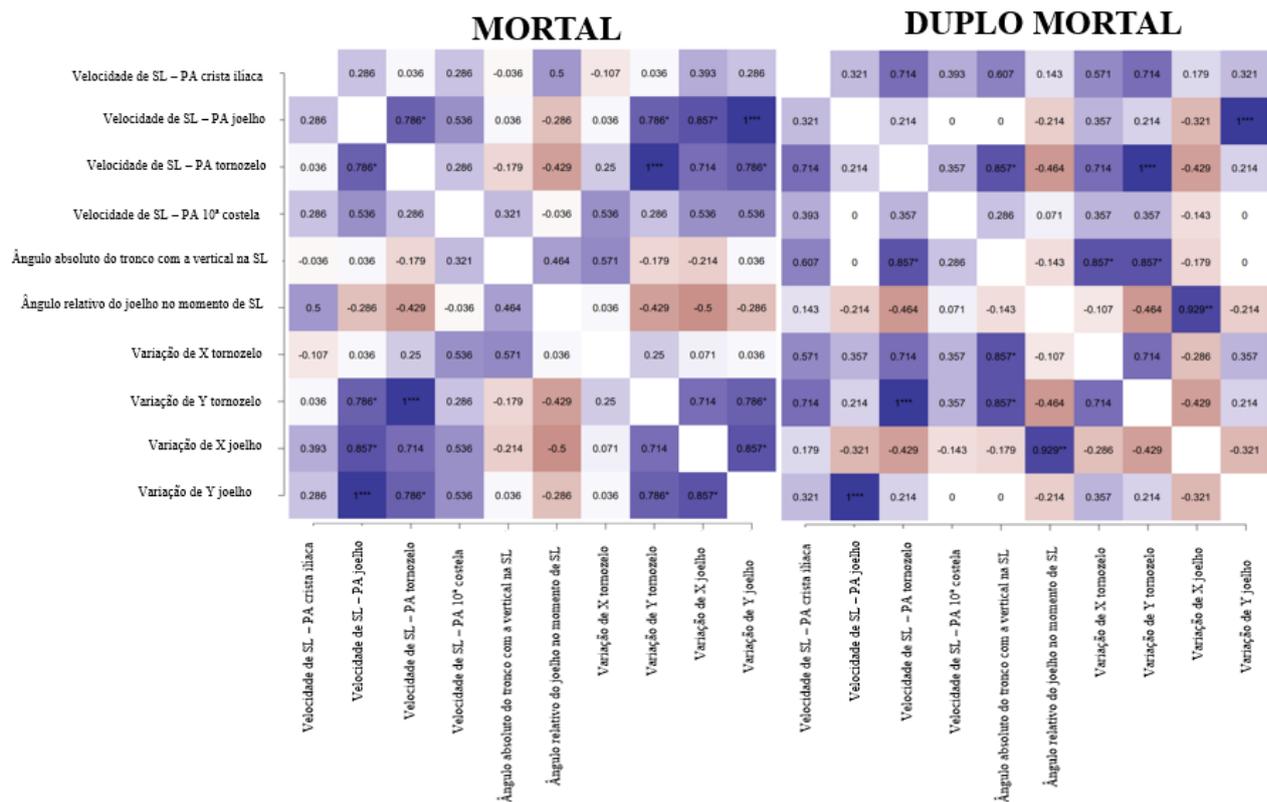


Figura 16 - Relação entre o ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical e a estatura do ginasta.

De seguida foram realizadas correlações de spearman entre as variáveis desta subfase considerando o tipo de salto. Os resultados dessas análises podem ser encontrados na figura 17.



*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

Figura 17 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Preparatória” por tipo de salto.

Para uma melhor e mais clara análise destes valores, é possível verificar diferença de cores apresentada na figura 17. Para isso, na figura seguinte (figura 18), encontram-se o espectro de cores, sendo que, se o $p > 0$ tende para o roxo escuro, $p = 0$ tende para o branco e se $p < 0$ tende para o vermelho.



Figura 18: Diagrama de cores para a correlação de spearman.

Sendo assim, o resultado mais saliente está relacionado com a interatividade da velocidade linear do tornozelo. Se no mortal quanto maior a velocidade linear do tornozelo, maior a velocidade linear do joelho, já no duplo mortal quanto maior é a velocidade linear do tornozelo maior o ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical. De forma interessante, no

caso do mortal o ângulo absoluto do tronco na saída da lona com a vertical não tem relação com a velocidade linear do tornozelo. De referir ainda que apesar de não significativa, a velocidade linear da crista ilíaca tem uma relação muito forte com a velocidade linear do tornozelo no duplo mortal, o que não acontece no mortal.

SUBFASE DE POSIÇÃO

Velocidade de rotação de salto no momento final de engrupado

A figura 19 mostra a diferença de velocidade de rotação final engrupado entre os dois saltos analisados.

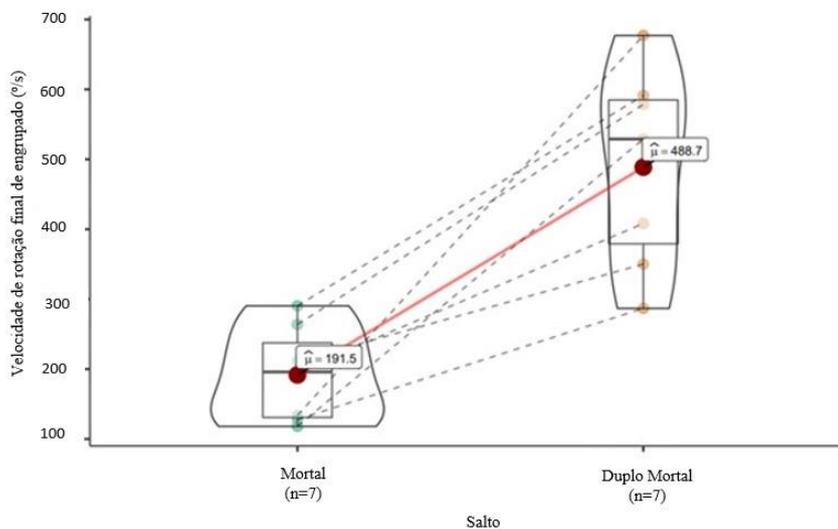


Figura 19 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da velocidade de rotação final engrupado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Observando a figura acima, pode-se verificar uma maior velocidade de rotação final engrupado no duplo mortal ($M=488.7$) relativamente ao mortal ($M=191.5$). O test t para amostras emparelhadas mostrou que esta diferença é estatisticamente significativa $t(6) = -5.44$, $p = 0.002$, $gHedge = -1.79$, $CI95\% [-3.18, -0.64]$.

