FACULDADE DE CIÊNCIAS DO
PORTO E DE EDUCAÇÃO FÍSICA

UNIVERSIDADE DO PORTO

A Estruturação Muscular e a Intervenção da Cadeia Cinética Responsável pela Impulsão em Trampolim

- o caso da musculatura infra-abdominal -

ourenço Adalberto
ues da Silva França

Outubro 2000

UNIVERSIDADE DO PORTO

Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

A Estruturação Muscular e a Intervenção da Cadeia Cinética Responsável pela Impulsão em Trampolim

- o caso da musculatura infra-abdominal -

Dissertação apresentada às provas de Mestrado em Ciência do Desporto na especialidade de Treino de Alto Rendimento

Orientação: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas

Lourenço Adalberto Marques da Silva França

2000

RESUMO

Os Trampolins, a mais recente modalidade gímnica a integrar o calendário olímpico são, consequência do seu ainda breve historial, uma modalidade pouco favorecida no campo da investigação científica.

A bibliografia publicada sobre no campo da biomecânica deste desporto limita-se, em grande parte, à análise cinemática ou à predição de valores de Forças e Momentos articulares de gestos motores não complexos, cíclicos e totalmente isolados. Contudo, destes estudos, apenas dois abordam as questões relacionadas com a Força Muscular exercida durante as impulsões, e apenas um explana a temática da Electromiografia (EMG) *in loco*, no Trampolim.

Só através da conjugação de diversas metodologias que permitam uma análise completa da modalidade de uma forma mais global (mesmo que mais complexa) se poderá avaliar com maior veracidade o esforço empregue por um atleta durante a realização das impulsões.

Começando por conceber uma série-tipo de dez saltos (à semelhança das executadas em competição), e tentando aglutinar alguns dos factores até agora isolados na bibliografia existente, recorrendo a uma análise mais profunda e abrangente, aliando três campos nunca antes interligados num estudo sobre Trampolins – Cinemática, Dinamometria e Electromiografia – procurou-se de alguma dar início à construção de uma base de conhecimento na área do recrutamento e intervenção dos vários grupos musculares integrados nos complexos mio-articulares da Anca, do Joelho e do Tornozelo que, se acredita, estarem em muito relacionados com o aumento da *performance* e da realização tecnicamente correcta das múltiplas acrobacias nos Trampolins.

ABSTRACT

Trampoline, the most recent gym sport in the Olympic program, are, in consequence of their brief history, a sport with tremendous gaps in scientific investigation.

The literature references in biomechanics in this sport are limited, majorly, to kinematics analysis or to the prediction of net joint Forces and Moments of non-complex skills totally isolated. However, in such studies, only two are related to muscle Force performed during jumps and just one approach the Electromyography (EMG) theme, *in loco*, in the Trampoline.

Only combining a huge range of methods which allow a more complete analysis of this sport through a global perspective (even though more complex), it will be possible to evaluate with more veracity the muscle effort performed by a gymnast during the jumping skills.

It began by designing a standard routine with ten jumps (as it happens in competition), trying to group some of the factors till now isolated in current literature, through a deep and wide analysis, combining the three fields never before integrated in a Trampoline scientific research – kinematics, kinetics and EMG. It was tried in some way to start the edification of a knowledge database in the scientific area of the recruitment and participation of different muscles according to the Hip, Knee and Ankle joints, which it is believed, are in great deal related with increasing the performance and also to technically correct execution of the multiples acrobacies in Trampoline.

RESUMÉ

Trampoline, le plus récent sport dans le Calendaire Olympien sont, du son bref histoire, un sport avec grandes brèches sur l'investigation scientifique.

La bibliographie en biomécanique sur ce sport est, surtout, dans l'analyse cinématique ou pour la prédiction des Forces et des Moments articulaires de non-complexe et totalement isolés habilités. Malgré, dans ces études, seulement deux rapports à force des muscles pendant les sautes et jusqu'un abord l'electromiographie (EMG) matière, *in loco*, dans le Trampoline.

Seulement avec la conjugaison d'une immense ensemble de méthodes, et une complète analyse de ce sport été possible dans une perspective globale (même s'il été plus complexe) et revienne la possibilité d'avalaison avec plus véracité de l'effort des muscles réalise pour le gymnaste pendant l'habilité de saut.

Il commence avec la disposition d'une série de dix sautes (jusque comme dans la compétition), pour essayer l'agrupation de quelque factores encore isolé dans la littérature, à travers d'une analyse profond et global. Celui-ci combine les trois sujettes jamais devant intégrer dans la recherche scientifique en Trampoline – cinématique, dynamographe et EMG.

On ce présent un essai à l'édification sur ce sujet scientifique de la connaissance des différents muscles recruter et participatives relativement a les articulations de la hanche, genou et cheville, qu'on voir être le facteur plus important sur l'aigrement de la performance et la correcte exécution des multiples acrobaties dans le Trampoline.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas, pelo apoio imprescindível prestado desde a primeira hora em que aceitou tornar-se Orientador deste trabalho, pela pertinência das opiniões e correcções, mas sobretudo pela vontade e confiança desde cedo demonstradas. Agradeço também na sua pessoa toda a disponibilidade permanentes do Laboratório de Biomecânica da FCDEF-UP e, pelas longas horas em conjunto, de todos quantos o frequentam e dele fazem a sua segunda casa.

Com o derradeiro encerramento deste ciclo da minha vida que foi a permanência durante tantos (e bons) anos nesta Faculdade, não posso deixar de agradecer a todos os meus Professores, com destaque para o Professor Doutor António Marques, pelo privilégio que foi ser membro do Conselho Directivo durante os anos da sua Presidência e para o Professor Doutor Manuel Botelho, pelo apoio e incentivo constantes, pelas conversas, ideias e dinamismo – e muito especialmente pela ajuda prestada na criação e desenvolvimento do Núcleo de Ginástica da AE.FCDEF.

Ao meu PAI, pela ajuda e empenho, pela disponibilidade permanente e pelo enorme incentivo que foi para a concretização desta tese. Sei que sem o seu abnegado interesse não teria sequer sonhado em levar este trabalho até ao fim. Em grande parte este esforço também é dele.
À minha MÃE, pelo esforço e dedicação, pelo trabalho e ajuda ao longo de toda a minha vida. Pelo apoio nas horas mais difíceis e, especialmente, por todas as vezes que, não estando eu disponível quando por ela necessário, a sua presença foi sempre constante.
À minha Irmã, não só pela leitura e crítica pertinentes, mas sobretudo pelo carinho em tantas horas más e ombro amigo e atento que sempre foi.

Ao Prof. João Carvalho, pelo apoio na concretização deste projecto, pelas soluções criadas e apresentadas, pelo incentivo que foi em algumas fases dramáticas e pela troca de ideias e de conhecimentos que em muito valorizou este trabalho.

Ao Tiago, em primeiro lugar pela Amizade que nos une mas, neste caso, pela leitura atenta, pelas observações e as críticas oportunas que sempre tiveram razão de existir.
Ao Brandão, ao Vasco, ao Rui, ao Abel, ao Cumpas e ao Paulo pelo interesse e apoio que sempre me prestaram (apesar de alguns estarem longe da vista nunca estiveram distantes do coração).

À Lili, ao Miguel, à Raquel e à Tecas, pela força de vontade, dedicação e amizade; pelo sentido que dão àquilo que faço e por serem em grande parte responsáveis por muito daquilo que sou.

Aos vários atletas que colaboraram em todo este processo, desde o seu início, de forma abnegada e sempre disponíveis. O seu esforço foi inestimável.

À Joana pela força e pela coragem, pela alegria e pelo Amor. Sem a sua presença nada seria possível.

A todos os que me ajudaram mas que apesar de não caberem nesta humilde página de agradecimentos têm um lugar especial no meu coração. Especialmente por me terem aturado.

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO I – Apresentação e Objectivos 1

1. Introdução 1

2. Enquadramento do Problema 2

3. Hipóteses e Objectivos de Estudo 4

CAPÍTULO II – Estado Actual dos Conhecimentos 6

1. Desportos Gímnicos e Acrobáticos 6

1.1. Introdução 5

1.2. Brevíssima Resenha Histórica 7

1.2.1. Classificação Histórica das Actividades Gímnicas 7

1.2.2. História Resumida dos Trampolins 7

1.3. Abordagem Simplificada do Código Internacional de Pontuação 9

1.4. Biomecânica de Técnicas Aéreas 9

1.4.1. Aplicação ao Tema 12

1.5. Síntese dos Factores Anatómicos e Mecânicos Influentes na Extremidade Inferior durante TAKO e Landing 15

2. Capacidades Motoras Determinantes na Execução de Impulsões em Trampolins 17

3. Superfícies de Recepção e Consequentes Estratégias de Aquisição e Dissipação de Energia 18

4. Cinemática 20

4.1. Considerações Gerais 20

4.2. Aspectos Específicos 21

5. Dinamometria 24

5.1. Considerações Gerais 24

5.2. Aspectos Específicos 25

6. Intervenção Muscular e Electromiografia (EMG) 28

6.1. Considerações Gerais 28

6.1.1. Factores que Condicionam o Sinal EMG (Captado com Eléctrodos de Superfície) e a Força Produzida pelo Músculo 30

6.2. Aspectos Específicos 32

CAPÍTULO III - Metodologia e Procedimentos Utilizados na Recolha de Informação 34
1. Introdução 34
1.1. Série-Tipo 34
1.1.1. Características Gerais 34
1.1.2. Características Específicas 34
1.1.3. Objectivo da Série-Tipo 35
2. Generalidades 35
3. Análise Cinemática 37
4. Análise Dinamométrica 38
5. Electromiografia (EMG) 40

CAPÍTULO IV - Apresentação e Discussão dos Resultados 44
1. Resultados da Análise Cinemática de 4 Ciclos do Movimento 44
1.1. Introdução 44
1.2. Obtenção de Dados Experimentais 45
1.3. Caracterização Preliminar do Movimento – Análise Teórica 46
1.3.1. Generalidades 46
1.3.2. Descida 46
1.3.3. Landing 47
1.3.4. TAKO 47
1.3.5. Subida 47
1.3.6. Análise Gráfica Teórica do Ciclo Completo 48
1.4. Análise dos Resultados Experimentais 49
1.4.1. Caso Geral 49
1.4.2. Mortal Engrupado à Retaguarda 51
1.4.3. Barany Out Engrupado 60
1.4.4. Salto em Extensão (Vela) 68
1.4.5. Recepção 76
1.5. Comparação dos Valores Práticos de [s], [v] e [a] Calculados a Partir dos Resultados Experimentais com os Presumíveis Valores Teóricos do Movimento 82
1.6. Comparação entre Impulsão à Retaguarda e Impulsão à Frente 85
1.7. Conclusões Qualitativas 86
1.8. Conclusões Preliminares 87

2. Análise Dinâmica Experimental 89
2.1. Introdução 89
2.2. Simplificação 89
2.3. Apresentação Gráfica dos Resultados Extraídos Directamente da Plataforma de Forças 90
2.4. Estudo do Coeficiente de Rigidez 93
2.5. Cálculo da Força Exercida pelo Atleta, em Função das Medições Obtidas na Plataforma de Forças 95
2.6. Equação Geral do Movimento 100
2.6.1. Forças em Presença 100
2.6.1.1. Peso (Componente Estática) 100
2.6.1.2. Componentes Dinâmicas do Peso 100
2.6.1.3. Força de Deformação de Tela 101
2.6.1.4. Resistência do Ar (Arrasto Aerodinâmico) 101
2.6.2. Conclusão 104
2.7. Aplicação Prática 105
2.7.1. Generalidades 105
2.7.2. Fases de Voo 105
2.7.3. Fases de Contacto 107
2.7.4. Representação Gráfica Geral das Várias Fases de um Salto-Tipo 110
2.8. Valor Médio da Força Registada na Plataforma de Forças 111
3. Resultados do Estudo EMG 113
3.1. Actividade Eléctrica Muscular no Trampolim vs Actividade Eléctrica Muscular Máxima 118
3.2. Conclusões Preliminares 120

CAPÍTULO V – Conclusões Finais 122

CAPÍTULO VI – Bibliografia 126
1. Bibliografia Referenciada 126
2. Bibliografia Consultada 130

CAPÍTULO VII – Simbologia e Índices Gerais 131
1. Simbologia Geral 131
2. Simbologia Específica 133

3. Simbologia Utilizada nas Diversas Unidades 133
4. Índice de Figuras 134
5. Índice de Quadros 139
6. Índice de Fórmulas 142

CAPÍTULO I – Apresentação e Objectivos

1. Introdução

Os Trampolins são, mercê do seu ainda breve historial, uma modalidade gímnica pouco favorecida no campo da investigação.

Desportos estruturalmente mais simples e de abordagem técnica mais reduzida, como é o caso dos Saltos para a Água, apresentam quantidades apreciáveis de bibliografia científica quando comparados com os Trampolins. Possivelmente tudo poderá mudar a curto prazo, já que foi possível assistir ao lançamento dos Trampolins nas Olimpíadas. 2000 foi o ano em que a Ginástica viu aumentada em mais uma o leque de modalidades apresentadas na mais importante competição desportiva a nível planetário.

Este trabalho pretende ser mais um esforço na tentativa de aproximar a ciência e os conhecimentos dela provenientes, à metodologia e conteúdo do treino, por forma a contribuir para progressivos incrementos benéficos a este.

Não pretendendo diminuir a importância da experiência dos treinadores - a grande base de todo o conhecimento prático – inúmeras vezes, responsável pelo despoletar dos temas de investigação, deverá atentar-se ser este um momento em que é imperioso aproximar o máximo de conhecimento de diversas áreas científicas até ao local de prática. Tender-se-á, deste modo, tal como aconteceu no Atletismo e na Natação, para uma estrutura de aprofundamento de conhecimentos mais baseada na relação cíclica laboratório/Ginásio/laboratório, já que o exigente desenvolvimento técnico actual não se coaduna com a simples sequência e ancestral entre estudo empírico e treino. A competição é hoje muito mais cerrada e complexa estando a distância que separa a Vitória e a Derrota reduzida a valores de pontuação na ordem das milésimas de ponto. Consequentemente, apenas "saber" de Ginástica ou de "treino" torna-se insuficiente para o mais alto rendimento desportivo. As alterações técnicas que condicionam a obtenção da melhor *performance* atlética em competição estão cada vez mais interligadas com a investigação noutros ramos das ciências naturais e humanas como a nutrição, a psicologia, a biomecânica ou a fisiologia.

No caso particular da biomecânica, há um sem número de considerações e questões pertinentes que justificam um estudo no que respeita à extremidade inferior do corpo humano e à sua importância nas actividades gímnicas.

O treinador poderá contribuir decisivamente para o aumento da *performance* nos Trampolins se tiver presente que estas considerações e a tentativa de resolução dos problemas conseguirão produzir incrementos reais na técnica, altura de voo e diferentes capacidades e habilidades necessárias à realização de cada vez mais complexas sequências de treino e da execução de 10 saltos perfeitos em competição, procurando, ainda, acautelar o elevado e quase permanente risco de lesão.

É intenção deste trabalho contribuir de alguma forma para o início da construção de uma base de conhecimento científico na área do recrutamento e intervenção dos vários grupos musculares integrados nos complexos mio-articulares da Anca, do Joelho e do Tornozelo que, se acredita, estarem em muito relacionados com o aumento da *performance* e da realização tecnicamente correcta das múltiplas acrobacias nos Trampolins.

Deste modo, estas unidades estruturais deverão possuir não só uma grande estabilidade, como mobilidade fora do comum, se o ginasta pretende mover-se de forma explosiva, virtuosa e com controlo[7].

Justificando um pouco o pioneirismo deste trabalho na área em questão, enquanto estudo casuístico e inteiramente experimentalista em todas as áreas de conhecimento nele focadas, e apesar de algumas pesquisas internacionais relacionando determinados objectos de conhecimento também abordadas nesta temática[5], recorrer-se-á de forma inédita a técnicas específicas e objectivas que farão muito mais do que simplesmente predizer ou estimar valores ou factores condicionantes da *performance* e do desempenho técnico dos ginastas.

2. Enquadramento do Problema

Actualmente, os Trampolins sofrem um fantástico "boom" de crescimento um pouco por todo o mundo, estando também Portugal integrado de forma muito positiva neste aumento espantoso de prática desportiva. Com campeões europeus e mundiais individual e colectivamente, com a organização de eventos desportivos nesta área, como a Taça do Mundo e os Campeonatos da Europa e do Mundo, Portugal atingiu já um nível internacional invejável, apenas ofuscado pelo não apuramento de atletas para os Jogos Olímpicos de Sydney 2000 (se bem que o apuramento se tenha limitado apenas ao Top 12 mundial).

Contudo, à semelhança do que vai acontecendo em países que agora despontam, tal como nós para os Trampolins, há necessidade de crescer muito mais no campo da investigação científica desta modalidade.

A grande beleza dos Trampolins reside na capacidade dos atletas conseguirem superar e vencer a mais básica e ancestral força da Natureza: a gravidade.

Mas, à medida que evolui o desporto, aumenta, proporcionalmente, a dificuldade exigida para vencer. Aumentar a altura dos saltos é a única solução actual para crescer em dificuldade e complexidade nas destrezas em Trampolins. Para a concretização deste fim existem dois meios principais:

1 – Continuar a criar materiais com capacidades elásticas aumentadas. Esta opção tem como grande desvantagem o facto de a taxa de evolução da elasticidade do material poder ser superior à da evolução técnica e de controlo motor dos atletas. Esta situação aumentará a probabilidade de lesão. Parece, assim, mais razoável considerar uma segunda hipótese:

2 – Optimizar as Capacidades Motoras responsáveis pela impulsão em Trampolins. Neste capítulo específico, a Força (F) desempenha um papel verdadeiramente central[26].

Actualmente existem ginastas capazes de realizar quádruplos mortais. Nada que seja excepcionalmente transcendente se esquecessemos o facto de que, depois destes quatro mortais e 1/2 pirueta decorrentes de uma impulsão só, o atleta terá de realizar imediatamente mais nove saltos com uma complexidade média pouco inferior. A Força de Impulsão e o controlo motor da mesma, a par com a coordenação corporal desempenha, assim, um papel fundamental.

A importância de recorrer às capacidades coordenativas parece ser, contudo, inversamente proporcional à evolução do desempenho técnico dos ginastas. Ou seja, à medida que aumentamos a complexidade do treino e da competição, diminui a necessidade de apelo às Capacidades Coordenativas (quando comparadas com as Condicionais). Aparentemente, a realização de séries de Trampolim com múltiplas rotações transversais e longitudinais, executadas simultaneamente, parece ser um difícil exercício de coordenação intersegmentar, com recurso às mais intrínsecas capacidades humanas; é de crer, contudo, que a grande importância das capacidades coordenativas se encontra ao nível da aprendizagem das técnicas e habilidades desportivas[26] e, nomeadamente, na fase de aprendizagem dos rudimentos técnicos de Trampolins. No alto nível competitivo, as reacções, os gestos e as habilidades estão já impressas na matriz e no vasto repertório técnico de cada um, podendo ser consideradas como um tipo de coordenação fina.

Em contraste directo, a F dos atletas (sobretudo de Membros Inferiores - MI) deverá ser continuamente estimulada, pois será dela que dependerá muito do sucesso e da altura de voo alcançada nos Trampolins.

3. Hipóteses e Objectivo do Estudo

O sucesso nos saltos de Trampolim está em grande medida dependente da habilidade do saltador em gerar, no momento do contacto e do Take-Off (TAKO), o impulso linear e angular necessários para a execução técnica e artística de um elemento específico[21].

Assim, e após realizados alguns estudos preliminares de exploração acerca da viabilidade e relevância do tema, pode-se formular como hipótese ser a musculatura infra-abdominal, nomeadamente, *os extensores da coxa, os flexores e extensores da perna e os flexores plantares do pé,* a mais determinante no que diz respeito à realização da impulsão para os elementos acrobáticos nos Trampolins.

Mais ainda: pode-se postular que as articulações mais solicitadas e sobre as quais actuam as maiores cargas são, por ordem de importância, a da anca, a do joelho e a do tornozelo[21; 22]. Isto porque algumas diferenças dos padrões cinemáticos do joelho e anca observados entre recepções em diferentes superfícies reflectem modificações interindividuais nas estratégias utilizadas na Recepção e providenciam uma nova perspectiva sobre a regulação da rigidez corporal desta acção motora, essencial em Trampolins[24].

Para além de tentar comprovar as hipóteses estabelecidas, seria também de extrema importância avaliar e estabelecer a ordem da cadeia cinética muscular de membros inferiores, desencadeadora de força e energia para a execução dos dois movimentos básicos relacionados com o momento de saída do Trampolim: saltos à frente e saltos à retaguarda.

Foi, pois, intenção do autor, realizar um leque faseado de procedimentos de investigação, devidamente estruturados e sobretudo sequentes, tentando sempre com os primeiros abrir as portas e permitir o *interface* e as relações de conhecimento com os seguintes.

Face às esperadas dificuldades de traduzir analiticamente as expressões do movimento de todos os elementos intersegmentares da cadeia cinética, acompanhar-se-á todo o estudo acima resumido de uma perspectiva simplificada, considerando os movimentos do centro de massa. Para esta situação proceder-se-á a análises cinemáticas, dinâmicas e electromiográficas.

CAPÍTULO II – Estado Actual dos Conhecimentos

1. Desportos Gímnicos e Acrobáticos

1.1. Introdução

É notória a escassez de estudos que rodeiam os Trampolins. A bibliografia publicada limita-se, em grande parte, à análise cinemática ou à predição de valores de Forças e Momentos (M) articulares de gestos motores não complexos, cíclicos e totalmente isolados, como por exemplo: - um mortal à retaguarda[16; 7]; um mortal à retaguarda com uma pirueta[23]; - um duplo mortal à retaguarda[21]; ou (já mais complexo) um triplo mortal[31; 34].

No entanto, os Trampolins são, em certos aspectos, uma modalidade híbrida e, biomecanicamente extraordinariamente complexa, dependente de inúmeros factores e variáveis nem sempre possíveis de controlar. Assim:

1 – Não são cíclicos como a Natação nem totalmente acíclicos como, por exemplo, o Futebol. Pode, desta forma, considerar-se terem três fases distintas de movimento, em que duas são aparentemente semelhantes (Landing e TAKO), enquanto a terceira é sempre diferente (fase aérea). Mas, mesmo TAKO e Landing só se assemelham quando tratamos isoladamente de saltos à frente ou à retaguarda pois, entre si, os gestos motores são estruturalmente antagónicos;

2 – Envolvem, em treino e competição, saltos com múltiplas rotações sobre diferentes eixos (o que é, do ponto de vista biomecânico, algo ainda complexo de analisar e estudar);

3 – Dependem de material com capacidades elásticas muito particulares e das quais, em concreto, muito pouco se conhece;

4 – Dependem das características do treino a que foi sujeito cada indivíduo e de diversas capacidades motoras (distintas, ainda não totalmente clarificadas e muito pouco estudadas *in loco*).

Todos estes ítens implicam diversas variáveis que se interpenetram e como tal são difíceis de isolar, sendo ainda, muitas delas, impossíveis de quantificar com a actual tecnologia. Isto dificulta os estudos em Trampolins e desencoraja eventuais investigadores não familiarizados com o enorme potencial desta modalidade.

1.2. Brevíssima Resenha Histórica

1.2.1. Classificação Histórica das Actividades Gímnicas

Tão ancestrais como o próprio Homem, estas actividades de superação da condição humana, podem ser caracterizadas quanto à sua essência mais primária e à raiz dos seus princípios, em três áreas epistemológicas:

1 – Actividades Gímnicas Naturais (que englobam Ginástica Artística Masculina e Feminina) – inspiradas na Natureza, nos primórdios do Homem e na sua evolução natural; utilizando gestos e posturas inabituais que, na sua génese são comparados aos observados nos comportamentos animais (balanços na Barra Fixa, nas Argolas ou nas Paralelas; realização de exercícios nos Cavalos; caminhando sobre as mãos em apoio facial invertido ou noutros elementos gímnicos de inversão da normal posição corporal.);

2 – Actividades Gímnicas Artísticas (que englobam a Ginástica Rítmica Desportiva e a Ginástica Aeróbica Desportiva) – relacionadas com as artes, a representação e a dança; com a expressão corporal e teatral, fazendo do corpo um objecto de expressão artística;

3 – Actividades Gímnicas Puras (que englobam os Trampolins e os Desportos Acrobáticos) – relacionados com actividades que surgem das necessidades do Homem. Subir e saltar desafiando a gravidade para alcançar mais alto; realização de grandes torres e pirâmides humanas para escalar muros e paredes. Ou ainda relacionados com actividades de diversão, lazer, pantomina e animação... ou seja, actividades de sociabilização e das relações humanas.

1.2.2. História Resumida dos Trampolins

Desportos como os Trampolins e os seus exercícios básicos remontam à Antiguidade. São, na sua génese, o reflexo do incessante e eterno desejo para desafiar a omnipresente força da gravidade que nos empurra contra o solo e nos impede de voar.

Um vasto número de culturas desenvolveu diversos engenhos capazes de lançar um indivíduo em pleno ar. As peles de foca parecem ter sido os primeiros instrumentos a servir de tela

de impulsão. No aeroporto de Anchorage, Alaska, encontram-se pinturas antigas com registos ilustrando Esquimós sendo projectados no ar por peles de focas esticadas[12].

Com o passar dos tempos e com a evolução dos materiais, as formas de arremesso foram mudando na tentativa constante de conseguir voar cada vez mais alto.

O próprio trampolim, tal como o conhecemos, foi fruto de vários desenvolvimentos realizados por Du Trampolin, um artista circense francês que vislumbrava a possibilidade de utilizar a rede de segurança dos trapézios como instrumento de impulsão, tendo experimentado vários sistemas de propulsão reduzindo, progressivamente, a tela até permitir realizações individuais numa estrutura consideravelmente mais pequena.

Contudo, o "pai dos Trampolins", estruturalmente semelhantes aos de hoje, foi George Nissen, um americano que em 1936 desenvolveu um aparelho elástico capaz de o impulsionar no ar. A partir desta data, o crescimento dos Trampolins, enquanto Desporto, foi assombroso. Utilizando o trampolim de Nissen, a United States Air Force e mais tarde as Agências Espaciais adaptaram-no para o treino dos seus pilotos[12].

Cada nova era produz um desenvolvimento crescente na sofisticação dos materiais e, consequentemente, da resistência e propriedades elásticas dos trampolins. Actualmente, os fabricantes produzem trampolins capazes de projectar os melhores atletas a 10 m de altura[10].

A actividade competitiva teve início nos Estados Unidos da América após conclusão da II Guerra Mundial. Esta prática disseminou-se pela Europa nos anos 50 e, em meados de 1960, surgiram várias Federações Nacionais que, em 1964 se associaram na criação da Federação Internacional de Trampolins (FIT).

Os Trampolins cresceram fortemente nas três décadas seguintes, com milhares de atletas espalhados por todos os continentes.

Em 1999, registou-se a fusão histórica da FIT com a Federação Internacional de Ginástica (FIG) e, em Sydney 2000, os Trampolins foram pela primeira vez modalidade Olímpica.

A História da modalidade só agora está a começar...

1.3. Abordagem Simplificada do Código Internacional de Pontuação[13]

A avaliação da *performance* dos ginastas em Trampolins tem a subjectividade da observação humana do juiz, mas conta com a objectividade do Código de Pontuação, que rege e define a classificação de cada praticante.

De uma forma simplificada a pontuação atribuída está dividida em duas categorias principais:

1. Execução
2. Dificuldade

A primeira avalia a forma e a técnica utilizada na realização dos saltos; avalia a correcção/incorrecção e a postura, penalizando determinadas falhas sobretudo no posicionamento dos segmentos corporais (por exemplo, a flexão de MI durante a execução de um salto empranchado).

A segunda avalia o conteúdo, contabilizando a dificuldade de cada salto segundo uma tabela e normas pré-estabelecidas que, de forma simplificada pode ser explicada do seguinte modo:

- 0,1 ponto por cada 1/4 de rotação transversal;
- 0,1 ponto por cada 1/2 rotação longitudinal;
- (há ainda situações execpcionais – que confirmam estas regras – para pontuação de saltos encarpados e empranchados, ou para rotações transversais múltiplas).

Como exemplo, um duplo mortal engrupado com 1/2 pirueta – Barany Out – que inclui 8/4 de rotação transversal (0,8 pontos) e 1/2 rotação longitudinal (0,1 ponto), é avaliado pela dificuldade total de cada parcela do movimento em 0,9 pontos.

1.4. Biomecânica de Técnicas Aéreas

O desempenho de uma actividade aérea depende decisivamente da posição corporal e das forças produzidas no momento do TAKO, que determinará, em grande parte, as características da fase de voo do atleta.

A velocidade vertical do Centro de Massa (CM) e a orientação corporal apresentada no momento do TAKO pelos vários ângulos articulares é sugerida[16] como um dos mais importantes factores que contribuem para a altura máxima do saltador.

Extraordinariamente importante é, também, o tipo de trajectória parabólica do CM e o tempo disponível para o voo. Estes dois factores são considerados críticos no que diz respeito à obtenção

de tempo suficiente para a realização de rotações e para a preparação de uma adequada posição corporal para a recepção (e novo take-off)[20].

Considerados fundamentais são ainda as combinações de forças intersegmentares aplicadas na superfície elástica por forma a assegurar um impulso de rotação suficiente e capaz de gerar o momento angular mais eficaz (Figura 6 e 17). Especial relevo deverá, também, ser prestado à conservação do momento angular quando se realizam acrobacias aéreas com rotações (longitudinais e/ou transversais).

Eis pois, alguns princípios básicos relacionados com actividades aéreas:

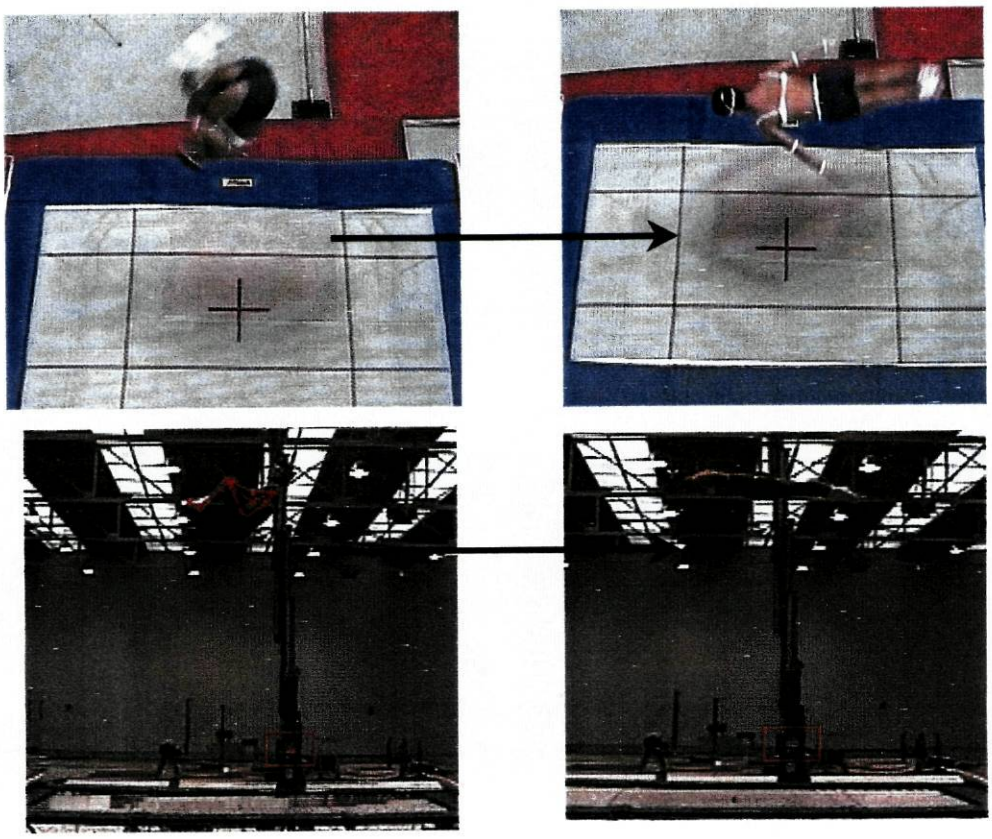
1 – A rotação só pode ser produzida se a Força criar um Momento sobre o eixo de rotação (M = F x distância perpendicular ao eixo). Assim, a acção da F deverá ser aplicada a alguma distância deste eixo, por forma a gerar um momento optimizado de modo a completar o número de rotações desejadas atempadamente, para preparar o Landing e o novo TAKO.

2 – O percurso do CM do ginasta é, normalmente, pré-determinado no momento do TAKO. Contudo, estamos em crer que através das forças internas (musculares) e da mudança da posição corporal com consequente alteração do CM, poderemos, por intermédio da intervenção da Resistência do Ar (RA), modificar esta trajectória, usualmente pré-definida (Figura 5).

Este facto não contraria, de forma alguma, as mais básicas leis do movimento (descritas e estudadas no vazio e sem atritos) pois, na realidade, alterando a posição corporal de engrupado para empranchado e graças à variação da RA (tantas vezes "considerada desprezável") o corpo poderá sofrer uma desaceleração e originará ligeiras alterações na trajectória do CM.

Contudo, como referido anteriormente, as leis da física newtoniana foram enunciadas para o vazio, sem resistências ou atritos. A introdução destes obrigará às correcções adequadas. E é aqui, neste ponto fulcral, que reside a singular beleza da actuação da RA em movimentos desportivos em que se verificam variações na área de atrito aerodinâmico durante a sua realização (mais uma vez referindo a mudança de engrupado - na fase ascendente do voo - para empranchado - na fase de descida para o Trampolim) – Figuras [1;4]. Sem ela (RA), e se se cumprissem as firmes leis de Newton, sempre que chovesse granizo, teríamos centenas de pessoas nos bancos hospitalares e terríveis prejuízos materiais, com vidros partidos e viaturas amolgadas. A vantagem reside no facto de que um corpo em queda livre não acelera unifomemente. A RA frena, felizmente, a sua queda, fazendo-o tender para um movimento uniforme.

Uma situação de modificação aérea da trajectória do CM – em maior escala mas à semelhança da encontrada nos Trampolins – verifica-se no Funboard (modalidade competitiva do Windsurf de mar onde são avaliados os saltos e acrobacias realizados). O efeito de "asa" criado pela superfície da vela durante um salto e a acção combinada de F muscular do atleta alteram, radicalmente, a fase de voo previsível funcionando a vela como uma barreira de sustentação à queda.



Figuras [1,4] – Alterações da posição corporal durante o voo (coluna da esquerda [1,3] corresponde à subida dos saltos e a da direita [2,4] à descida dos mesmos.

Também no que diz respeito à alteração da posição corporal sobre o CM e aos desafios às leis da dinâmica, verifica-se que poderão ainda ser produzidas rotações longitudinais através da realização de F muscular – nomeadamente Membros Superiores (MS) e Tronco[14] – quando combinada com a acção da Resistência do Ar.

3 – Inúmeros factores influenciam o tempo e a trajectória de voo do ginasta, entre os quais estão a posição corporal no TAKO e o número de rotações que deverão ser realizadas[6].

Se alguns destes factores são alterados, o atleta poderá ser forçado a modificar a execução por forma a evitar a ocorrência de quedas e potenciais lesões. Por exemplo, se o ângulo do TAKO é muito baixo, a velocidade horizontal sofre um incremento indesejado e o tempo de voo será menor (Figura 5). O atleta terá de (1) reduzir o número de rotações ou (2) modificar a posição corporal por forma a aumentar o Momento de Inércia (I) sobre o eixo de rotação.

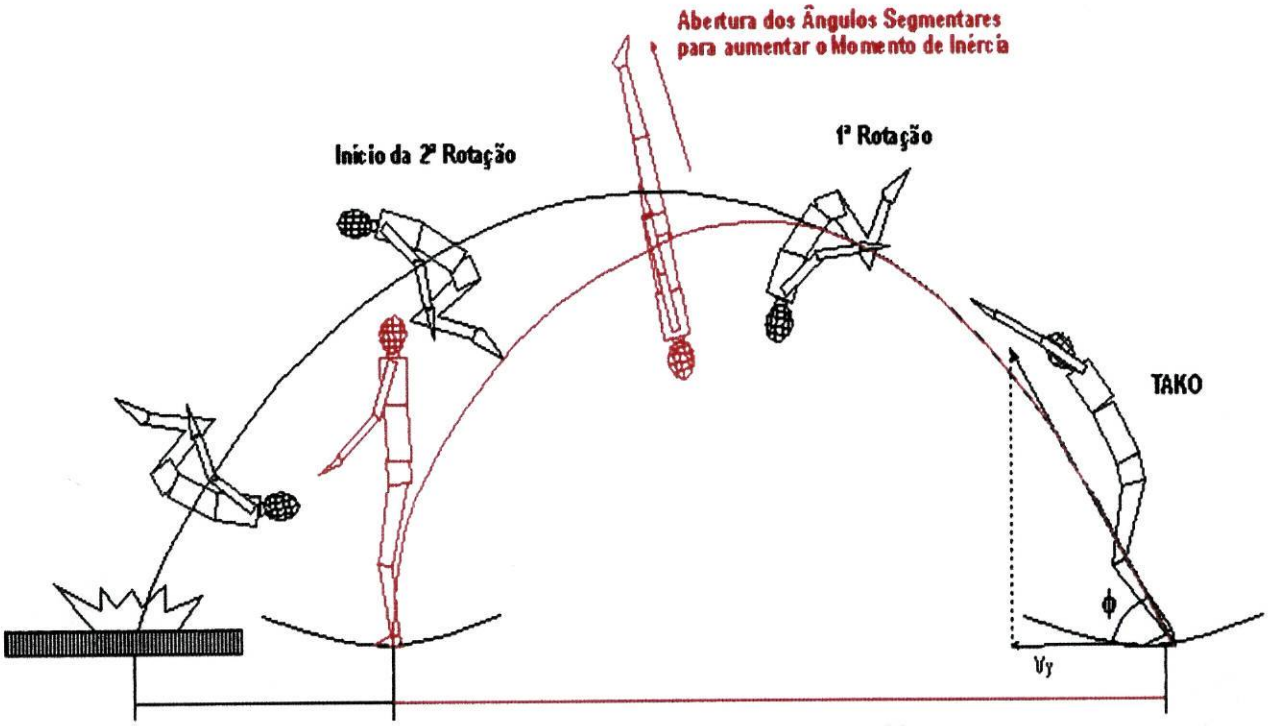


Figura 5 – Representação de um salto duplo mortal à frente com um ângulo de saída excessivamente baixo. A preto, pode-se verificar a possibilidade de queda devido à pouca altura e tempos disponíveis para a realização do salto; a vermelho, observa-se que, com a abertura dos vários ângulos segmentares e a modificação da posição corporal poder-se-á travar o movimento, aumentando o momento de inércia e permitindo uma Recepção segura. Em que [ϕ] - Ângulo de Saída; [v_x] - Velocidade horizontal de Saída.

1.4.1. Aplicação ao Tema

Neste estudo, uma das mais importantes parcelas de pesquisa, pretende relacionar quatro factores distintos:

1 - a força exercida no Trampolim;

2 - a intervenção muscular responsável pela realização de tal força;

3 - a relação directa destas últimas com a dimensão da fase aérea do ginasta e;

4 - muito principalmente, a sua componente vertical máxima (S_{ymax}).