Foram realizadas análises de MLM para as 3 covariáveis massa corporal, Idade e Estatura usando a velocidade de rotação engrupado como variável dependente e o salto como fator fixo. A tabela 8 mostra os resultados dos 3 modelos.

Tabela 8 - Estatística Inferencial dos MLM para a velocidade de rotação final engrupado.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Salto	24.87	0.004	31.72	<.001	25.94	0.004
Covariável	0.01	0.942	4.42	0.072	0.01	0.909
Salto * Covariável	0.04	0.852	1.00	0.340	0.25	0.635

Os resultados mostraram que mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo. Este resultado mostrou que a velocidade de rotação final engrupado é significativamente maior no duplo mortal independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta.

Tempo na posição de engrupado

No que concerne à diferença de tempo engrupado entre os dois saltos, considera-se que o *p* value do teste Shapiro-Wilk obteve um valor marginal e os resultados dos testes de Wilcoxon $\log_e(VWilcoxon) = -\text{Inf}$, $p = 0.022$, $r = -0.90$, $CI95\% [-0.90, -0.89]$ e *t* student $t(6) = -7.45$, $p = < 0.001$, $gHedge = -2.45$, $CI95\% [-4.25, -1.02]$ são ambos significativos. Deste modo, os resultados a serem apresentados pertencem teste *t* student e os dados descritivos podem ser visualizados na figura 20.

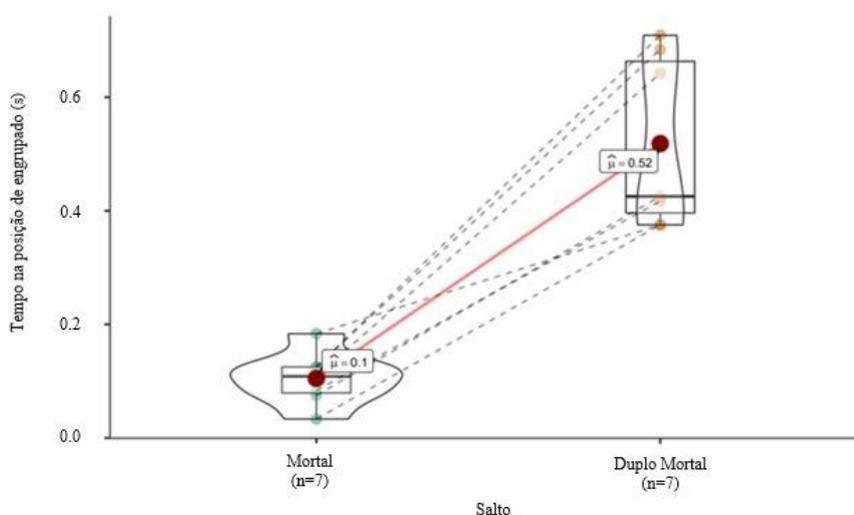


Figura 20 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do tempo engrupado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Verificou-se maior tempo engrupado no duplo mortal ($M=0.52$) relativamente ao mortal ($M=0.1$). O teste t para amostras emparelhadas mostrou que esta diferença é estatisticamente significativa $t(6) = -7.45$, $p = < 0.001$, $gHedge = -2.45$, $CI95\% [-4.25, -1.02]$.

Os dados dos 3 MLM com transformação logarítmica (corrigir o desvio da curva de distribuição normal) podem ser vistos na tabela 9.

Tabela 9 - Estatística Inferencial dos MLM para o tempo engrupado.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	X^2	p	X^2	p	X^2	p
Salto	158.753	< .001	252.500	< .001	147.352	< .001
Covariável	0.097	0.756	0.079	0.778	0.846	0.358
Salto * Covariável	0.641	0.423	10.541	0.001	0.010	0.921

Os dados da tabela 9 mostram a estabilidade do efeito de salto após a introdução das covariáveis, mostrando que o tempo de engrupado é significativamente maior no duplo mortal independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta. Contudo, foi obtida uma interação entre o Salto e a Idade, mostrando que o efeito de salto depende da Idade. De facto, como podemos verificar na figura 21, quanto maior a idade, maior o tempo engrupado.

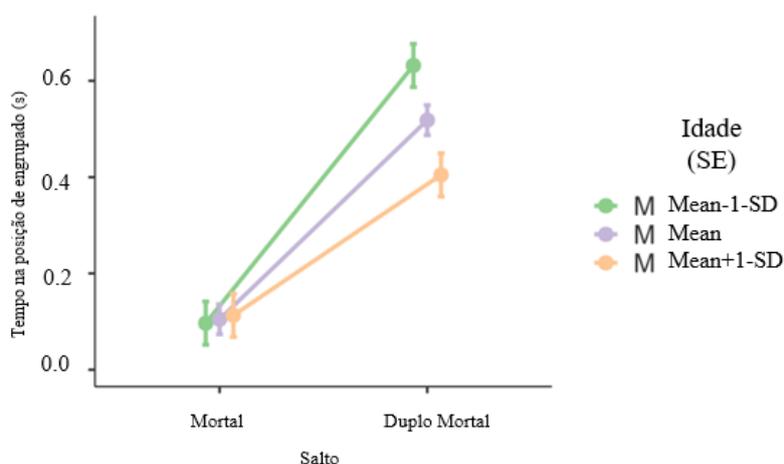
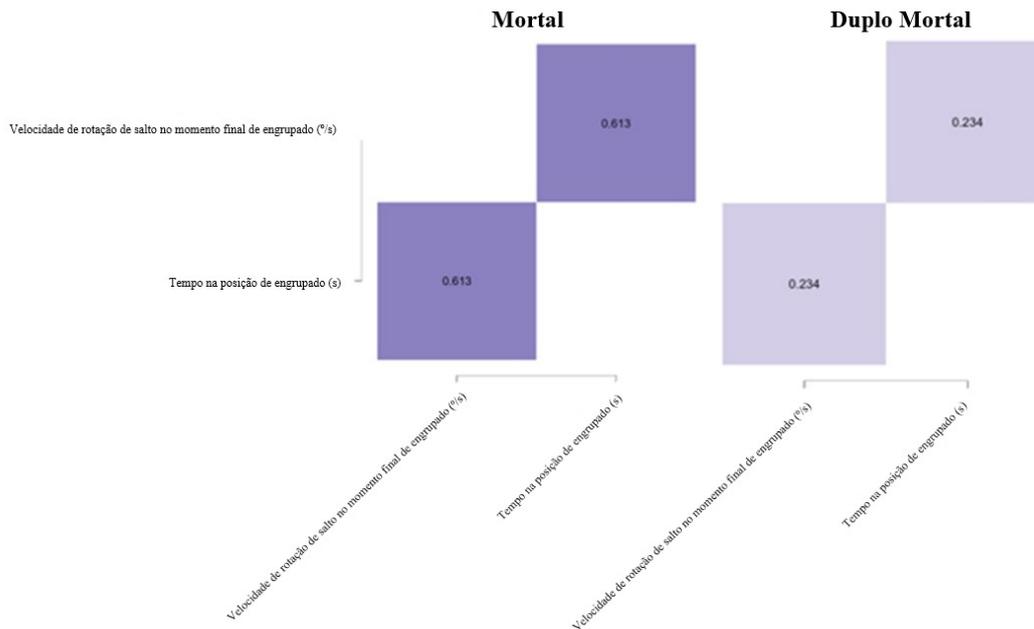


Figura 21 - Médias (e respetivo erro padrão da média) do tempo em posição engrupado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.

Seguidamente realizaram-se correlações de spearman entre as variáveis desta subfase considerando o tipo de salto. Os resultados dessas análises podem ser encontrados na figura 22.



*** p<.001 ** p<.01 * p<.05

Figura 22 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Posição” por tipo de salto.

Não foram obtidas correlações significativas entre velocidade e tempo, contudo, no caso do mortal existe uma correlação que apesar de não significativa é forte.

SUBFASE ABERTURA

Ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura do salto

No que coaduna à diferença do ângulo de abertura com a vertical entre os dois saltos, os dados descritivos podem ser visualizados na figura 23.

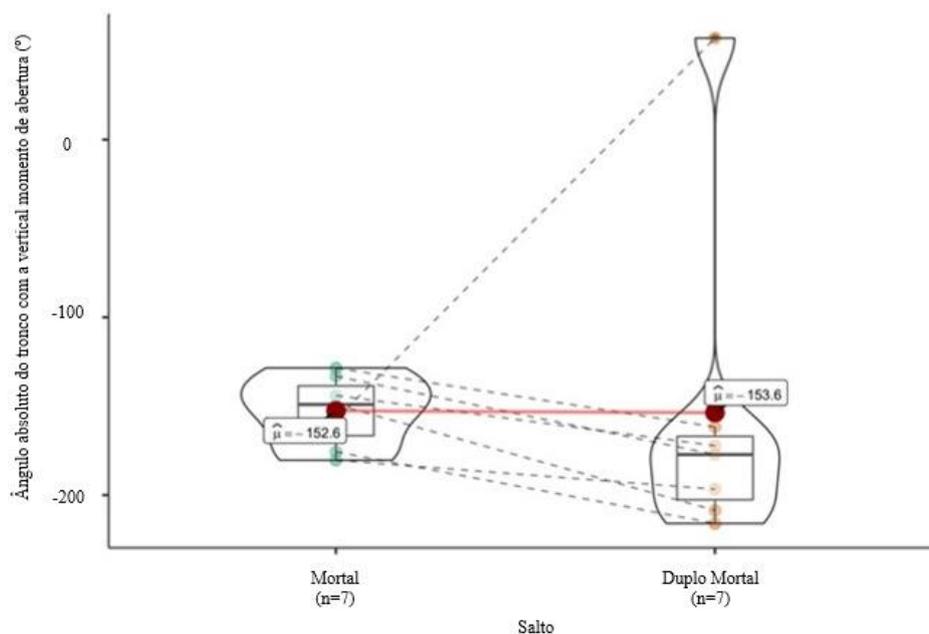


Figura 23 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Mediante análise visual do gráfico da figura 23 pode ser observado um ângulo absoluto do tronco com a vertical no momento de abertura ligeiramente maior no duplo mortal \log_e (VWilcoxon) = 3.04, $p = 0.272$, $r = 0.45$, CI95% [-0.32, 1.10]. No entanto, este resultado parece estar a arrastado pelo “outlier” que se verifica no duplo mortal, uma vez que esse ginasta registou uma diferença muito grande entre saltos e um padrão contrário de todos os restantes ginásticas. Numa análise individual, verifica-se que este ginasta, no duplo mortal, faz a abertura muito cedo, com o tronco no 2º Quadrante pelo que o ângulo é positivo. Este facto aliado ao reduzido número de ginastas no estudo faz com que estes resultados tenham de ser lidos com muita cautela.

Velocidade de rotação de salto no momento inicial de empranchado

A figura 24 mostra a diferença da velocidade de rotação inicial empranchado entre os dois saltos analisados. Porém, esta diferença absoluta não é estatisticamente significativa \log_e (VWilcoxon) = 0.00, $p = 0.035$, $r = -0.83$, CI95% [-1.10, -0.62].