Desta forma, revela-se de extrema importância a determinação das qualidades e parâmetros de voo da acrobacia em questão. Assim, e como o momento do TAKO (e todos os factores a ele aliados - velocidade, ângulo de saída e força aplicada na superfície) se revela como o ponto-chave de toda a acção, poderemos, de forma rudimentar, tentar prever a altura hipotética alcançada pelo ginasta através da simples equação:

$$Sy = \frac{(v.sen\phi)^2}{2.a} \qquad (1)$$

Onde [vsenϕ] representa a componente vertical da velocidade no momento do TAKO [v_{0y}] e [a], a aceleração linear.

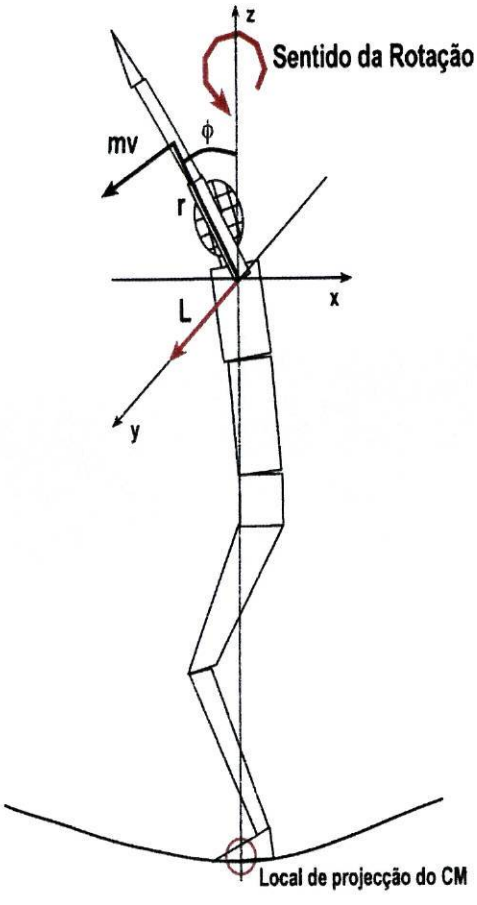


Figura 6 – Representação do Momento Angular gerado com uma impulsão à frente. Em que, [ϕ] - Ângulo de Saída; [L] - Momento Angular; [v] - Velocidade Linear; [m] - Massa; [r] - Raio de Giração.

Há quatro factores essenciais a considerar quando o objectivo se prende, fundamentalmente, com a tentativa de "ganhar" altura através do Trampolim:

1 - Os ginastas estão limitados no que diz respeito à impulsão que conseguem obter da tela e das molas. Desta forma, o peso do atleta pode ser um factor restritivo no desenvolvimento de altura (um ginasta mais leve poderá ser incapaz de produzir a deformação necessária para obter maiores fases de voo verticais);

2 - A produção de força deverá ser tal que apenas a sua componente vertical seja utilizada. Toda a componente horizontal da força é ineficaz para o objectivo em questão e é também, como tal, indesejada e prejudicial. Para tal, o CM do atleta deverá posicionar-se directamente sobre os apoios quando este está em contacto com o Trampolim (Figura 6). Isto porque a direcção das forças de recepção do salto precedente maximiza a deformação da tela, implicando isto uma maior reacção da mesma;

3 - Por forma a evitar qualquer dissipação de energia e consequente absorção de força no primeiro momento de contacto com a tela (Landing), reduzindo de forma prejudicial a força disponível para deformar o Trampolim, o ginasta deverá conduzir os diversos segmentos corporais dos membros inferiores à extensão total[20]. Esta situação poderá exigir, no entanto, um grande esforço muscular da extremidade inferior do ginasta;

4 - Na próxima fase e acompanhando a deformação do Trampolim, o atleta deverá, progressivamente, flectir os membros inferiores, outrora em total extensão[20] - componente excêntrica ou resistente da força. À medida que a superfície reage ascensionalmente, inicia-se a fase antagónica da anterior - componente concêntrica - com a extensão de membros inferiores e flexão de membros superiores ao nível da articulação do ombro - aquela que irá definir o sentido da rotação (à frente ou à retaguarda) – Figura 6.

Apesar da trajectória considerada óptima do CM ser o mais vertical possível, o atleta deverá ser capaz de gerar o impulso angular suficiente para a criação do momento angular (Figura 6) para a realização de rotações transversais.

Esta componente rotacional tem como factor predominante a actuação dos MS. A flexão dos braços sobre o tronco induz uma rotação transversal à frente, enquanto a hiperextensão desta estrutura articular produz uma rotação à retaguarda.

O momento angular (L) obtido através deste movimento de MS pode ser definido através da seguinte expressão:

$$L = mr^2\omega \qquad (2)$$

Onde [ω] é a velocidade angular e [r] o raio da curvatura descrita pelo CM dos braços do ginasta (ver Figura 6 e 17). Desta forma, torna-se óbvia a influência da velocidade de execução e da importância da extensão de membros superiores na realização de múltiplas rotações transversais no Trampolim.

Particularizando um pouco mais, por forma a aproximar esta área de conhecimento ao nosso objecto de estudo, é importante realçar neste capítulo a existência de substanciais diferenças constatadas[16] entre saltos à frente e à retaguarda, no que respeita:

- à altura máxima (h_{max}) alcançada;
- à velocidade vertical (v_y) do CM no TAKO;
- às forças de reacção verticais aplicadas no pé do saltador no instante do TAKO;
- à distância horizontal do CM percorrida durante a execução do salto.

1.5. Síntese dos Factores Anatómicos e Mecânicos Influentes na Extremidade Inferior durante TAKO e Landing

Uma habilidade técnica complexa pode ser observada e analisada com maior eficácia se dissecada nas suas várias fases[7]. No caso dos Trampolins, as habilidades podem ser estruturadas em: 1 – TAKO; 2 – Fase Aérea; 3 – Landing; sendo que, cada uma delas contribui decisivamente para o êxito da que lhe sucede e depende em larga medida da sua antecessora.

1 – TAKO: entendido como a fase de impulsão, podendo eventualmente confundir-se temporalmente com a Recepção do salto. Esta situação levanta algumas questões: - Será que há um período nítido de recepção e outro de impulsão? Será que este período de impulsão não tem apenas uma recepção de preparação que o antecede? De qualquer forma e qualquer que seja o entendimento ou interpretação, o TAKO pode ser compreendido como a fase de impulsão desde o momento correspondente à mais pronunciada deformação da superfície ou, de outra forma, desde o período de maior acumulação de Energia Potencial Elástica (EPel) e da máxima F exercida no Trampolim. O TAKO é, também, substancialmente diferente para saltos à frente e à retaguarda, nomeadamente no que diz respeito ao posicionamento da Anca, dos MS e do CM em relação aos apoios[21] – Quadro 1. Neste período, a velocidade linear vertical deve variar entre zero, no momento de maior deformação da superfície, e um valor máximo na fase em que cessa o contacto dos pés do atleta com a tela.

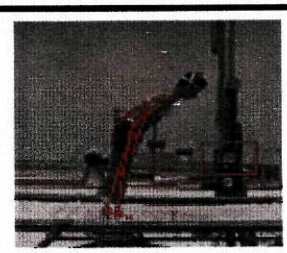
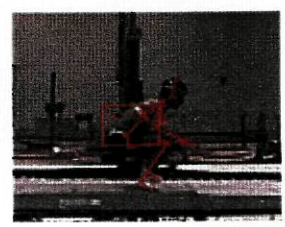
2 – Fase Aérea: inicia-se imediatamente após o término do contacto com a superfície do Trampolim. É a fase de desenvolvimento do salto e do desempenho técnico das habilidades aéreas. A velocidade deve ser decrescente até zero, no ponto de maior amplitude do salto e depois, novamente crescente (em módulo) até ao contacto com o Trampolim, instante em que começará a decrescer.

3 – Landing: Tem início no momento de contacto com a tela após o salto e termina, obrigatoriamente, de uma entre duas formas:

3.1. no momento imediatamente antes do início do TAKO para novo salto;

3.2. no momento de imobilização de segmentos corporais e de velocidade nula (com uma grande dissipação de Energia), se tivermos chegado ao final da série (Recepção Final) – Quadro 1.

Quadro 1: Intervenção da extremidade inferior durante TAKO e Recepção Final[7].

	Articulação	Acção	Tipo de Contracção	Grupo Muscular	Figuras (7-10)
1. TAKO	Sacrollíaca	Estabilização	Isométrica	Abdominais e Extensores da Anca	
	Anca	Extensão	Concêntrica	Extensores da Anca	
	Joelho	Extensão	Concêntrica	Extensores do Joelho	
	Tornozelo	Flexão Plantar	Concêntrica	Flexores Plantares	
3.2. Recepção Final	Anca	Flexão	Excêntrica	Extensores da Anca	
	Joelho	Flexão	Excêntrica	Extensores do Joelho	
			Concêntrica	Isquiotibiais	
	Tornozelo	Flexão Dorsal	Excêntrica	Flexores Plantares	

A activação de músculos biarticulares durante a recepção de saltos à retaguarda[23] sugere que este tipo de músculo desempenha uma função extremamente importante tanto na coordenação como na redistribuição da carga durante movimentos que envolvam actividades de impacto (Recepções e TAKO).

Compreender as relações entre articulações, acções pretendidas, tipos de contracções e músculos envolvidos no desempenho dos diversos segmentos corporais é essencial para uma análise das habilidades e para a criação de programas de treino específicos para o desenvolvimento das mesmas. Os treinadores de actividades gímnicas deverão ser analistas biomecânicos atentos, por forma a tornarem-se capazes de basear os seus conselhos e metodologias em princípios anatómicos e mecânicos reais do movimento humano.

2. Capacidades Motoras Determinantes na Execução de Impulsões em Trampolins

Atletas e treinadores enfrentam diariamente o problema da dúvida sobre a concentração do processo de treino de Trampolins incidir na F, na coordenação ou em ambas. Para a esclarecer necessitamos de expandir as nossas noções de F muscular e de controlo motor enquanto factores que limitam a *performance* do saltador[26].

A experiência dos treinadores revela que diferentes indivíduos têm diferentes respostas ao mesmo processo de treino[26]. Enquanto alguns atletas demonstram, com o treino, grande aumento na altura de salto, outros não revelam qualquer alteração ou até, por vezes, denotam uma diminuição da *performance*. Isto é especialmente verdadeiro para atletas com grandes vivências ao nível do treino da F. A bibliografia[26; 27] sugere que tal facto é parcialmente atribuível à cada vez maior dificuldade para manter um elevado grau de especificidade no processo de treino com o aumento da *performance* atlética.

Desta forma, e atendendo à necessidade imperiosa de um contínuo e ininterrupto treino da F dos MI ao longo do historial gímnico de um indivíduo (12 – 27 anos)[32], fundamental no que respeita à conservação da integridade física das estruturas mio-articulares (sujeitas a tremendas cargas de treino – que chegam a ser, em casos extremos, 10 vezes superiores ao peso do indivíduo[22]), e do aumento da *performance* atlética do salto[32], as capacidades coordenativas revelam-se de uma importância muito mais essencial nas idades mais jovens ou ainda, ocasionalmente, aquando da aprendizagem de novas técnicas e habilidades gímnicas.

Digamos que F e capacidades coordenativas só funcionam numa relação de dependência – numa união quase simbiótica. Ou seja, por maior que seja a F muscular que tenha o indivíduo, nunca conseguirá realizar as fantásticas acrobacias aéreas que os grandes atletas executam, sem

um apelo prévio (constante) às capacidades coordenativas na sua fase de aprendizagem; por outro lado, a existência de um trabalho bastante desenvolvido das capacidades coordenativas de um atleta, não o levará, por si só, ao alto rendimento desportivo, pois muito antes de aí chegar ele estará incapacitado, por uma falta de condições biomecânicas e estruturais, para exercer no Trampolim a F suficiente e indispensável à sua elevação.

3. Superfícies de Recepção e Consequentes Estratégias de Aquisição e Dissipação de Energia

A *performance* dos saltos é o resultado de complexas interacções entre múltiplos factores, que incluem as características pré-voo, a F muscular e os respectivos tempos de activação e as propriedades elásticas das superfícies de contacto[25].

Num outro estudo[35] relacionando diferentes alturas de salto e diferentes superfícies de recepção com as F registadas ao nível das estruturas mio-tendinosas do Joelho, foram observados valores de 3420 N para o pico de F no tendão rotuliano e 4839 N para a máxima F do tendão quadricipital quando testada a recepção de uma altura de apenas 0,32 m para um colchão de 0,2 m de espessura. Quando comparado com valores de F em actividades de corrida, este estudo apresenta valores superiores em cerca de 20%.

Como consequência destas magnitudes de valores da F, os ginastas escolhem estratégias de recepção que favoreçam maiores graus de flexão quando o índice de deformação das superfícies diminui e aumenta a velocidade corporal no momento do contacto[22]. Contudo, as modificações nas referidas estratégias de recepção, assumidas pelos atletas como resposta às alterações nas superfícies, são específicas de cada indivíduo. Por exemplo, alguns ginastas apresentam maior flexão do Joelho do que da Anca, enquanto outros apresentam diferenças diametralmente opostas quando reagindo a modificações na densidade e espessura das superfícies de recepção[22].

Em certa medida, reafirmando os estudos anteriormente citados[22], foram verificados picos de velocidade vertical semelhantes durante recepções executadas para superfícies com diferente rigidez[24]. O padrão de deformabilidade de MI durante interacções com superfícies rígidas sugere que os atletas interiorizam (entre repetições) a combinação de rigidez entre corpo e superfície e escalonam, a partir daí, o grau de flexão das articulações associado às propriedades das superfícies

de recepção[24], de forma a aumentar progressivamente a deformação do corpo (para absorção ou dissipação de Energia) quando realizando recepções em superfícies mais duras.

Desta forma, posteriores considerações entre ginasta e superfície na construção e desenvolvimento de materiais específicos potenciará, certamente, as habilidades humanas para alcançar a máxima *performance* com total segurança[24].

Por forma a preservar a integridade das várias estruturas corporais durante as recepções, o ginasta deverá dissipar, com eficácia, as grandes F e M aplicados no corpo nas várias fases do contacto[25]. Normalmente, as estratégias utilizadas nas Recepções Finais em Trampolins passam por uma aproximação segmentar entre MI e Tronco extraordinariamente veloz, com uma flexão abrupta dos ângulos articulares (Anca e Joelho), precedida por acções de pré-activação muscular de atenuação destas F entre 20 a 40 ms antes do contacto[27].

Tal como é visível nas Figuras 11 e 12, foi ainda verificada uma maior flexão ao nível da Anca do que do Joelho quando sujeitos a recepções (de várias alturas) para uma superfície de contacto rígida (sem colchão), o que indicia uma maior absorção de Energia pela diminuição deste primeiro ângulo em consequência directa de uma maior F sofrida por esta articulação[24; 19].





Figura 11 e 12 - Diferentes índices de flexão articular ao nível da Anca e do Joelho partindo de três diferentes alturas de salto. *In*: www.cc.gatech.edu/gvu/animation/landing.mov

No entanto, só uma solução multiarticular de dissipação da carga parece permitir uma mais eficaz e proporcional distribuição do trabalho realizado pelos extensores doTornozelo, Joelho e Anca[23].

4. Cinemática

4.1. Considerações Gerais

A cinemática é tida como a área de estudo do movimento, seus padrões e características sem relação às forças e causas que o originam[30].

A cinemática, aplicada aos desportos gímnicos, tem como objectivo a análise e estudo de uma gama de movimentos em determinados segmentos corporais pré-definidos.

Sumariamente, a análise cinemática tem duas funções basilares:

1 – digitalização de pontos respeitantes a determinados CM de vários segmentos ou a eixos articulares, simulando um percurso do movimento dos referidos pontos;

2 – criação de linhas de segmentos corporais (*stick figures*) que representem a rede dos segmentos formados pela junção dos pontos anteriormente definidos[6] (Figura 13).



Figura 13 – "Stick Figure" de um Salto Mortal Engrupado obtida numa imagem (*frame*) em plena inversão da posição corporal.

Determinados procedimentos normalizados deverão, contudo, ser realizados em todos os estudos cinemáticos, por forma a minorar os erros de captura e digitalização, bem como para transformar as figuras reais em moldes facilmente replicáveis. Alguns destes procedimentos apresentam-se mais detalhadamente no Quadro 2.

Quadro 2: Processos fundamentais de utilização nos estudos cinemáticos.

Marcadores e sua Colocação	De diferentes tipos e configurações devem garantir um alto contraste entre o atleta e a zona envolvente. Normalmente, são colocados nos centros articulares ou em locais necessários à constituição de segmentos corporais através da já referida rede de filamentos.
Processo de Captura	Com uma câmara de vídeo ou um mínimo de duas se pretendemos uma análise a 2 ou 3 dimensões, respectivamente. Este é o momento crucial de todo o processo. O posicionamento das câmaras deverá ser tal que, além de abarcar o movimento pretendido, seja capaz de diminuir os erros de perspectiva (o mais indicado será colocar o eixo óptico da câmara no centro do movimento)[25].
Digitalização Computarizada	Este processo torna-se de dia para dia cada vez mais simplificado através da massificação de processos de digitalização automática. Contudo, a execução deste procedimento está muito limitada à visibilidade e alto contraste dos marcadores (ou seja, só resulta realmente quando o campo de captação vídeo é extremamente reduzido como por exemplo, o trem inferior de um dado movimento com pouco espaço de translação). Deste modo, quando procuramos deslocamentos com um grande campo de acção, torna-se complicada a utilização do procedimento acima referido, restando-nos a digitalização manual (com toda a falibilidade e morosidade que são inerentes a um processo desta natureza).

4.2. Aspectos Específicos

Importa, neste capítulo, focar alguns dos mais relevantes estudos de análise cinemática de actividades que envolvem acções motoras semelhantes às referidas no presente trabalho e que, assim, permitem enfatizar alguns dos parâmetros de movimento mais importantes nesta temática.

Algumas destas análises não estão directamente ligadas aos Trampolins, mas reflectem factores e indicadores comuns considerados importantes no aumento da *performance* atlética neste desporto.

Em estudos realizados nos Saltos para a Água com o objectivo de determinar quais as variáveis que distinguem saltos à frente e à retaguarda[16], foi verificado que aproximadamente 90%

da variação da altura máxima alcançada pode ser explicada através da velocidade vertical do CM e da quantidade de deformação máxima da superfície de impulsão no momento do TAKO. A quantidade de flexão da anca para saltos à frente e a flexão ao nível do joelho para saltos à retaguarda estão, também, altamente correlacionadas com a altura de voo alcançada (Figura 14, 15 e 16).



14



15



16

Figuras [14 ; 16] – Salto à Retaguarda em Saltos para a Água – 14 (TAKO); 15 (Saída); 16 (Altura Máxima).
In: www.cc.gatech.edu/gvu/animation/divetwist.mov

Por outro lado, curiosamente, o ângulo do TAKO não foi observado como sendo um bom preditor da altura máxima. Isto reflecte a séria convicção de que serão alguns ângulos intersegmentares específicos, no momento do TAKO, os melhores indicadores da fase de voo seguinte.

Reafirmando o exposto na bibliografia anteriormente citada (mas integrando já as causas do movimento), foi verificado[23] que o sucesso do TAKO está fortemente correlacionado com a posição do CM em relação à direcção e ao ponto de aplicação da F de reacção. Com o aumento da velocidade de execução, a colocação precisa do posicionamento corporal desejado torna-se mais crítica e substancialmente mais difícil de alcançar.

Em estudos de cariz cinemático referentes à execução isolada de um salto triplo mortal à frente com 1/2 pirueta[34; 31] (o elemento mais complexo até hoje analisado e disponível na literatura), foram registadas velocidades angulares de 15 rotações/s (94,2 rad/s) logo após o TAKO. Esta velocidade manteve-se relativamente constante nas duas primeiras rotações. No entanto, 1,1 s depois do TAKO, deu-se início à pirueta: - a velocidade de rotação transversal diminui drasticamente para 4 rotações/s, enquanto a velocidade de rotação longitudinal aumenta de 0 para 7 rotações/s. (Foi também observada uma elevada correlação entre os ângulos dos segmentos e os

valores de F e M nas várias articulações – dados que se deverão revestir, em regra, de uma interpretação mais complexa e cuidadosa).

O último parâmetro que pretendemos analisar prende-se com as relações existentes entre valores de velocidade e de ângulos intersegmentares com as estratégias motoras utilizadas pelos atletas durante o TAKO, por forma a alcançar a altura máxima[25].

Assim, um dos procedimentos observados verificou que, (1) quando iniciada a extensão do ângulo Tronco/Coxa anteriormente ao contacto e (2) quando verificada uma abertura do ângulo Coxa/Perna no instante seguinte, se regista um maior e mais rápido incremento das cargas – provocando maior compressão e deformação do material. Registou-se, ainda, tal como é apresentado no Quadro 3, um aumento da velocidade vertical entre o início e o final do contacto.

Quadro 3: Registo das velocidades do CM em 3 fases do TAKO nos Saltos para a Água (valores de velocidade em ms^{-1}).

Entrada	- 4,1 ± 0,2
Máxima Deformação	0,8 ± 0,5
Final do TAKO	5,8 ± 0,2

Neste estudo registou-se, também, um breve período de flexão ao nível do joelho, enquanto os atletas entravam em contacto com a superfície, deformando-a do modo patente no Quadro 4.

Quadro 4: Registo dos ângulos do joelho em 3 fases distintas do TAKO nos Saltos para a Água.

Entrada	122º ± 7º
Máxima Flexão	107º ± 5º
Máxima Deformação	132º ± 8º

Desta forma, os resultados evidenciam que um padrão cinemático efectivo de deformação da superfície, na procura de alcançar a $h_{máx}$, incorpora duas fases distintas:

1 – inicialmente através de uma reduzida velocidade de extensão do Joelho;

2 – e de seguida de um aumento substancial dessa velocidade (Quadro 3) permitindo que o atleta procure, através da flexão/extensão ao nível do Joelho durante o período descendente da fase de contacto (Landing), uma deformação optimizada da superfície e um consequente impulso máximo.

5. Dinamometria

5.1. Considerações Gerais

A definição do conceito de Força (F), sob o aspecto físico, só pode ser interpretado a partir das consequências e efeitos da sua acção; só aí, então, poderemos compreender as suas implicações estáticas e dinâmicas[1].

Segundo o mesmo autor[1], a principal dificuldade de compreensão da natureza de uma Força está no doseamento ou controlo da sua grandeza em função do tempo – factor que influencia o rendimento da execução do movimento nos diferentes exercícios que utilizam este parâmetro com distintos graus de intensidade.

O grande objectivo do estudo cinético, através de técnicas dinamométricas, consiste na captura de registos das Forças e dos Momentos que actuam no indivíduo por forma a que, em combinação com o estudo do movimento (cinemática) seja possível estabelecer uma relação precisa das F externas (F_{ext}) que causam e condicionam os movimentos segmentares (pré-requisitos necessários ao cálculo das cargas internas sofridas e exercidas).

Um dos instrumentos mais utilizados em dinamometria é a Plataforma de Forças (PF) – que mede, fundamentalmente, as F e os M de reacção do solo gerados no contacto com o Trampolim. Com este instrumento (baseado na 3ª lei fundamental do movimento – lei da acção-reacção), em conjunto com procedimentos cinemáticos, é possível avaliar a acção deformadora da F sobre os corpos através de uma metodologia directa, na qual se determinam imediatamente as F_{ext} [1]. É nesta simplicidade e rigor de obtenção de dados que reside a enorme vantagem deste tipo de instrumentação.

Há ainda um outro processo de medição relativa das F exercidas na superfície: - as palmilhas de pressão (ou sensores de pressão). Com este instrumento é possível analisar as F plantares e as suas diferentes zonas de actuação. Este método (determinado pelo quociente entre a F e a área de contacto onde é exercida) permite verificar em função do tempo as diferenças de pressão em inúmeros pontos do pé ou da mão por forma a estudar quais os locais de actuação das F mais determinantes no movimento. (Uma outra utilização deste instrumento prende-se com a detecção e correcção de problemas ou deficiências na locomoção, sendo desta forma utilizado e desenvolvido, em grande escala, nos meios médico e terapêutico[25]).

Concluindo, pode-se afirmar que, estudando a cinética a acção das F_{ext} accionadas durante o movimento será possível predizer e calcular, em complemento com os parâmetros cinemáticos necessários, quais as F internas realizadas e desenvolvidas no decurso dessa acção gímnica.

5.2. Aspectos Específicos

O actual estudo é o primeiro realizado com a pretensão de medir directamente as F exercidas durante a execução de saltos em Trampolim.

A actual bibliografia mais relacionada com a temática abordada neste trabalho encontra-se dividida em duas áreas:

1 - medição directa de F_{ext} em actividades desportivas com algumas semelhanças com os Trampolins (caso dos Saltos para a Água, Patinagem e Ginástica Artística);

2 – predição das F envolvidas durante a realização de saltos em Trampolim através de dados de parâmetros cinemáticos (métodos de extrapolação por dinâmica inversa).

Num estudo recente[25], tentando determinar quais os factores mais relevantes para a obtenção da altura máxima durante a realização de Saltos para a Água, foi observado que, quando comparados saltos à frente com saltos à retaguarda, os atletas aplicavam, na prancha, F consideravelmente superiores para a execução dos primeiros do que para os segundos.

Ainda nos Saltos para a Água, num outro trabalho[21], onde se comparavam as diferentes F e M articulares no TAKO entre saltos à frente e à retaguarda, foram registados, na extensão do Joelho, momentos seis a oito vezes mais elevados nos primeiros em detrimento dos segundos. Este grandes M articulares para a extensão do Joelho durante TAKO de impulsões à frente são atribuídos à necessidade de contrariar os M criados pelas F articulares no Tornozelo e Joelho sobre o CM da Perna. De uma forma concisa, este estudo concluiu que as diferenças observadas nas F articulares entre os dois tipos de saltos estão associadas com diferenças na linha de acção da F de reacção e com as posições de rotação dos segmentos dos MI. Estas diferenças cinemáticas intersegmentares entre saltos estão directamente relacionadas com o objectivo mecânico dos mesmos: - criação de momento angular (L) à frente e à retaguarda em torno do CM.

Em conclusão, as diferenças entre F registadas a actuar nas articulações sugerem que as actividades de treino para saltos à frente necessitam de focar a sua atenção para uma muito mais rápida produção de F de reacção através dos flexores plantares do Pé, extensores do Joelho e

flexores da Anca. Em total oposição a este facto, para os saltos à retaguarda, será necessário tentar produzir F por um maior período de tempo utilizando flexores plantares, extensores e flexores do Joelho e extensores da Anca.

No campo do estudo das F de recepção no solo na Patinagem Artística[19], foram observados valores 2 vezes maiores na recepção dos saltos do que no TAKO. Citada no mesmo trabalho[19], McKnitt-Gray (1991), examinou recepções de saltos de três alturas distintas e registou F que oscilaram entre as 4 e as 11 vezes o peso corporal.

Panzer (1987), também referenciado no mesmo estudo[19], mas a respeito da comparação entre F de reacção entre um salto mortal e de um duplo salto mortal à retaguarda, verificou cargas entre 8,8 a 14,4 vezes o peso corporal no segundo salto (aproximadamente mais 6,7 vezes do que para o primeiro caso).

Miller et al. (1987) também citados nesta pesquisa[19], registou F 4 vezes superiores ao peso corporal durante o TAKO de um salto mortal à frente no solo (com corrida preparatória) – corrida esta que, pensam os autores, justifica por si só as diferenças entre valores de F no TAKO e na recepção quando comparadas entre si a Ginástica e a Patinagem Artística.

Durante uma investigação sobre a biomecânica das recepções[22] foram observados valores de F de reacção no solo durante o TAKO de séries de Tumbling (um outro caso de Desportos Gímnicos Acrobáticos) semelhantes aos da recepção de actividades aéreas (10 a 14 vezes o peso corporal).

Num estudo de predição de F e M articulares em Trampolins[34] foi verificado que as duas grandezas dependem em grande medida de três factores: (1) da velocidade angular, (2) dos parâmetros antropométricos e (3) dos ângulos intersegmentares dos ginastas. Assim, e utilizando um ginasta de 75 kg e 1,78 m, calcularam F máximas no TAKO de 700 N (Anca direita), 550 N (Joelho direito) e 600 N (Pescoço) para a execução de um triplo salto mortal à frente com _ pirueta. Os valores de M nas mesmas articulações foram de 200 Nm, 40 Nm e 80 Nm (Anca, Joelho e Pescoço, respectivamente). Os valores dos M no Pescoço equivalem à aplicação de uma F de 27 kgf exercidas contra a testa do ginasta.

Para finalizar, focaremos um trabalho em que foi analisada a pressão exercida no pé do saltador[15]. Neste estudo, o pé foi dividido em três regiões – anterior, média e posterior. A pressão exercida durante a fase de contacto com a superfície é iniciada pela entrada do pé numa posição paralela à tela do Trampolim; pouco depois o centro de pressão posiciona-se na zona média,

mantendo-se até metade do período de tempo do contacto com a superfície (início do TAKO) – quando a F é máxima. Nesta fase, o centro de pressão move-se para a região anterior, resultando o TAKO no seu final de um impulso dos dedos do pé à medida que o centro de pressão se desloca para o hálux.

Contudo, os autores concluíram que, curiosamente, as diferenças de pressões plantares são as mesmas quer quando se trata de saltos à frente ou à retaguarda. O grande contributo para as diferenças de TAKO entre estes dois tipos de saltos relaciona-se, não só, com factores anteriormente citados (mudanças intersegmentares entre Perna/Coxa e Coxa/Tronco e posicionamento da projecção do CM) mas, também, e muito principalmente, com os movimentos de MS. Será a produção de M ao nível da cintura escapular uma das grandes causas da realização controlada e tecnicamente correcta de saltos múltiplos à frente e à retaguarda.

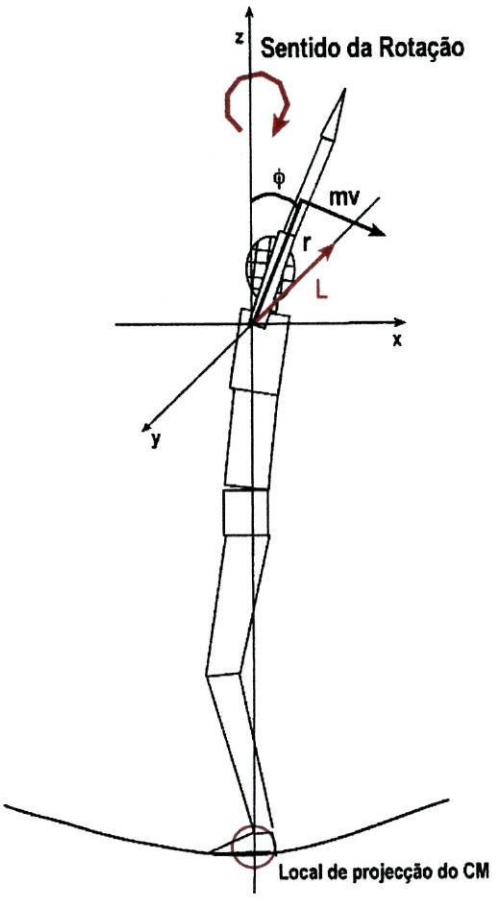


Figura 17 – Representação do Momento Angular gerado com uma impulsão à retaguarda. Onde, [ϕ] - Ângulo de Saída; [L] - Momento Angular; [v] - Velocidade Linear; [m] - Massa; [r] - Raio de Giração.

Assim, e reportando-nos às sugestões técnicas apresentadas anteriormente[21], é importante padronizar os movimentos de MI (para saltos à frente e à retaguarda) por forma a que a resultante da F exercida seja o mais vertical possível, deixando o trabalho de executar rotações para ligeiras oscilações dos ângulos Tronco/Coxa e para a decisiva actuação de MS, nomeadamente ao nível de M de rotação em torno do Ombro. Só assim, através de pequenos movimentos da cintura pélvica e de rápidos movimentos de MS será possível gerar um binário de rotação (Momento) entre F ascensional e Tronco/MS do ginasta (Figuras 6 e 17).

6. Intervenção Muscular e Electromiografia (EMG)

6.1. Considerações Gerais

A electromiografia é o processo através do qual são registadas as alterações eléctricas que ocorrem no músculo durante ou imediatamente antes de uma contracção, sendo que os potenciais são produzidos como um resultado directo da actividade muscular. Ou seja, a EMG estuda a função muscular através da análise dos sinais eléctricos produzidos durante as contracções musculares[29] - voluntárias ou não – (e cuja unidade funcional é constituída por um único alfa-moto-neurónio e por todas as fibras por ele inervadas)[29].

Resumidamente, o sinal EMG reflecte o somatório dos potenciais de acção das unidades motoras (UM) abrangidas pela área de alcance do eléctrodo utilizado.

De uma forma genérica, o material necessário para a realização de um procedimento instrumental electromiográfico engloba: (1) o aparelho de detecção da actividade eléctrica muscular, (2) um condutor do impulso eléctrico (com os respectivos eléctrodos) e (3) o *hardware/software* responsável pela sua transformação numérica e gráfica.

Em biomecânica geral, com todo o seu vasto campo de intervenção, a utilização de EMG tem como propósitos fundamentais servir como:

1 – Indicador de Stress Muscular;

2 – Indicador de Padrões de Movimento;

3 – Parâmetro de controlo de regulação do Sistema Nervoso[1].

Este trabalho centrará a sua maior atenção sobre o acima referido ponto 2.

A EMG pode apresentar, de algum modo, uma correlação com os fenómenos musculares e, por este motivo, alguns trabalhos têm sido realizados na tentativa de esclarecer a relação entre EMG e resposta da F muscular. Talvez, quando tal objectivo for alcançado, seja possível medir de uma forma selectiva e apurada as F internas realizadas na contracção muscular e, então, maiores dados sejam encontrados, auxiliando a interpretação dos efeitos do treino[1].

O motivo que explica não ser directa a relação F-EMG (entre outros factores) pode dever-se ao facto já referido de o eléctrodo captar o somatório dos potenciais das unidades motoras próximas a ele e, como tal, quando um indivíduo recruta um maior número de UM visando aumentar a F

muscular, o eléctrodo tem a sua captação limitada, já que as unidades mais distantes vêm os seus potenciais não captados pelo mesmo[1].

Contudo, e dado que os potenciais de acção resultantes da contracção muscular não coincidem com precisão com o momento de produção de contracção efectiva, é necessária alguma prudência no momento da análise e discussão dos resultados obtidos e na interpretação do sinal do EMG - muito especialmente porque este sinal não tem uma relação directa (e muito menos linear) com a produção de força muscular. No entanto, existe tal relação com a conjugação das diferenças de potencial eléctrico existentes nas fibras musculares[9]. Há, portanto, um sem número de factores que influenciam o sinal do EMG e que podem interferir no momento da interpretação dos dados, pelo que esta não poderá ser imediata e implica uma reflexão e conhecimento adequado das várias condicionantes da análise. Eis alguns exemplos:

1 - O sinal do EMG ocorre sempre antes do movimento e é mais precoce em contracções dinâmicas quando comparadas com contracções isométricas;

2 - As contracções dinâmicas (concêntricas ou excêntricas) mostram pois, uma maior incidência de recrutamento de fibras do tipo II, enquanto as fibras lentas são mais activas em contracções isométricas. Então, a magnitude do sinal electromiográfico será proporcional à velocidade do movimento uma vez que a magnitude dos potenciais de acção das fibras rápidas é consideravelmente maior que o das fibras do tipo I;

3 - Mais ainda, para uma objectiva interpretação do registo EMG é necessário ter presente outro tipo de dados:

- quais os segmentos corporais que participaram no movimento;
- em torno de que complexos articulares se deu o movimento (qual a sua importância no movimento e em que sequência nele participaram);
- quais os músculos que cruzam estas articulações e em que ossos se inserem;

4 - É também considerado importante para a análise do sinal do EMG ter um conhecimento adequado da incidência de outras forças, que possam actuar nos referidos segmentos corporais (em especial a Força Gravítica)[9].

6.1.1. Factores que Condicionam o Sinal EMG (Captado com Eléctrodos de Superfície) e a Força Produzida pelo Músculo

O actual estado da EMG é enigmático. Apesar de fornecer informações extremamente importantes e valiosas, ainda está envolta em limitações que necessitam ser compreendidas e tidas em consideração (ou mesmo removidas) para que este processo de investigação se torne mais científico e fiável e menos frutuoso apenas em experiências ocasionais[9].

Para uma correcta utilização do sinal EMG é necessário, em primeira instância, compreender o mais possível as origens do sinal e as influências que nele actuam. Contudo, esta tarefa é tão complexa como utópica, pois no actual estado de desenvolvimento tecnológico não nos é ainda possível ponderar, de uma forma quantitativa, a causa e efeitos de todos estes processos e fenómenos que influenciam este sinal específico[9].

Querendo aprofundar este assunto – numa forma mais científica do que realmente prática – e mesmo que conseguíssemos caracterizar totalmente as influências ao sinal EMG, a verdade sobre este assunto continuaria ofuscada (1) pela falta da homogeneidade dos tecidos entre membranas musculares e (2) pelas características micro-anatómicas próprias de cada local de detecção. Sendo factores a considerar na actividade gímnica e desportiva em geral, não devem, no entanto, ser sobrestimados, já que é o corpo humano (e não uma máquina ou um qualquer componente electrónico) o nosso único material, instrumento e utensílio.

Podemos agrupar os factores de influência do sinal EMG em três grupos[9]:

1 – Factores Estruturais;

2 – Factores Intermédios;

3 – Factores Determinantes.

Os factores estruturais (1) têm um nível elementar de influência e podem ser divididos em extrínsecos e intrínsecos.

Os primeiros estão associados à estrutura do eléctrodo de superfície e ao seu local de detecção na superfície da pele acima do músculo. Incluem-se:

a) área e forma do eléctrodo que determina o número de UM que serão detectadas em virtude do número de fibras musculares existentes na proximidade;

b) a localização do eléctrodo no que respeita às junções miotendinosas (afectando a amplitude e frequência do sinal) e às regiões laterais do músculo (influenciando possivelmente na quantidade de ruído captado) - Figura 18[9].

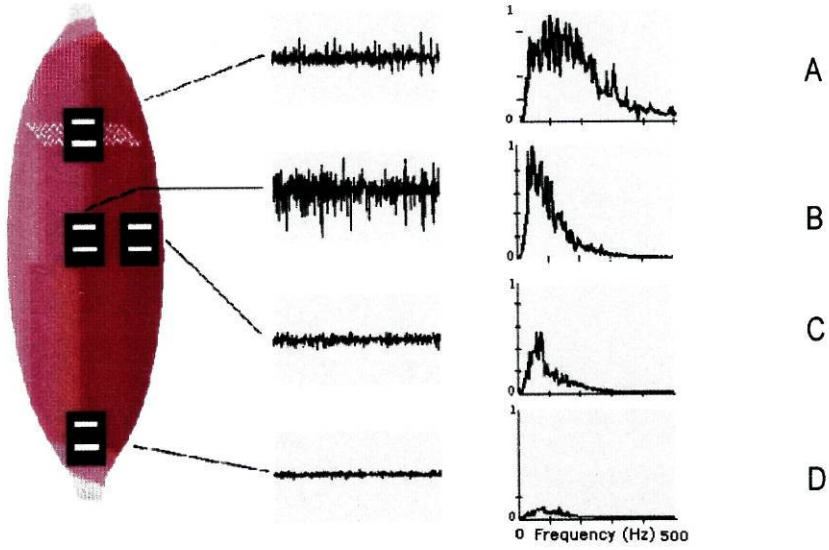


Figura 18 [A;D] [9]– Efeitos na amplitude do EMG relativos a diferentes locais de aplicação dos eléctrodos no músculo (A – Zona de enervação muscular; B - Porção medial do músculo; C - Região lateral do músculo; D - Junção Miotendinosa).
In: www.delsys.com/emg_articles/biomechanics. shtml

Estes factores estruturais intrínsecos, dizem respeito a parâmetros fisiológicos, anatómicos e bioquímicos da própria fibra muscular pelo que, ao contrário dos extrínsecos, não podem ser ainda controlados com o panorama tecnológico e do conhecimento atingido. Fazem parte destes factores:

a) o número de fibras das UM activas (em qualquer momento da contracção) que contribuem para a amplitude do sinal;
b) a composição muscular do tipo de fibra que determina as alterações de pH do líquido intersticial do músculo durante a contracção;
c) o fluxo sanguíneo muscular, que determina a taxa de remoção de metabolitos durante a contracção;
d) o diâmetro da fibra muscular, que influencia a amplitude e a velocidade de condução dos potenciais de acção que constituem o sinal;
e) a profundidade e localização das fibras activas, no que respeita à detecção pelos eléctrodos de superfície;
f) a quantidade de tecido entre a superfície do músculo e o eléctrodo;

g) outros factores ainda por identificar qualitativa e quantitativamente como o comprimento ou área da zona de despolarização ou os diferentes fluxos de iões que percorrem a membrana.