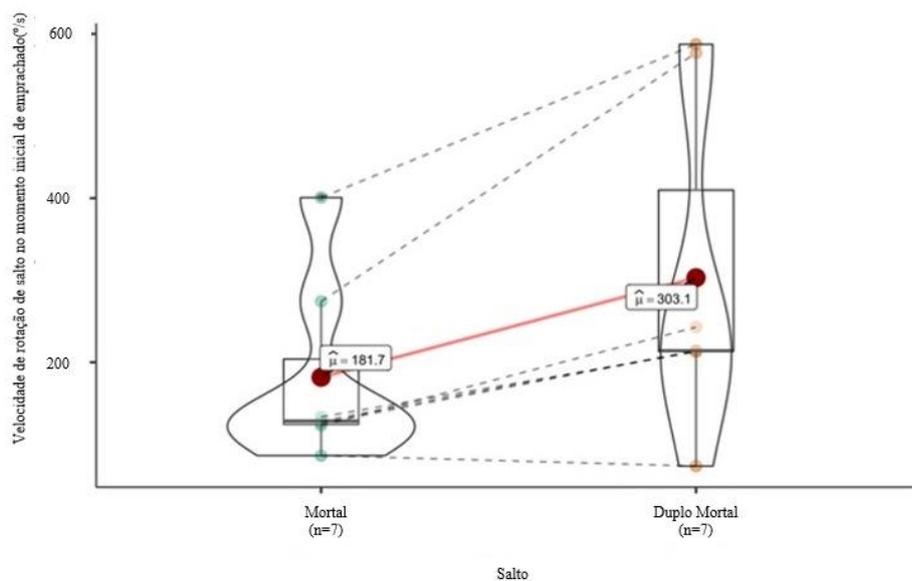


Figura 24 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da velocidade de rotação inicial empranchado obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Os dados inferenciais dos 3 MLM com transformação logarítmica (massa corporal, idade, estatura) podem ser vistos na tabela 10.

Tabela 10 - Estatista Inferencial dos MLM para a velocidade de rotação empranchado.

	Covariáveis					
	Massa corporal (kg)		Idade (anos)		Estatura (metros)	
	X^2	p	X^2	p	X^2	p
Salto	499.340	<.001	147.144	<.001	256.406	<.001
Covariável	0.275	0.600	0.0246	0.620	0.026	0.871
Salto * Covariável	43.050	<.001	12.600	<.001	15.089	<.001

Os resultados mostraram que mesmo depois da introdução de todas as covariáveis no modelo, o efeito de salto permaneceu significativo. Este resultado mostrou ainda que a velocidade de rotação empranchado é significativamente maior no duplo mortal independentemente da massa corporal, da idade e da estatura do ginasta. Contudo, podemos verificar que o salto interagiu com todas as variáveis. Relativamente à massa corporal (ver figura 25), verifica-se que quanto maior a massa corporal, menor é a diferença no que toca à velocidade de rotação de salto no momento inicial de empranchado registada entre o salto mortal e o duplo. No mesmo sentido, quanto maior a estatura do ginasta menor a diferença entre saltos (figura 26). Por outro lado, a idade comporta-se de forma contrária. Em valores mais altos de idade correspondem a uma maior diferença entre os dois saltos, como é possível ver na figura 27.

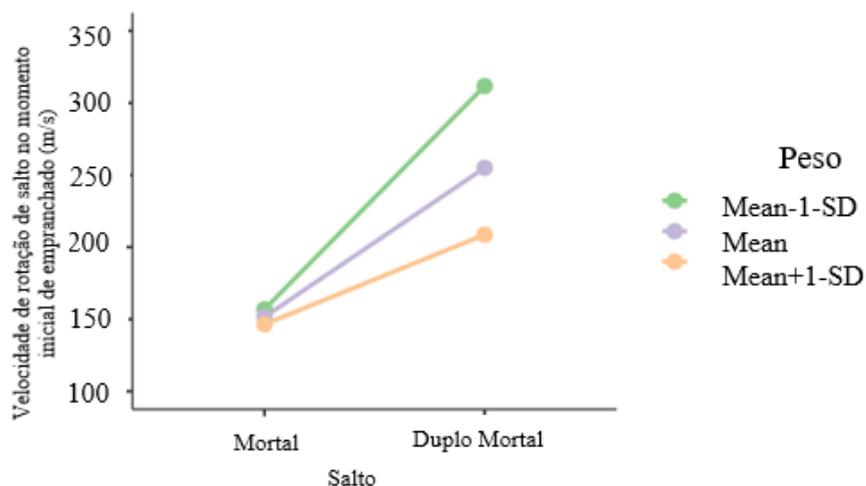


Figura 25 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de emprachado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.

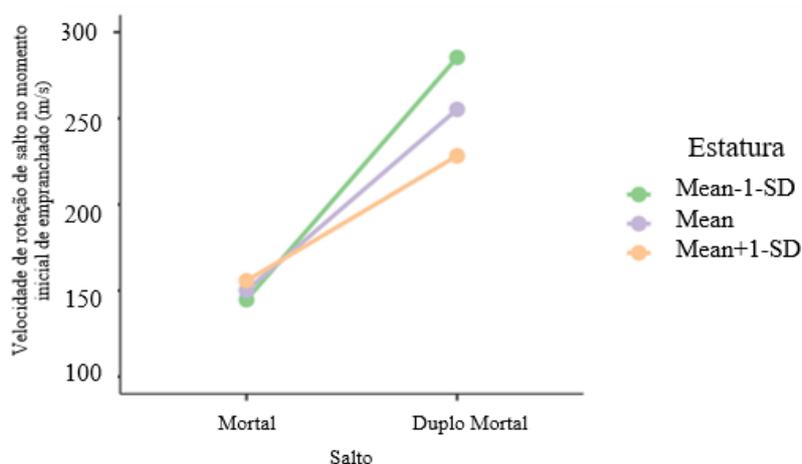


Figura 26 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de emprachado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.