Os factores intermédios (2) – influentes nos determinantes (3) – representam os fenómenos físicos e fisiológicos afectados, directamente, por um ou mais factores estruturais (1):

a) a filtragem de banda do eléctrodo, inerente às suas características de configuração;

b) o volume de detecção do eléctrodo que determina o número de potenciais de acção das UM que compõem o sinal;

c) ruído proveniente de músculos adjacentes que "contaminam" o sinal e pode induzir a interpretações da informação do sinal não necessariamente correctas e verdadeiras.

Por fim, os factores determinantes (3) relacionam-se directamente com a informação extraída do sinal EMG e com a produção de F. Assim, teremos:

a) o número de UM activadas;
b) a relação entre F e tipo de fibra muscular;
c) a interacção mecânica entre fibras musculares;
d) a taxa e características de disparos das UM – também factores determinantes (2);
e) o número de UM detectadas;
f) a amplitude, duração e forma dos potenciais de acção das UM;
g) a estabilidade de recrutamento das UM.

6.2. Aspectos Específicos

A propósito da activação muscular, e concretamente em movimentos concêntricos e excêntricos (ver Quadro 1, Capítulo II 1.5.), convirá referir ter-se verificado que estes últimos produzem menos actividade muscular do que os primeiros quando comparados entre si para Forças de igual intensidade[29].

Durante os movimentos há padrões que reflectem uma possível relação entre EMG e a velocidade desse mesmo movimento. Há uma relação inversa entre produção de F e M em contracções concêntricas com a velocidade do movimento, enquanto a relação entre a produção de F com contracções excêntricas e velocidade de execução é positiva[29]. Ou seja, o atleta é capaz de suportar maior carga com contracções excêntricas a maior velocidade de execução:

- se o peso é excessivo e o conseguimos baixar até ao solo de uma forma rápida mas controlada, torna-se possível lidar com grandes cargas a uma maior velocidade através de contracções excêntricas. Não seremos capazes de o erguer (contracção concêntrica) à mesma velocidade com que o conseguimos baixar. Assim, há uma relação inversa para contracções concêntricas e directa para excêntricas no que respeita à velocidade do movimento.

Naquele que, julga-se, ser o único estudo publicado respeitante à intervenção muscular e à estruturação da cadeia cinética em Trampolins[18], foram registados valores de quatro músculos do Trem Inferior durante a impulsão partindo de três alturas distintas (1-1,5 m; 2-2,5 m; 3-3,5 m). A sucessão da cadeia cinética muscular antes do contacto - 1º Tibial Anterior (256 ± 16 ms); 2º Bícipede Crural (94 ± 7 ms); 3º Gémeos (84 ± 4 ms); 4º Quadricípede (62 ± 5 ms) – evidenciada no Quadro 5 – comprovou algumas das considerações já focadas no ponto 5.2. deste Capítulo. Assim, e dados os registos cinemáticos mostrarem a entrada na lona com o pé em flexão dorsal, são justificáveis e compreensíveis os valores observados para o Tibial Anterior pois, juntamente com o Bícipede Crural, parecem ser os primeiros a ser solicitados para uma pré-activação por forma a que os MI estejam bem preparados e eficazmente activos (em contracção e posição) no momento de impacto com o Trampolim.

Resta-nos, contudo, saber ainda qual o lugar da cadeia cinética ocupada pelos músculos extensores da Anca (como os Glúteos, por exemplo).

Quadro 5: Diferentes tempos de activação muscular dos 4 músculos estudados por Ivanova e Makarov (1996)[18].

1º	Tibial Anterior	256 ± 16 ms
2º	Bícipede Crural	94 ± 7 ms
3º	Gémeos	84 ± 4 ms
4º	Quadricípede	62 ± 5 ms

Capítulo III - Metodologia e Procedimentos Utilizados na Recolha de Informação

1. Introdução

Foi desenvolvida uma série padronizada, precisa e pré-determinada de elementos acrobáticos no Trampolim, destinada a tentar diminuir a possibilidade de aparecimento de erros e variáveis difíceis de controlar e isolar, como sejam:

- as três posições corporais utilizadas – Empranchado – Momento de Inércia do CM (I_{CM}) = 14,59 kgm^2 ; Encarpado (I_{CM}) = 6,40 kgm^2 ; Engrupado (I_{CM}) = 3,38 kgm^2 – valores segundo Hay (1981)[17] – estas posições corporais específicas, com os seus diferentes Momentos de Inércia, revelar-se-iam extraordinariamente complexos de analisar segundo a mesma forma e perspectiva, atribuindo a este trabalho um carácter extremamente instável;
- rotações transversais inferiores a 360º – menores do que um Mortal - ou entre 360º e 720º;
- ou rotações longitudinais múltiplas.

1.1. Série-Tipo

1.1.1. Características Gerais

- 10 impulsões (obrigatórias no Código de Pontuação FIG);
- 5 mortais engrupados à retaguarda (valor individual de dificuldade de 0.4 pts);
- 5 duplos mortais engrupados à frente com 180º de rotação longitudinal (*Barany Out* – valor individual de dificuldade de 0.9 pts).

1.1.2. Características Específicas

- Impulsões à Retaguarda e à Frente realizadas alternadamente;
- 15 rotações transversais e 2,5 rotações longitudinais (actualmente, uma série de um saltador de elite é constituída por mais de 22 mortais e 12 piruetas)[15] – ou seja, a série-tipo

escolhida apresenta 68% das rotações transversais e 20% das rotações longitudinais de um atleta de alto nível mundial;

- Equilíbrio no número de impulsões entre saltos à frente e à retaguarda;
- Valor de dificuldade total de 6,5 pontos (considerado médio, já que os melhores ginastas mundiais apresentam valores próximos de 13 pontos)[11].

1.1.3. Objectivo da Série-Tipo

Se bem que em competição o conteúdo desta série seja totalmente desajustada, dado o facto de não serem contabilizados para a dificuldade os saltos repetidos, um dos grandes objectivos desta escolha baseou-se na procura da conciliação de uma série de dificuldade mediana (6.5 pts) com a tentativa de realização de impulsões o mais centradas sobre a tela quanto possível, por forma a minorar as dificuldades de medição provenientes de registos de grandes forças mal distribuídas pelos quatro apoios do Trampolim.

2. Generalidades

A série foi registada em vídeo a uma velocidade de obturação de 1/500 s no plano Transversal (y) - Figura 19.

Paralelamente aos registos vídeo, foram efectuadas medições dinamométricas através de uma plataforma de forças (PF) colocada sob um dos apoios do Trampolim. Os restantes apoios encontravam-se elevados por intermédio de três suportes em madeira maciça com as exactas dimensões e estrutura da referida plataforma.

Deste modo, se a Força fosse rigorosamente exercida no centro do Trampolim para todos os saltos, o valor da resultante na vertical de uma força registada na plataforma poderia ser directamente multiplicado por 4 (4 apoios) de modo a que obtivesse a força vertical total exercida na execução de um determinado salto.

Contudo, e dada a quase utópica realização deste objectivo, tornou-se decisiva a utilização de uma outra câmara colocada sobre o eixo longitudinal [z] para se conseguisse obter a distância ao centro e a cada um dos apoios no momento de contacto com o Trampolim.

O sistema foi sincronizado temporalmente através da realização de um evento não ambíguo perfeitamente definido (neste caso foi escolhido o momento de contacto com a tela – início do Landing). O conjunto dos dados é, desta forma, facilmente integrado pois os valores dinamométricos e EMG são recolhidos simultaneamente no mesmo *software* sendo posteriormente sincronizados com os registos cinemáticos. É possível identificar com precisão qual o *frame* do vídeo do momento do contacto com a tela, sendo ao mesmo tempo visível o início do aumento das curvas de F registadas na Plataforma de Forças.

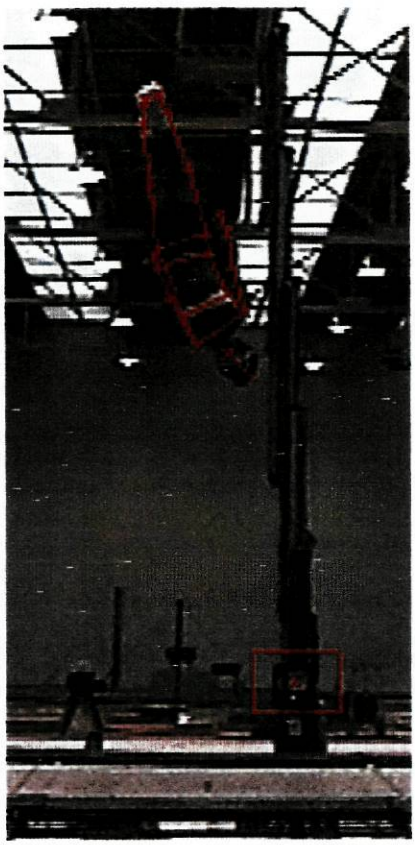


Figura 19 - Plano Transversal (y) da captura de imagens para o estudo cinemático.

A recolha de dados para esta 1ª parte do trabalho não pretendeu isolar qualquer uma das duas áreas iniciais de investigação – cinética e cinemática. Pelo contrário, tenta procurar a realidade através de uma integração e de uma perspectiva global e complementar de ambas. Mais do que uma primeira parte que utiliza a dinâmica inversa como fim e método para atingir valores de Forças, tentar-se-á congregar dados relativos ao movimento, à sua forma e características com os valores das forças totais, de modo a compreender e analisar diferentes colocações e percursos dos segmentos corporais bem como as variações da força registadas por forma a entender um pouco mais acerca da reciprocidade e implicação destes dados entre si.

Dada a repetição dos saltos verificada em cada duas impulsões, focou-se a análise deste estudo nos quatro últimos contactos com a superfície do Trampolim e respectiva fase aérea. Foram, então, observados o último salto Mortal Engrupado à Retaguarda, o último *Barany Out* Engrupado, o Salto em Extensão (Vela) e a Recepção final.

No que diz respeito ao ginasta envolvido neste trabalho, apresentava como dados antropométricos gerais um peso de 64,5 kg e uma estatura de 1,715 m – valores considerados medianos para os saltadores nacionais[28].

3. Análise Cinemática

Para o estudo do movimento foram recolhidas as imagens dos saltos (através de câmaras *Sony SVHS* com uma frequência de captura de 50 Hz) sendo posteriormente digitalizadas manualmente (com o software informático *APAS da Ariel Dymamics, Inc*) com uma pré-definição de 22 pontos anatómicos [através do modelo de de Leva, (1996)] - Figuras 20 e 21 e Quadro 6.

Utilizou-se ainda um filtro digital causal, com frequências de corte de 10 Hz para os eixos X e Y, e de 20 Hz para o Z, o que permitiu suavizar o conjunto de pontos, já que este filtro remove ou atenua o ruído acima das frequências mencionadas, retendo a informação com frequência inferior.

Como forma de estimar o erro associado à determinação das coordenadas dos referidos pontos anatómicos digitalizados manualmente, procedeu-se à medição de um segmento corporal durante todo o decurso de realização da série-tipo e, calculando posteriormente o desvio padrão desta medida, foi estimado um erro de 5%.

Antes da realização dos exercícios foi colocado um objecto de calibração do sistema espacial de coordenadas sobre o Trampolim no local de execução dos saltos. Esta estrutura de calibração de forma quadrangular e com 3,05 x 3,05 m foi utilizada para calibrar o espaço sobre quatro(4) coordenadas para uma maior precisão: a (0 ; 0); b (3,05 ; 0); c (0 ; 3,05); d (3,05 ; 3,05).

Foi possível, desta forma, realizar um estudo preciso de diversos ângulos, velocidades (lineares e angulares), acelerações, deslocamentos verticais (y) e deslocamentos horizontais (x) em cada instante, quer relativos ao CM do atleta, quer aos vários segmentos corporais estabelecidos pela junção dos pontos anatómicos enunciados.

Para os registos cinemáticos foram ainda utilizados marcadores de cor laranja com 4 cm de diâmetro aplicados sobre fitas de velcro colocadas nos pontos anatómicos pré-definidos (Figura 20 e 21). Alguns dos pontos correspondem a centros articulares, outros apenas existem para que possamos criar uma "*stick figure*" o mais humana possível com um corpo "físico" constituído não apenas por linhas, mas por várias redes de filamentos que, no seu conjunto, originam os diferentes segmentos corporais.



Figura 20 – Plano Transversal e respectivos pontos anatómicos do modelo.

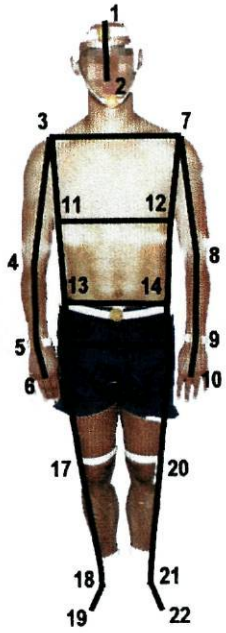


Figura 21 – Plano Frontal e respectivos pontos anatómicos do modelo.

Quadro 6 – Pontos Anatómicos do modelo digitalizado - adaptado de de Leva (1996)[8].

1 – Vértex	13 – Espinha Ilíaca Direita
2 – 7ª Cervical	14 – Espinha Ilíaca Esquerda
3 – Ombro Direito	15 – Grande Trocanter Femoral Direito
4 – Cotovelo Direito	16 – Grande Trocanter Femoral Esquerdo
5 – Pulso Direito	17 – Joelho Direito
6 – 3º Dedo da Mão Direita	18 – Tornozelo Direito
7 – Ombro Esquerdo	19 – 3º Dedo do Pé Direito
8 – Cotovelo Esquerdo	20 - Joelho Esquerdo
9 – Pulso Esquerdo	21 – Tornozelo Esquerdo
10 - 3º Dedo da Mão Esquerda	22 – 3º Dedo do Pé Esquerdo
11 – Tórax Direito	
12 – Tórax Esquerdo	

No que diz respeito aos ângulos mais influentes no movimento, foi prestada maior atenção àqueles com vértice no Joelho (Perna/Coxa), na Anca (Coxa/Tronco) e no Ombro (Braço/Tronco).

Particularmente importantes são os valores obtidos para o deslocamento (x e y) do CM. Através da equação geral do movimento e especificamente no que respeita ao lançamento e queda de graves, é possível o cálculo de valores de velocidades e acelerações lineares. Os dados rotacionais obtidos através da conjugação dos arcos dos ângulos percorridos e das velocidades lineares dos diferentes segmentos são, também, extraídos através do *software* utilizado.

4. Análise Dinamométrica

A recolha de dados através de uma plataforma de forças baseada em células de carga (*Bertec Force Plate 4060* com uma frequência de aquisição de 1/500 s) teve como objectivo fundamental a possibilidade de obter valores das F totais (FT), que actuam no Trampolim de modo a

interligar os dados cinemáticos num modelo geral e abrangente da rede de forças e momentos que causam e condicionam o movimento.

Os dados foram registados e tratados através do programa informático Acq*Knowledge* ACK100 da BIOPAC Systems, Inc., tendo sido aplicado um filtro contínuo de um pólo passa-baixo com 1000 Hz de frequência de corte (as frequências de ressonância da plataforma nas várias direcções são especificadas como sendo superiores a 600Hz).

A figura abstracta de FT é extraordinariamente complexa. Engloba valores de força muscular, da força gravítica e da força elástica do Trampolim, bem como tem de ter em consideração outras variáveis implicadas no movimento como a Resistência do Ar, as alterações relativas de posição do CM e as rotações dos vários segmentos verificados em toda a acção.



Figura 22: Imagem recolhida durante o registo dinâmico das Forças no Trampolim. É possível observar os vários eixos em que se registam as Forças, sendo o mais importante o acima enunciado como [z].

Contudo, e apesar de conseguirmos quantificar razoavelmente estes três tipos de forças, um problema permanece ainda irredutível: a criação destes modelos representa os diversos segmentos corporais como um aglomerado de corpos rígidos e indeformáveis[30] o que, na realidade, não acontece. Acresce ainda que entre eles existem interacções de difícil quantificação.

Experimentalmente, são registadas todas as alterações à FT durante e imediatamente após cada impulsão no Trampolim (Figura 22).

Vários dados poderão ser considerados relevantes, mas julgamos de importância substancial os valores máximos da FTz registados nos momentos de impulsão (bem como a observação do comportamento da FT associado aos vários movimentos dos segmentos corporais – especialmente MS e Tronco) e, especificamente para os treinadores da modalidade, o valor médio da Força exercida pelo atleta no decorrer de uma série completa de Trampolim (dados fundamentais de aplicação à prática).

5. Electromiografia (EMG)

Para o estudo *in loco* do sinal EMG foram realizadas três séries de testes constituídas cada uma por 10 saltos em extensão no Trampolim. O sistema EMG utilizado neste estudo necessitou de 12 m de cablagem (dada a amplitude dos movimentos realizados) para cada músculo visado, tendo a unidade amplificadora (Figura 23) uma largura de banda de 1 – 2000 Hz, utilizando uma amplificação de um factor de 1001 (esta unidade amplificadora regista ainda um peso de 0,02 kg).

Os dados foram simultaneamente registados com os da Plataforma de Forças e posteriormente tratados utilizando o programa informático Acq*Knowledge* ACK100 da BIOPAC Systems, Inc., tendo desta vez sido aplicado um filtro contínuo de um pólo passa alto com 1 Hz de frequência de corte. Apenas para as envolventes, usou-se um filtro discreto, passa baixo, Butterworth a 7Hz, com janelas de Hamming, com 39 coeficientes. O sinal foi registado a 500 amostras/s.



Figura 23: Imagem do material móvel utilizado, com especial relevo para a parte da cablagem de inserção dos eléctrodos e para o amplificador utilizado – características descritas detalhadamente nos Anexos deste trabalho.

No que diz respeito ao local de colocação dos eléctrodos de superfície (*Unilect*), e tentando respeitar alguns dos factores estruturais que afectam o sinal EMG (descritos no ponto 6.1. do Capítulo II), procedemos de acordo com o descrito nas Figuras [24 ; 28] e no Quadro 7.



Figura 24 – Gémeo e respectivo local de colocação do eléctrodo.



Figura 25 - Grande Glúteo e respectivo local de colocação do eléctrodo.

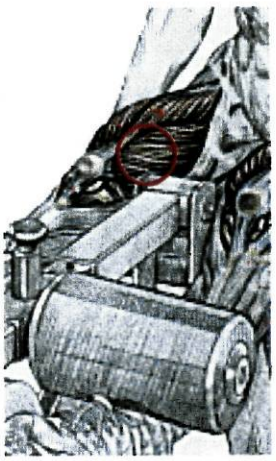


Figura 26 - Vasto Interno e respectivo local de colocação do eléctrodo.

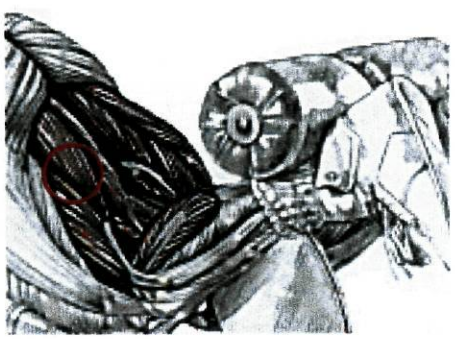


Figura 27 – Bícipede Crural e respectivo local de colocação do eléctrodo.

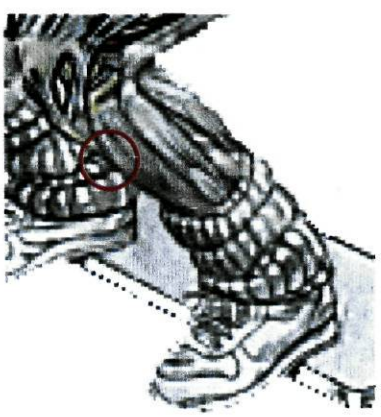


Figura 28 – Tibial Anterior e respectivo local de colocação do eléctrodo.

Figuras [24,28] in Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil.

Quadro 7: Especificidade do procedimento utilizado na captura do EMG.

Grupo Muscular	**Principais Músculos Envolvidos[4]**	**Músculo Estudado**	**Região de Captação**	**Aplicação da "terra"**
Extensores da Anca	Glúteos Grande Adutor Piramidal	*Gluteos Maximus* (Figura 25)	Porção Média	Grande Trocanter Femoral
Extensores do Joelho Flesores da Anca	Quadricípede	*Quadriceps Femoris (Vastus Medialis)* (Figura 26)	Porção Distal	Rótula
Flexores do Joelho Extensores da Anca	Isquiotibiais Recto Interno Costureiro Poplíteo (Gémeos)	*Biceps Femoris* (Figura 27)	Porção Média	Rótula
Flexores Plantares	Gémeos	*Gastocnemius* (Figura 24)	Porção Média do Vasto Medial	Maléolo Peronial Externo
Flexores Dorsais	Tibial Anterior (Extensores dos Dedos)	*Tibialis Anterior* (Figura 28)	Porção Média	Rótula

Os elétrodos foram colocados a uma distância de 1,0 a 1,5 cm entre si.

O registo dos dados EMG foi sincronizado, com o auxílio do referido programa informático (Acq*Knowledge* ACK100 da BIOPAC Systems, Inc.), com um novo registo da plataforma de forças durante a execução de vários saltos em extensão (Vela), de modo a cruzar valores de actividade eléctrica (e respectivos tempos de activação muscular) com os dados da F produzida durante as impulsões.

Procurou-se, desta forma, associar os registos cinéticos com a respectiva activação eléctrica muscular que os gerou e complementá-los com as diversas acções motoras (dados cinemáticos) realizadas pelo ginasta durante todas as fases do salto.

Assim, deverá ser possível compreender e interpretar, para cada fase distinta do movimento, quais os grupos musculares e suas diferentes intervenções responsáveis pelas várias acções motoras realizadas durante o salto.

Apesar de não ter sido possível realizar uma normalização em amplitude isolando e estudando individualmente cada músculo, mesmo conscientes das potenciais diferenças entre esforços isométricos e dinâmicos no que respeita à activação eléctrica muscular, o estudo EMG foi complementado com três séries de testes de F máxima isométrica (5 segundos) na máquina de musculação de *leg press* (prensa de pernas) obtidos com um ângulo Coxa/Perna de 90º e Tronco/Coxa de 45º e com um peso de 231,8 kgf (2274 N).

O objectivo desta observação consistiu em verificar quais os valores de actividade eléctrica muscular, quando submetidos a esforços isométricos máximos, por forma a tentar concluir acerca da percentagem de actividade eléctrica produzida *in loco*, no Trampolim (normalização percentual).

Deste modo, poder-se-á, não só, conhecer os tempos de activação muscular mas, também, saber qual a relação entre actividade eléctrica produzida por contracções máximas e actividade eléctrica produzida pelos mesmos músculos, durante as várias fases do salto no Trampolim.

Os valores obtidos com esta integração de dados (cinemáticos, cinéticos e EMG) e sua eventual aplicação aos métodos de treino poderão revelar-se de uma importância decisiva nos desenvolvimentos (num futuro muito próximo) desta modalidade.

CAPÍTULO IV - Apresentação e Discussão dos Resultados

1. Resultados da Análise Cinemática de 4 Ciclos do Movimento

Pretende-se, com este ponto, orientar e diferenciar os múltiplos resultados extraídos com o estudo cinemático realizado. Apresentar-se-ão pois, para mais fácil interpretação, todos os resultados sectarizados nos quatro contactos com o Trampolim:

- Mortal Engrupado à Retaguarda (Capítulo1.4.2.)
- Barany Out Engrupado (Capítulo 1.4.3.)
- Salto em Extensão (Vela) (Capítulo 1.4.4.)
- Recepção (Capítulo 1.4.5.)

1.1. Introdução

Cada salto foi dividido nas 4 partes já anteriormente referidas (Capítulo II), nomeadas e descritas como se segue:

- Landing: movimento considerado no sentido da descida desde o momento em que o atleta toca com os pés na tela até àquele que corresponde à Máxima Deformação da membrana;
- TAKO: movimento simétrico do anterior, agora no sentido da subida, iniciando-se no último momento do Landing e terminando no instante em que os pés do atleta deixam o aparelho;
- Subida: fase aérea, sem contacto com o aparelho, medido desde o final do TAKO até ao instante em que o atleta atinge o ponto de máxima altura de voo;
- Descida: fase que encerra o ciclo de cada salto e que corresponde ao sentido de descida em queda livre.

Cada um destes elementos será apresentado e descrito minuciosamente em Quadros Gerais do Movimento (em relação ao espaço [s], à velocidade linear [v] e à aceleração linear [a]), nos quais se procederá apenas à análise dos valores do CM do atleta - onde se considera concentrado todo o seu peso corporal – bem como em Quadros com valores respeitantes aos diversos ângulos formados entre segmentos e às respectivas velocidades angulares [ω] dos mesmos.

Em cada Quadro, serão referidas todas as quatro fases determinantes na acção (acima descritas), sendo estas posteriormente fragmentadas em sub-etapas que correspondem a

determinados momentos considerados decisivos no processo de análise e interpretação dos dados: - Entrada no Trampolim / Landing / Deformação Máxima do Trampolim / TAKO / Final do TAKO / Subida / Descida. Haverá, como seria de esperar, algumas modificações na definição destas sub-etapas no capítulo sobre a Recepção (Capítulo 1.4.5.), dadas as características intrínsecas deste movimento.

No que respeita aos ângulos intersegmentares, estarão apresentados e definidos de acordo com a forma apresentada na Figura 29:

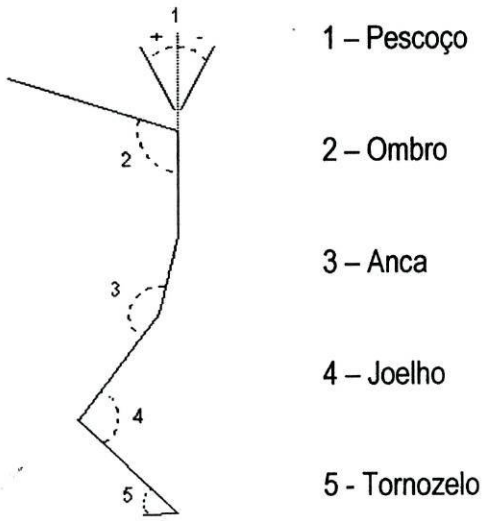


Figura 29: Descrição dos cinco ângulos visados neste estudo. Especial relevo para o ângulo do Pescoço (1), o único que apresenta valores positivos e negativos.

Dado o grande volume de dados apresentados em cada quadro, serão ainda focados, posteriormente, alguns dos aspectos considerados mais relevantes para este estudo. Antes de algumas conclusões sobre o estudo cinemático, considerou-se fundamental incluir a alínea 1.5. referente à comparação entre a impulsão à retaguarda e a impulsão à frente visadas neste trabalho (Mortal e Barany Out, respectivamente).

1.2. Obtenção de Dados Experimentais

Os dados experimentais foram conseguidos por digitalização de determinados locais anatómicos dos segmentos corporais do atleta, tendo como resultados os valores apresentados no Anexo desta tese, respeitantes a espaço percorrido, velocidades e acelerações, nas direcções vertical e horizontal. (Estes procedimentos estão já descritos no Capítulo III 3.).

1.3. Caracterização Preliminar do Movimento – Análise Teórica

1.3.1. Generalidades

As trajectórias, velocidades e acelerações do CM em qualquer dos saltos podem ser objecto de análise teórica através das leis do movimento de Newton. Proceder-se-á de seguida à antecipação teórica destes parâmetros em cada uma das 4 fases de cada salto, com o objectivo de comparação com estes mesmos indicadores observados e medidos experimentalmente (processo igualmente descrito no Capítulo III 3.).

A intenção desta parte do estudo é, pois, essencialmente, a de avaliar a amplitude de divergências entre os resultados teóricos e práticos.

Por razões de facilidade de exposição iniciar-se-á a descrição das fases de cada ciclo por aquela que se nomeou em 1.1. por Descida.

1.3.2. Descida

A definição já exposta considera como Descida a trajectória descendente, aparentemente sem acções externas (queda livre) entre os instantes em que o CM do atleta atinge a máxima amplitude de voo e aquela em que o ginasta inicia a transmissão da sua força dinâmica à tela do aparelho.

Naturalmente, no instante inicial desta fase, momento em que se processa a inversão do sentido do voo, a velocidade vertical deverá ser nula. A partir daí, e estando o atleta sujeito à força gravitacional constante ($a = g = 9{,}81\ ms^{-2}$) a velocidade deverá ser crescente a taxa constante, o que configurará um movimento uniformemente acelerado.

Os resultados experimentais obtidos e adiante trabalhados mostram que a aceleração [a] não é igual à da gravidade [g]. Resultado esperado, já que as leis teóricas do movimento não incluem o efeito da RA, nem os movimentos de rotação do atleta executados com base na força muscular. Não são também consideradas as alterações por translação relativa do CM em relação à sua posição corporal teórica (rígida e indeformável). Será contudo importante frisar mais uma vez a possibilidade da ocorrência de erros provenientes da digitalização manual dos saltos o que poderá estar, também, na origem de algumas discrepâncias nos valores da aceleração apresentados.

1.3.3. Landing

Considerado como a fase que corresponde à trajectória descendente desde o instante em que o atleta inicia o apoio sobre o Trampolim, fácil será prever que a aceleração no seu instante inicial deverá ser g, e, dada a reacção oferecida pela deformação da membrana, que a aceleração deverá mudar de sinal, transformando um movimento acelerado num outro que será retardado de modo a que a velocidade se anule no instante final do Landing. Em termos teóricos está a considerar-se instantânea toda a transmissão de peso, pelo que se justifica a suposição de mudança instantânea do sinal da aceleração.

1.3.4. TAKO

Corresponde ao movimento ascencional em contacto com o Trampolim, iniciando-se com a aceleração final do Landing e, já que a trajectória inverteu o sentido, o movimento será agora acelerado. Corresponde, também, à fracção de tempo em que o Trampolim restitui a energia acumulada nas molas durante o Landing. Então, a velocidade deve variar entre zero e um valor máximo desconhecido (mas calculável), no momento da descolagem.

1.3.5. Subida

Trajectória aérea, sem evidência de forças exteriores, que corresponde à situação simétrica descrita na "Descida" (1.3.2.).

No seu instante inicial, a velocidade deverá ser a de descolagem (máxima do TAKO), e a aceleração deverá ser à da gravidade, agora com sinal contrário à da fase anterior. O movimento deverá ser então uniformemente retardado e a velocidade vertical, decrescente, anular-se-á no ponto mais alto do voo. A partir daqui iniciar-se-á um novo ciclo, correspondente a um outro salto.

Mais uma vez se poderá verificar adiante, sem surpresa, pelos resultados experimentais obtidos, ser a aceleração medida consideravelmente diferente da gravítica. À semelhança do descrito na Descida, algumas forças externas não são consideradas nas leis teóricas do movimento, em que se supõe um ponto material ou um corpo indeformável, deslocando-se no vácuo e com uma forte variação instantânea da aceleração (em valor absoluto e em sentido) – Figura 30.

1.3.6 Análise Gráfica Teórica do Ciclo Completo

A não consideração de RA, das forças musculares e da deformabilidade do corpo do atleta permite resumir o exposto nos pontos anteriores na perspectiva das leis do movimento de Newton. Convirá ainda referir, desde já, que a deformabilidade do corpo pode ser visualizada como uma alteração da posição do CM. Esta variação é a que se processa independentemente da translação deste último num movimento rectilíneo.

A tradução gráfica genérica que permite visualizar esta antecipação do estudo do movimento é a que se pode observar na Figura 30.

É visível a descontinuidade de acelerações nas passagens Descida/Landing e TAKO/Subida (tangentes à esquerda e à direita mas com sinal contrário), porque se supõe que, nesses momentos de contacto, estes são instantaneamente transmitidas na globalidade ao Trampolim.

Na prática, esses instantes de contacto serão intervalos de tempo finitos e, com suficiente ampliação, mensuráveis.

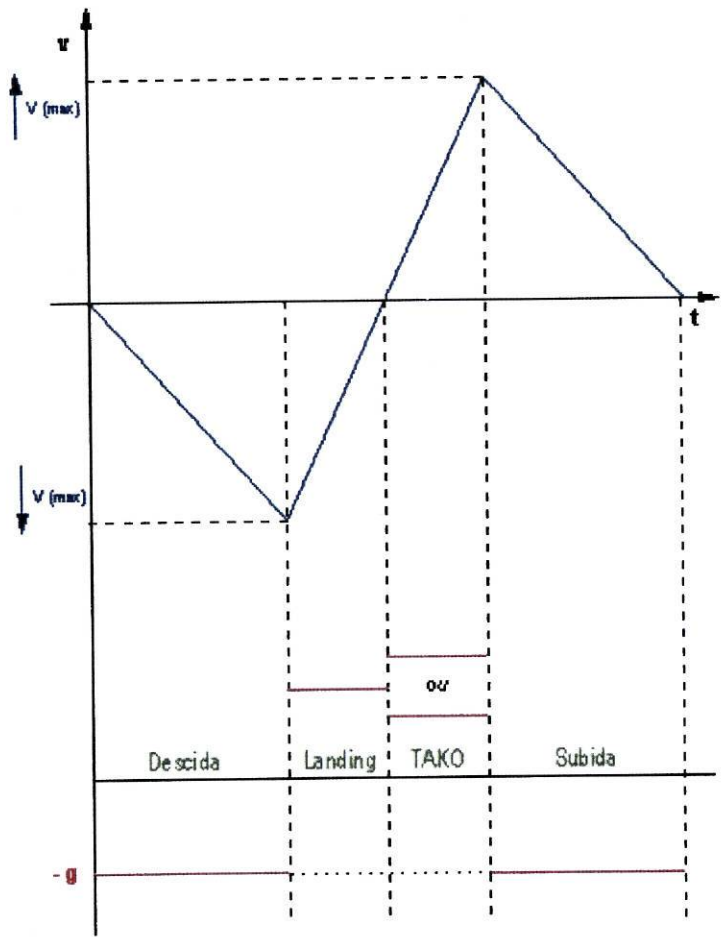


Figura 30: Análise gráfica do estudo cinemático teórico através dos parâmetros [v] e [a].

1.4. Análise dos Resultados Experimentais

1.4.1. Caso Geral

O Quadro 1 do Anexo mostra as variáveis cinemáticas observadas - [s], [v] e [a] - nas direcções vertical e horizontal e nos 4 ciclos correspondentes a cada um dos 3 saltos e à Recepção e Imobilização final. Para as mesmas fases, a Figura 31 apresenta os parâmetros espaço (y) e velocidade. Foram obtidos valores para $\Delta t = 0{,}02$ s.

Tomando apenas as componentes verticais das grandezas, procurou ajustar-se aos pares de valores ([t];[s]) uma função que traduzisse uma boa aproximação da realidade.

A curva escolhida foi uma parábola de 2º grau que, aparentemente permitiria traduzir analiticamente e de uma forma simples a relação entre as varáveis [s] (espaço) = f(t) para cada ciclo. Uma observação mais atenta, com ampliação suficiente da escala do eixo dos tt aconselhou, no entanto, a fraccionar para cada ciclo esta curva em 4 ramos parabólicos do 2º grau correspondendo cada um à sua fase (Landing, TAKO, Subida, Descida).

A escolha de um polinómio do 2º grau implica, desde já, que se vai aceitar a variação linear da velocidade no tempo e, portanto, a constância da aceleração (em cada fase).

As curvas citadas foram obtidas através do programa informático *Microsoft Excel 98*, apresentando-se em cada representação gráfica do tipo s = f(t) a respectiva equação, em que a variável independente *x* corresponde a *t* e a variável dependente *y* equivale a *s*.

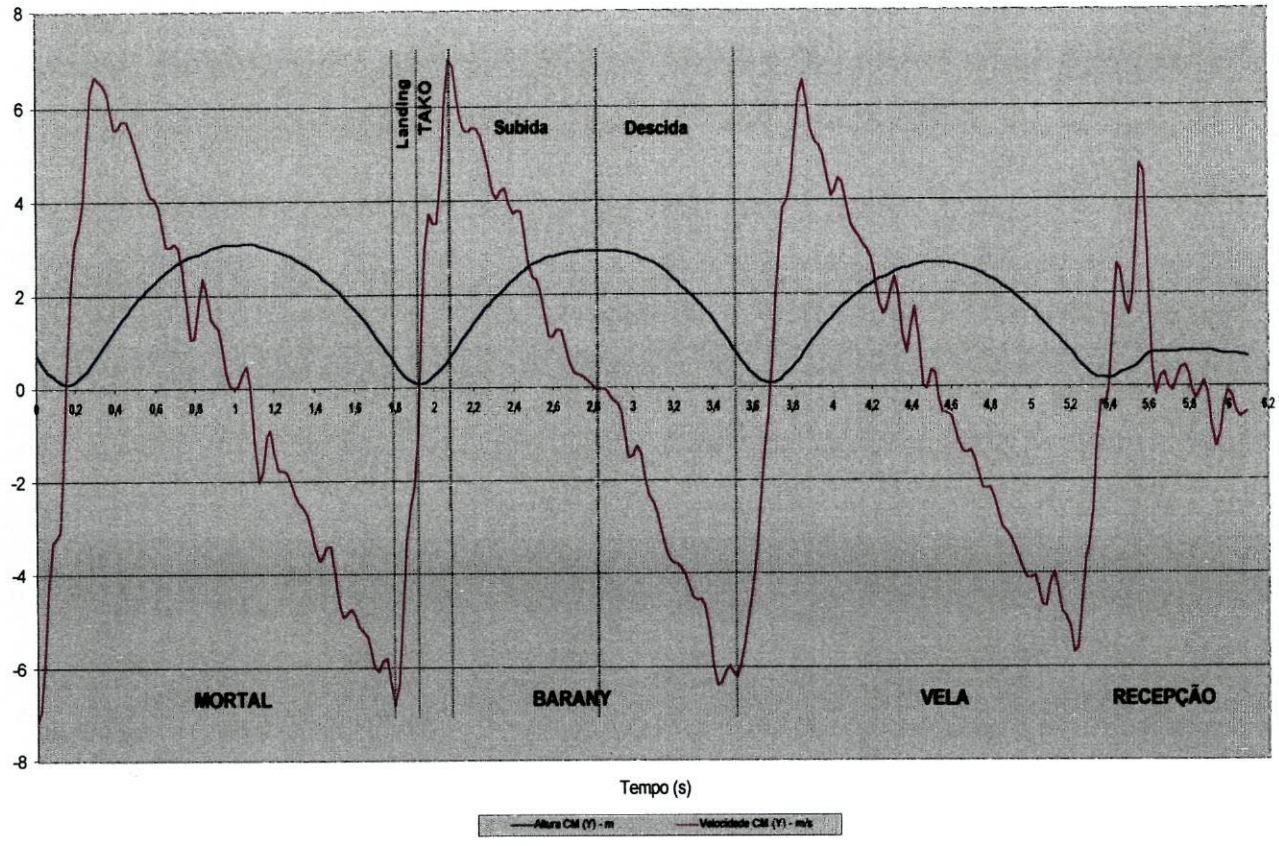


Figura 31: Altura e Velocidade do CM durante os quatro contactos estudados. Registe-se o padrão existente em todas as fases, bem como as alterações dos valores da Velocidade (positivos durante as fases ascencionais; nulos nos pontos de Altura Máxima e de Máxima Deformação da tela em cada salto; negativos nas fases descendentes). Observe-se também os declives das várias partes do gráfico das Velocidades: positivos e muito acentuados durante ambas as fases de contacto; negativos e menores (em valor absoluto) nas fases aéreas.

Face aos gráficos da variação no tempo dos três parâmetros cinemáticos estudados optou-se por estabelecer a relação s = f(t) por se conseguir entre estes uma excelente correlação.

Mais ainda, o parâmetro aceleração, visível no gráfico decorrente dos valores experimentais é, como observado na Figura 32, fortemente errático, o que reforça e de algum modo confirma e valida a opção realizada neste trabalho.

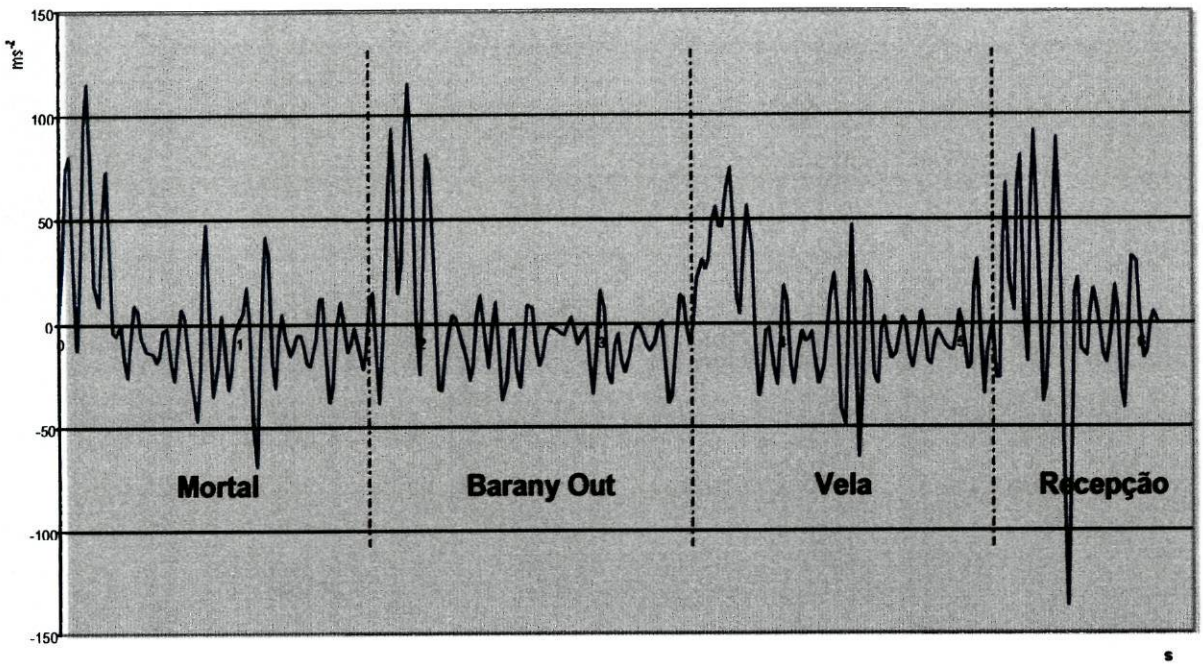


Figura 32: Valores da Aceleração durante os quatro momentos de contacto com o Trampolim e as consequentes fases aéreas. A enorme variabilidade destes valores é o reflexo directo da deformabilidade do corpo, da ocorrência de movimentos de rotação dos vários segmentos em torno de um eixo geral (CM do corpo) e de vários eixos específicos (CM dos segmentos corporais) e de possíveis erros provenientes da digitalização manual dos registos cinemáticos.

1.4.2. Mortal Engrupado à Retaguarda

O estudo do Mortal Engrupado à Retaguarda corresponde ao intervalo de tempo [0 ; 1,80] s com a seguinte repartição pelas 4 fases:

- Landing [0 ; 0,16] s
- TAKO [0,16 ; 0,30] s
- Subida [0,30 ; 1,10] s
- Descida [1,10 ; 1,80] s

As figuras 33 a 36 traduzem a variação do espaço percorrido pelo CM do atleta no tempo. Será conveniente voltar a frisar que este valor do espaço percorrido pelo CM é medido na vertical.

Para posterior desenvolvimento analítico elaborou-se o Quadro 8 em que as 4 equações parabólicas de grau 2 são apresentadas, com o valor de R^2 indicado pelo mesmo programa informático de cálculo.

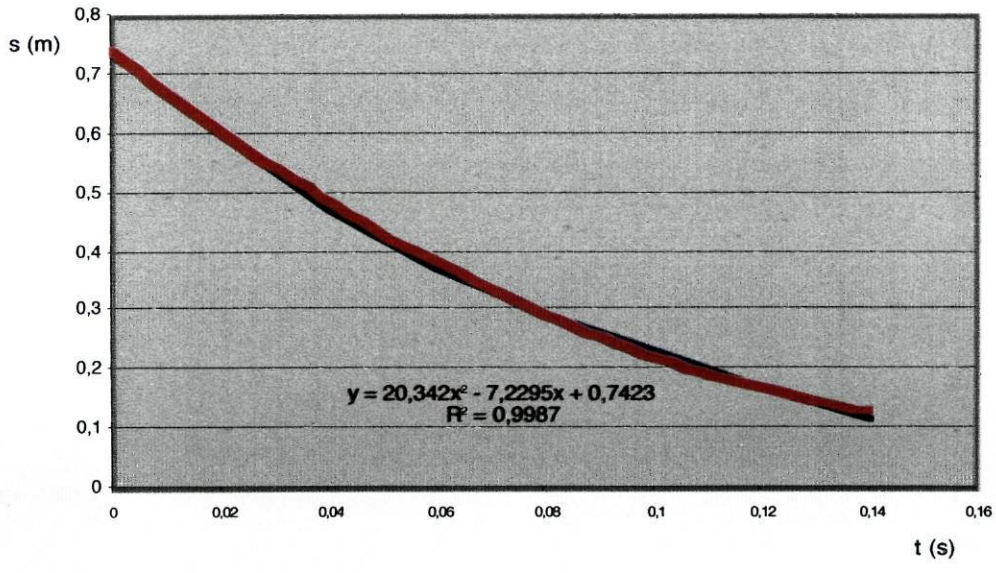


Figura 33: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Landing do Mortal.

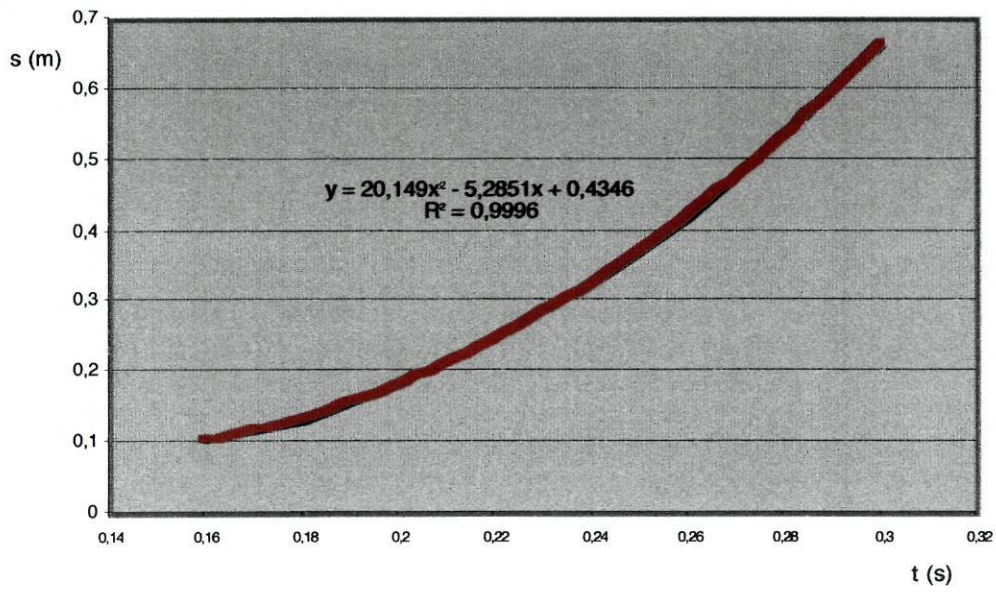


Figura 34: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o TAKO do Mortal.

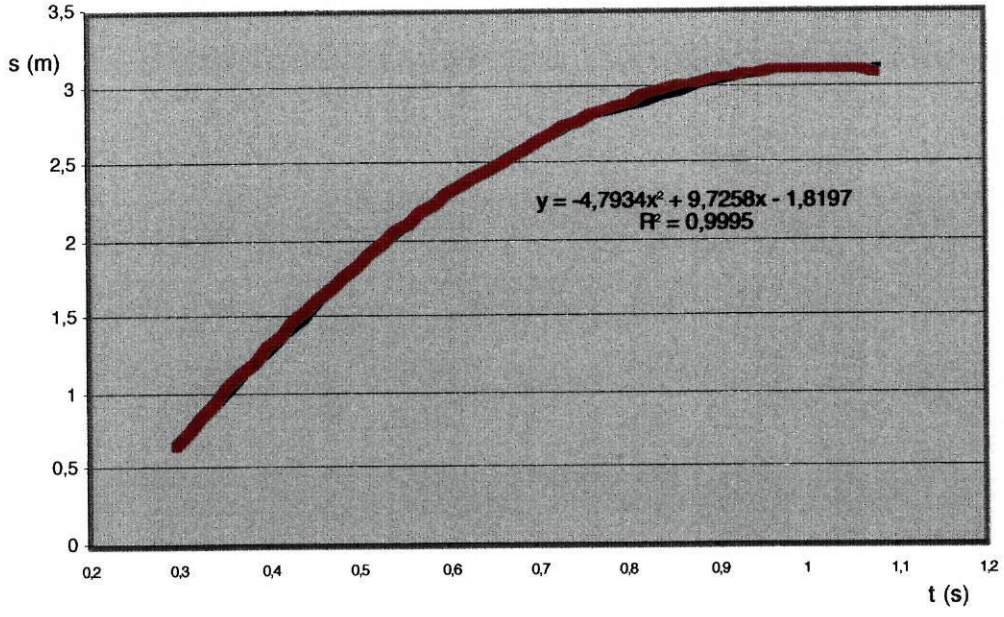


Figura 35: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o voo de subida do Mortal.

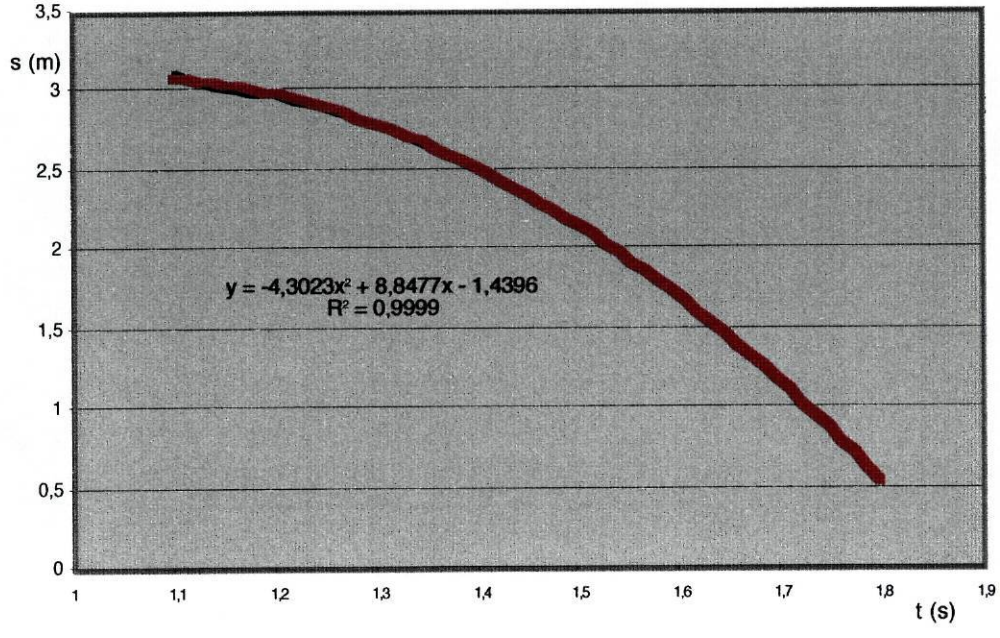


Figura 36: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante a descida do Mortal.

Quadro 8: Quadro Geral do Movimento do Mortal Engrupado à Retaguarda.

		Landing [0 ; 0,16]		**TAKO** [0,16 ; 0,30]		**Subida** [0,30 ; 1,10]		**Descida** [1,10 ; 1,80]	
Espaço s [m]	Equação s = *f* (r)	$20,34t^2 - 7,23t + 0,74$		$20,15t^2 - 5,28t + 0,43$		$-4,79t^2 + 9,72t - 1,81$		$-4,3t^2 + 8,84t - 1,43$	
	R^2	99%		99%		99%		100%	
	Mínimo	0,10	t = 0,16	0,10	t = 0,16	0,67	t = 0,3	0,55	t = 1,8
	Máximo	0,74	t = 0	0,66	t = 0,3	3,12	t = 1,0	3,09	t = 1,1
	s = *f* (td)					3,09	t = 1,1		
Velocidade v [ms^{-1}]	Equação v = *f* (t)	40,68t – 7,23		40,3t – 5,28		-9,58t + 9,27		-8,6t + 8,84	
	v = *f* (te)	-7,23		1,2		6,4		-0,6	
	v = *f* (td)	-0,7		6,8		-1,3		-6,6	
	v = 0	0	t = 0,178	0	t = 0,131	0	t = 0,97	0	t = 1,103
Aceleração a [ms^{-2}]		40,68		40,30		-9,58		-8,6	

te – Valores referentes ao limite esquerdo do intervalo de tempo apresentado.

td – Valores referentes ao limite direito do intervalo de tempo apresentado.

Calcularam-se então os valores de s(mín) e s(máx) considerando situar-se s = 0 sobre a tela do Trampolim. Pode assim constatar-se que o CM do ginasta se situará 10 cm acima da membrana para a Máxima Deformação desta (t = 0,16 s que corresponde à viragem Landing/TAKO) e a máxima altura de voo corresponde a 3,12 m (t = 1,0 s).

Por derivação das equações do tipo s = *f*(t) podem então calcular-se as leis de variação lineares de velocidade no tempo v = *f*(t), para cada uma das fases. Os valores negativos das velocidades correspondem a movimentos de descida (Descida e Landing) e os positivos aos ascensionais (Subida e TAKO). Seria de esperar que as velocidades se anulassem no ponto de Máxima Deformação da tela e no ponto mais alto do voo.

Os pequenos erros que se verificam no Quadro 8 resultarão da dificuldade de obtenção de uma posição absolutamente correcta do CM através da digitalização manual. Assim, e para além das linhas correspondentes às velocidades calculadas para os limites esquerdo e direito do intervalo de tempo de cada fase, acrescenta-se uma outra em que se determinou o instante para o qual,

segundo a expressão analítica calculada neste estudo, a velocidade se anularia. As diferenças são geralmente consideravelmente menores do que 1/10 s.

Em qualquer caso o estudo analítico levado a efeito permitiu calcular ser a velocidade de aterragem sobre a tela de – 7,23 ms^{-1} (negativa porque a fase é de descida) enquanto a velocidade de largada do TAKO é de 6,8 ms^{-1}.

Foram então calculadas as acelerações, por derivação da equação $v = f(t)$, tendo sido os valores constantes para cada fase os que se indicam na linha respectiva do Quadro 8.

É relevante desde já chamar a atenção para os seguintes dados:

1 - A aceleração durante o Landing e o TAKO é praticamente igual (neste salto) e o seu valor é ligeiramente superior a 4 g, valor que evidencia o esforço que um atleta tem de suportar durante estes 3/10 de segundo de contacto com o aparelho. Na realidade o valor 4 g actua durante um menor período já que a transmissão de força da queda à tela não é instantânea.

2 - Durante o voo os valores obtidos correspondem a – 9,58 ms^{-2} (subida) e – 8,6 ms^{-2} (descida) ambos inferiores a g.

O Quadro 9 apresenta os valores dos ângulos dos diferentes segmentos estudados, bem como a altura (y) e deslocamento (x) do CM registados no Mortal Engrupado à Retaguarda e obtidos para os diversos momentos do salto (como esclarecido no Capítulo IV 1.1.).

Quadro 9: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados no Mortal Engrupado à Retaguarda.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Segmentos Observados	Mortal Engrupado à Retaguarda				
	h max (m)	y	CM	3,128				
	Deslocamento Maximo (m)	x	Apoios	0,065				
1	Ângulo de Entrada (º) t = 0	Pescoço	Cabeça – Tórax	19,32 (max)				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	97,43 (min)				
		Anca	Tronco – Coxa	122,40 (min)				
		Joelho	Coxa - Perna	156,58 (max)				
		Tornozelo	Perna - Pé	88,25				
2	Ângulo Máximo do Landing (º) 0 < t < 0,16	Pescoço	Cabeça – Tórax	19,32	t = 0			
		Ombro	Tórax – Cotovelo	152,31 (max)	t = 0,16			
		Anca	Tronco – Coxa	172,18	t = 0,16			
		Joelho	Coxa - Perna	156,58	t = 0			
		Tornozelo	Perna - Pé	88,25	t = 0			
3	Ângulo na Deformação Máxima (º) t = 0,16	Pescoço	Cabeça – Tórax	0,17 (min)				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	152,31 (max)				
		Anca	Tronco – Coxa	172,18				
		Joelho	Coxa - Perna	125,63 (min)				
		Tornozelo	Perna - Pé	58,15 (min)				
4	Ângulo Máximo do TAKO (º) 0,18 < t < 0,3	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 10,49	t = 0,26			
		Ombro	Tórax – Cotovelo	147,66	t = 0,18			
		Anca	Tronco – Coxa	179,86 (max)	t = 0,26			
		Joelho	Coxa - Perna	145,61	t = 0,24			
		Tornozelo	Perna - Pé	101,04	t = 0,3			
5	Ângulo no Final do TAKO (º) t = 0,3	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 2,77				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	129,40				
		Anca	Tronco – Coxa	176,9				
		Joelho	Coxa - Perna	137,59				
		Tornozelo	Perna - Pé	101,04 (max)				
				Mínimo		Máximo		 
6	Ângulos na Subida - voo (º) 0,32 < t < 1,1	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 1,11	t = 0,4	- 73,5	t = 0,56	
		Ombro	Tórax – Cotovelo	16,96	t = 1,1	134,08	t = 0,56	
		Anca	Tronco – Coxa	35,06	t = 0,68	177,0	t = 0,32	
		Joelho	Coxa - Perna	45,14	t = 0,7	132,5	t = 1,1	
		Tornozelo	Perna - Pé	101,04	t = 0,32	159,7	t = 0,6	
7	Ângulos na Descida - voo (º) 1,12 < t < 1,78	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 2,16	t = 1,38	- 35,8	t = 1,3	 
		Ombro	Tórax – Cotovelo	1,48	t = 1,46	122,2	t = 1,78	
		Anca	Tronco – Coxa	126,2	t = 1,78	179,7	t = 1,18	
		Joelho	Coxa - Perna	146,64	t = 1,12	179,8	t = 1,18	
		Tornozelo	Perna - Pé	76,74	t = 1,78	165,08	t = 1,18	

No que respeita aos dados apresentados no Quadro 9, saliente-se em primeiro lugar o pequeníssimo deslocamento horizontal deste salto: apenas 6,5 cm para uma impulsão que eleva o ginasta aos 3,128 m de altura.

Pescoço – Durante as fases de contacto com o Trampolim, este ângulo sofre pequenas oscilações, sendo que a mais significativa é o seu valor mínimo (0,17º) no momento da Deformação Máxima do Trampolim. Este valor reflecte uma nítida preparação do Mortal, pois a cabeça está quase alinhada com o Tronco nesta fase.

Um outro valor importante é a hiperextensão do pescoço (t = 0,56s) verificada no momento da Subida (-73,5º). Tecnicamente, a não realização desta acção é um dos pressupostos básicos do treino do Mortal à retaguarda, na tentativa de impedir um grande deslocamento horizontal e a consequente perda de altura durante a fase aérea.

Ombro – Os dados mais significativos encontram-se nas fases de contacto com o Trampolim. O máximo registado (152,31º) também no momento da Deformação Máxima denotou, mais uma vez, a intenção de provocar um momento de rotação à retaguarda (através da fixação da Anca – que apenas oscila 7º durante todo o TAKO), preparando o salto seguinte.

Anca – Este ângulo aumenta de amplitude durante todo o período de contacto com o Trampolim, apenas diminuindo ligeiramente 0,04 s antes do final do TAKO. Assim, e desde a entrada no Trampolim, o ângulo da Anca aumenta quase 50º até ao momento da Deformação Máxima, atingindo os 172,18º - muito perto dos 180º que corresponderiam a um alinhamento Tronco/Coxa total. Durante o restante período de contacto com o Trampolim, ou seja, durante todo o TAKO, as oscilações deste ângulo são insignificantes, demonstrando a veemência do bloqueio articular produzido ao nível da Anca.

Joelho – Até ao início da fase aérea de Subida, este ângulo regista o seu mínimo coincidente com momento da Máxima Deformação do Trampolim (125,63º). Ou seja, desde a entrada, o Joelho vai flectindo, amortecendo as cargas sofridas; a partir da Deformação Máxima do Trampolim, inicia-se a extensão deste ângulo até ao máximo de 145,61º durante o TAKO. O facto de, no final deste, o ângulo ser menor do que o era durante esta fase (diminuiu 8º) significa que o ginasta não

rentabilizou todas as suas capacidades de impulsão, tendo antecipado a flexão do Joelho antes de concluída a fase de impulsão no Trampolim.

De registar ainda o mínimo de 45,14º de flexão durante a fase aérea de Subida – fundamental na definição da posição engrupada - e a quase total extensão (179,8º) na fase aérea de Descida.

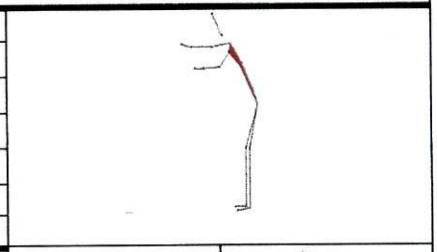
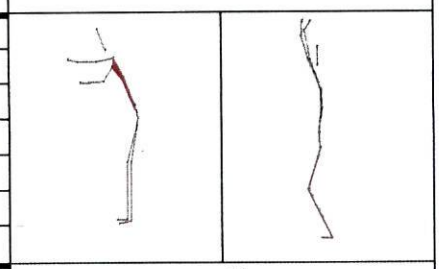
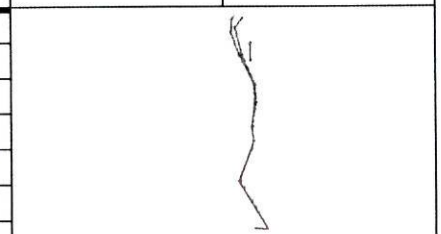
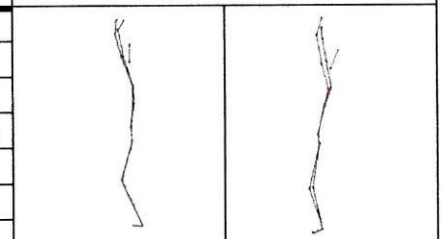
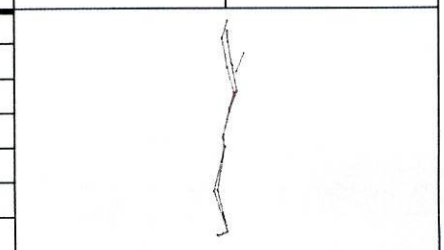
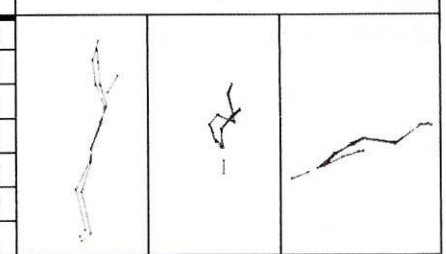
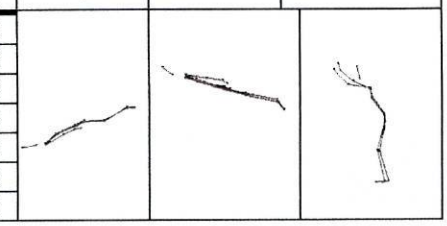
Tornozelo – A entrada no Trampolim é realizada com o pé numa posição quase paralela a este, tal como havia sido descrito por Glisth e Henrish (1992)[15].

No momento da Deformação Máxima, regista-se um ângulo de apenas 58,15º (mínimo observado), dada também a flexão ao nível do Joelho acima descrita. Desde esta fase e até ao final do TAKO, é possível registar um aumento deste ângulo em 43º, reflectindo o esforço realizado pelos flexores plantares em ajudar na projecção do ginasta.

No que respeita à fase aérea, saliente-se a quase total extensão ao nível do Tornozelo (o máximo observado fica a apenas 15º desta meta).

No Quadro 10 são apresentadas as diversas velocidades angulares (ω) registadas para os vários segmentos visados neste trabalho no que respeita aos movimentos do Mortal Engrupado à Retaguarda.

Quadro 10: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados no Mortal Engrupado à Retaguarda.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Mortal Engrupado à Retaguarda		
1	**Velocidade Angular na Entrada (voltas/s)** t = 0	Cabeça	0,29		
		Braço	3,31		
		Antebraço	2,34		
		Tórax	0,26		
		Anca	1,44		
		Coxa	0,21		
		Perna	1,21		
2	**Velocidade Angular Máxima no Landing (voltas/s)** 0 < t < 0,16	Cabeça	1,17	t = 0,08	
		Braço	3,31 (max)	t = 0	
		Antebraço	2,34	t = 0	
		Tórax	2,48 (max)	t = 0,06	
		Anca	1,44	t = 0	
		Coxa	0,75	t = 0,12	
		Perna	1,43 (max)	t = 0,08	
3	**Velocidade Angular na Deformação Máxima (voltas/s)** t = 0,16	Cabeça	0,18 (min)		
		Braço	0,26		
		Antebraço	1,03		
		Tórax	0,49		
		Anca	0,05 (min)		
		Coxa	0,02 (min)		
		Perna	0,31 (min)		
4	**Velocidade Angular Máxima no TAKO (voltas/s)** 0,18 < t < 0,3	Cabeça	1,71	t = 0,28	
		Braço	0,76	t = 0,24	
		Antebraço	1,01 (min)	t = 0,3	
		Tórax	1,21	t = 0,26	
		Anca	0,6	t = 0,2	
		Coxa	0,75	t = 0,3	
		Perna	0,47	t = 0,3	
5	**Velocidade Angular no Final do TAKO (voltas/s)** t = 0,3	Cabeça	1,10		
		Braço	0,19 (min)		
		Antebraço	1,01 (min)		
		Tórax	0,21 (min)		
		Anca	0,44		
		Coxa	0,75		
		Perna	0,47		
6	**Velocidade Angular Máxima na Subida – voo (voltas/s)** 0,32 < t < 1,1	Cabeça	1,82 (max)	t = 0,82	
		Braço	2,51	t = 0,74	
		Antebraço	3,53 (max)	t = 0,68	
		Tórax	2,07	t = 0,68	
		Anca	2,50 (max)	t = 0,72	
		Coxa	2,17 (max)	t = 0,56	
		Perna	1,68	t = 0,74	
7	**Velocidade Angular Máxima na Descida – voo (voltas/s)** 1,12 < t < 1,78	Cabeça	1,68	t = 1,14	
		Braço	1,81	t = 1,52	
		Antebraço	2,96	t = 1,78	
		Tórax	2,19	t = 1,32	
		Anca	1,01	t = 1,12	
		Coxa	1,11	t = 1,52	
		Perna	1,06	t = 1,18	

Reportando-nos aos valores do Quadro 10, e no capítulo específico das velocidades angulares, registe-se a obtida pelo Tórax 6/100 s após a entrada (2,48 voltas/s), reflectindo a rápida abertura do ângulo da Anca por forma a produzir uma inclinação à retaguarda durante o Landing de modo a provocar o momento necessário à realização da rotação.

Também sob o mesmo prisma pode ser analisado o comportamento do Braço (complementar ao do Tronco na tarefa de produzir a rotação à retaguarda necessária) que também regista o seu máximo de velocidade angular durante o Landing (mais precisamente no momento da entrada) – 3,31 voltas/s.

Observe-se, do mesmo modo, o momento de obtenção dos valores mínimos de velocidade de rotação para os componentes do Trem Inferior: Anca, Coxa e Perna apresentam os seus valores mais reduzidos na fase de Máxima Deformação da tela.

Ainda respeitante aos valores mínimos, mas agora para o Trem Superior, Braço e Tórax acompanham-se novamente neste parâmetro, sendo ambos registados na fase final do TAKO (momento de bloqueio de Tronco e MS, transferindo a rotação para a extremidade inferior do corpo).

Ratificando esta conclusão, Anca e Coxa apresentam os valores máximos de velocidades angulares na fase sequente (fase aérea de Subida) com 2,5 e 2,17 voltas/s, respectivamente.

1.4.3. Barany Out Engrupado

O segundo ciclo detalhado corresponde ao salto do tipo Barany Out Engrupado a que se referem as figuras 37 a 40 e o Quadro 11. Este salto foi executado pelo ginasta entre os instantes 1,80 s e 3,52 s.

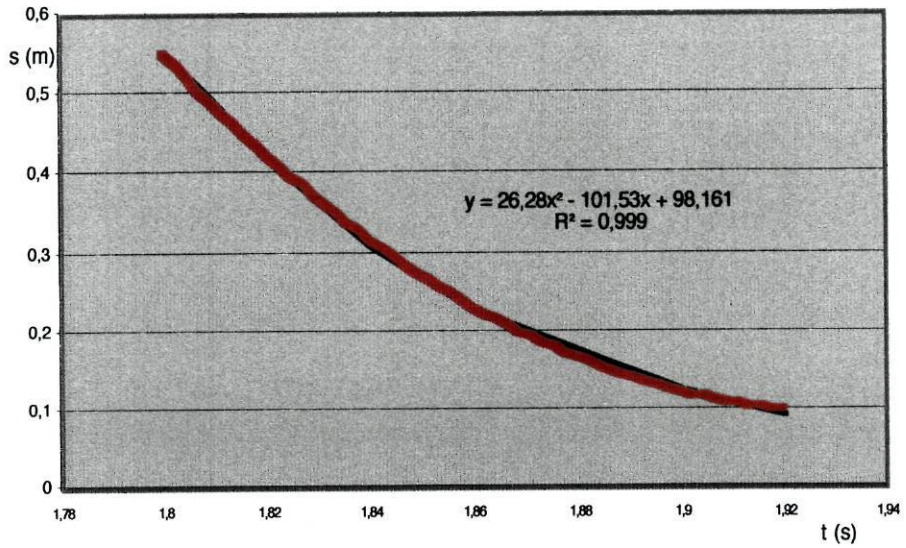


Figura 37: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Landing para o Barany Out.

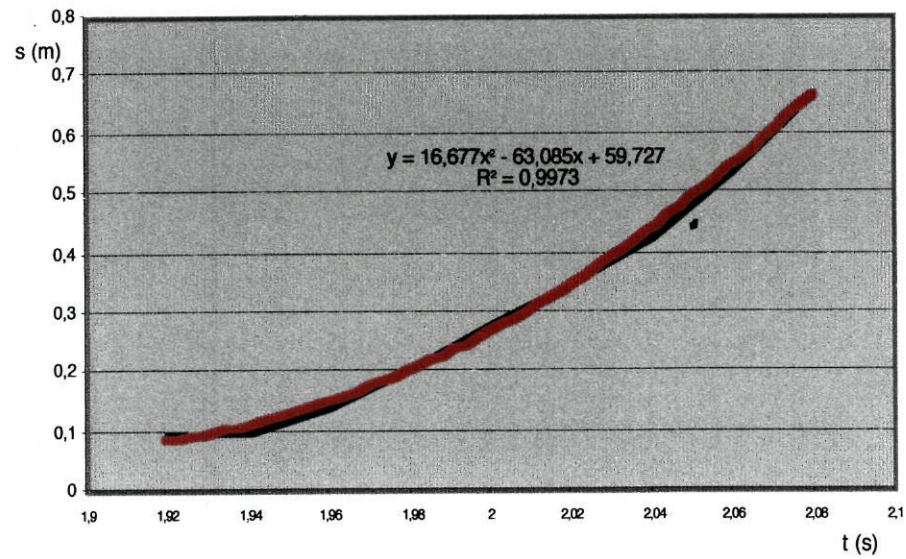


Figura 38: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o TAKO do Barany Out.

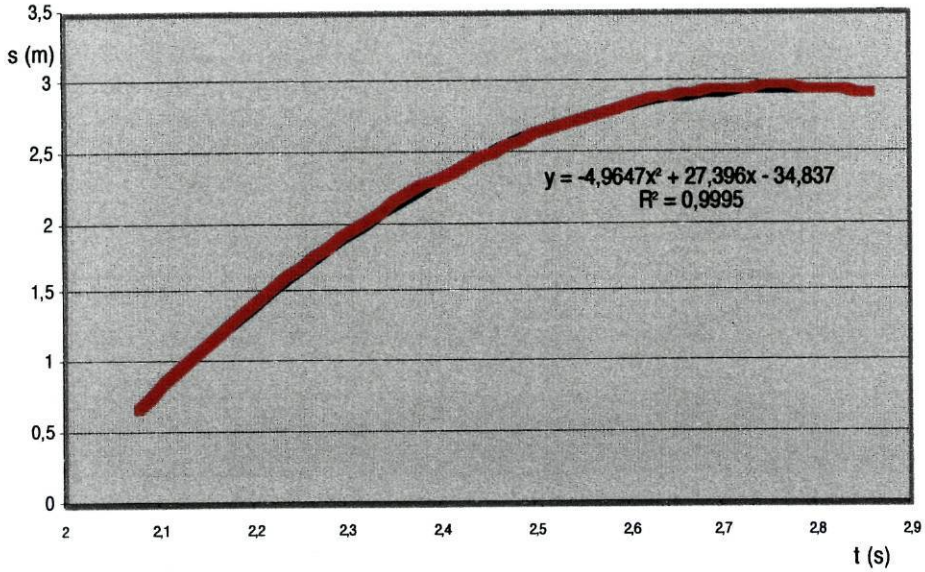


Figura 39: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o voo de subida do Barany Out.

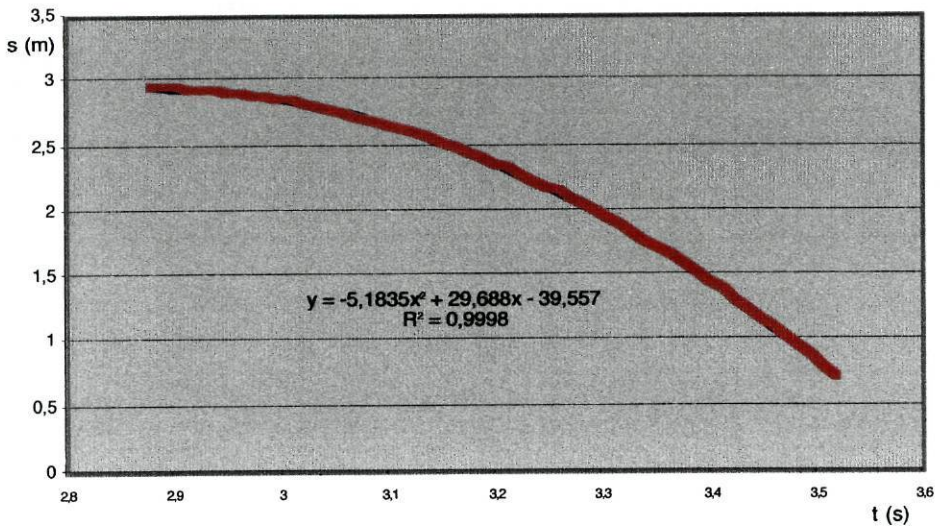


Figura 40: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante a descida do Barany Out.

Quadro 11: Quadro Geral do Movimento do Barany Out Engrupado.

		Landing [1,80 ; 1,92]		**TAKO** [1,92 ; 2,10]		**Subida** [2,10 ; 2,85]		**Descida** [2,85 ; 3,52]	
Espaço s [m]	Equação s = *f* (r)	$26,28t^2 - 101,53t + 98,161$		$16,68t^2 - 63,08t + 59,73$		$-4,96t^2 + 27,4t - 34,84$		$-5,18t^2 + 29,7t - 39,56$	
	R^2	99,9%		99,7%		99,9%		99,9%	
	Mínimo	0,10	t = 1,92	0,10	t = 1,92	0,83	t = 2,10	0,81	t = 3,5
	Máximo	0,55	t = 1,80	0,83	t = 2,10	3,00	t = 2,76	3,01	t = 2,85
	s = *f* (td)					2,96	t = 2,85		
Velocidade v [ms^{-1}]	Equação v = *f* (t)	52,45t – 101,53		33,36t – 63,08		-9,92t + 27,4		-10,36t + 29,7	
	v = *f* (te)	-6,9		0,97		6,6		0,2	
	v = *f* (td)	-0,6		7,0		-0,8		-6,8	
	v = 0	0	t = 1,93	0	t = 1,89	0	t = 2,76	0	t = 2,87
Aceleração a [ms^{-2}]		52,56		33,36		-9,92		-10,36	

te – Valores referentes ao limite esquerdo do intervalo de tempo apresentado.
td – Valores referentes ao limite direito do intervalo de tempo apresentado.

Destacam-se aqui os principais resultados do estudo analítico desenvolvido para este salto:

- Altura do CM acima da tela, no momento de Máxima Deformação desta: 10 cm
- Altura do CM do ginasta no ponto mais alto do voo: 3,0 m
- Velocidade de aterragem sobre a membrana: - 6,9 ms^{-1}
- Velocidade de descolagem da tela (final do TAKO): 7,0 ms^{-1}
- Aceleração durante o Landing: 52,5 ms^{-2}
- Aceleração durante o TAKO: 33,4 ms^{-2}
- Aceleração na Subida : - 9,9 ms^{-2}
- Aceleração na Descida: - 10,4 ms^{-2}

Acentuam-se os 5,2 g na aceleração vertical durante o Landing e um valor inferior (3,3 g) na descolagem, que permite confirmar uma menor altura de voo do que a conseguida no salto anterior. Uma aceleração superior (9,92 ms^{-2}) na Subida – comparado com o salto anterior - permitirá antever uma menor altura de voo e é causada pelo maior grau de dificuldade das acrobacias a efectuar.