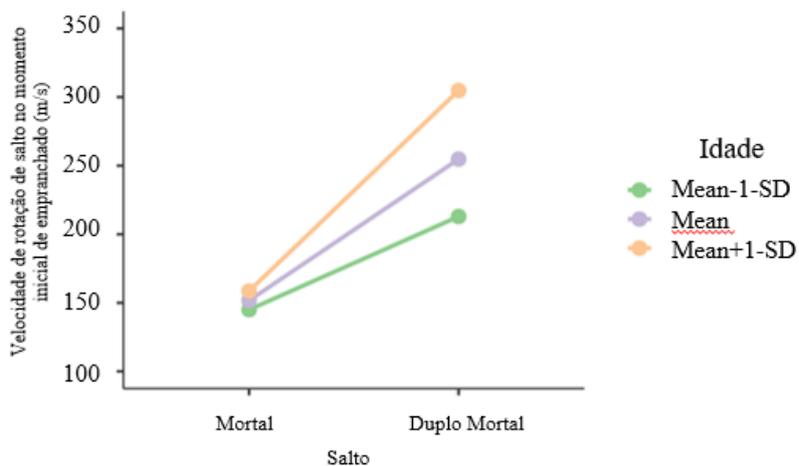


Figura 27 - Médias (e respetivo erro padrão da média) da velocidade de rotação no momento inicial de emprachado obtidos nos dois saltos nos três grupos de ginastas divididos pela média ± 1 Desvio padrão.

De seguida foram realizadas correlações de spearman entre as variáveis, ângulo de abertura de salto e velocidade inicial de rotação emprachado desta subfase considerando o tipo de salto. Os resultados dessas análises podem ser encontra na figura 28.

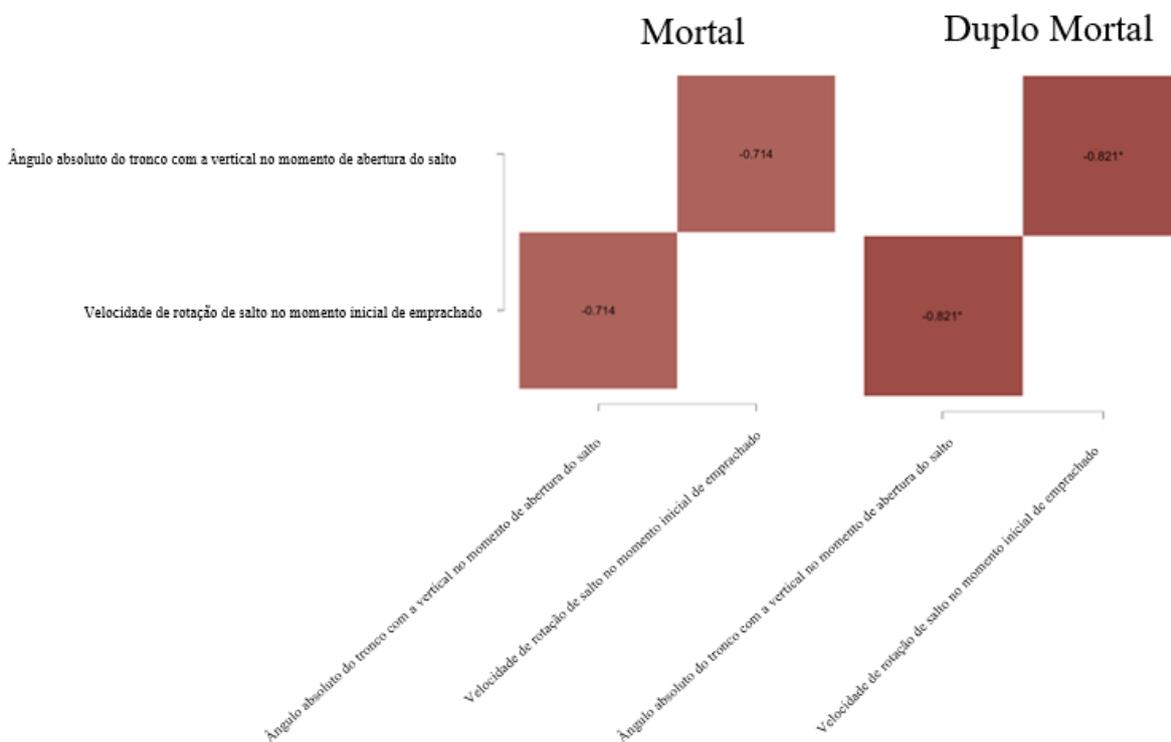


Figura 28 - Matriz de correlação de spearman, com as variáveis da subfase “Abertura” por tipo de salto.

Apesar de correlações muito fortes em ambos os saltos, apenas no duplo mortal se obtiveram diferenças estatisticamente significativas.

FASE DE VOO

Tempo de voo

Já no que diz respeito ao tempo de voo, podemos concluir o mesmo que na altura, onde a diferença observada na figura 30 não atinge significado estatístico $t(6) = 0.81$, $p = 0.446$, $gHedge = 0.27$, $CI95\% [-0.44, 0.99]$.

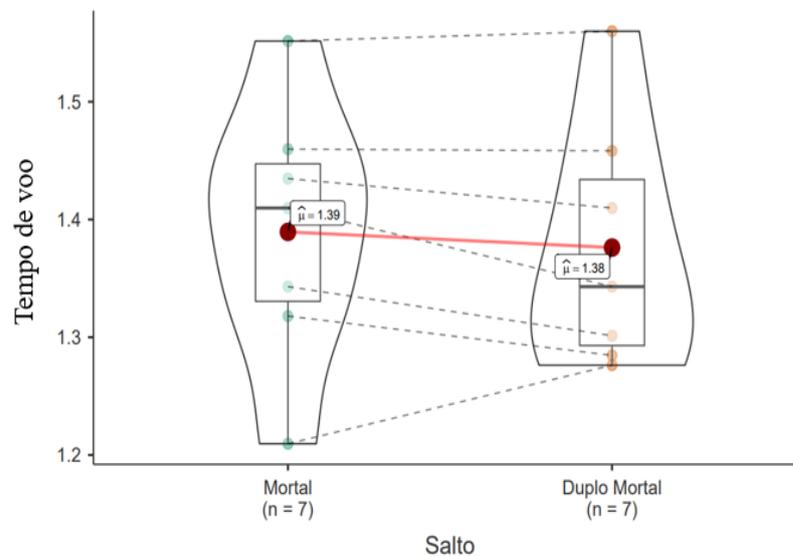


Figura 29 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios do tempo de voo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Altura máxima de salto (estimativa com base no tempo de voo)

Relativamente à altura de voo os resultados são perentórios ao mostrar um valor equivalente entre saltos, de facto apesar de haver maior altura no mortal (ver figura 31, esta diferença não foi estatisticamente significativa $t(6) = 0.88$, $p = 0.411$, $gHedge = 0.29$, $CI95\% [-0.42, 1.02]$).