O Quadro 12 apresenta os valores dos ângulos dos diferentes segmentos estudados, bem como a altura (y) e deslocamento (x) do CM registados no Barany Out Engrupado e obtidos para os diversos momentos do salto (como esclarecido no Capítulo IV 1.1.).

Quadro 12: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados no Barany Out Engrupado.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Segmentos Observados	Barany Out Engrupado				
	h max (m)	y	CM	2,943				
	Deslocamento Maximo (m)	x	Apoios	0,228				
1	Ângulo de Entrada (º) t = 1,8	Pescoço	Cabeça – Tórax	2,55				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	119,34 (min)				
		Anca	Tronco – Coxa	130,30				
		Joelho	Coxa - Perna	149,46 (min)				
		Tornozelo	Perna - Pé	78,28				
2	Ângulo Máximo do Landing (º) 1,8 < t < 1,92	Pescoço	Cabeça – Tórax	6,32	t = 1,82			 
		Ombro	Tórax – Cotovelo	148,05	t = 1,92			
		Anca	Tronco – Coxa	170,75	t = 1,92			
		Joelho	Coxa - Perna	149,46	t = 1,8			
		Tornozelo	Perna - Pé	78,28	t = 1,8			
3	Ângulo na Deformação Máxima (º) t = 1,92	Pescoço	Cabeça – Tórax	2,10 (min)				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	148,05				
		Anca	Tronco – Coxa	170,75 (max)				
		Joelho	Coxa - Perna	117,53 (min)				
		Tornozelo	Perna - Pé	35,12 (min)				
4	Ângulo Máximo do TAKO (º) 1,94 < t < 2,1	Pescoço	Cabeça – Tórax	18,55 (max)	t = 2,08			 
		Ombro	Tórax – Cotovelo	150,08 (max)	t = 1,94			
		Anca	Tronco – Coxa	167,97	t = 1,94			
		Joelho	Coxa - Perna	178,27	t = 2,1			
		Tornozelo	Perna - Pé	117,55	t = 2,1			
5	Ângulo no Final do TAKO (º) t = 2,1	Pescoço	Cabeça – Tórax	6,79				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	141,16				
		Anca	Tronco – Coxa	121,44 (min)				
		Joelho	Coxa - Perna	178,27 (max)				
		Tornozelo	Perna - Pé	117,55 (max)				
				Mínimo		Máximo		
6	Ângulos na Subida - voo (º) 2,12 < t < 2,84	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 0,05	t = 2,74	41,15	t = 2,36	 
		Ombro	Tórax – Cotovelo	20,16	t = 2,74	143,9	t = 2,12	
		Anca	Tronco – Coxa	37,77	t = 2,36	115,3	t = 2,82	
		Joelho	Coxa - Perna	61,38	t = 2,42	177,12	t = 2,12	
		Tornozelo	Perna - Pé	110,35	t = 2,36	159,31	t = 2,84	
7	Ângulos na Descida - voo (º) 2,86 < t < 3,5	Pescoço	Cabeça – Tórax	- 0,43	t = 3,08	-38,95	t = 2,9	 
		Ombro	Tórax – Cotovelo	0,55	t = 3,5	45,08	t = 3,22	
		Anca	Tronco – Coxa	118,29	t = 2,86	179,54	t = 3,2	
		Joelho	Coxa - Perna	131,96	t = 2,86	179,89	t = 3,32	
		Tornozelo	Perna - Pé	96,55	t = 3,46	179,05	t = 3,0	

No que respeita aos parâmetros gerais do movimento (altura e deslocamento) apresentados para este salto no Quadro 12, é de registar que é por apenas 18,5 cm que a altura do CM do Barany Out é inferior à do Mortal. Contudo, há um maior deslocamento horizontal (22,8 cm no Barany Out e 6,5 cm no Mortal).

Pescoço – No que respeita a este ângulo, de registar apenas duas situações: (1) o valor máximo obtido durante as fases de contacto com Trampolim observado durante o TAKO (18,55º) e (2) o máximo absoluto alcançado (41,15º), obtido durante a subida do salto. O valor registado no TAKO é o primeiro indicador da intenção do atleta em produzir uma rotação à frente.

Ombro – Tal como no caso do Mortal, as etapas mais significativas para o movimento encontram-se circunscritas às fases de contacto com o Trampolim. Observa-se que, na entrada, este ângulo é o menor (119,34º), resultante da descida do Mortal. Verifica-se uma abertura sucessiva deste ângulo até ao máximo registado no instante imediatamente após a Deformação Máxima da membrana (150,08º). A partir desta fase, o ângulo começa a decrescer, indicando a intenção de produção de um momento de rotação à frente (Figura 6). No final do TAKO, o ângulo do Ombro reduziu-se até aos 141,16º.

Anca – À semelhança do que aconteceu no Mortal, o máximo de abertura deste ângulo ocorre após o Landing (170,75º). No final do TAKO, contudo, este ângulo é consideravelmente menor do que no salto à retaguarda anterior: menos 55,46º. É, por isso, possível verificar nesta fase final do contacto com o trampolim o mínimo registado: 121,44º. Este fecho é um dos grandes responsáveis pelos quase 23 cm de deslocamento horizontal verificado na fase aérea deste salto.

De referir ainda que, apenas 0,34 s após o início da fase aérea de descida (sensivelmente a meio desta fase) este ângulo já se encontra na quase total extensão (179,54º).

Contrariamente ao que acontece no Mortal, o bloqueio articular ao nível da Anca é menor, sendo, desta forma, os Braços, os pricipais responsáveis pelo momento de rotação à frente produzido.

Joelho – No que respeita ao ângulo mínimo registado, este verifica-se – tal como havia já acontecido no Mortal – no Momento de Deformação máxima do Trampolim (117,53º).

O comportamento deste ângulo intersegmentar é, aliás, semelhante ao verificado no salto à retaguarda em quase todas as fases do salto. Assim, verifica-se um fecho progressivo desde a entrada no Trampolim (149,46º) até à Deformação Máxima deste. A partir daí, o ângulo aumenta de valor, observando-se uma abertura do ângulo Coxa/Perna até ao máximo (178,27º) no momento final do TAKO. Registe-se este último elevado valor (muito perto da extensão total de segmentos) numa fase tão decisiva para toda a acção seguinte (fase aérea), significando isto que o ginasta potenciou ao máximo a sua impulsão ao nível dos MI.

Tornozelo – No momento da entrada, regista-se uma flexão dorsal acentuada, sendo o calcanhar a primeira parte do corpo a entrar em contacto com o Trampolim. Durante toda a fase de Landing observa-se uma diminuição deste ângulo, sendo marcantes os 35,12º obtidos no momento de Deformação Máxima do Trampolim. A partir daí, inicia-se a abertura de segmentos (flexão plantar) alcançando o máximo (tal como no caso do Mortal) no momento final do TAKO (117,55º).

No Quadro 13 são apresentadas as diversas velocidades angulares (ω) registadas para os vários segmentos visados neste trabalho no que respeita aos movimentos do Barany Out Engrupado.

Quadro 13: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados no Barany Out Engrupado.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Barany Out Engrupado		
1	**Velocidade Angular na Entrada (voltas/s)** t = 1,8	Cabeça	0,48		
		Braço	0,55		
		Antebraço	2,22		
		Tórax	0,27 (min)		
		Anca	0,81		
		Coxa	0,002 (min)		
		Perna	0,21 (min)		
2	**Velocidade Angular Máxima no Landing (voltas/s)** 1,8 < t < 1,92	Cabeça	0,82	t = 1,12	 
		Braço	1,79	t = 1,84	
		Antebraço	2,22	t = 1,8	
		Tórax	0,78	t = 1,88	
		Anca	0,85	t = 1,9	
		Coxa	0,85	t = 1,88	
		Perna	2,90	t = 1,86	
3	**Velocidade Angular na Deformação Máxima (voltas/s)** t = 1,92	Cabeça	0,82		
		Braço	0,07 (min)		
		Antebraço	0,15 (min)		
		Tórax	0,56		
		Anca	0,20 (min)		
		Coxa	0,07		
		Perna	0,41		
4	**Velocidade Angular Máxima no TAKO (voltas/s)** 1,94 < t < 2,1	Cabeça	1,66	t = 2,02	 
		Braço	1,15	t = 2,06	
		Antebraço	1,87	t = 2,06	
		Tórax	2,07	t = 2,1	
		Anca	1,53	t = 2,06	
		Coxa	0,64	t = 1,94	
		Perna	2,42	t = 1,94	
5	**Velocidade Angular no Final do TAKO (voltas/s)** t = 2,1	Cabeça	0,34 (min)		
		Braço	1,10		
		Antebraço	1,76		
		Tórax	2,06		
		Anca	1,23		
		Coxa	0,08		
		Perna	0,33		
6	**Velocidade Angular Máxima na Subida – voo (voltas/s)** 2,12 < t < 2,84	Cabeça	3,92 (max)	t = 2,62	  
		Braço	5,83 (max)	t = 2,34	
		Antebraço	5,66 (max)	t = 2,76	
		Tórax	3,93 (max)	t = 2,32	
		Anca	2,62 (max)	t = 2,34	
		Coxa	4,25 (max)	t = 2,78	
		Perna	3,45 (max)	t = 2,32	
7	**Velocidade Angular Máxima na Descida – voo (voltas/s)** 2,86 < t < 3,5	Cabeça	2,64	t = 3,06	  
		Braço	2,50	t = 2,86	
		Antebraço	2,19	t = 2,86	
		Tórax	1,96	t = 3,18	
		Anca	1,67	t = 2,96	
		Coxa	2,48	t = 2,88	
		Perna	1,65	t = 3,44	

No que respeita às velocidades angulares observadas durante este salto múltiplo à frente (Quadro 13), registe-se, em primeiro lugar, que os valores mínimos observados para MI se encontram no momento da entrada no Trampolim (0,002 voltas/s e 0,21 voltas/s para Coxa e Perna, respectivamente).

A considerar são também as fases de obtenção dos valores mínimos dos MS e Anca, observados no momento da Deformação Máxima do Trampolim (indiciando o bloqueio destes segmentos por forma a iniciar a produção do momento de rotação à frente).

Curiosamente, no Mortal, este bloqueio de segmentos (responsável pela transferência de energia entre as várias partes do corpo capazes de provocar a rotação desejada) só ocorre no momento final do TAKO – evidenciando diferentes fases de transferência de rotação e diferentes segmentos nela implicados:

- para o Barany Out, no momento de deformação máxima através do bloqueio de MS (com enorme fecho do ângulo Tronco/Coxa no momento final do TAKO);

- para o Mortal, no fim do TAKO, por intermédio do bloqueio do Tronco e MS (e anteriormente da Anca na fase de Deformação Máxima do Trampolim), transferindo a rotação para a extremidade inferior através da reacção do binário Trem Superior/Trem Inferior, tendo o Ombro como fulcro da rotação.

Como seria de esperar, dada a exigente execução técnica do salto, todos os segmentos apresentam o seu máximo de velocidade angular durante o período da fase aérea da Subida. (Bem vistos os factos, o Barany Out tem quase menos 20 cm de altura e a necessidade de realizar o dobro do trabalho de rotação exigido no Mortal – parece, portanto, óbvio que as velocidades angulares de todos os segmentos corporais focados neste estudo atinjam o seu valor máximo durante a produção das rotações transversais implicadas no próprio salto).

1.4.4. Salto em Extensão (Vela)

As figuras 41 a 44 e o Quadro 14 referem-se ao 3º ciclo – Salto em Extensão (Vela), ocorrido entre os 3,52 s e os 5,20 s.

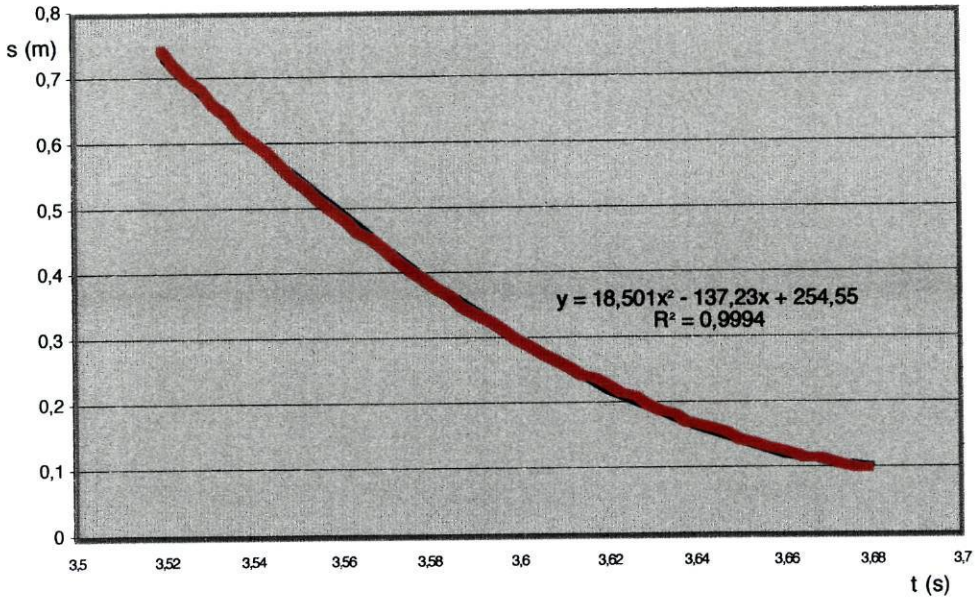


Figura 41: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante o Landing da Vela.

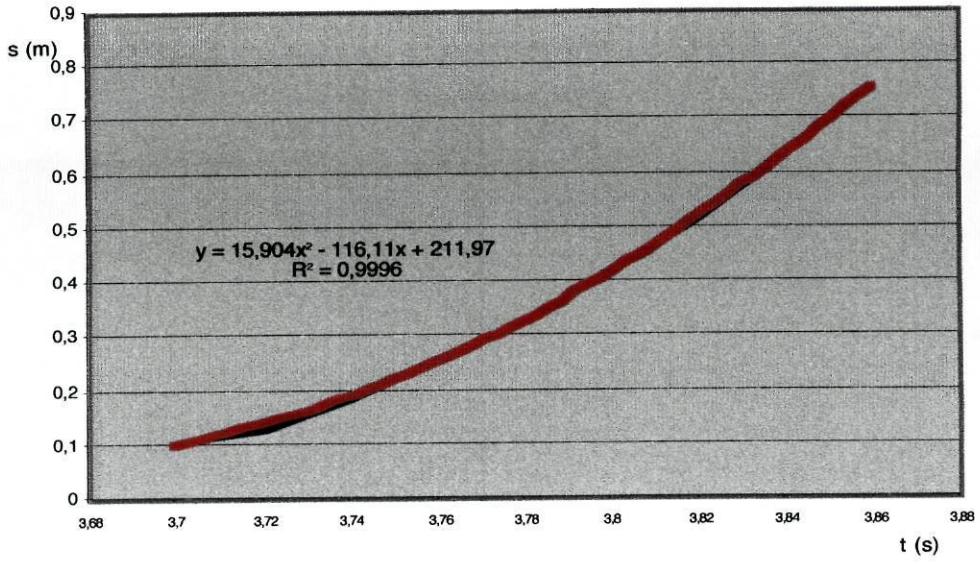


Figura 42: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante o TAKO da Vela.

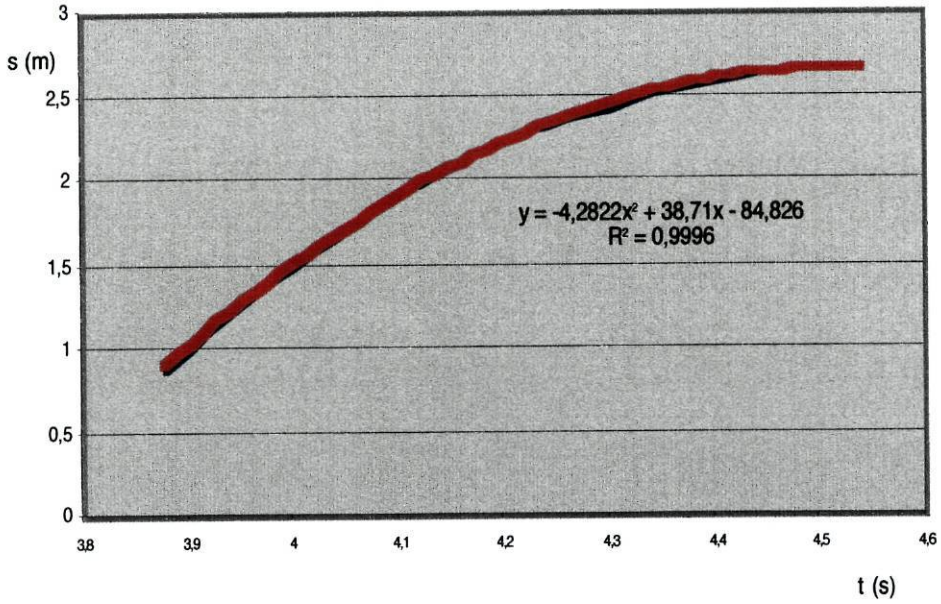


Figura 43: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta durante a subida (fase de voo) da Vela.

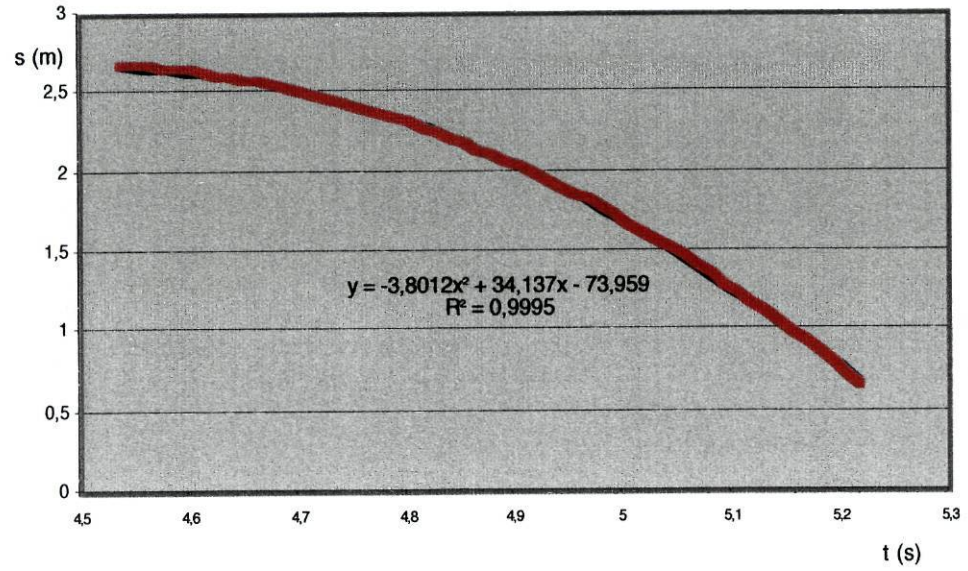


Figura 44: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta durante a descida (fase de voo) da Vela.

Quadro 14: Quadro Geral do Movimento respeitante ao Salto em Extensão (Vela).

		Landing [3,52 ; 3,75]		**TAKO** [3,75 ; 3,91]		**Subida** [3,91 ; 4,52]		**Descida** [4,52 ; 5,20]	
Espaço s [m]	Equação s = *f* (r)	$18,5t^2 - 137,2t + 254,55$		$15,90t^2 - 116,1t + 211,97$		$-4,28t^2 + 38,71t - 84,82$		$-3,80t^2 + 34,14t - 73,96$	
	R^2	99,9%		99,9%		99,9%		99,9%	
	Mínimo	0,20	t = 3,75	0,19	t = 3,75	1,10	t = 3,91	0,82	t = 5,20
	Máximo	0,83	t = 3,52	1,10	t = 3,91	2,70	t = 4,52	2,71	t = 4,52
Velocidade v [ms^{-1}]	Equação v = *f* (t)	37t – 137,2		31,8t – 116,1		-8,56t + 38,71		-7,60t + 34,14	
	v = *f* (te)	-6,96		3,15 (?)		5,24		-0,2	
	v = *f* (td)	1,55 (?)		8,24 (?)		0		-5,38	
	V = o	0	t = 3,71	0	t = 3,65	0	t = 4,52	0	t = 4,49
Aceleração a [ms^{-2}]		37,0		31,8		-8,56		-7,60	

te – Valores referentes ao limite esquerdo do intervalo de tempo apresentado.

td – Valores referentes ao limite direito do intervalo de tempo apresentado.

A simples consulta do Quadro 14 permite verificar situarem-se as acelerações, sofridas pelo atleta durante as fases de contacto com a tela, entre os 3 e os 4 g. Estes valores traduzem um esforço elevado, mas menor do que em qualquer dos saltos anteriormente analisados.

Neste Quadro, alguns dos valores têm uma variação um pouco errática, particularmente no Landing e TAKO. Aceitam-se, contudo, as velocidades de aterragem de – 7 ms^{-1} e de descolagem de 5,24 ms^{-1}.

A altura máxima atingida neste salto foi de 2,71 m e a máxima deformação da membrana sob a acção dinâmica do ginasta conduz a uma posição do CM do ginasta 20 cm acima da tela. Este facto indicia duas hipóteses:

(1) menor F produzida sobre o Trampolim, que implica menor deformação da tela e/ou

(2) flexão dos segmentos corporais menos acentuada, nomeadamente MI e Tronco, que conduz a uma elevação relativa do CM do ginasta. (Só o próximo quadro – Ângulos Intersegmentares – ou o próximo ponto – Análise Dinâmica Experimental – poderão esclarecer esta incógnita).

O Quadro 15 apresenta os valores dos ângulos dos diferentes segmentos estudados, bem como a altura (y) e deslocamento (x) do CM registados na Vela e obtidos para os diversos momentos do salto (como esclarecido no Capítulo IV 1.1.).

Quadro 15: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados na Vela.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Segmentos Observados	Salto em Extensão (Vela)				
	h max (m)	y	CM	2,665				
	Deslocamento Maximo (m)	x	Apoios	1,560				
1	Ângulo de Entrada (°) t = 3,52	Pescoço	Cabeça – Tórax	0,26 (min)				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	0,55 (min)				
		Anca	Tronco – Coxa	141,93 (min)				
		Joelho	Coxa - Perna	176,19 (max)				
		Tornozelo	Perna - Pé	96,57				
2	Ângulo Máximo do Landing (°) 3,52 < t < 3,7	Pescoço	Cabeça – Tórax	4,89	t = 3,64			
		Ombro	Tórax – Cotovelo	12,62 (max)	t = 3,62			
		Anca	Tronco – Coxa	169,85	t = 3,7			
		Joelho	Coxa - Perna	176,19	t = 3,52			
		Tornozelo	Perna - Pé	96,57	t = 3,52			
3	Ângulo na Deformação Máxima (°) t = 3,7	Pescoço	Cabeça – Tórax	4,57				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	9,02				
		Anca	Tronco – Coxa	169,85				
		Joelho	Coxa - Perna	128,0 (min)				
		Tornozelo	Perna - Pé	46,57 (min)				
4	Ângulo Máximo do TAKO (°) 3,72 < t < 3,86	Pescoço	Cabeça – Tórax	15,60 (max)	t = 3,78			
		Ombro	Tórax – Cotovelo	7,74	t = 3,76			
		Anca	Tronco – Coxa	177,97	t = 3,84			
		Joelho	Coxa - Perna	174,83	t = 3,86			
		Tornozelo	Perna - Pé	99,00	t = 3,86			
5	Ângulo no Final do TAKO (°) t = 3,86	Pescoço	Cabeça – Tórax	5,71				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	7,50				
		Anca	Tronco – Coxa	177,62 (max)				
		Joelho	Coxa - Perna	174,83				
		Tornozelo	Perna - Pé	99,00 (max)				
				Mínimo		Máximo		
6	Ângulos na Subida - voo (°) 3,88 < t < 4,54	Pescoço	Cabeça – Tórax	0,27	t = 3,92	20,65	t = 4,44	
		Ombro	Tórax – Cotovelo	13,23	t = 3,88	165,05	t = 4,36	
		Anca	Tronco – Coxa	161,5	t = 4,28	179,89	t = 4,52	
		Joelho	Coxa - Perna	173,21	t = 3,98	179,83	t = 4,52	
		Tornozelo	Perna - Pé	113,46	t = 3,98	150,78	t = 4,2	
7	Ângulos na Descida - voo (°) 4,56 < t < 5,2	Pescoço	Cabeça – Tórax	0,75	t = 4,60	35,60	t = 4,94	
		Ombro	Tórax – Cotovelo	5,66	t = 5,04	135,05	t = 4,56	
		Anca	Tronco – Coxa	45,33	t = 4,86	174,69	t = 4,56	
		Joelho	Coxa - Perna	166,79	t = 5,2	179,87	t = 4,92	
		Tornozelo	Perna - Pé	129,28	t = 5,14	149,88	t = 5,18	

De acordo com os valores registados no Quadro 15, este foi, dos três saltos realizados pelo ginasta, o de menor altura. Contrariamente, verificou-se um deslocamento horizontal do CM de mais de 1,5 m, indiciando uma componente muito prejudicial que tem como único motivo o intento de voltar a equilibrar o atleta preparando a Recepção e Amortecimento final.

Pescoço – Este ângulo não demonstra ser minimamente determinante na acção, mantendo-se quase constantemente na posição anatómica durante todo o salto (excepção feita ao valor encontrado de 35,6º na fase aérea descendente, na qual o ginasta dirige o seu olhar para o Trampolim por forma a preparar a Recepção).

Ombro – Este ângulo só apresenta alguma relevância nas duas fases aéreas, enquanto factor equilibrador do movimento, tentando corrigir o posicionamento corporal e preparando a Recepção e Amortecimento final. Registe-se, contudo, a título de exemplo, o valor máximo (obtido na fase aérea de Subida) de 165,05º e o mínimo de 5,66º observado já na parte final da fase aérea de Descida enquanto antecipa a Recepção.

Anca – Este ângulo aumenta de amplitude durante todo o tempo de contacto com o Trampolim: - de 141,93º na entrada, a 177,62º no momento final do TAKO. Estes valores permanecem quase constantes durante a Subida e até metade da fase de Descida, período em que se inicia o fecho destes segmentos até ao (surpreendente) valor mínimo de 45,33º. Este valor reflecte o empenhamento global do atleta na Recepção por forma a conseguir imobilizar-se no Trampolim o mais rápida e eficazmente possível, de modo a não ser penalizado no ajuizamento técnico da sua execução.

Joelho – O valor máximo registado observa-se no momento da entrada no Trampolim (176,99º) – muito perto da total extensão desta articulação. Verifica-se, também, à semelhança dos outros saltos observados, um fecho acentuado até ao ponto de Deformação Máxima da tela (128,0º), momento onde se observa o menor valor deste ângulo. A impulsão tem então início e a extensão do Joelho recomeça, atingindo os 174,83º no momento final do TAKO.

Durante as fases aéreas não se registam alterações substanciais dos valores apresentados para este ângulo. Estes dados revelam que, para a entrada na Recepção final (t = 5,2 s), o Joelho apenas apresenta uma ligeira flexão (166,79º), ou seja, 13,21º menos que a extensão completa

destes segmentos articulares. Este valor permite, como consequência directa dos dados anteriores, antever um violentíssimo Amortecimento com uma flexão abrupta do Joelho e Anca na fase de Recepção até à Imobilização da série.

Tornozelo – As fases mais significativas para esta articulação são, mais uma vez, as do contacto com o Trampolim. Na entrada, o pé encontra-se quase paralelo a este, com um ângulo de 96,57º. Durante o Landing há, tal como nos outros saltos estudados, um fecho considerável até atingir o mínimo de 46,57º no momento de Deformação Máxima do Trampolim. A partir daqui, regista-se uma nova abertura desta articulação até aos 99º, observados no momento final do TAKO.

Na fase aérea, os valores mais significativos encontram-se para t = 4,2 s com um ângulo de 150,78º e para t = 5,18 s com um ângulo semelhante de 149,88º na fase de Subida e de Descida, respectivamente. Este último valor apresentado revela-se extraordinariamente interessante pois denota uma preparação da Recepção ainda na fase aérea do salto anterior. A flexão plantar verificada a apenas 0,02 s do contacto com o Trampolim para a Recepção final (totalmente inexistente nos outros casos) mostra os dedos como a primeira parte do pé a contactar a tela e, como tal, evidencia o desejo de amortecer antecipadamente o salto, impedindo a normal reacção do Trampolim à acção sobre este realizada pelas F implicadas no movimento.

No Quadro 16 são apresentadas as diversas velocidades angulares (ω) registadas para os vários segmentos visados neste estudo no que respeita aos movimentos executados na Vela.

Quadro 16: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados na Vela.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Salto em Extensão (Vela)		
1	**Velocidade Angular na Entrada (voltas/s)** t = 3,52	Cabeça	0,07		
		Braço	0,49		
		Antebraço	0,89		
		Tórax	0,75		
		Anca	1,16 (max)		
		Coxa	0,97 (max)		
		Perna	0,11 (min)		
2	**Velocidade Angular Máxima no Landing (voltas/s)** 3,52 < t < 3,7	Cabeça	1,21	t = 3,56	 
		Braço	0,95	t = 3,58	
		Antebraço	0,91	t = 3,56	
		Tórax	1,40 (max)	t = 3,58	
		Anca	1,16	t = 3,52	
		Coxa	0,97	t = 3,52	
		Perna	2,06 (max)	t = 3,64	
3	**Velocidade Angular na Deformação Máxima (voltas/s)** t = 3,7	Cabeça	0,32		
		Braço	0,07 (min)		
		Antebraço	0,21 (min)		
		Tórax	0,08 (min)		
		Anca	0,42		
		Coxa	0,03		
		Perna	0,92		
4	**Velocidade Angular Máxima no TAKO (voltas/s)** 3,72 < t < 3,86	Cabeça	0,75	t = 3,82	 
		Braço	0,55	t = 3,86	
		Antebraço	0,84	t = 3,76	
		Tórax	0,94	t = 3,8	
		Anca	0,56	t = 3,78	
		Coxa	0,68	t = 3,82	
		Perna	0,61	t = 3,82	
5	**Velocidade Angular no Final do TAKO (voltas/s)** t = 3,86	Cabeça	0,01 (min)		
		Braço	0,55		
		Antebraço	0,61		
		Tórax	0,63		
		Anca	0,36 (min)		
		Coxa	0,01 (min)		
		Perna	0,11 (min)		
6	**Velocidade Angular Máxima na Subida – voo (voltas/s)** 3,88 < t < 4,54	Cabeça	0,84	t = 4,2	 
		Braço	3,67 (max)	t = 4,08	
		Antebraço	1,83	t = 4,04	
		Tórax	0,94	t = 4,48	
		Anca	0,48	t = 4,24	
		Coxa	0,42	t = 4,22	
		Perna	0,3	t = 4,12	
7	**Velocidade Angular Máxima na Descida – voo (voltas/s)** 4,56 < t < 5,2	Cabeça	1,35 (max)	t = 4,62	 
		Braço	3,60	t = 5,16	
		Antebraço	5,77 (max)	t = 5,08	
		Tórax	1,29	t = 5,2	
		Anca	0,72	t = 5,04	
		Coxa	0,54	t = 4,84	
		Perna	1,14	t = 5,2	

Referindo-nos aos valores patentes no Quadro 16 e dado que é um salto que não envolve rotações transversais ou longitudinais - apenas translações – pode-se considerar todos os valores registados muito reduzidos, no que respeita aos segmentos envolvidos neste estudo. A excepção ocorre para os MS, com fortes acções equilibradoras do movimento, na fase aérea de Descida, corrigindo desta forma eventuais desvios que possam conduzir a uma diminuição da *performance* da Recepção final do ginasta (3,60 voltas/s para o Braço e 5,77 voltas/s para o Antebraço).

1.4.5. Recepção

O acto de Recepção foi apenas sub-dividido em 3 fases: Landing, Amortecimento e Imobilização, graficamente traduzidas nas Figuras 45 a 47 e no Quadro 17. O ginasta executou os movimentos aí representados entre os 5,22 s e os 5,64 s.

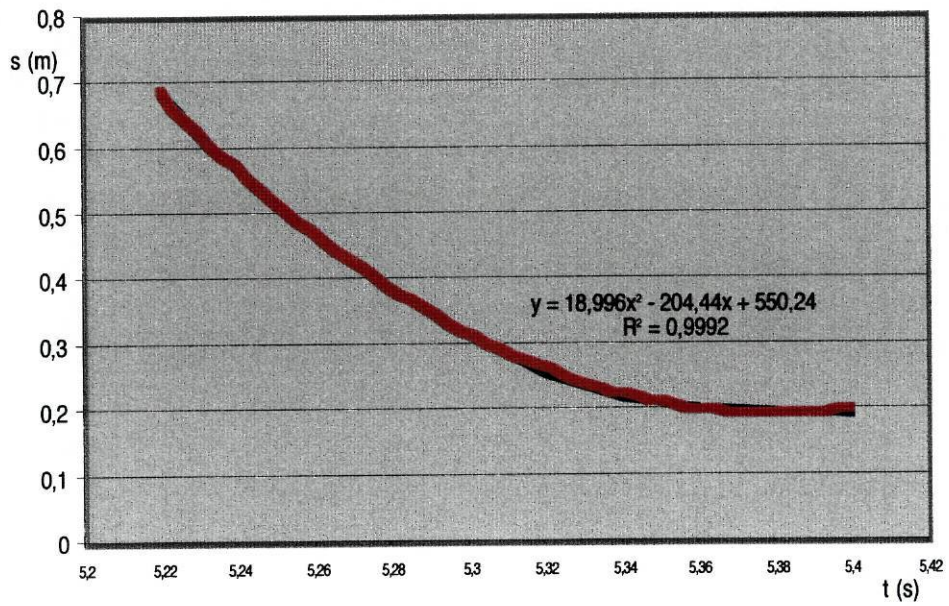


Figura 45: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta durante o Landing da Recepção.

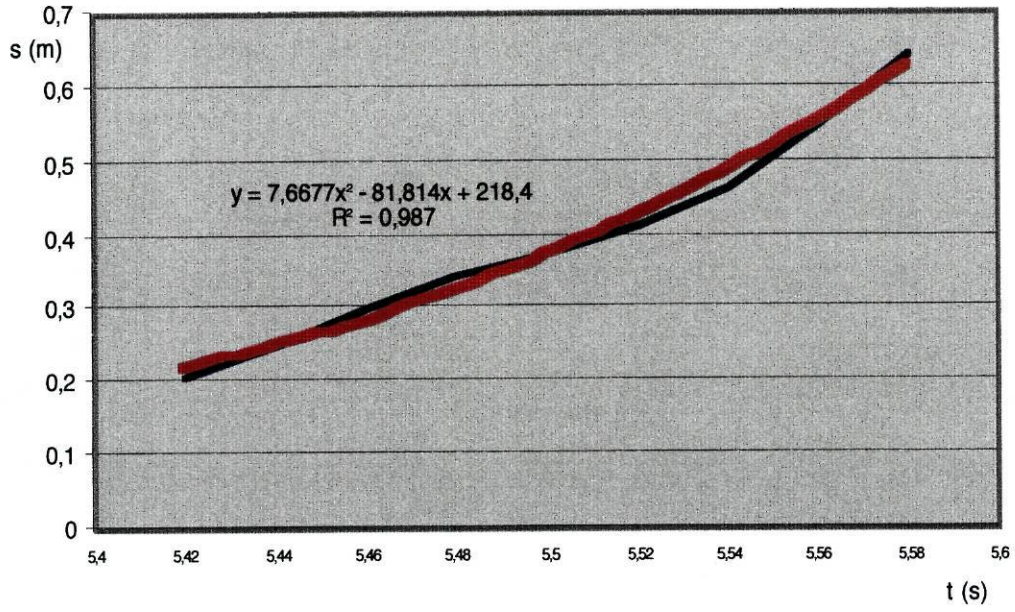


Figura 46: Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Amortecimento.

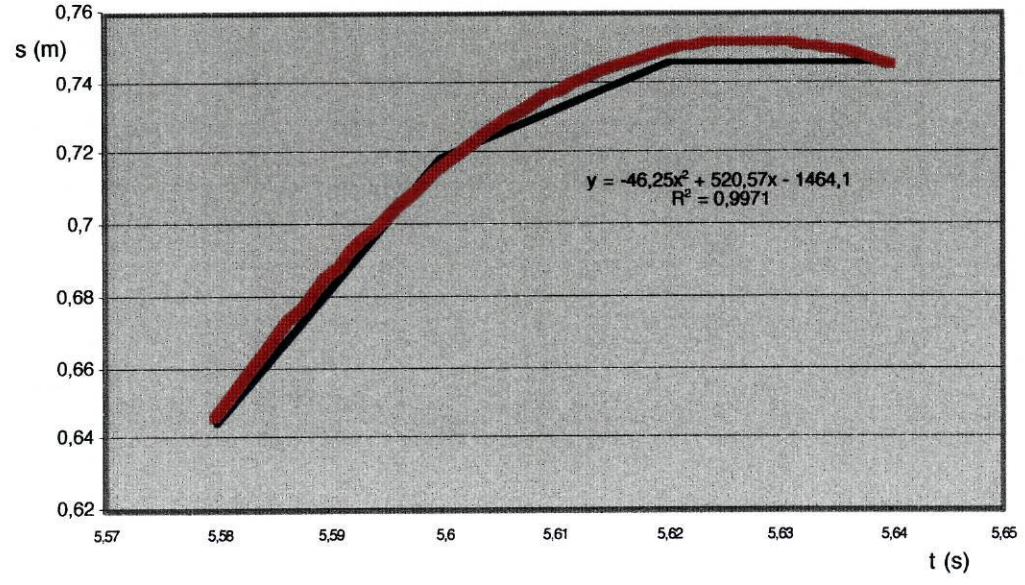


Figura 47: Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta na fase de Imobilização.

Quadro 17: Quadro Geral do Movimento respeitante à fase de Recepção.

		Landing [5,22 ; 5,38]		**Amortecimento** [5,38 ; 5,58]		**Imobilização** [5,58 ; 5,64]	
Espaço s [m]	Equação s = *f* (r)	$19,0t^2 - 204,4t + 520,24$		$7,67t^2 - 81,81t + 218,4$		$-46,25t^2 + 520,6t - 1464,1$	
	R^2	99,9%		98,7%		99,7%	
	Mínimo	0,18	t = 5,38	0,18	t = 5,38	0,62	t = 5,58
	Máximo	0,68	t = 5,22	0,62	t = 5,58	0,73	t = 5,63
	s = *f* (td)					0,72	t = 5,64
Velocidade v [ms^{-1}]	Equação v = *f* (t)	38,0t – 204,4		15,34t – 81,81		-92,5t + 520,6	
	v = *f* (te)	-6,13		0,7		-4,42	
	v = *f* (td)	0		3,76		-1,13	
	v = o	0	t = 5,38	0	t = 5,33	0	t = 5,62
Aceleração a [ms^{-2}]		38,0		15,4		-92,5	

te – Valores referentes ao limite esquerdo do intervalo de tempo apresentado.

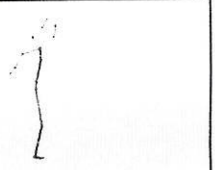
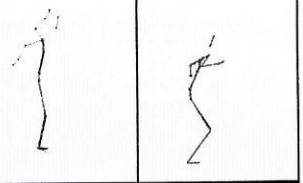
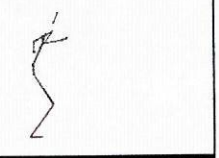
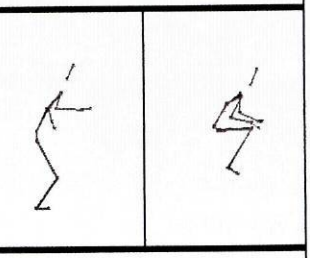
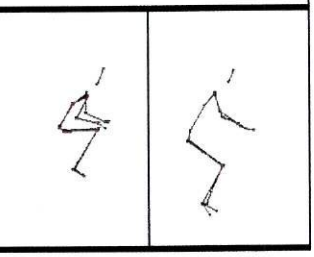
td – Valores referentes ao limite direito do intervalo de tempo apresentado.

Os valores calculados da aceleração são muito diferenciados, mas destaca-se o correspondente à Imobilização em que esta atinge cerca de 9 g. Este valor está nos limites superiores das acelerações que o corpo humano treinado pode aguentar[33].

Felizmente, no caso dos Trampolins o atleta só terá de suportar este grande esforço durante 6/100 s.

O Quadro 18 apresenta os valores dos ângulos dos diferentes segmentos estudados, bem como a altura (y) e deslocamento (x) do CM registados na Recepção e obtidos para os diversos momentos do salto (como esclarecido no Capítulo IV 1.1.).

Quadro 18: Valores dos Ângulos dos Segmentos verificados na Recepção.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Segmentos Observados	Recepção				
1	**Ângulo de Entrada (º)** t = 5,22	Pescoço	Cabeça – Tórax	8,75 (min)				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	138,61 (max)				
		Anca	Tronco – Coxa	157,74 (max)				
		Joelho	Coxa - Perna	158,27 (max)				
		Tornozelo	Perna - Pé	105,402				
2	**Ângulo Máximo do Landing (º)** 5,22 < t < 5,38	Pescoço	Cabeça – Tórax	12,05	t = 5,36			
		Ombro	Tórax – Cotovelo	138,61	t = 5,22			
		Anca	Tronco – Coxa	157,74	t = 5,22			
		Joelho	Coxa - Perna	142,06	t = 5,3			
		Tornozelo	Perna - Pé	63,14	t = 5,3			
3	**Ângulo na Deformação Máxima (º)** t = 5,38	Pescoço	Cabeça – Tórax	11,22				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	2,11 (min)				
		Anca	Tronco – Coxa	124,67				
		Joelho	Coxa - Perna	117,73				
		Tornozelo	Perna - Pé	46,28 (min)				
				Máximo		**Mínimo**		
4	**Ângulos do Amortecimento (º)** 5,4 < t < 5,58	Pescoço	Cabeça – Tórax	-37,26	t = 5,52	-14,4	t = 5,4	
		Ombro	Tórax – Cotovelo	71,59	t = 5,58	22,54	t = 5,4	
		Anca	Tronco – Coxa	119,5	t = 5,4	51,05	t = 5,52	
		Joelho	Coxa - Perna	108,4	t = 5,42	53,20	t = 5,52	
		Tornozelo	Perna - Pé	86,89	t = 5,54	56,62	t = 5,4	
6	**Ângulo no Final do Amortecimento (º)** t = 5,58	Pescoço	Cabeça – Tórax	32,7				
		Ombro	Tórax – Cotovelo	71,59				
		Anca	Tronco – Coxa	66,9				
		Joelho	Coxa - Perna	76,24				
		Tornozelo	Perna - Pé	73,73				
				Máximo		**Mínimo**		
7	**Ângulo Máximo da Imobilização (º)** 5,58 < t < 5,64	Pescoço	Cabeça – Tórax	-32,7	t = 5,58	-15,37	t = 5,64	
		Ombro	Tórax – Cotovelo	71,65	t = 5,6	66,31	t = 5,64	
		Anca	Tronco – Coxa	96,2	t = 5,64	66,9	t = 5,58	
		Joelho	Coxa - Perna	95,89	t = 5,64	76,24	t = 5,58	
		Tornozelo	Perna - Pé	110,56	t = 5,64	73,73	t = 5,58	

Na tentativa de esclarecer detalhadamente um pouco mais esta fase final da série estudada, segmentou-se, mais uma vez, as várias articulações visadas para alguns comentários específicos:

Pescoço – Este ângulo é extremamente flutuante e atípico durante toda a acção. De registar que é positivo durante o Landing e negativo em todos os outros momentos, evidenciando uma hiperextensão desta "articulação" justificada pela tentativa de manter a cabeça na posição anatómica durante a grande flexão do Tronco à frente.

Ombro – Mais uma vez os valores obtidos para esta articulação apenas reflectem o factor equilibrador de que está encarregue nesta fase do movimento.

Anca – Durante o Landing, este ângulo diminui progressivamente. Desde o seu máximo alcançado para t = 5,22 s (entrada no trampolim) com 157,74º até aos 124,67º no momento de Deformação Máxima da tela. A Anca continua, contudo, a flectir a uma taxa crescente, alcançando o seu valor mínimo durante o Amortecimento (51,05º). Assim, desde a entrada, a flexão registada é, desta forma, superior a 105º. A partir daí, verifica-se a sua extensão até à fase de Imobilização.

Joelho – Muito à semelhança do que se observa para a Anca, este ângulo entra também no Trampolim com a sua amplitude máxima (158,27º). Observa-se, depois, a sua diminuição durante o Landing e o Amortecimento até aos 53,20º (valor semelhante aos observados durante as fases aéreas dos dois saltos engrupados em estudo). Também, tal como no caso da Anca, o valor mínimo regista-se para t = 5,52 s e o seu decréscimo desde a entrada até ao máximo é, coincidentemente, da ordem dos 105º. Até à Imobilização, regista-se ainda alguma extensão parcial do Joelho.

Tornozelo – Um valor muito próximo do máximo pode ser também encontrado no momento da entrada no Trampolim. O já usual decréscimo deste ângulo termina no momento da Deformação Máxima da membrana (46,28º). A partir deste ponto, verificam-se algumas oscilações, sendo que a tendência geral é a extensão dos segmentos envolvidos (afastando-os do CM), por forma a conseguir a Imobilização total o mais rapidamente possível.

Em conclusão, verifica-se um padrão de movimentos dos segmentos parcialmente comum mas distinto entre Landing/Amortecimento e Imobilização.

Durante os primeiros, observa-se o início da flexão dos segmentos do Trem Inferior rapidamente acentuada no Amortecimento por forma a dissipar a energia acumulada (através do abrupto fecho dos ângulos Tronco/Coxa e Coxa/Perna), aproximando os segmentos do CM do ginasta. Na Imobilização, a situação é inversa, pois, na tentativa de restabelecer o equilíbrio corporal, observa-se uma progressiva e sustentada extensão de todos os segmentos, com especial relevo para a Anca, o Joelho e o Tornozelo.

No Quadro 19 são apresentadas as diversas velocidades angulares (ω) registadas para os vários segmentos estudados no que respeita aos movimentos executados na Recepção.

Quadro 19: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados na Recepção.

	Parâmetros Gerais	Parâmetros Específicos	Recepção		
1	**Velocidade Angular na Entrada (voltas/s)** t = 5,22	Cabeça	0,23		
		Braço	1,60		
		Antebraço	0,45 (min)		
		Tórax	0,11 (min)		
		Anca	0,18 (min)		
		Coxa	0,21 (min)		
		Perna	0,84		
2	**Velocidade Angular Máxima no Landing (voltas/s)** 5,22 < t < 5,38	Cabeça	1,52 (max)	t = 5,32	 
		Braço	3,06 (max)	t = 5,32	
		Antebraço	1,56	t = 5,36	
		Tórax	1,51 (max)	t = 5,26	
		Anca	0,57	t = 5,38	
		Coxa	1,08	t = 5,34	
		Perna	2,40 (max)	t = 5,3	
3	**Velocidade Angular na Deformação Máxima (voltas/s)** t = 5,38	Cabeça	1,21		
		Braço	1,99		
		Antebraço	1,46		
		Tórax	1,26		
		Anca	0,57		
		Coxa	0,48		
		Perna	1,58		
4	**Velocidade Angular Máxima no Amortecimento (voltas/s)** 5,4 < t < 5,58	Cabeça	0,85	t = 5,5	 
		Braço	1,05	t = 5,56	
		Antebraço	1,64 (max)	t = 5,4	
		Tórax	1,34	t = 5,4	
		Anca	0,63 (max)	t = 5,44	
		Coxa	1,94 (max)	t = 5,46	
		Perna	0,59	t = 5,58	
5	**Velocidade Angular no Final do Amortecimento (voltas/s)** t = 5,58	Cabeça	0,02 (min)		
		Braço	0,74 (min)		
		Antebraço	0,49		
		Tórax	0,20		
		Anca	0,42		
		Coxa	1,04		
		Perna	0,59 (min)		
6	**Velocidade Angular Máxima na Imobilização (voltas/s)** 5,58 < t < 5,64	Cabeça	0,68	t = 5,64	 
		Braço	0,79	t = 5,64	
		Antebraço	0,53	t = 5,64	
		Tórax	0,85	t = 5,62	
		Anca	0,35	t = 5,62	
		Coxa	1,14	t = 5,6	
		Perna	0,64	t = 5,64	

No campo das velocidades angulares, de acordo com os dados do Quadro 19, verifica-se que, os valores mínimos observados se encontram no momento da entrada no Trampolim (nomeadamente para Antebraço, Tórax, Anca e Joelho).

No que respeita ao Trem Inferior regista-se a máxima velocidade angular da Perna (2,4 voltas/s) durante o Landing, enquanto a Coxa e a Anca atingem valores máximos de 1,94 e 0,63 voltas/s, respectivamente, durante a fase seguinte, no Amortecimento.

Braço, Antebraço e Tórax voltam a ter uma forte componente equilibradora do movimento durante o Landing, à semelhança do que se havia já verificado para a mesma fase da Vela.

Registe-se apenas os valores algo discrepantes para t = 5,64 s (final da Imobilização) que não correspondem à total paragem dos segmentos. Em teoria, estes valores deveriam ser 0 (zero), contudo, e dado que a Imobilização total nunca se verifica, foram considerados estes valores temporais os equivalentes à paragem final.

1.5. Comparação dos Valores Práticos de [s], [v] e [a] Calculados a Partir dos Resultados Experimentais com os Presumíveis Valores Teóricos do Movimento

Interessa realçar que as conclusões desta parte do estudo estarão incompletas enquanto se não abordar a relação entre os movimentos e as forças que os originam. Adiante far-se-á uma análise simplificada dessa matéria. Usando apenas os parâmetros cinemáticos, no entanto, podem desde já ser providenciadas determinadas conclusões parcelares de alguma importância e que se afiguram relevantes para esta dissertação.

As diferenças entre valores teóricos e práticos encontram explicação nos seguintes factores:

1) Possíveis erros provenientes do processo de digitalização manual dos registos cinemáticos;
2) A Resistência do Ar, que não é considerada no modelo teórico;
3) A consideração correcta do corpo, cuja posição do CM não é invariável em relação às extremidades de apoio – questão do corpo deformável;
4) A ocorrência de movimentos de rotação de partes do corpo que se traduzem por consumo de esforço motor;
5) A diferença entre a energia acumulada nas molas do Trampolim e aquela que é restituída.

Apresentam-se já de seguida os Quadros 20 a 23 que permitem alguma análise comparativa em relação à qual se podem tecer algumas conclusões preliminares relevantes.

Quadro 20 - Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para o Mortal Engrupado à Retaguarda.

		Ciclo Teórico			Ciclo Calculado		
		s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})	s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})
Landing	Início (I)	0,75	- 7,2	45	0,74	- 7,2	40,7
	Δ (F – I)	- 0,58	7,2		- 0,64	6,5	
	Final (F)	0,17	0		0,10	- 0,7	
TAKO	Início (I)	0,17	0	56	0,10	1,2	40,3
	Δ (F – I)	0,55	7,85		0,56	5,6	
	Final (F)	0,72	7,85		0,66	6,8	
Subida	Início (I)	0,72	7,85	- 9,8	0,66	6,4	- 9,6
	Δ (F – I)	3,14	- 7,85		2,46	5,1	
	Final (F)	3,86	0		3,12	- 1,3 ?	
Descida	Início (I)	3,86	0	- 9,8	3,12	- 0,6	- 8,6
	Δ (F – I)	- 2,4	- 6,9		- 2,57	- 6,0	
	Final (F)	1,46	- 6,9		0,55	- 6,6	

Quadro 21 – Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos entre o Ciclo Teórico e o Prático para o Barany Out.

		Ciclo Teórico			Ciclo Calculado		
		s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})	s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})
Landing	Início (I)	0,556	- 6,78	56,5	0,55	- 6,9	52,6
	Δ (F – I)	- 0,41	6,78		- 0,45	6,3	
	Final (F)	0,15	0		0,10	- 0,6	
TAKO	Início (I)	0,15	0	40,9	0,10	1,0	33,4
	Δ (F – I)	0,66	7,4		0,73	6,0	
	Final (F)	0,81	7,4		0,83	7,0	
Subida	Início (I)	0,81	7,4	- 9,8	0,83	6,6	- 9,9
	Δ (F – I)	2,79	- 7,4		2,17	- 7,4	
	Final (F)	3,60	0,04		3,0	- 0,8	
Descida	Início (I)	3,60	0,04	- 9,8	3,0	0,2	- 10,4
	Δ (F – I)	- 2,2	- 6,53		- 2,19	- 7,0	
	Final (F)	1,40	- 6,53		0,81	- 6,8	

Quadro 22 – Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para o Salto em Extensão (Vela).

		Ciclo Teórico			Ciclo Calculado		
		s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})	s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})
Landing	Início (I)	0,74	- 6,19	47,6	0,81	- 6,96	37,8
	Δ (F – I)	- 0,41	6,19		- 0,61	8,51 ?	
	Final (F)	0,33	0		0,20	1,55 ?	
TAKO	Início (I)	0,33	0	37,4	0,20	3,15 ?	31,8
	Δ (F – I)	0,48	6,0		0,90	5,09	
	Final (F)	0,81	6,0		1,10	8,24 ?	
Subida	Início (I)	0,81	6,0	- 9,81	1,10	5,24	- 8,56
	Δ (F – I)	1,83	- 6,0		1,60	- 5,24	
	Final (F)	2,64	0		2,70	0	
Descida	Início (I)	2,64	0	- 9,81	2,70	- 0,2	- 7,60
	Δ (F – I)	- 2,27	- 6,7		- 1,88	- 5,18	
	Final (F)	0,37	- 6,7		0,82	- 5,38	

Quadro 23 - Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para a Recepção.

		Ciclo Teórico			Ciclo Calculado		
		s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})	s (m)	v (ms^{-1})	a (ms^{-2})
Landing	Início (I)	0,68	- 5,7	35,6	0,68	- 6,13	39,0
	Δ (F – I)	- 0,46	5,7		- 0,50	6,13	
	Final (F)	0,22	0		0,18	0	
Amortec.	Início (I)	0,22	0	23,0	0,18	0,7	15,4
	Δ (F – I)	0,46	4,6		0,44	3,1	
	Final (F)	0,68	4,6		0,62	3,76	
Imobiliz.	Início (I)	0,68	4,6	- 76,7	0,62	- 4,42	- 92,5
	Δ (F – I)	0,13	- 4,6		0,11	3,29	
	Final (F)	0,81	0		0,73	- 1,13	

Os maiores desvios (calculados vs teóricos) verificam-se no TAKO (Mortal e Barany Out) e na Imobilização (Recepção), o que era esperado face aos maiores esforços desenvolvidos pelo ginasta nestas fases específicas. No que respeita à Imobilização, acresce ainda um outro factor de variabilidade: esta fase tem apenas 0,06 s de duração (equivalentes a 3 *frames*), o que poderá, por si só, ser causador de alguns erros provenientes da digitalização manual.

1.6. Comparação entre Impulsão à Retaguarda e Impulsão à Frente

Reflectindo a concretização de um dos objectivos deste traballho, e partindo apenas dos dados cinemáticos obtidos, tentaram-se encontrar conclusões comuns e divergentes que esclarecessem de uma forma prática e concisa, as mais importantes características associadas a ambas as formas de impulsão no Trampolim.

1 – Tal como havia sido verificado em outros estudos[21; 25], os menores ângulos dos MI registados durante as fases de contacto são observados no ponto da Deformação Máxima do Trampolim em ambos os saltos, reflectindo as flexões ao nível do Joelho e do Tornozelo implicadas na impulsão.

2 – Confirmado pela literatura[7; 16; 21], o TAKO é a fase determinante em ambos os saltos. É neste período do contacto com a tela que se definirá realmente qual o sentido da rotação e qual o deslocamento corporal (em x).

3 – De acordo com a bibliografia referenciada[21], o fulcro da rotação dos Saltos à Retaguarda situa-se no Ombro (152,3º na Deformação Máxima) enquanto nas Impulsões à Frente é a Anca (170,75º na Deformação Máxima).

4 - Através dos valores das acelerações em conjugação com os registos angulares, é possível verificar que a articulação do Joelho é decisiva na impulsão para ambas as situações, estando a sua extensão relacionada com a F produzida.

5 - A articulação do Joelho aparenta ser a mais sujeita às cargas sofridas. Esta conclusão poderá ser reafirmada (ou não) através dos valores obtidos no EMG.

6 - Em ambos os saltos é notória a importância da extensão do ângulo do Tornozelo (101º no TAKO do Mortal e 118º no final do TAKO do Barany Out), reflectida também na aceleração produzida na subida de cada salto.

7 - Os valores das velocidades angulares (ω) confirmam o anteriormente exposto no ponto 3. As maiores velocidades encontradas nas fases de contacto do Mortal para Braço e Antebraço encontram-se durante o Landing preparatório, enquanto as máximas velocidades do Barany Out para o Tórax e Anca registam-se durante o TAKO, evidenciando os vértices de rotação para ambas as impulsões:

- Ombro no Salto à Retaguarda;
- Anca no Salto à Frente.

8 – Os valores de velocidade revelam com objectividade que os bloqueios articulares (momentos de menor velocidades angulares dos segmentos) que auxiliam a produção de rotação através da criação do binário de forças ocorrem da seguinte forma:

- Impulsão à Retaguarda: Bloqueio ao nível da Anca (Deformação Máxima do Trampolim);
- Impulsão à Frente: Bloqueio ao nível do Ombro (Deformação Máxima do Trampolim).

9 – As velocidades de rotação máximas são consideravelmente mais elevadas no Salto à Frente e encontram-se concentradas (para todos os segmentos estudados) na fase aérea de subida.

10 – A conjugação dos pontos 4, 6 e 9, bem como os valores angulares para a Anca, Joelho e Tornozelo (apresentados nos Quadros 9 e 12) são conclusivos na consideração de que, no caso particular deste estudo, o Barany Out foi, ao nível da *performance* atlética, superior ao Mortal.

1.7. Conclusões Qualitativas

O registo das acelerações calculadas para as fases de voo permite diferenciar qualitativamente os três saltos envolvidos neste estudo (Os valores mencionados neste sub-capítulo encontram-se descritos nos Quadros Gerais do Movimento – 8, 11, 14 e 17 - para cada um dos saltos).

1 - Assim, e para o Mortal, é possível observar que, durante a Descida, com uma aceleração menor do que g (precisamente 8,6 ms^{-2} de aceleração), o atleta frenou o movimento, não chegando à tela com a força desejada. Este valor revela também que, talvez por uma questão de recuperação

do equilíbrio e preparação do salto seguinte, o ginasta não aumenta propositadamente a velocidade da queda, por forma a estabilizar o Landing do salto.

2 - No que respeita ao Barany Out, o seu comportamento é claramente diferente. A aceleração ascensional, semelhante a g, indicia a intenção anterior de maximizar a impulsão realizada. A Descida foi, contudo, ainda melhor, com uma a = 10,36 ms^{-2} (muito mais elevado do que g), denotando uma forte intenção de aumentar a F de entrada na tela. Este foi, nitidamente, o melhor salto efectuado.

3 - Finalmente, em relação à Vela, um salto que tem como único propósito recobrar o equilíbrio final da série com vista a uma Recepção segura, pode-se considerá-lo extremamente eficaz. Isto porque é visível a intenção de travar o movimento global (Subida: a = 8,56 ms^{-2}; Descida: a = 7,60 ms^{-2}). Repare-se, de facto, na pequena aceleração da queda, muito inferior a g, revelando o intuito de diminuir a F de aterragem final, preparando a Recepção.

4 - A aceleração revela-se, desta forma, um fantástico indicador qualitativo da *performance* dos saltadores, pois é possível, através dela, aquilatar a qualidade técnica de cada impulsão.

Um dia, com os rápidos avanços tecnológicos, tornar-se-á uma importantíssima ferramenta de treino, quando for possível obter o seu valor em tempo real, imediatamente após as execuções, e sem detrimento do movimento do ginasta, por forma a permitir prever as F que originam a subida bem como as produzidas durante a queda e que estão fortemente implicadas no salto seguinte.

1.8. Conclusões Preliminares

1 – Os esforços suportados pelos ginastas durante as fases de contacto com a tela, são, em todos os saltos, bastante violentos (correspondentes a acelerações entre 3 g e 5 g). Dada a inexistência de registos comparativos na literatura, apenas é possível observar alguma correspondência com valores obtidos em estudos de Recepções realizadas para superfícies com diferentes graus de rigidez[19; 35];

2 – É na fase de Landing seguinte ao Mortal e precedente do Barany Out que o valor da aceleração atinge o seu máximo (52,6 ms^{-2});

3 – O valor de aceleração suportada pelo ginasta durante a Imobilização final é ainda muito maior, atingindo os 9 g, embora apenas durante 6/100 s. Este valor deverá estar no limiar do estado de consciência mesmo para um ser humano treinado[33]. Esta aceleração está, contudo, aquém dos valores encontrados em trabalhos relacionados com a interacção corporal com diferentes superfícies de Recepção[19; 22; 23; 24] – contudo, estes estudos não fazem qualquer menção aos intervalos de tempo em que actuam as acelerações com tal magnitude;

4 – Convirá referir que os valores teóricos correspondentes são, de um modo geral, consideravelmente superiores durante as fases de contacto com o Trampolim das três impulsões (com acréscimos entre 7,5% e 39%). As razões destas diferenças residem, para cada fase, em alguns (ou todos) dos cinco factores apresentados no início do ponto anterior (1.6.). Note-se que para efeito desta comparação se consideraram iguais valores de Δt;

5 – Durante a Recepção final a tendência inverte-se, sendo os valores experimentais calculados para a aceleração superiores aos valores teóricos (em relação à aceleração referida em 3, estes são, cerca de 20% superiores);

6 – Esta tendência não é observada nas velocidades obtidas a partir dos dados experimentais. Os valores teóricos são, novamente superiores aos encontrados experimentalmente;

7 – As alturas máximas de voo durante os saltos tecnicamente mais elaborados são maiores para o modelo teórico do que as efectivamente alcançadas pelo ginasta. O que seria de esperar dadas as conclusões expostas na alínea 4. As causas são rigorosamente as mesmas que as aí apresentadas.

2. Análise Dinâmica Experimental

2.1. Introdução

Um estudo dinâmico pressupõe o relacionamento dos movimentos com as forças que os originam. No anexo de dados estão coligidos os valores obtidos durante os 4 ciclos (3 saltos e Recepção) para a força de reacção medida por uma plataforma de forças colocada sob um dos apoios do Trampolim.

Algumas das dificuldades levantadas por esta análise podem, desde já, ser sumariadas:

a) Enquanto a trajectória do CM podia ser seguido em vídeo e, assim, com relativa segurança medidos os parâmetros cinemáticos associados, a plataforma de forças acusa os pesos (estáticos e dinâmicos) que actuam sobre si. Assim, enquanto os indicadores cinemáticos foram medidos no ginasta (Capítulo IV 1.), as forças são avaliadas no Trampolim;

b) Não são conhecidas as características de deformabilidade (coeficiente de rigidez) do Trampolim usado no estudo. Mesmo que o fossem, e uma vez que este coeficiente varia com a distância do apoio ao limite do Trampolim, seria complicado prever a Força rigorosa em função da reacção;

c) O ginasta não coloca os apoios sempre no mesmo local do Trampolim, podendo cair em locais diferentes em x e y, repercutindo-se este facto na força registada na PF.

d) O apoio do atleta processa-se numa superfície a que corresponde sensivelmente a área de um trapézio que circunscreva os dois pés do ginasta. Este polígono teria dimensões aproximadas de: Mediana - 25 cm; Altura – 30 cm. Tal corresponde a uma área de 750 cm^2 – suficiente grande para permitir encaixar alguma margem de erro.

2.2. Simplificação

Por forma a simplificar e esclarecer algumas dificuldades expostas anteriormente, ainda que aceitando alguma margem de erro, foram introduzidas as seguintes simplificações:

a) Optou-se, para efeito do cálculo da força dinâmica que actua sobre o Trampolim, a uma análise no plano e não a uma análise tridimensional. Em 2.5. justifica-se esta opção;

b) Estudou-se por carregamento estático e medição da deformação correspondente o coeficiente de rigidez. Em todo o caso, existe a possibilidade, de a lei de Força/Deformação vir alterada pelas diferentes posições de queda. Este cálculo apenas foi usado como termo aferidor da ordem de grandeza;

c) Nas fases de contacto (Landing e TAKO) terão de ser restringidos os intervalos em relação aos considerados no estudo cinemático. A razão desse procedimento ocorre pelo facto de, nas zonas laterais do intervalo restrito, se ir processando gradualmente a transmissão de força de contacto, com a consequente variação de aceleração (ainda que muito rápida). É, no entanto, apresentada uma metodologia que não necessita desta simplificação.

2.3. Apresentação Gráfica dos Resultados Extraídos Directamente da PF

Nas figuras de 48 a 52 são apresentadas as forças medidas na plataforma de forças colocada sob um dos apoios do aparelho. As 4 primeiras [48 ; 51] referem-se às fracções dos ciclos já abundantemente descritas, durante o tempo de contacto do ginasta com a membrana.

Deve notar-se que:

- Será necessário descontar o peso do aparelho após o cálculo de força de contacto, que no caso das fases aéreas, resultará naturalmente F = 0;

- Durante as fases de contacto foi analisado neste estudo o valor máximo registado na Plataforma de Forças;

A 5ª figura apresentada (52) refere-se ao conjunto de saltos estudados e de onde se destacaram os 4 ciclos referidos. A escala dos tempos é, na ilustração, menor do que a usada nas anteriores, para fornecer uma impressão mais comum destes contactos.

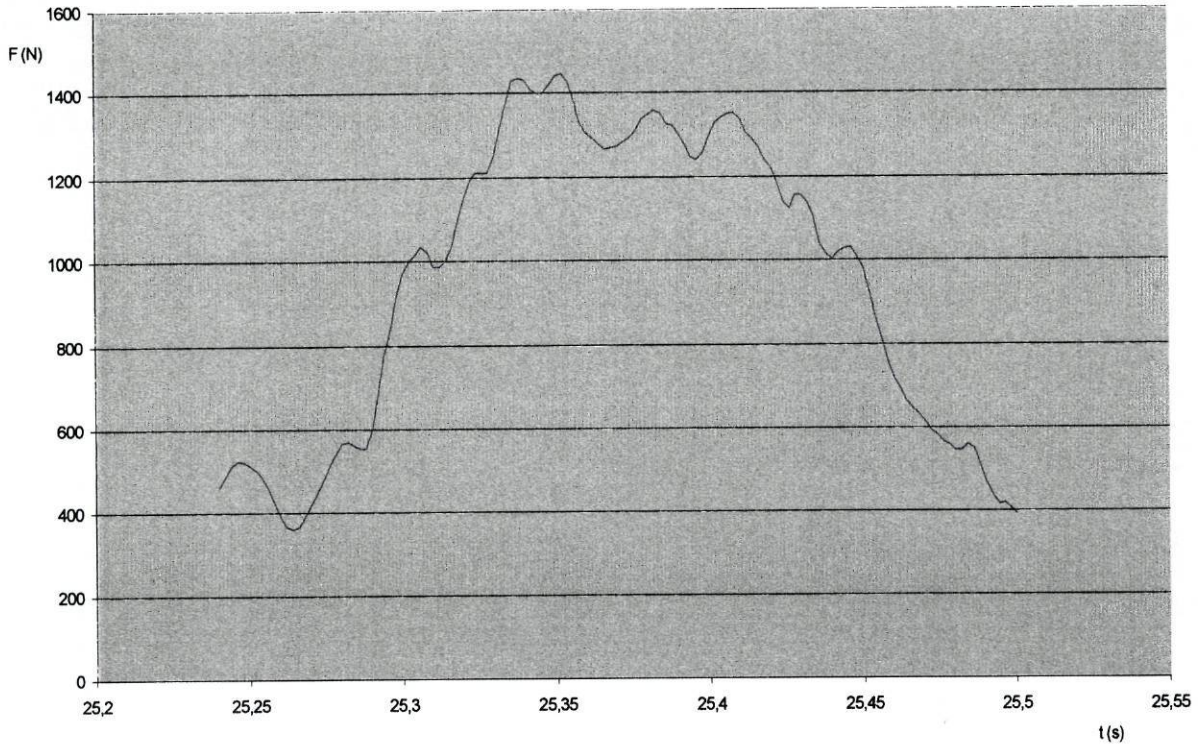


Figura 48: Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão Mortal Engrupado à Retaguarda.

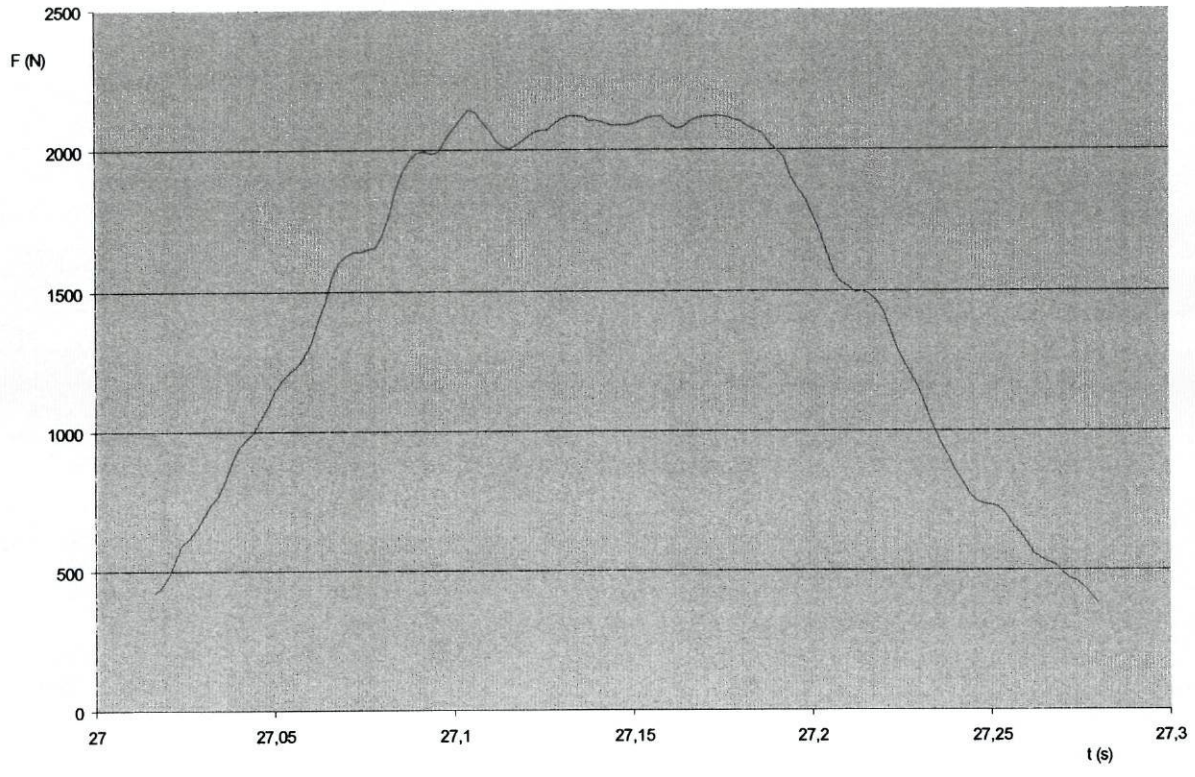


Figura 49: Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão do Barany Out Engrupado..

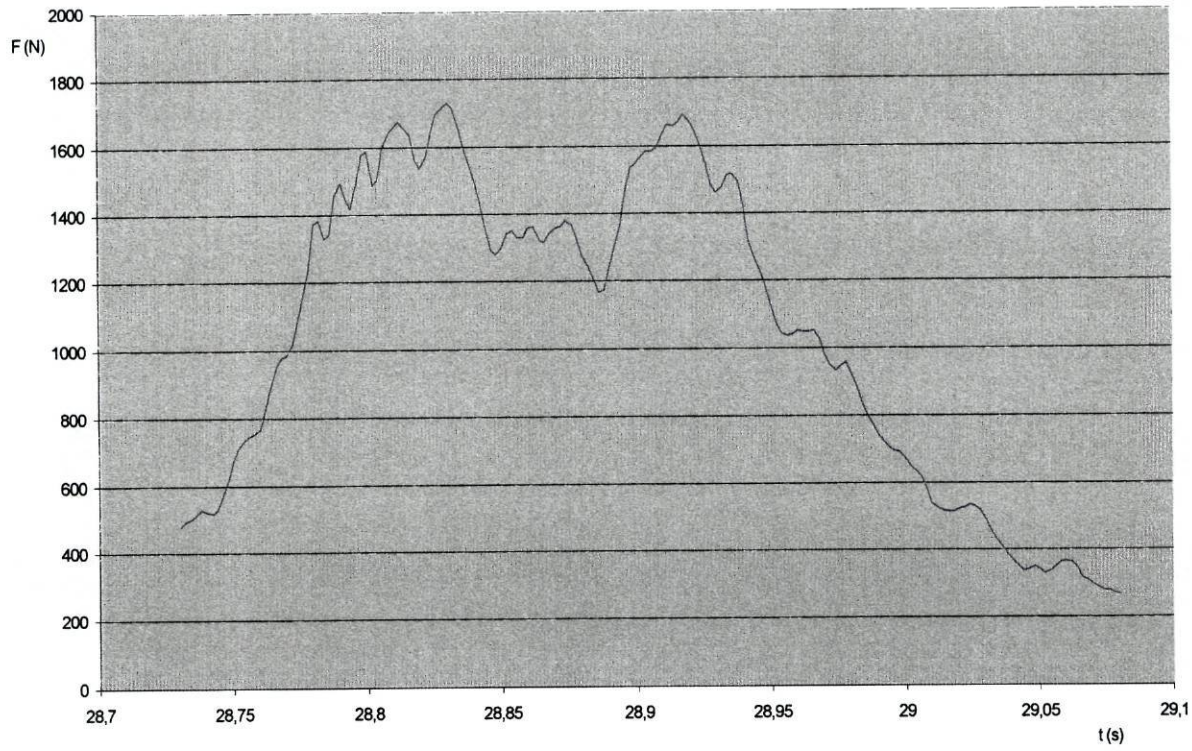


Figura 50: Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão da Vela.

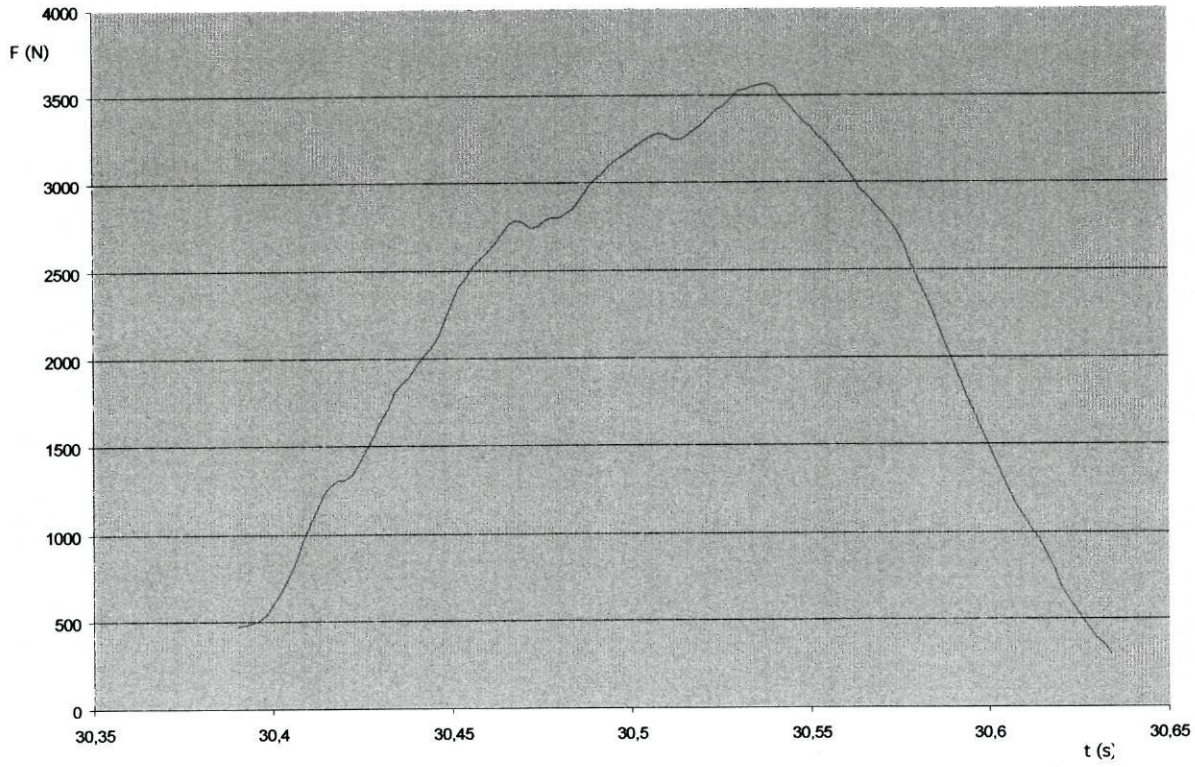


Figura 51: Registo em bruto da Força medida na PF durante a Recepção.

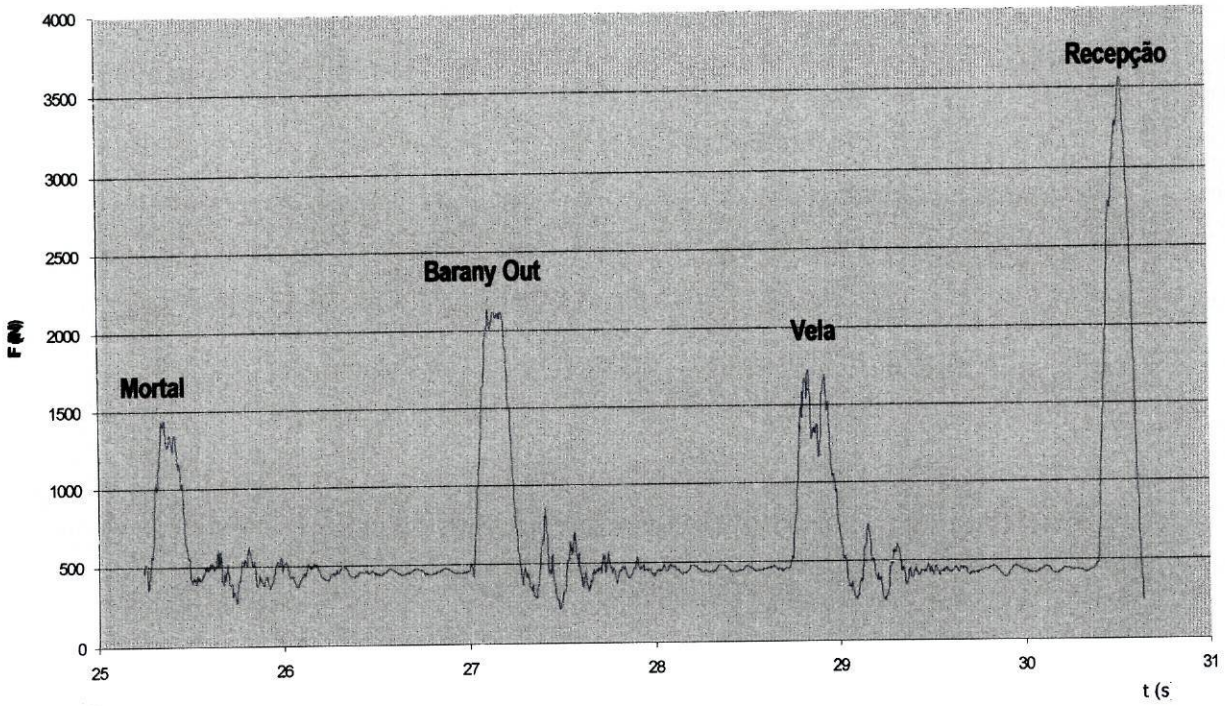


Figura 52: Registo em bruto da Força Total medida na PF durante a realização dos 4 ciclos estudados.