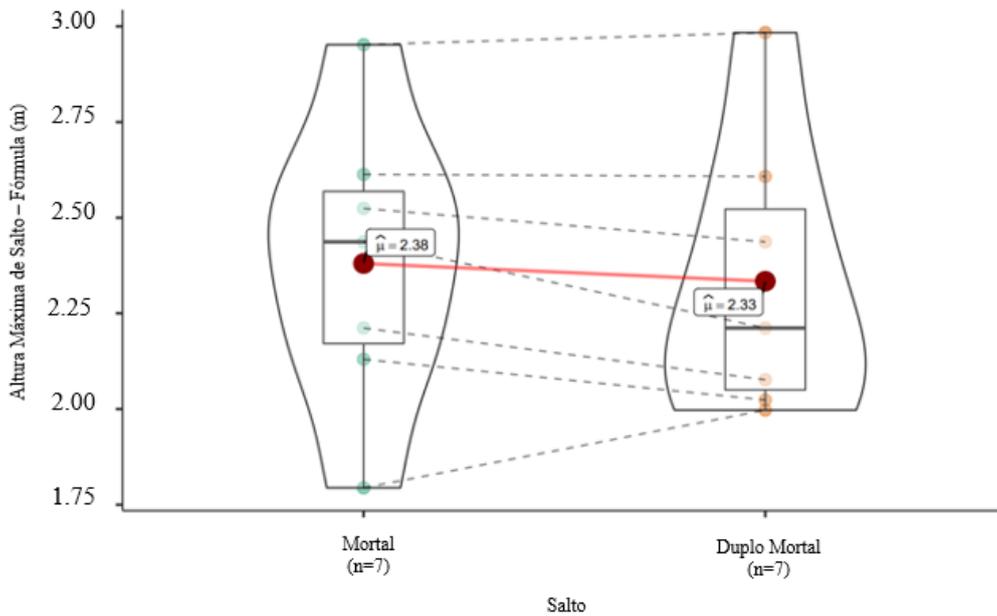


Figura 30 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da altura de voo obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Altura máxima de salto (determinada com base no processo de digitalização - Tracker)

Relativamente à altura de voo, os resultados são perentórios ao mostrar um valor equivalente entre saltos. De facto, apesar de haver maior altura no mortal, como mostra a figura 32, esta diferença não foi estatisticamente significativa $t(6) = -0.29$, $p = 0.785$, $gHedge = -0.09$, $CI95\% [-0.80, 0.60]$.

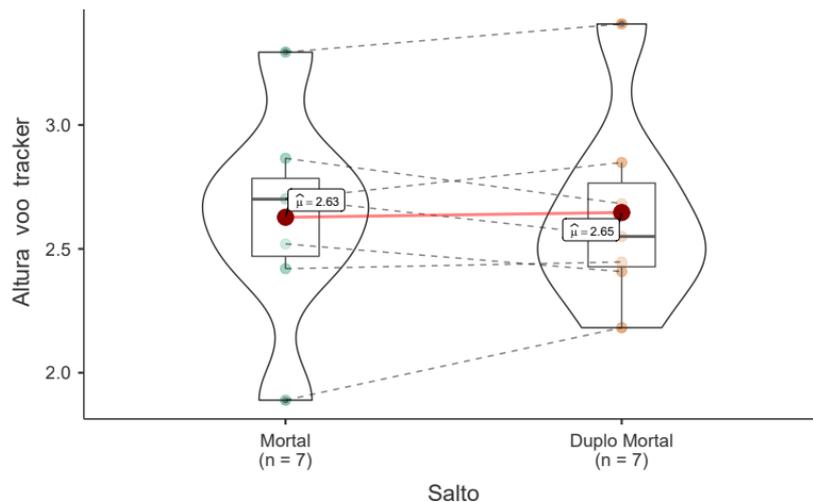
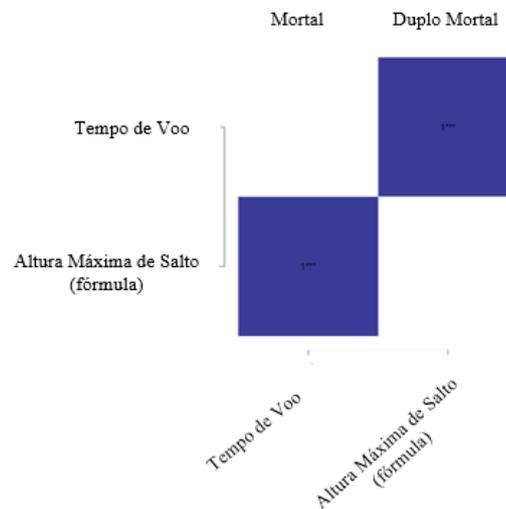


Figura 31 - Gráficos de violino com os valores individuais e médios da altura de voo no tracker obtidos pelos 7 ginastas em cada tipo de salto.

Seguidamente realizaram-se correlações de spearman entre as variáveis, altura máxima (estimativa com base no tempo de voo) e tempo de voo, desta fase (voo) considerando o tipo de salto. É possível observar que resultado mais saliente trata-se do facto de se ter encontrado uma correlação perfeita entre tempo e altura de voo, como se observa na figura 33.



*** p<.001 ** p<.01 * p<.05.

Figura 32 - Matriz de correlação de spearman, com a variável tempo de voo e altura de voo (estimativa com base no tempo de voo) da subfase “Abertura” por tipo de salto.

Com o intuito de avaliar a concordância entre os dois métodos de cálculo de altura (estimativa com base no tempo de voo e Tracker) foi realizado um teste de concordância de Shieh (2019), calculado o coeficiente de Correlação de concordância de Lin (1989) e apresentado o método Bland-Altman (1999). No procedimento postulado por Shieh a hipótese nula preconiza não aceitar a concordância e esta é rejeitada se o limite inferior extremo e o limite superior extremo estiverem dentro dos limites de concordância. Os limites de concordância ($\hat{\theta}$) são calculados usando a seguinte expressão:

$$\hat{\theta} = \bar{d} \pm \gamma_{1-\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

onde \bar{d} é a diferença média entre os dois métodos, S é o desvio padrão da amostra, N é o número de pares, e $\gamma_{1-\alpha}$ é o valor crítico estimado no R (package simplyagree). Os resultados do teste de concordância de Shieh CI95% [-0.58, 0.02] mostra que existe concordância entre os dois métodos. O Coeficiente de Correlação de concordância de Lin tomou o valor de 0.74

CI95% [0.51, 0.87] o que de acordo com os pontos de corte de correlação se assume como uma concordância forte [0.6 a 0.8].