2.4. Estudo do Coeficiente de Rigidez

Pelas razões referidas em 2.1., o valor calculado funcionará apenas como aferidor das ordens de grandeza das forças registadas.

Considerando ser $E = 1/2\ mv^2$ (3), a energia cinética do ginasta em movimento, e admitindo-a toda canalizada para a deformação da tela, temos $U = 1/2*F^2/k_t$ (4) - energia de deformação elástica da membrana - e, então:

$E = U$, ou

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}.\frac{F^2}{K_t} \quad (5)$$ e, finalmente

$$F = v\sqrt{k_t.m} \quad (6)$$, em que:

F [N] – Força estática equivalente ao impacto do ginasta;

v [ms^{-1}] – Velocidade do primeiro contacto do ginasta com a tela;

K_t [Nm^{-1}] – Coeficiente de rigidez do Trampolim (Força necessária para povocar a deformação de 1 m);

m [Kg] – Massa do ginasta.

Na Figura 53 é indicado, graficamente, o resultado do carregamento estático do Trampolim, com as massas colocadas no seu centro geométrico e com as deformações medidas na vertical da colocação.

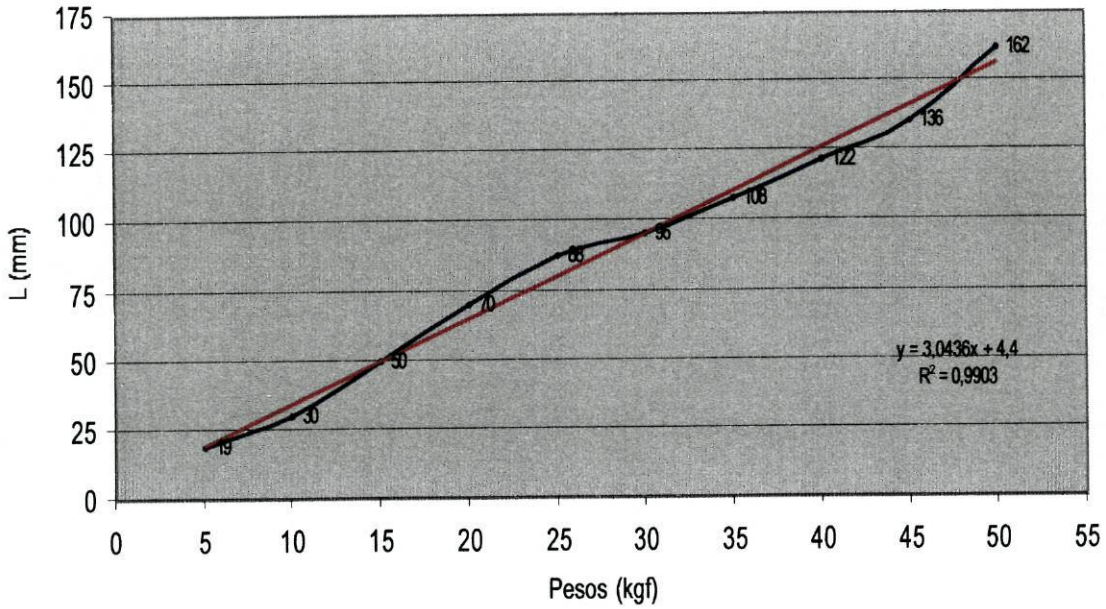


Figura 53 – Representação gráfica da deformabilidade do material quando sujeito à aplicação estática de várias cargas e da recta de regressão correspondente.

A recta de regressão indicada a vermelho na Figura 53 que substitui a nuvem de pontos observados (Pesos/Deformações) é:

Variável dependente = 3,0436 x Variável independente + 4,40

(com a primeira expressa em kgf e a segunda em mm).

O coeficiente de rigidez é, então, igual ao inverso do coeficiente angular da recta, ou seja:

$$k_t = \frac{1}{3,0436} \quad = 0,33 \text{ kgf/mm} = 3,3 \text{ N/mm} = 3300 \text{ N/m}$$

Aplicando a expressão anterior ao caso concreto ficará, tendo em conta ser de 64,5 kg a massa do ginasta:

$$F = v\sqrt{k_t.m} = v\sqrt{3300 * 64,5} = 461.v$$

Usando as velocidades de chegada (início do Landing) dos 3 saltos, virá:

- **Mortal**, em que v = 7,23 ms^{-1}, logo **F = 3335 N;**
- **Barany Out**, em que v = 6,9 ms^{-1}, logo **F = 3183 N;**
- **Vela**, em que v = 6,96 ms^{-1}, logo **F = 3211 N.**

2.5. Cálculo da Força Exercida pelo Atleta, em Função das Medições Obtidas na Plataforma de Forças

Face às dificuldades de calcular a Força de Impacto a partir dos valores obtidos na PF, cuja natureza foi exposta em 2.1., procurou testar-se a validade da aplicação do denominado "Problema da Mesa de Euler (1774)"[3] ao caso em estudo.

Procedeu-se, então, a uma análise deste problema hiperestático (já que envolve quatro equações linearmente independentes e cinco incógnitas – a Força de Impacto e as quatro reacções nos apoios do Trampolim). Com o objectivo de elevar para cinco o número de equações de ligação a metodologia em análise aceita que os quatro apoios, em situação de carga, se mantêm de tal forma posicionados que são susceptíveis de serem todos contidos no mesmo plano.

A aplicação deste método permitiu, então, o cálculo da Força de Impacto em função da localização do ponto de queda.

A Figura 54 ilustra este problema – com a apresentação esquemática da referida Mesa - e clarifica o significado dos caracteres alfanuméricos utilizados.

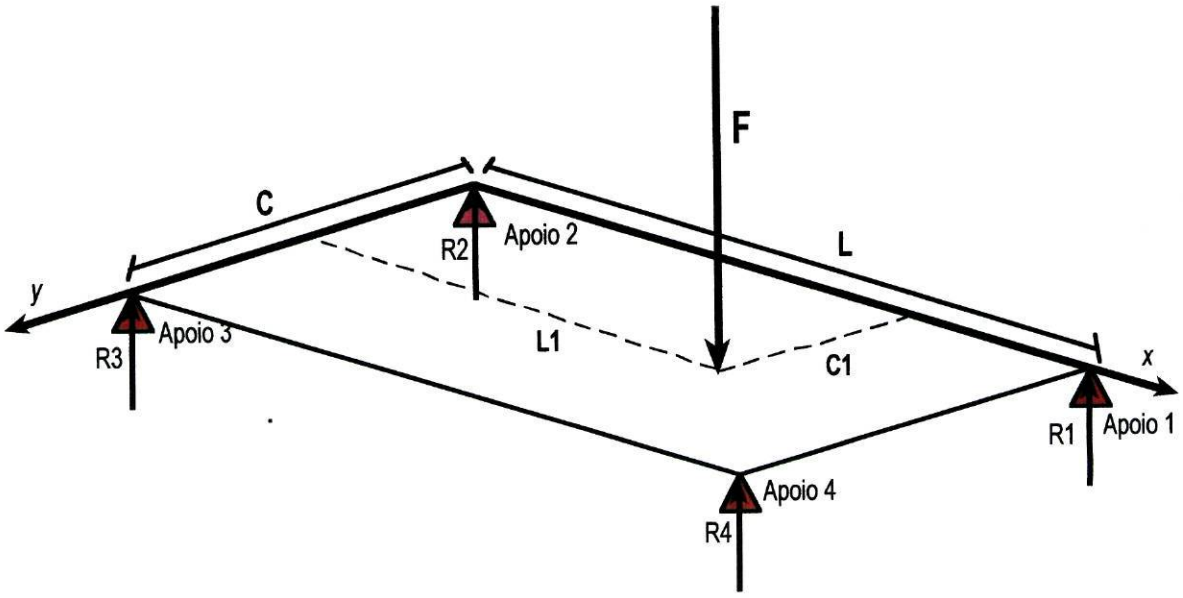


Figura 54 – Representação esquemática da Mesa de Euler, com a apresentação dos quatro apoios e das respectivas reações (R1, R2, R3 e R4) à Força de Impacto F.

Ainda de acordo com a Figura 54, os apoios fictícios foram idealizados nos vértices do Trampolim e supôs-se um sistema de eixos cartesianos com origem no Apoio 2 e em que x contem o Apoio 1 e y contem o Apoio 3. Na Figura 54:

L = 3,70 m (extensão da tela);

C = 2,00 m (largura da tela);

L1 [m] = Distância do ponto de queda ao eixo dos yy;

C1 [m] = Distância do ponto de queda ao eixo dos xx;

Ri [N] = Reacção nos apoios i resultante da Força de Impacto.

No caso em estudo foi considerado que a PF se localiza sob o Apoio 2, pelo que a reacção conhecida será R2.

O resultado final deverá ser, por aplicação da metodologia exposta:

$$F = -\frac{4 \times L \times C \times R2}{-2 \times L \times C1 + 3 \times L \times C - 2 \times L1 \times C} \qquad (7)$$

Testou-se a validade do método para duas situações diferentes:

- Situação 1 – o ponto de aplicação da força localizou-se exactamente na intersecção das diagonais do rectângulo que representa geometricamente a tela do Trampolim;
- Situação 2 – o ginasta cai exactamente sobre o Apoio 2.

Os resultados são apresentados no Quadro 24.

Quadro 24: Resultados da análise do Problema da Mesa de Euler para duas situações distintas.

	C1[m]	L1 [m]	Resultado do Problema da Mesa de Euler	Resultado esperável no caso concreto	Desvio
Situação 1	1,0	1,85	- 4 x R2	- 4 x R2	0%
Situação 2	0	0	- 1,33 x R2	- R2	33%

Confirma-se que o método testado provoca erros crescentes à medida que o ponto de aplicação da Força se afasta do centro geométrico do rectângulo. O facto seria previsível uma vez que, sendo os apoios carregados com intensidades diferentes os pontos de apoio vão deixando de ser complanares.

Procedeu-se de seguida a uma análise simplificada por redução a um plano da estrutura em estudo, considerando um corte longitudinal do Trampolim pela sua linha média.

Neste caso existiriam apenas dois apoios com as reacções R2 (contabilizada pela PF) e R1. Esta simplificação, muito comum em áreas científicas e tecnológicas, considera representativa a secção média da estrutura, pelo que a localização C1 do ponto de queda do ginasta é irrelevante. Qualquer que seja a localização do ponto de aplicação da força em relação ao eixo dos xx, o valor de R2 = R3 = 2 x PF e R1 = R4.

A Figura 55 esquematiza, de forma simplificada, um corte longitudinal no Trampolim (segundo a sua linha média) apresentando os diversos locais de projecção do CM para cada um dos contactos com a tela.

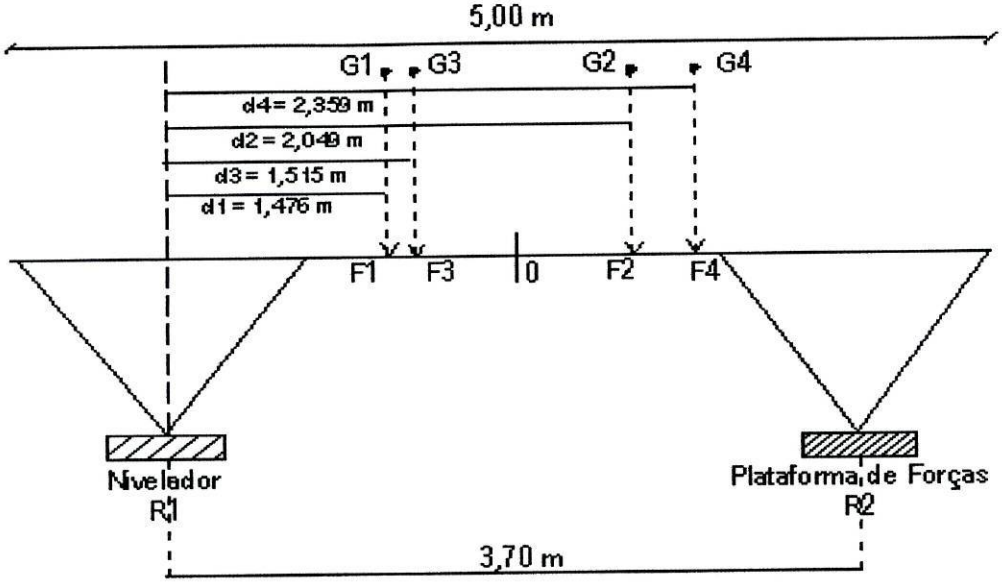


Figura 55 – Diagrama Longitudinal do Trampolim evidenciando os locais de projecção do CM do ginasta em cada contacto (G1, G2, G3, G4) com as forças correspondentes (F1, F2, F3, F4) bem como as reacções na PF (R2) e no nivelador (R1). Observe-se também as distâncias deste último aos diferentes locais de projecção do CM (d1, d2, d3, d4).

As forças Forças de Impacto (Fi) correspondentes à carga máxima na viragem Landing/TAKO para os 4 ciclos permitem que estas sejam calculadas em relação a R2 (valor registado na PF através de uma simples equação de equilíbrio de momentos no apoio R1 – nivelador) – Quadro 25.

Quadro 25: Dados do CM (di) e da Força de Impacto (Fi) para os 4 contactos.

	di (m)	Fi (N)
Mortal	1,476	2 x 2,5 x R2
Barany Out	2,049	2 x 1,8 x R2
Vela	1,515	2 x 2,45 x R2
Recepção	2,359	2 x 1,55 x R2

O peso do aparelho deve ser descontado aos valores acima calculados: Pt (Peso do Trampolim) = 1820 N.

Uma rápida verificação permite provar que, considerando os valores registados para L1 (3,70 – d1; 3,70 – d2; 3,70 – d3; 3,70 – d4), os valores calculados com esta simplificação são iguais aos conseguidos através do método de Euler, resumido na expressão 7, considerando C1 = C/2 = 1,0 m (Quadro 26).

Quadro 26: Comparação entre os valores de Fi para a simplificação planar e para o método de Euler.

	Método de Euler (C1 = 1,0 m)	Simplificação Planar
Mortal	$F = \frac{29,6 \times R2}{13,3 - 7,4} = -5,0 \times R2$	- 5,0 x R2
Barany Out	$F = \frac{29,6 \times R2}{15,6 - 7,4} = -3,6 \times R2$	- 3,6 x R2
Vela	$F = \frac{29,6 \times R2}{13,46 - 7,4} = -4,9 \times R2$	- 4,9 x R2
Recepção	$F = \frac{29,6 \times R2}{16,84 - 7,4} = -3,1 \times R2$	- 3,1 x R2

Em resumo, o método simplificado alcança o mesmo resultado que o método de Euler para o caso de o ponto de queda do ginasta se localizar sobre uma linha paralela ao eixo dos xx e à distância de 1,0 m deste.

Esta situação é razoavelmente realista, uma vez que, durante a execução dos saltos o ginasta tem deslocações longitudinais significativas mas pequenas deslocações transversais. Estas últimas são mais fáceis de controlar, pelo que o atleta tenderá sempre para linha média do Trampolim no sentido de atenuar o efeito das desacelerações de impacto e, simultaneamente, tirar o máximo partido da restituição de energia da deformação do aparelho.

Optou-se assim, claramente pelo uso da metodologia simplificada por redução ao plano destas acções dinâmicas. O Quadro 27 permite deste modo concluir sobre o valor das Forças de Impacto na perspectiva acima enunciada.

Quadro 27 : Cálculo das Forças Máximas na transição Landing / TAKO.

	Intervalo de Tempo (s)	Força Máxima Registada – R2 (N) (Figuras 48 a 51)	Força do Impacto - Fi (N) (deduzido o peso do ginasta)	**Força de Deformação Fd = Fi - mg**
Mortal	[0,09 ; 0,17]	1440	5380	**4747**
Barany Out	[1,86 ; 1,94]	2100	5740	**5107**
Vela	[3,55 ; 3,69]	1730	6650	**6017**
Recepção	[5,22 ; 5,33]	3540	9150	**8517**

2.6. Equação Geral do Movimento

As forças presentes ao longo dos ciclos referidos são a seguir seriadas, e deverão ser agregadas para calcular a resultante que determina as características do movimento.

2.6.1. Forças em Presença

2.6.1.1. A componente mais evidente é o Peso do atleta, uma vez que estamos apenas a considerar a componente vertical do movimento.

Sendo o peso um vector descendente, este será um esforço motor no caso da Descida e do Landing e uma força resistente nas fases de TAKO e Subida.

2.6.1.2. Componentes Dinâmicas do Peso

Existirão componentes dinâmicas de translação de todo o corpo, componentes dinâmicas de rotação e ainda forças de translação do CM correspondentes a flexões ou extensões dos segmentos.

A mais importante, em valor absoluto é, naturalmente, a de translação, que poderá ser calculada pelo produto de massa pela aceleração vertical. Atribuir-se-á o sinal positivo quando o movimento é acelerado e negativo quando, por ser retardado, providencia inércia auxiliadora do movimento.

Em primeira análise, agregar-se-ão as duas outras componentes sob a designação de resultante das forças musculares.

2.6.1.3. Força de Deformação de Tela

Corresponderá à força necessária para deformar a membrana, que esta acumula nas Recepções e devolve nos TAKOs. Esta será a força calculada a partir da PF, como se descreveu em 2.5..

2.6.1.4. Resistência do Ar (Arrasto Aerodinâmico)

A resistência do ar (RA) é uma força com a direcção do movimento e sentido oposto, desde que o ar esteja "parado". Assim, torna-se numa resistência ao movimento, tendendo a reduzir-lhe a sua velocidade inicial.

No caso dos Trampolins, a RA é vertical, com sentido de baixo para cima na queda e o sentido contrário no caso do voo ascensional.

Numa primeira análise, e se considerássemos uma figura plana deslocando-se no seio de um fluído (ar), poderia calcular-se a RA como a diferença de forças que actuam na parte anterior e posterior da figura plana. Num caso geral, a velocidade de deslocação a ser considerada será a velocidade relativa entre o objecto em movimento e o fluído (ar), o que permite extrapolar a situação particular para uma outra em que haja vento. O cálculo desta força pode ser feito com base nas equações de Bernoulli, que dizem respeito ao movimento de um fluído sobre um corpo parado. O termo cinético das equações de Bernoulli (o único que está associado ao movimento) permite calcular a pressão exercida pelo fluído sobre a figura plana da seguinte forma:

$$p\,[m] = \frac{v^2}{2g} \qquad (8) \qquad \text{ou} \qquad p'\,[N/m^2] = p[m] \times \delta \qquad (9)$$

em que p [m] - Pressão, em metros da coluna de fluído (neste caso o ar);

p' [N/m^2] - Pressão em N/m^2;

δ [N/m^3] - Peso específico do fluído (neste caso o ar);

v [ms^{-1}] - Diferença de velocidades ou velocidade relativa entre a figura plana e o fluído (no caso de não haver vento coincide com a velocidade da figura).

A força exercida sobre a figura plana em movimento é, então:

$RA' = p' \times A$ (10) , em que:

A [m^2] - Área da figura plana e, então:

$$RA' = \frac{v^2 \times \delta \times A}{2g} \quad (11)$$

Tomando em consideração ser o corpo humano não plano, haverá que multiplicar RA' por um coeficiente de forma que será menor que a unidade, por ser a figura em movimento mais convexa do que côncava.

Finalmente, virá então:

$$RA = \frac{C \times \delta \times A \times v^2}{2g} \quad (12)$$

Este coeficiente (C), que no aerodinamismo automóvel se denomina frequentemente Cx [2; 3] é, neste último caso da ordem dos 0,35. No paraquedismo, e dada a concavidade da superfície do pára-quedas que se oferece ao movimento $C > 1$, o que constitui o objectivo do artefacto, conseguindo-se um grande aumento da RA, por crescimento de A e C o que implica uma redução significativa da velocidade de queda.

A expressão precedente pode ainda ser simplificada porque $g = 9,81\ ms^{-2}$ e

δ (peso específico do ar) = $12,5\ N/m^3$.

Então,

$RA = C \times 0,64 \times A \times v^2$ (13)

em que

RA [N] - Força de resistência do ar;

v [ms^{-1}] - Velocidade.

Como o corpo humano não é particularmente aerodinâmico parece razoável considerar $C = 0,9$ coerentemente com Salgueiro e Ferreira (1991)[33].

Note-se que este valor não deverá ser constante, já que se alterará conforme o tipo de salto a executar. Não é, no entanto, crível, que a variação inerente à forma seja significativa [de novo coerentemente com Salgueiro e Ferreira (1991)[33]].

A área do corpo humano (projecção do sólido humano num plano perpendicular ao movimento) é fortemente variável e será, então, o que atrás se designou por figura plana em movimento.

Um movimento empranchado descendente em que o eixo longitudinal maior do corpo é perpendicular ao movimento corresponderá sensivelmente a uma área de 1,0 m^2, enquanto idêntico salto com o eixo longitudinal coincidente com a queda acarreterá uma área de 0,2 m^2.

Então, RA pode variar entre:

$RA\ (N) = 0{,}12\ v^2$

$RA\ (N) = 0{,}58\ v^2$

Embora estes valores sejam pequenos para as situações usuais de velocidade (v) nos Trampolins, não deixam de ter significado e, como tal, devem ser contabilizados numa equação geral do movimento do corpo nas diversas fases do salto.

Considerando, para simplificação do problema, aceitável por ser RA relativamente pequena, que a superfície oferecida pelo atleta à deslocação tem um valor médio entre os extremos, então:

$RA\ (N) = 0{,}35\ v^2$

Na fase de voo será ainda de considerar a resistência que o ar oferece às rotações dos atletas. Esta resistência aumenta com a velocidade de rotação imprimida pelo ginasta. A dificuldade do seu cálculo reside no facto de os diversos segmentos corporais do ginasta terem velocidades de rotação diferentes. Optou-se, então, por considerar apenas o Tronco do atleta, zona corporal de maior área, tendo-se depois dobrado este valor para calcular o valor final.

Paolo de Leva (1996) apresenta características físicas para atletas masculinos e femininos de alturas tipificadas, no que respeita às dimensões e massas dos diferentes segmentos corporais. Considerando uma proporção em relação à altura do ginasta estudado, estipulou-se ser de 0,56 m a altura do Tronco e, respectivamente 0,49 m e 0,32 m as suas larguras ao nível do Ombro e da Anca. Teríamos assim uma área do Tronco de 0,23 m^2. O coeficiente de forma deverá ser praticamente igual à unidade, neste caso de rotação.

Assim, a área considerada para este efeito foi de 0,5 m^2, pelo que $RA' \approx 0{,}30\ v'^2$, semelhante à expressão obtida para a translação (em que RA' é a resistência do ar para as rotações). O cálculo da velocidade média de rotação do Tronco forneceu 3,5 ms^{-1} como valor adequado.

Então, RA' = 5 N.

Adiante, este valore será considerado constante ao longo do voo (simplificação) e nulo nas fases de contacto com a tela, já que aqui as rotações são desprezíveis e as translações produzem menor efeito.

2.6.2. Conclusão

Em qualquer instante o somatório das forças motrizes deve ser igual ao homólogo das forças resistentes. Colocando as primeiras dum lado da equação geral e as seguintes do outro, virá:

$$\mathbf{Fm + P = RA + RA' + Fd + m.a} \quad (14)$$, na Descida e no Landing, ou

$$\mathbf{Fm + Fd = P + RA + RA' + m.a} \quad (15)$$, no caso da Subida e do TAKO.

Resumidamente:

$$\mathbf{Fm = \pm P + m.a + RA + RA' \pm Fd,} \quad (16)$$ em que,

Fm [N] – Forças musculares produzidas pelo atleta no conjunto dos seus segmentos corporais para reagir aos impactos e impulsões, produzir rotações, flexões e extensões;

P [N] – Peso estático do ginasta (**-** na descida e **+** na subida);

m [kg] – Massa do corpo do ginasta;

a [ms^{-2}] – Componente vertical da aceleração exercida no CM do atleta (a é **+** nas acelerações e **–** nas desacelerações). Os valores usados correspondem aos determinados nos Quadros Gerais do Movimento (Capítulo IV 1.4.);

RA [N] – Resistência do ar ao movimento de translação (**+**);

RA' [N] – Resistência do ar ao movimento de rotação (**+**), considerada constante e igual a 5 N nas fases de voo e nula nas fases de contacto;

Fd [N] – Forças de deformação elástica calculadas em função do registo da Plataforma de Forças (Nas fases de voo, Fd = 0). O sinal positivo deve ser usado no Landing (oposição ao movimento) e o negativo no TAKO (impulso ao movimento);

A equação escrita deve ser aplicada para instantes singulares.

2.7. Aplicação Prática

2.7.1. Generalidades

A equação geral do movimento implica um contínuo equilíbrio entre as forças que induzem o movimento e aquelas que se constituem como resistências à deslocação. Assim, em cada instante, existem variações nessas forças, que constantemente se influenciam mutuamente. A título exemplificativo cite-se o seguinte: se um movimento é acelerado (queda livre), a resistência do ar aumenta ($RA = k_t.v^2$), o que deve ser compensado por uma redução da aceleração (admitindo que as outras forças se mantêm constantes). Se o espaço a percorrer fosse suficiente, como acontece nos saltos de avião em queda livre, a aceleração tendencialmente anular-se-ia, e o movimento seria praticamente uniforme, a partir de certo tempo de voo.

Para limitar a extensão desta aplicação prática da equação geral do movimento, pode-se resumir o estudo de cada salto a algumas situações particulares:

- O atleta atingiu o ponto máximo de altura do salto (transição Subida/Descida);
- O atleta localiza-se imediatamente antes do Landing ou imediatamente após o TAKO;
- O atleta situa-se na viragem do Landing para o TAKO, sendo máxima a Fd.

Nestas três situações de transição o valor de Fd transmitida ao ginasta é nulo.

Para cada salto foram estudados os oito (2 x 4) instantes acima mencionados:

- Final da descida em queda "livre" ≡ início do Landing;
- Final do Landing ≡ Início do TAKO;
- Final do TAKO ≡ Início da subida;
- Ponto mais alto do voo (final da subida ≡ início da descida)

2.7.2. Fases de Voo

Simplifica-se o estudo apresentado através dos valores dos Quadro 28 e 29.

Quadro 28: Valores parcelares (expressos em N) para a Equação Geral do Movimento nas fases aéreas.

		± P	m.a	RA	RA'	± Fd	Fm	
							Início	Fim
Mortal	Subida	633	- 618	14 / 0	5	0	34	20 *
	Descida	- 633	555	0 / 18	5	0	- 73 *	- 55
Barany Out	Subida	633	- 640	15 / 0	5	0	13	- 2 **
	Descida	- 633	668	0 / 17	5	0	40 **	57
Vela	Subida	633	- 552	10 / 0	5	0	96	86 ***
	Descida	- 633	490	0 / 17	5	0	- 138 ***	- 121

(*); (**); (***) Os valores devem ser de sinais contrários, o que se verificou. No entanto, e como deveriam ser teoricamente iguais em módulo, deverão sofrer a correcção indicada no Quadro 29.
É de notar que os valores provenientes da digitalização correspondem a intervalos de 0,02 s pelo que seria legítimo encontrar diferenças entre um instante final de uma fase e o inicial da fase sequente. Acresce serem estes instantes de transição aqueles que correspondem a maiores variações de esforços musculares.

Quadro 29: Valores corrigidos (expressos em N) para a F muscular (através da média dos valores na Subida e na Descida).

	Fim da Subida	Média	Início da Descida
Mortal	20 ↓	**46 ↓**	73 ↓
Barany Out	2 ↑	**21 ↑**	40 ↑
Vela	86 ↓	**121 ↓**	138 ↓

As setas indicam o sentido da impulsão proporcionada pelo esforço muscular desenvolvido.

- O valor estático do peso é de 64,5 kg x 9,81 ms^{-2} = 633 N. Os sinais serão – para o sentido da descida e + para a subida (esforço resistente).

- A componente dinâmica do peso (devido à translação do corpo considerado rígido) será obtida através da F = m.a (2ª lei de Newton). As acelerações foram extraídas dos Quadros relativos aos parâmetros cinemáticos (Capítulo IV ponto 1.4.) e resultantes das medições experimentais. Havendo maior consistência na variação do espaço percorrido, a aceleração foi calculada por dupla derivação da função s = f(t), com os riscos inerentes a essa operação.

- A RA foi calculada pela expressão RA = 0,35.v^2, conforme em 2.6.1.4., o que significa que se consideram constantes a área do atleta projectada no plano perpendicular ao movimento. As

velocidades dizem respeito ao último instante da Descida e ao primeiro da Subida, alturas em que a velocidade é máxima.

A RA decresce de forma parabólica, nas duas fases, sendo nula no ponto mais alto do voo. A este valor variável devido à translação do atleta junta-se uma RA' constante de 5 N devido aos movimentos de rotação.

- O somatório destas três componentes deveria ser nulo, uma vez que não há qualquer contacto do ginasta com a tela durante estas fases de voo. Assim não acontece porque o atleta está a exercer força muscular (de rotação e translação interna do CM) que, então, realmente anula o total das forças em presença nesta análise dinâmica.

- Verifica-se que as forças musculares totais exercidas pelo ginasta para efeitos de conseguir as rotações, as flexões e as extensões necessárias não são, no seu conjunto, muito elevadas. No entanto, esta conclusão exige uma leitura mais cuidadosa. As forças imprimidas para conseguir as rotações, flexões e extensões (variações internas da posição do CM) poderão ter sinais contrários (na sua projecção vertical), o que implica que uma parcela desta soma algébrica pode ser maior que o total.

A separação entre os dois tipos de forças musculares (rotações e translações) é muito mais exigente em termos de conhecimentos teóricos e possibilidades de experimentação, nomeadamente no que respeita às forças segmentares, saindo assim, das pretensões desta tese.

2.7.3. Fases de Contacto

Apresenta-se de seguida o Quadro 30, que evidencia o estudo para o instante de Máxima Deformação da membrana. Este momento, tal como sucedeu durante a fase de voo para a altura máxima atingida pelo ginasta é analisado à esquerda e à direita (final do Landing e início do TAKO). O Quadro 31 apresenta as correcções efectuadas ao obter-se as médias das duas forças musculares calculadas para o mesmo instante.

Quadro 30: Valores parcelares (expressos em N) para a Equação Geral do Movimento nas fases de contacto.

		± P	m.a	RA	RA'	± Fd	Fm	
							Início	Fim
Mortal	Landing	- 633	- 2624	0	0	4747	**	1490*
	TAKO	633	2600	0	0	- 4747	- 1514*	34
Barany Out	Landing	- 633	- 3390	0	0	5107	- 55	1084*
	TAKO	633	2152	0	0	- 5107	- 2322*	13
Vela	Landing	- 633	- 2386	0	0	6017	57	2998*
	TAKO	633	2051	0	0	- 6017	- 3333*	96
Recepção	Landing	- 633	- 2461	0	0	8517	- 121	5423*
	Imobil.	633	5966	0	0	- 8517	- 1918*	**

(*) Os valores devem ser de sinais contrários, o que se verificou. No entanto, e como deveriam ser iguais em módulo, deverão sofrer a correcção indicada no Quadro 31.
(**) Instantes em que não foi colhida informação experimental suficiente.

Quadro 31: Valores corrigidos (e expressos em N) para a Força muscular (através da média dos valores no Landing e TAKO).

	Fim do Landing	Média	Início da TAKO
Mortal	1490 ↑	1502 ↑	1514 ↑
Barany Out	1084 ↑	1703 ↑	2322 ↑
Vela	2998 ↑	3165 ↑	3333 ↑
Recepção	5423 ↑	3670 ↑	1918 ↑

1 – A aceleração apresentada na 2ª coluna do Quadro 30 resultou do estudo cinemático que, de forma aproximada, se pretende validar com a análise dinâmica;

2 – RA = RA' = 0, já que v = 0, tal como $\omega = 0$ (na transição Landing/TAKO).

3 – As forças de deformação resultaram da forma atrás explicada a partir dos valores medidos na PF (Quadro 27).

4 – Consistentemente, Fm (Landing) = - Fm (TAKO). Sendo uma única força, aparecerá com o sinal + quando corresponder a uma resistência ao movimento e – quando funcionar como esforço motriz. Seria inevitável que Fm tivesse sinais diferentes nos "dois instantes" considerados.

Mais reconfortante seria verificar que, em módulo, as forças resultavam aproximadamente iguais. Esse facto confirma-se no Mortal e na Vela. No Barany Out e na Recepção existe forte divergência entre Fm no Landing e no TAKO. A rapidez de variação da velocidade na vizinhança do ponto mais baixo do exercício terá determinado imprecisões no processo de digitalização que, ampliadas pelas simplificações efectuadas, vieram a resultar nas divergências assinaladas. Admite-se que, ao realizar a média destes valores discrepantes, se tenda a reduzir erros, por forma a não distorcer conclusões.

No caso da Recepção os valores apresentados dizem respeito a instantes separados por 0,06 s o que auxilia a explicar as divergências encontradas.

5 – Tendencialmente, Fm é menor no "instante anterior" ao final do Landing do que no "instante seguinte". Sendo um facto que se repete, parece mostrar a intenção do ginasta para conseguir maior altura na Subida. A tendência inverte-se de forma clara na Recepção. Este facto é consistente com a realidade já que neste movimento o atleta pretende interromper o movimento.

6 – Os valores apresentados (Fm) são significativamente elevados, particularmente no 3º salto (3165 N) e, especialmente na Recepção (3670 N). Este esforço corresponde essencialmente ao trabalho dos MI do ginasta ao reagir ao impacto da aterragem e ao impulso da expulsão da tela. Os valores obtidos são superiores aos alcançados no estudo referenciado[34] que tentou chegar a idênticos valores através de métodos de predição de forças (dinâmica inversa).

7 – É relevante salientar que em Fm estão ainda contidos os esforços produzidos para girar ou produzir rotações, bem como os correspondentes a flexões e extensões dos segmentos.

8 – Seria importante que, na sequência deste estudo e de outros do mesmo tipo, fosse possível quantificar rigorosamente os parâmetros cinemáticos das rotações dos diferentes segmentos corporais e trabalhar esses valores por forma a calcular as forças que provocam as rotações. Esta quantificação proporcionará um treino da Força Muscular exterior ao Trampolim verdadeiramente objectivo e dividido pelas diferentes partes do corpo.

Por subtracção a Fm do seu simétrico conhecer-se-iam as forças que frenam ou impulsionam as translações com idênticas vantagens para o treino desta modalidade.

2.7.4. Representação Gráfica Geral das Várias Fases de um Salto-Tipo (Figura 56)

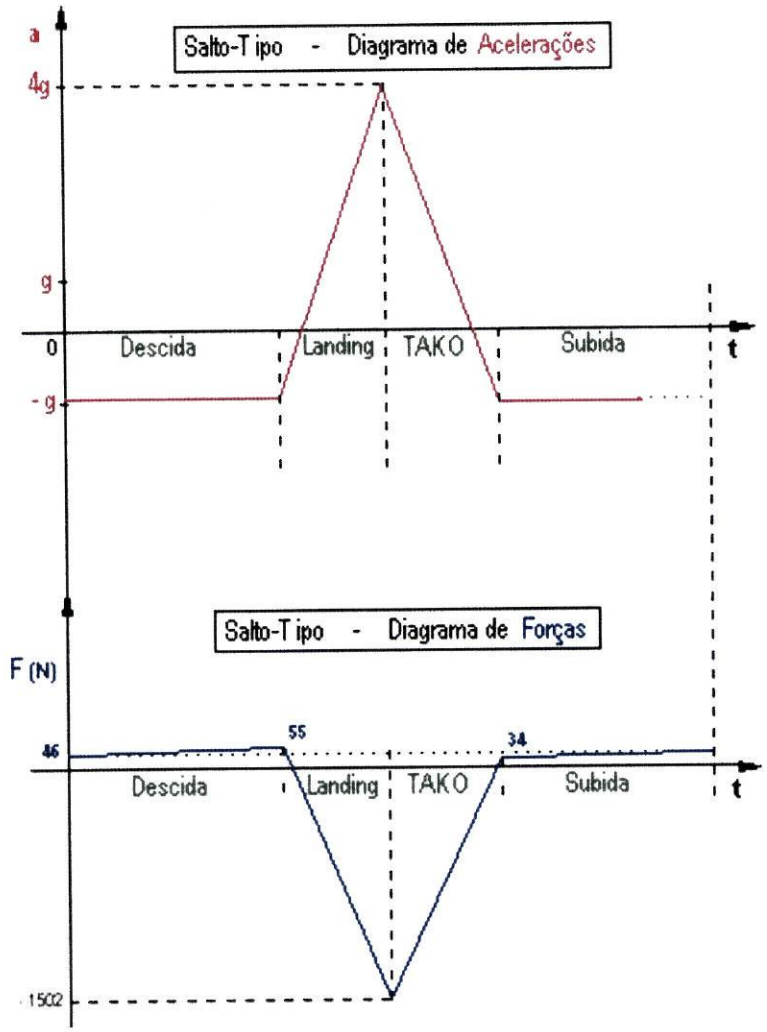


Figura 56: Representação gráfica geral das várias fases de um Salto-Tipo no que respeita à Aceleração e à Força (neste caso utilizaram-se os dados do Mortal Engrupado à Retaguarda).

Esta representação gráfica pode ser analisada como a consequência directa da Figura 30 (Capítulo IV 1.3.6.). Enquanto esta última foi uma teorização do movimento com base nos dados e pressupostos cinemáticos extraídos deste estudo, a representação agora apresentada, tem por base o inédito estudo dinâmico realizado. Neste caso, as acelerações não são entendidas como constantes durante as fases de contacto ou mesmo com mudanças instantâneas de sinal. Visualmente, é possível observar neste gráfico (Figura 56) a correspondência entre a progressão das acelerações e das forças ao longo das quatro fases do salto.

Apesar de, para o Salto-Tipo em ambos os Diagramas (Acelerações e Forças), se terem utilizado os dados recolhidos no Mortal Engrupado à Retaguarda, qualquer representação gráfica das outras duas impulsões efectuadas (exceptuando a Recepção) teria semelhantes traçados.