Relativamente ao Bland-Altman os limites de concordância podem ser vistos na tabela 10. Como podemos observar os valores estão dentro dos intervalos de confiança.

Tabela 9 - Limites de concordância de Bland-Altman.

	Estimador	IC inferior	IC superior
Viés Médio	-0.28	-0.35	-0.21
Limite de concordância Inferior	-0.50	-0.60	-0.41
Limite de concordância Superior	-0.06	-0.15	0.04

6. DISCUSSÃO

No presente estudo decidiu-se estabelecer uma nova nomenclatura para as três subfases que compõem a fase de voo com base na biomecânica do salto e na abordagem, proximidade e relação com o aparelho. Assim, postula-se que a fase de voo começava com uma subfase de preparatória que compreendia um espaço temporal entre a saída ascendente da lona até ao momento imediatamente antes ao atleta tocar nos joelhos. Com o toque nos joelhos é possível alcançar a subfase de posição que termina com a alteração do ângulo do engrupado e respetivo largar de joelhos. A última subfase é a fase de abertura que começa no momento seguinte à largada de joelhos até ao momento imediatamente antes do toque da lona.

Relativamente à fase preparatória, foram avaliados as diferenças entre o salto mortal e o duplo mortal nas variáveis velocidade linear do ombro, crista ilíaca, joelho e tornozelo, e ângulos absolutos do joelho e tronco na saída da lona. Os resultados obtidos mostram que o duplo mortal apresentou significativamente maior velocidade linear do tornozelo e joelho e ângulo absoluto do troco com a vertical à saída da lona. Por outro lado, o mortal registou maior ângulo relativo do joelho à saída da lona. Este resultado, vai de acordo ao esperado segundo Blajer e Czaplicki, (2001), sendo que o atleta tem que saber maximizar os seguintes parâmetros: com que antecedência a segmentação começa, com que rapidez é concluída e quanto força é feita. Sendo assim, a saída da lona para o duplo mortal não pode ser feita na vertical como o mortal (que apresenta maior ângulo relativo), tendo de haver uma velocidade linear maior no tornozelo e no joelho para começar a realizar o salto. Isto explica também o facto do ombro e da crista ilíaca não apresentarem diferenças entre saltos. De facto, entre frames o ombro apresenta pouca distância e a crista ilíaca serve de pivot rotacional, sendo o impulso de rotação realizado pelo tornozelo e pelo joelho.

Relativamente à subfase posição, os resultados mostraram que a velocidade de rotação engrupado significativamente maior no duplo mortal do que no mortal. Este resultado vai de acordo ao esperado segundo, Prassas, Kwon e Sands (2006), uma vez que uma velocidade linear maior no tornozelo e no joelho na fase preparatória fazem com que a velocidade angular durante o engrupado seja também maior, o que se torna impreterível para a execução dos dois mortais consecutivos. Com a existência de dois mortais era também expectável que o tempo de engrupado fosse significativamente maior no duplo mortal, o que se verificou no nosso estudo.

Quanto à fase de abertura, verifica-se uma velocidade angular significativamente maior de rotação emprachada no duplo mortal. Este resultado parece mimetizar o alcançado na fase de posição onde há uma dependência de velocidade para a realização dos elementos do salto.

Ainda na fase de abertura não há diferenciação estatisticamente entre os saltos quanto à altura. Apesar de ser expectável que a altura num duplo mortal seja significativamente maior, isto não se passou, o que parece mostrar que a execução do duplo mortal está mais dependente da velocidade atingida durante a execução do que a altura de abertura atingida.

Finalizando, maior é a velocidade linear atingida no tornozelo e joelho à saída em conjunto com as velocidades de rotação aumentam a distância entre o joelho e o tronco. No que concerne à altura e tempo de voo, fortemente correlacionadas, não foram registadas diferenças entre saltos o que mostra mais uma vez uma maior dependência da velocidade relativamente à altura para a realização do duplo mortal quando comparado com o mortal.

7. CONCLUSÃO

No presente estudo foi possível identificar diferenças cinemáticas comparativas ao salto mortal e ao duplo mortal. Enquanto o mortal apresenta valores das variáveis menos significativas o aumento de dificuldade do salto, potencializa estas variáveis estudadas.

Com este aumento de dificuldade de salto, não é possível ver diferenças quanto à velocidade linear dos pontos anatómicos ombro e crista ilíaca, exibindo poucas alterações de valor em relações aos eixos X e Y. Por outro lado, verificou-se um aumento de velocidades de rotação, que é provocada pelo aumento de velocidade linear das articulações: tornozelo e joelho. Verifica-se também que, o aumento de velocidades lineares destes pontos, é transladada para o ângulo do segmento ombro, joelho e tornozelo, devido à adição de um mortal. Com isto, o tempo de engrupado é aumentado no duplo mortal. Interessante perceber que, a altura de abertura manteve-se, visto que o segundo mortal do duplo, por norma é realizado na fase de ascensão da lona como no mortal.

Em suma, este estudo permite também perceber que há uma correlação perfeita entre tempo e altura de voo, isto é, quanto mais altura o atleta realizar os saltos, mais tempo de voo irá obter, que neste tipo modalidade é bastante importante para a nota final do atleta.

8. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES FUTURAS

Uma potencial limitação do presente estudo prende-se com a ausência de análise do momento de abordagem ao trampolim e o número reduzido de sujeitos. De facto, as variáveis de abordagem ao trampolim podem ser potencialmente confundentes/parasita do resultado obtido.

A captura de imagem a 120hz foi insuficiente, visto que se tornou difícil o reconhecimento, no salto mortal, do primeiro e último frame da fase de posição, apresentando alguma distorção mesmo com a elevada frequência de vídeo, resultante da velocidade a que o elemento gímnico foi realizado.

As recolhas feitas no plano sagital, utilizando apenas uma câmara, representam uma limitação, visto que, seria interessante se houvesse análise tridimensional (que exigiria um maior número de câmaras) para perceber de forma mais detalhada todo o salto. Isto é, perceber se os sujeitos realizam ou não os saltos numa posição perpendicular ao trampolim, afetando o posicionamento do ombro (cintura escapular), da crista ilíaca (cintura pélvica), do joelho (epicôndilo lateral do fémur) ou do tornozelo (maléolo lateral da fíbula).

O presente estudo, abre caminho para novas investigações, sendo necessários mais estudos longitudinais e transversais, para dar maior consistência a esta temática.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atilgan, O.E. (2013). Effects of trampoline training on jump, leg strength, static and dynamic balance of boys. *Science of Gymnastics Journal*, 5(2), 15-25.
- Bardy, B. G., & Laurent, M. (1998). How is body orientation controlled during somersaulting? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 963–977.
- Blajer, W., & Czaplicki, A. (2001). Modeling and inverse simulation of somersaults on the trampoline. *Journal of Biomechanics*, 10-11.
- Ellis, W. G. (1960). The Trampoline and Serious Neurological Injuries: A Report of Five Cases, 1673-1676.
- Fédération Internationale de Gymnastique (2022). Code Of Points – Trampoline Gymnastics 2022-2024, 44-49. (Approved by the FIG Executive Committee on February 2020)
- Fitzgerald RE, Freiman SM, Kulwin R. (2021). Demographic changes in US trampoline-related injuries from 1998 to 2017: cause for alarm *Injury Prevention*, 27:55-60.
- Hall, S. J. (2016). *Basic Biomechanics*. 7ª Edição, Editora Guanabara Koogan Ltda. Rio de Janeiro, 385;412.
- Kuisis, S. M., Camacho, T. C., & Dafel, S. M. (2011). Kinetic profile and incidence of Injuries among high performance trampoline gymnasts 1001-1004.
- Natrup J, Bramme J, de Lussanet MHE, Boström KJ, Lappe M, Wagner H. (2020). Gaze behavior of trampoline gymnasts during a back tuck somersault. *Hum Mov Sci*, 2-4.
- Pourcelot, P., Audigié, F., Degueurce, C., Geiger, D., & Denoix, J. M. (2000). A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique. *Journal of Biomechanics*, 33(12), 1751–1754
- Spiros Prassas, YoungHoo Kwon & William A. Sands (2006). Biomechanical research in artistic gymnastics: a review, *Sports Biomechanics*, 5:2, 261-291.
- Vaughan, C.L. (1980). A kinetic analysis of basic trampoline stunts. *Journal of Human Movement Studies*, 6, 236-251

ANEXOS

Anexo I. CONSENTIMENTO INFORMADO

CONSENTIMENTO INFORMADO, ESCLARECIDO E LIVRE PARA PARTICIPAÇÃO EM ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO (de acordo com a Declaração de Helsínquia e a Convenção de Oviedo)

Título do estudo: Estudo cinemático comparativo entre o mortal simples e o duplo mortal, ambos à retaguarda, em ginástica de trampolins

Enquadramento: Estudo inserido no Mestrado em Biocinética da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, sob a orientação do Professor Doutor Artur Manuel Romão Pereira e coorientação da Professora Doutora Beatriz Branquinho Gomes.

Explicação do estudo: O estudo será realizado através da recolha de dados com recurso a captação de vídeo, onde os participantes realizarão um total máximo de 3 vezes os saltos referidos de duas distâncias diferentes. O participante realizará os saltos com fita de cinesiologia colada nos pontos anatómicos (anca, cotovelo, ombro, região vertebral, pulso, joelho, tornozelo e tornozelo) para servir de marcação dos pontos para realizar a digitalização do vídeo e análise cinemática dos saltos. As avaliações decorrerão no local de treino/prática da atividade desportiva dos participantes. Apenas existirá um momento de avaliação com cada participante com a duração aproximada de uma hora para realizar todas as avaliações. As gravações de vídeo captadas durante as avaliações serão destruídas após a conclusão do estudo em julho de 2022.

Condições e financiamento: A participação no estudo é completamente voluntária e não existirá qualquer contrapartida para o participante caso este queira desistir em qualquer momento do estudo. O participante não terá nenhuma despesa associada com a participação no estudo, uma vez que as avaliações decorrerão no seu local de treino/prática da atividade desportiva, e estará coberto com o seguro desportivo ou escolar.

Confidencialidade e anonimato: Os dados serão recolhidos sob anonimato, não será registado qualquer dado de identificação e servirão apenas para a realização deste estudo....

Agradeço a disponibilidade que apresenta em participar de forma voluntária no estudo de investigação e possibilitar a realização do mesmo.

Luís David Gabriel Ferreira Simões, estudante na Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra. Contacto: 914541731; luisdavidsimoes@gmail.com

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

Assinatura/s de quem pede consentimento

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela/s pessoa/s que acima assina/m. Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pelo/a investigador/a.

Nome:

Assinatura: **Data:**

SE NÃO FOR O PRÓPRIO A ASSINAR POR IDADE OU INCAPACIDADE

(se o menor tiver discernimento deve também assinar em cima, se consentir)

NOME:

BI/CC N.º **DATA OU VALIDADE**

GRAU DE PARENTESCO OU TIPO DE REPRESENTAÇÃO:

ASSINATURA

ESTE DOCUMENTO É COMPOSTO DE ... PÁGINA /S E FEITO EM DUPLICADO: UMA VIA PARA O /A INVESTIGADOR /A, OUTRA PARA A PESSOA QUE CONSENTE

Anexo II

Tabela II 1 - Representação dos Coeficientes de Correlação de Ordem de Classificação de Spearman.

Spearman's rho	Correlation
$\geq 0,70$	Relação muito forte
0,40-0,69	Relação forte
0,30-0,29	Relação moderada
0,20-0,29	Relação fraca
0,01-0,19	Relação insignificante