2.8. Valor Médio da Força Registada na PF

Na tentativa de chegar de uma forma ainda mais abrangente a todos os treinadores e intervenientes nesta modalidade, procurou-se calcular o valor médio da F exercida/sofrida pelo ginasta durante as impulsões. Contudo, pelas razões anteriormente expostas (relacionadas com os diferentes pontos de projecção vertical do CM, das rotações, flexões e extensões), este será tão somente um valor-guia para séries de Trampolim. Saliente-se que esta série foi desenvolvida com 16 impulsões e Recepção final (5 velas preparatórias, 5 mortais à retaguarda engrupados, 5 barany out engrupados, 1 vela de controlo e Recepção Final com Imobilização).

É, indubitavelmente, uma série banal no treino de Trampolins, realizando os ginastas várias séries semelhantes num normal dia de treino. A duração desta série foi, sensivelmente, de 40 s.

A título de exemplo, e com estes dados temporais para uma série se durante um treino com 6 ginastas e um Trampolim, cada um subirá ao aparelho com intervalos de 4 minutos entre execuções. Ao fim de 40 minutos de treino no Trampolim, terão realizado 10 séries, podendo chegar às 20 séries após 1 hora e 20 minutos de prática.

Através dos registos na PF, foi possível quantificar a F média realizada durante esta série estudada:

Valor na PF: 876,6 N

Valor Final: 1690,4 N*

* Este valor final foi obtido pelo produto simples do valor encontrado na PF por 4 (4 apoios) subtraído do peso do Trampolim – versão rudimentar que pressupõe o Landing de todas as impulsões, no centro do Trampolim.

É a todos os responsáveis por esta modalidade que se pretende fazer chegar o valor acima mencionado.

Um atleta nacional realiza em cada contacto com a tela, em cada impulsão no Trampolim, uma F média de 172,3 kgf (valor calculado para uma série com as características anteriormente descritas). Este valor é mais de 2,5 vezes o peso do atleta implicado neste estudo.

Os cálculos de multiplicação inerentes a este valor (pelo número de saltos/série; pelo número de séries/treino; pelo número de treinos/semana;...) deverão ser individualizados e deixados à consideração de cada um (especialmente aos responsáveis e intervenientes técnicos deste

Desporto, sobretudo no capítulo da preparação dos treinos e do papel da Força enquanto Capacidade Condicional ou Condicionante.

De qualquer forma, e reportando-nos ao exemplo anterior:

Em 1 hora e 20 minutos de treino, teremos

20 séries de 16 impulsões/treino = 320 impulsões/treino;

como,

Força média de 1 impulsão ≈ 172,3 kgf

então,

Força média realizada por um ginasta durante um treino em Trampolins ≈ 55.136 kgf.

3. Resultados do Estudo EMG

Os dados registados na pesquisa EMG foram, de certo modo, uma revelação. Não só pela escassez de outros estudos relacionados com esta temática mas, e muito especialmente, pelos próprios valores obtidos e as conclusões que destes podem ser extraídas.

No que respeita à estruturação da cadeia cinética, foram registados tempos de activação nem sempre aproximados dos observados por Ivanova e Makarov (1996)[18] – Quadro 33.

De facto, a actividade eléctrica dos 5 músculos estudados revelou que o primeiro a ser activado foi o Tibial Anterior (452 ms antes do contacto com o Trampolim), registando o seu máximo de actividade 351 ms antes do contacto.

Curiosamente, e julga-se que devido à sua acção antagonista, registou-se alguma actividade eléctrica dos Gémeos (não sendo, contudo, a maior vaga registada por este músculo). Ainda assim, a primeira grande onda de actividade eléctrica destes flexores plantares iniciou-se 220 ms antes do contacto com o Trampolim. Apesar disto, e cruzando os vários dados disponíveis, verifica-se que não há sincronização e consequente equiparação entre a actividade eléctrica registada nesta fase com os registos cinemáticos efectuados ao nível da articulação do tornozelo (Capítulo IV 1.4.). Julga-se pois, que estes valores reflectem apenas uma pré-activação para a segunda vaga de actividade eléctrica deste grupo muscular, pelo que o seu comportamento neste dado momento não será directamente decisivo na acção.

Contrariamente, e considerado fulcral em todo o desenvolvimento deste movimento, temos o segundo músculo a ser eficazmente activado – o Quadricípede, na porção estudada do Vasto Interno, (120 ms antes do contacto com o Trampolim). O pico de actividade eléctrica registado neste músculo deu-se 114 ms após o contacto, em plena fase de Landing e a ínfimos 50 ms do início do TAKO.

Ainda antes do contacto (110 ms) registou-se o início da actividade eléctrica do Grande Glúteo. Contudo, a intervenção deste extensor da Anca é consideravelmente pequena (0,0305 v no pico da acção). Comparado com o Vasto Interno (2,648 v) é 86,8 vezes menor. Desta forma, será prudente questionar a fraca intervenção do Grande Glúteo em exercícios em Trampolim.

Apenas 52 ms antes do contacto, regista-se o início da actividade eléctrica dos Isquiotibiais (Bícipede Crural). Este músculo tem um padrão de actividade eléctrica particularmente fascinante. O seu máximo dá-se 24 ms após o início do TAKO, mas só cessa a sua actividade no momento de saída da tela, ou seja, no final do TAKO, na fase final da impulsão.

Conclui-se que este grupo muscular desempenha duas funções essenciais:

1 – enquanto flexor do Joelho no início da sua actividade, preparando a entrada na tela e o Landing do salto;

2 – enquanto extensor da Anca, onde se regista o seu máximo de actividade eléctrica imediatamente após a Deformação Máxima da tela no início do TAKO.

Imediatamente depois dá-se a segunda grande vaga de actividade eléctrica muscular registada nos Gémeos (30 ms antes do contacto), sendo que o pico máximo é observado pouco depois (33 ms após o contacto) em plena fase de Landing. Verifica-se, ainda, uma actividade muito intensa e "precoce" dos flexores plantares que continuam, contudo, com alguma actividade durante o TAKO e mesmo após a saída (154 ms após o contacto e durante os 256 ms seguintes).

No Quadro 32 e nas Figuras 57, 58 e 59 é visível a estrutura temporal da cadeia cinética e a intervenção muscular dos diferentes grupos estudados. No Quadro 33 é possível estabelecer uma comparação dos valores obtidos neste estudo com os anteriores observados por Ivanova e Makarov (1996)[18] num outro estudo com iguais pretensões de medir *in loco* a activação muscular e a estruturação da cadeia cinética em Trampolins.

Quadro 32: Estrutura da Cadeia Cinética Muscular de acordo com o início da activação e os três maiores picos de actividade (encontram-se a vermelho os momentos em que se registaram os valores máximos para cada músculo).

	Início da Activação		**1º Pico**		**2º Pico**		**3º Pico**	
	Acção	Fase do Salto	Acção	Fase do Salto	Acção	Fase do Salto	Acção	Fase do Salto
Tibial Anterior	**- 542 ms**		**- 351 ms**					
	Início Flexão Dorsal	Fase final da Descida	Máximo Flexão Dorsal	Preparação Landing				
Gémeo	**- 220 ms**		**- 120 ms**		**+ 40 ms**		**+ 154 ms** (regista-se um plateau com 256 ms de duração)	
	Pré-activação dos Flexores Plantares	-	Pré-activação dos Flexores Plantares	-	Máximo dos Flexores Plantares	1ª metade do Landing	Flexão Plantar	Final do TAKO e início da síada
Quadricípede (Vasto Interno)	**- 120 ms**		**- 20 ms**		**+ 114 ms**		**+ 290 ms**	
	Flexão da Anca	Preparação da Landing	Início da Extensão do Joelho	Preparação do Landing	Máximo dos Extensores do Joelho	50 ms antes do início do TAKO	Extensão do Joelho	Final do TAKO
Grande Glúteo	**- 110 ms**							
	Flexão da Anca	Preparação do Landing						
Bícipede Crural	**- 52 ms**		**+ 200 ms**		**+ 342 ms**			
	Flexão do Joelho	Preparação do Landing	Máximo dos Extensores da Anca	Após início do TAKO	Final da Extensão da Anca	Final do TAKO e início da fase aérea		

Nota: Nos valores apresentados é considerado como ponto 0 (zero), o momento de contacto com o Trampolim.

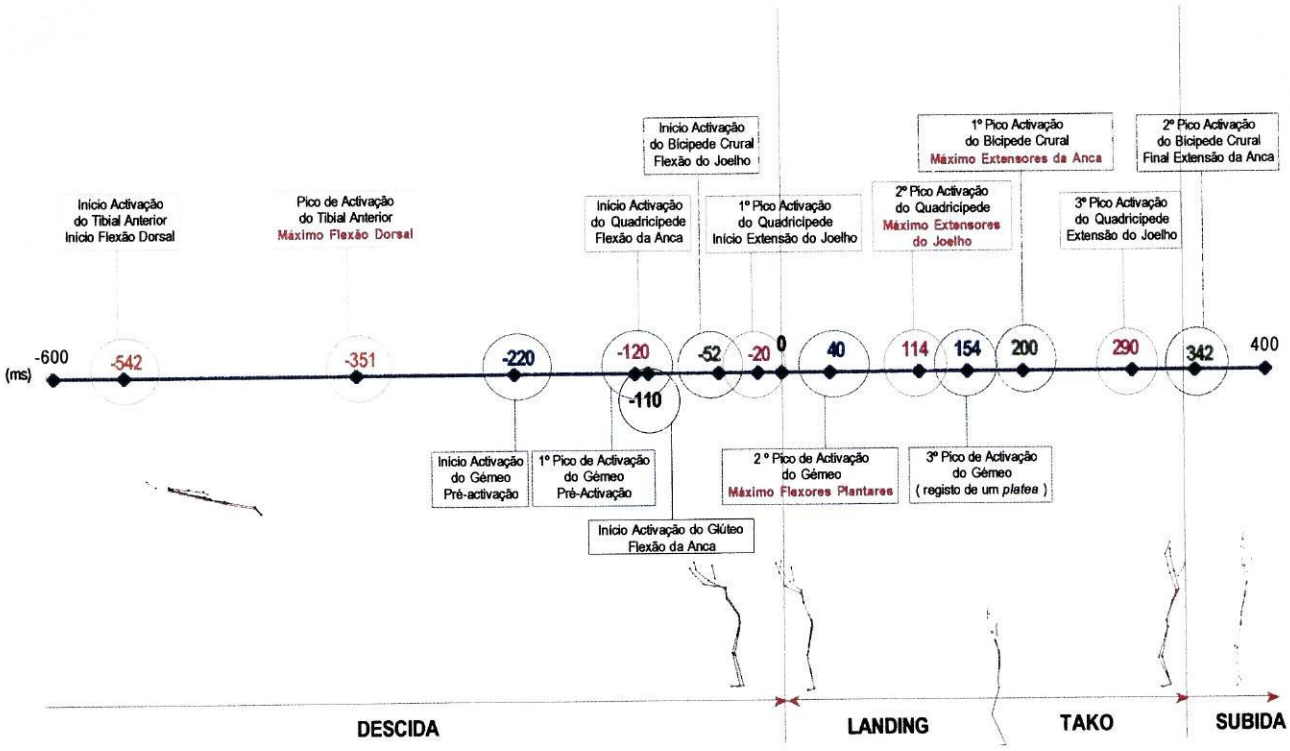


Figura 57: Estrutura da Cadeia Cinética Muscular de acordo com o início da activação e os três maiores picos de actividade durante as quatro fases do salto. Esta Figura permite a visualização imediata dos valores apresentados no Quadro 32, pelo que é, de certo modo, complementar deste.

Quadro 33: Comparação entre os valores EMG para os tempos de activação muscular encontrados por Ivanova e Makarov (1996)[18] e o presente estudo. Todos estes valores são anteriores aos momentos de contacto com o Trampolim (tendo, por isso, ocorrido duurante a fase aérea).

	Ivanova e Makarov (1996)[18]		Actual Estudo		
1º	Tibial Anterior	256 ms	542 ms	Tibial Anterior	1º
2º	Bícipede Crural	94 ms	220 ms	Gémeo	2º
3º	Gémeos	84 ms	120 ms	Quadricípede	3º
4º	Quadricípede	62 ms	110 ms	Grande Glúteo	4º
			52 ms	Bícipede Crural	5º

A explicação destes valores, até certa medida discrepantes, deverá estar, em grande parte associada às diferenças registadas na realização dos testes experimentais. O estudo russo envolve impulsões isoladas de alturas pré-definidas, enquanto que o presente trabalho tem como ppreetensões obter resultados relacionados com a situação real e, como tal, implica impulsões sequenciais e imediatas, sem cariz isolado ou independente.

Contudo, se retirarmos do Quadro 33 os valores respeitantes ao Bícipede Crural, é possivel verificar que há uma próxima relação entre ambas as cadeias cinéticas: 1º Tibial Anterior; 2º Gémeo; 3º Quadricípede.

A Figura 58, complementar do Quadro 32, possibilita a verificação da diferente actividade eléctrica muscular com os respectivos momentos de activação de acordo com as várias fases do salto.

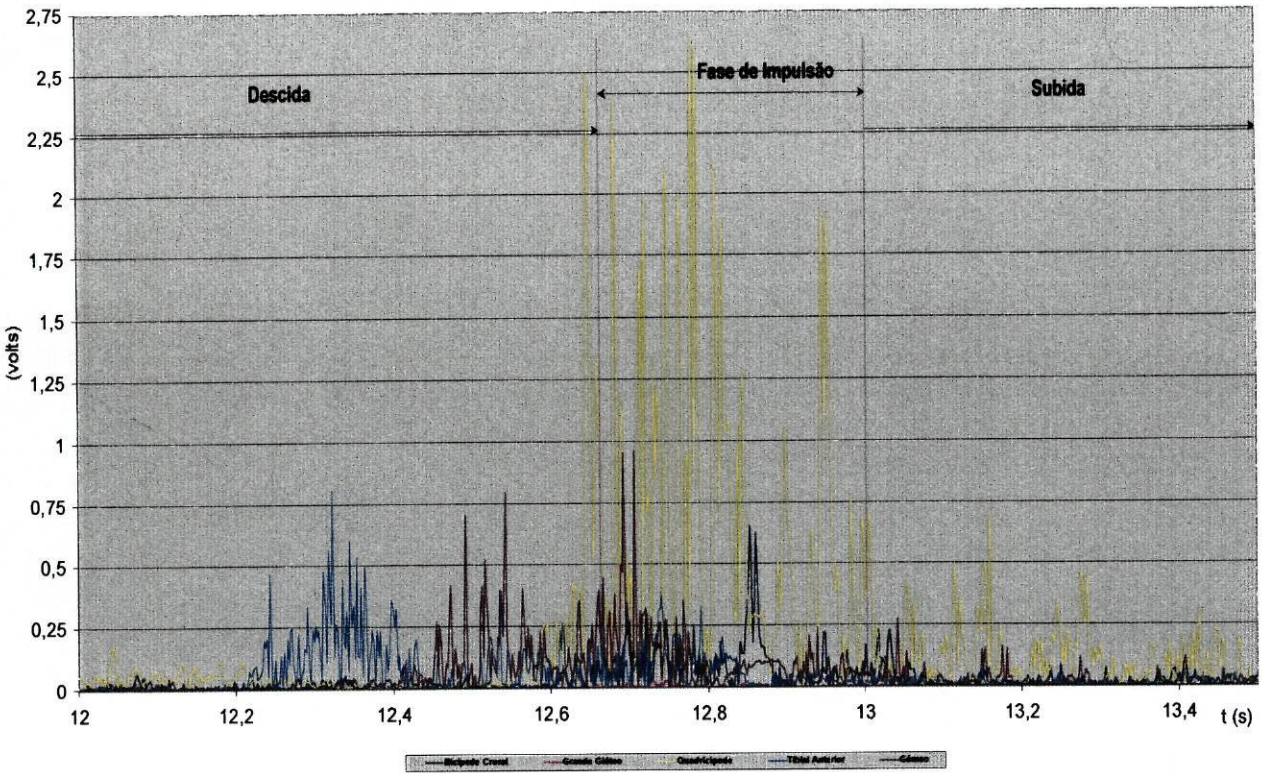


Figura 58: EMG Rectificado envolvendo os 4 ciclos estudados (Descida/Landing/TAKO/Subida).

No Quadro 32 e na Figura 57, os tempos registados foram agrupados de acordo com os momentos de ocorrência de picos de actividade eléctrica, sendo descrita qual a consequente acção muscular e/ou mecânica prevista. Contudo, a Figura 58 revela-se de maior clareza de interpretação pois é visível:

(1) a ordem de grandeza de actividade eléctrica dos vários músculos;

(2) o desfazamento temporal de activação de cada um;

(3) os diferentes momentos de ocorrência de descargas eléctricas musculares de acordo com as várias fases do salto.

Na Figura 59, a grande chave de todo este estudo, é possível observar graficamente qual a relação temporal entre a activação eléctrica muscular e a acção da Força (registada na PF) realizada durante o voo e a impulsão.

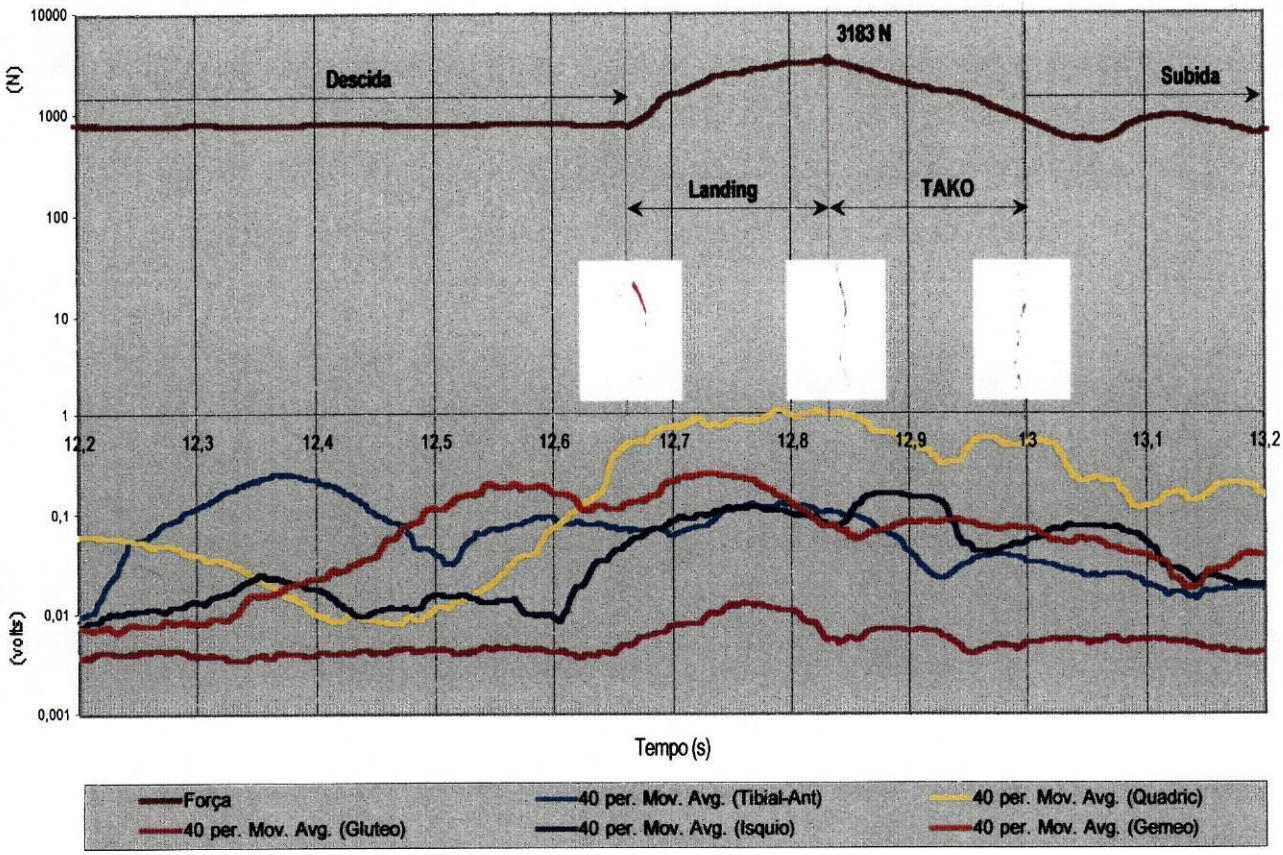


Figura 59: Relação entre Força e Actividade Eléctrica Muscular durante os 4 ciclos do movimento. Especial relevo para a integração cinemática/cinética/EMG nas fases de entrada no Trampolim, de Deformação Máxima (com um máximo de Força registado de 3183 N) e do final do TAKO.

A Figura 59 desempenha um papel de destaque neste estudo, pois permite, pela primeira vez, visualizar a integração das três metodologias empregues – estudo cinemático, dinamométrico e electromiográfico. Para este efeito, a Figura 59 apresenta uma escala dos yy relativizada (também denominada logarítmica), de modo a possibilitar a visualização de diferentes curvas com unidades distintas e, sobretudo, com valores extraordinariamente discrepantes (nesta caso, e como exemplo, 3183 N e 0,005 v).

Desta forma, foi possível verificar para a Descida, o Landing, o TAKO e a Subida, as ordens de grandeza e as vagas de activação eléctrica dos vários músculos estudados neste trabalho. Mais

ainda, foi permitido contemplar para os três momentos das fases de contacto já referido quais os posicionamentos dos diferentes segmentos corporais visados neste estudo.

Apesar deste enorme volume de dados e conclusões relevantes, não foi possível, contudo, registar as activações eléctricas musculares para diferenciar impulsões à frente e à retaguarda (muito em especial pelas limitações físicas e estruturais que 12 m de cabos aplicados no ginasta representam).

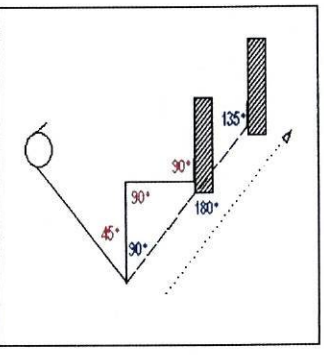
3.1. Actividade Eléctrica Muscular no Trampolim vs Actividade Eléctrica Muscular Máxima

No que respeita aos dados percentuais para comparação entre actividade muscular durante a execução no Trampolim e durante um exercício de Força Máxima Isométrica, devem ser tidas em consideração as especificidades da máquina de musculação utilizada e as diferenças na colocação dos segmentos corporais visados neste estudo - (Capítulo III) - com especial relevo para os ângulos de realização dos elementos no Trampolim e do exercício de *leg press*.

Desta forma, é importante caracterizar e clarificar neste ponto particular as diferenças analisadas no Quadro 34:

Quadro 34: Diferenças Angulares entre a realização de exercícios no *leg press* e actividade no Trampolim.

		Anca		Joelho		Tornozelo	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Leg press		45º	90º	90º	180º	90º	135º
Trampolim	Impulsões	122,40º	179,86º	117,53º	178,27º	35,12º	117,55º
	Recepção	51,05º	157,74º	53,20º	158,27º	56,62º	110,56º



Os testes realizados na máquina de *leg press* tiveram como finalidade esclarecer e quantificar da forma possível quais os diferentes graus de intensidade de activação eléctrica e a intervenção de cada músculo estudado.

Contudo, saliente-se, a especificidade deste teste não tem uma correspondência muscular total com o trabalho realizado no Trampolim. Ou seja, a solicitação muscular no *leg press* (isométrica) faz permanecer ainda algumas dúvidas no que respeita aos valores percentuais de

activação eléctrica durante as fases críticas do Landing e TAKO (as mais importantes para a realização do salto), muito devido às grandes variações em alguns dos ângulos intersegmentares nas duas situações distintas (Quadro 34).

No Quadro 35 é possível verificar os valores "percentuais" de intervenção dos diferentes músculos, tentando traduzir a relevância destes nas actividades em Trampolins.

Quadro 35: Quantificação da actividade eléctrica e da intervenção muscular durante exercícios no Trampolim.

	Função	Músculo	Trampolim (volts)	Isométrica (volts)	%
1	Flexor Dorsal	Tibial Anterior	1,077	0,955	112,7 (?)
2	Extensor do Joelho Flexor da Anca	Quadricípede (Vasto Interno)	2,648	2,988	**88,6**
3	Extensor da Anca	Grande Glúteo	0,030	0,234	**13,0**
4	Flexor do Joelho Extensor da Anca	Bícipede Crural	0,656	1,245	**52,6**
5	Flexor Plantar	Gémeo	0,962	0,504	190,6 (?)

1 - No que respeita ao ***Tibial Anterior***, fica bem patente o desajuste entre a solicitação muscular no *leg press* e no Trampolim. Este músculo, enquanto flexor dorsal do pé, pouco colabora para a execução do exercício isométrico no *leg press*, o que se traduz por uma absurda percentagem de relação entre os dois tipos de exercício. O que na realidade acontece é uma forte divergência entre ambos. Em nenhum momento da realização da contracção máxima isométrica com o objectivo da extensão dos vários segmentos corporais dos MI se conceberá uma solicitação dos flexores dorsais. Contudo, julga-se que estes valores reflectem o esforço conjunto de vários grupos musculares, tentando responder à elevada intensidade da contracção máxima requerida.

2 - Os valores do Quadro 35 confirmam o ***Quadricípede*** (na porção do Vasto Interno) como o mais decisivo músculo em toda a acção; sobretudo o seu papel de extensor do Joelho, resistindo constantemente às enormes forças sofridas pelo ginasta durante o Landing e conseguindo depois reagir, sobrepondo-se a estes, na tentativa de projectar o ginasta, agora com a ajuda do Trampolim, cada vez mais alto. Mais ainda, o tipo de solicitação muscular da máquina de *leg press* demonstrou ter uma elevada relação com a solicitação verificada pelo Quadricípede durante toda a fase de contacto com a tela do Trampolim e, em especial, na fase de impulsão ou seja, o TAKO.

3 - Em relação ao ***Grande Glúteo*** regista-se uma fraca correspondência entre exercícios. Os 13% obtidos reafirmam a parca intervenção muscular deste extensor da Anca durante a realização das fases de impulsão no Trampolim. Ou seja, apesar de ser um grupo muscular razoavelmente solicitado na máquina de *leg press* (com variações angulares da articulação da Anca entre os 45º e os 90º - Quadro 34) os valores percentuais demonstram inequivocamente a quase inexistente contribuição do Grande Glúteo para o Landing e o TAKO de saltos no Trampolim.

4 - Os ***Isquiotibiais*** confirmam o seu carácter espantoso já mencionado anteriormente.

Aparentemente, também a máquina de *leg press* em nada solicitará o grupo flexor do joelho. Contudo, a grande intervenção destes músculos (nomeadamente Bícipede Crural) relaciona-se com o seu factor extensor da Anca (que poderíamos atribuir intuitivamente em primeira escolha aos Glúteos). E é, decisivamente, este seu carácter extensor, de abertura dos segmentos Tronco/Coxa, o mais solicitado na contracção isométrica máxima na máquina de *leg press* e, com metade da intensidade eléctrica, no Trampolim.

5 - Por fim, e no que respeita à intervenção dos ***Gémeos***, é mais uma vez notório, tal como no caso do Tibial Anterior, o desajuste entre exercícios no Trampolim e exercícios de trabalho de Força no *leg press*. De facto, a solicitação isométrica na referida máquina de musculação não se apresentou, de forma alguma, indicada para o desenvolvimento muscular destes flexores plantares. Ou seja, na máquina de *leg press* e em trabalho isométrico máximo, este grupo muscular, decisivo no TAKO (como foi anteriormente referido) não é sequer activado a 50% da solicitação máxima registada no Trampolim.

3.2. Conclusões Preliminares

Com a estrutura da cadeia cinética definida (para estes cinco músculos) e com conhecimento da respectiva intervenção muscular de cada um, podemos concluir que:

1 – O Quadricípede (Vasto Interno) é o músculo mais decisivo em toda a acção sendo a sua função de extensão do Joelho determinante na produção de Força em todas as fases do contacto com o Trampolim.

2 – Os exercícios desenvolvidos na máquina de *leg press* são considerados fundamentais e com grande relação no treino e na preparação física e neuromuscular deste grupo.

3 – O treino físico deverá também preconizar exercícios de desenvolvimento dos flexores plantares e dos flexores dorsais (gémeos e tibial anterior, respectivamente), dada a forte participação destes músculos em todo o processo de impulsão (desde uma fase antecedente ao contacto com a tela até ao término do TAKO).

4 – O papel dos Isquiotibiais (Bícipede Crural) é também decisivo no que respeita à sua componente extensora da Anca. Também neste caso os exercícios no *leg press* mostraram grande compatibilidade com as necessidades e solicitações musculares verificadas durante as impulsões *in loco*, no Trampolim.

Deverá, contudo, procurar-se aumentar o ângulo de trabalho muscular entre Tronco e Coxa nesta máquina de musculação. Se possível, e na tentativa de aumentar o curso de solicitação destes músculos, aproximando o trabalho no *leg press* da solicitação real no Trampolim, dever-se-á tentar uma menor inclinação no banco deste aparelho, procurando colocá-lo o mais horizontal possível (passando de 45º para 90º) – Figura 60.

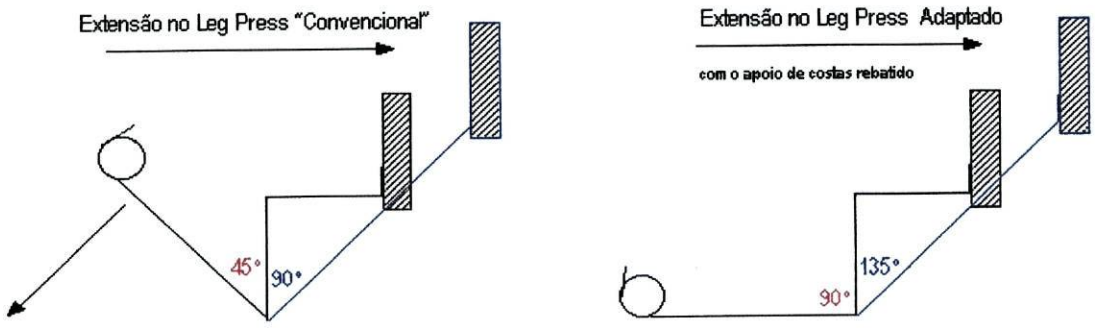


Figura 60 – Conversão da máquina de *leg press* num aparelho mais adequado ao treino específico no Trampolim, adaptando-a a ângulos mais próximos da realidade sentida pelo ginasta durante as impulsões.

5 – Quanto ao trabalho muscular do Grande Glúteo, deverá limitar-se ao normal treino de colocação e postura corporal constante e fundamental a todas as actividades gímnicas sem excepção.

CAPÍTULO V – Conclusões Finais

No final dos subcapítulos destinados às análises cinemáticas, dinâmicas e EMG, foram já sendo extraídas algumas conclusões. Apresentam-se, de seguida, as mais relevantes, integrando os seus resultados entre estas três áreas de conhecimento sempre que possível.

1. Parece poder concluir-se, depois da realização deste trabalho, e enquanto conclusão genérica, elementar e lata, a importância da aplicação dos conceitos da Física à actividade gímnica, seja em competição ou em treino;

2. Alguns dos resultados conseguidos permitem que certas fases do treino possam ser "desligadas" do aparelho, sempre que tal separação permita incrementar o tempo destinado à melhoria da Força Muscular. Foi possível quantificar, com as imprecisões inerentes às metodologias adaptadas, os valores das forças musculares requeridas para a prática de algumas habilidades gímnicas; uma maior fiabilidade e precisão na digitalização das posições dos diferentes segmentos corporais permitirá posteriores desenvolvimentos nesta área de estudo;

3. Este trabalho seria mais conclusivo se tivesse sido possível isolar as fracções da força muscular aplicadas nas rotações e nas flexões/extensões. A dificuldade de conseguir traduzir analiticamente este movimento muito complexo e interactivo reforça ainda mais a necessidade de interligação entre investigadores com conhecimentos na área da Física, Anatomia e Motricidade;

4. Comprovou-se experimentalmente que os valores das acelerações sofridas por um atleta de nível nacional nas fases de contacto são muito elevadas (3 g a 5 g) – semelhantes às encontradas na literatura[19; 35]. Um ginasta de nível mundial, com alturas máximas de salto da ordem dos 7 / 8 metros (mais do dobro do caso estudado), poderá atingir facilmente acelerações de 9 g e superiores.

Este facto é suficiente para explicar hipotéticas perdas de consciência momentâneas dos ginastas nos instantes imediatamente seguintes à transição Landing/TAKO.

De alguma forma, este facto parece intimamente relacionado com uma temática extraordinariamente actual nos Trampolins de hoje: o denominado "Lost Trick Sindrome" ou "Sindroma da Habilidade (ou Gesto) Perdido". Este fenómeno ocorre sem razão aparente e é, frequentemente, motivo de graves lesões, pois o ginasta não é, inexplicavelmente, capaz de realizar

o salto que se propunha após o TAKO, não completando as rotações e caindo, inúmeras vezes, desamparado sem conseguir discernir sobre as causas do sucedido.

As fortes acelerações sofridas no Landing e TAKO, bem como a abrupta viragem na transição entre estas duas fases, Descendente/Ascendente, poderá estar na origem deste problema;

5. O cálculo das acelerações nas fases de voo é um excelente parâmetro avaliador da qualidade de um salto efectuado durante o treino. Acelerações superiores a g, verificadas neste estudo no Barany Out, são sinal de um bom desempenho na Descida, enquanto que valores inferiores ou próximos de g são óptimos na fase de Subida;

6. Na Subida o menor valor da aceleração deverá ser associado a uma velocidade de descolagem elevada, o que, por ser contraditório com o que tende a processar-se no Landing, obriga a fortes esforços de flexão e extensão nas fases de contacto. Pelas razões apontadas, este trabalho não consegue determinar rigorosamente estas forças. Não deverão, no entanto, ser muito diferentes dos valores totais calculados, já que nessas duas fases as rotações são muito menos exigentes;

7. Assim, e de uma forma um tanto simplificada, poderá referir-se serem as forças musculares calculadas no Capítulo IV 2., destinadas especialmente a executar rotações durante o voo e a realizar flexões/extensões nas fases de contacto;

8. Atendendo aos seus valores (Quadros 30 e 31) e ao exposto em 6. e 7., parece ficar quantificada, ou pelo menos experimentalmente comprovada, a enorme força exigida ao Trem Inferior do ginasta;

9. As Forças implicadas na deformação da tela são bastante elevadas (entre 4747 N no Mortal e 8517 N na Recepção). Estes valores evidenciam o esforço sentido por um ginasta de nível nacional durante impulsões a sensivelmente 3 m de altura, tornando difícil tentar imaginar quais as cargas envolvidas numa impulsão em ginastas de nível mundial que se conseguem elevar a mais de 8 m;

10. A Recepção manteve quase incólume o seu cariz enigmático. Apesar de ter sido possível obter uma aproximação do esforço realizado pelo ginasta durante esta fase de Imobilização do salto, permanece ainda por esclarecer como se processará a violenta transmissão de energia intersegmentar responsável pelo brusco abrandamento das velocidades dos diferentes segmentos corporais;

11. No que respeita à Resistência do Ar, foi possível verificar a significativa intervenção desta força durante o movimento de voo. Os valores da aceleração durante as fases aéreas (detalhadamente descritas no Capítulo IV 1.8.) revelam o constante apelo do ginasta às vantagens desta força nessas actividades. Concluiu-se que, a RA tem, sobretudo, funções equilibradoras, facto que ficou bem patente quando foi possível utilizar a aceleração das fases aéreas como indicador qualitativo dos saltos;

12. O grande contraste biomecânico existente entre impulsões à frente e à retaguarda, e reafirmando o exposto na bibliografia referenciada[15], reside na execução de movimentos dos MS com o intuito de provocar M de rotação em torno da cintura escapular;

13. Será assim importante padronizar os movimentos da MI por forma a que a resultante da F exercida seja o mais vertical possível, deixando o trabalho de realizar as diferentes rotações (frente e retaguarda) para ligeiras oscilações dos ângulos Tronco/Coxa e para a decisiva acção de MS, nomeadamente, e como referido anteriormente, ao nível da produção de M de rotação em torno do Ombro;

14. Em relação às cargas sofridas, e integrando os dados cinemáticos angulares, os valores de F obtidos e a diferente intervenção dos vários músculos estudados, é de salientar, contrariando a literatura referenciada [21; 22], que a articulação dos MI mais solicitada nos Trampolins é a do Joelho, seguindo-se, por ordem de importância, a da Anca e a do Tornozelo;

15. O treino de Força na máquina de *Leg Press* revelou-se determinante e com grande relação com esta modalidade desportiva. Exercícios de flexão/extensão de MI (Força rápida – dado o carácter explosivo nas fases de Landing e TAKO - e Força resistente – dado o exposto no Capítulo IV 2.9.) deverão ter um espaço privilegiado no treino dos Trampolins;

16. Quadricípede, Bícipede Crural, Tibial Anterior e Gémeos, se bem que com intervenções qualitativas e quantitativas diferenciadas, são consideradas fundamentais em todo o processo de Impulsão em Trampolins e deverão ser constantemente estimulados com o intuito de aumentar e rentabilizar a altura da fase de voo do ginasta.

Capítulo VI - Bibliografia

1. Bibliografia Referenciada

1. Amadio, A. Duarte, M. (coord.) (1996). Fundamentos Biomecânicos para a Análise do Movimento. Laboratório de Biomecânica. Universidade de São Paulo.

2. Artamonov, M.; Ilarionov, V.; Morin, M. (1976). Motor Vehicles Fundamentals and Design. MIR Publishers, Moscow.

3. Brandão, F. (1980). Apontamentos de Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto.

4. Cabrol, C.; Plazter, W. (1984). Anatomie. Appareil Locomoteur – Tome 1 (2º Ed.). Flammarion Médecine-Sciences, Paris.

5. Caldwell, G., Hagberg, J., McCole, S., Li, L. (1999). *Lower extremity joint moments during uphill cycling.* Journal of Applied Biomechanics, 15 (2): 166-181.

6. Cooper, C. (1995). Biomechanics of Human Movement (2nd ed).Human Kinetics Publishers.

7. Cornelius, W. (1996). *Biomechanical Analysis of the Lower Extremity During a Back Salto.* Technique Magazine : 16 (7) (web: www.usa-gymnastics.org/usag/publications/technique /1996/7).

8. de Leva, P. (1996). *Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's Segment Inertia Parameters.* Journal of Biomechanics: 29 (9): 1223 - 1230.

9. de Luca, C. (1993). *The Use of Surface Electromiography in Biomechanics.* Journal of Applied Biomechanics: 13 (2) (web: www.delsys.com/emg_articles/biomechanics. shtml).

10. Federation International de Ginastique (2000). Gymnastics – In perspective. FIG Publisher.

11. Federation International de Ginastique (2000). *The worl records - Trampoline*. Edition June/2000 (web: www.tramp-net.com/doc/FIG_WR_000701.doc).

12. Federation International de Trampoline (1994). *The Development of the Sport*. FIT press information. World Championships. Porto, Portugal.

13. Federation International de Trampoline (1997). International Code of Points – FIT Handbook. FIT press.

14. Frohlich, C. (1979). *Do Springboard Divers Violate Angular Momentum Conservation?* American Journal of Physics. Vol. 47.

15. Glitsch, V.; Henrichs, B. (1992). *Pressure Distribution Under the Foot During Take-Off in Trampolining*. Proceedings of the International Symposium of Biomechanics. Rodano, R. et al (ed.).

16. Hatzitaki, V.; Kollias, I. (1998). *Kinesiological Factores Determining the Height Achieved During Flight in a Springboard Dive*. (abs) Proceedings of the XVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport. Vieten, M. (Ed.) (web: www.isbs98.uni-konstanz.de/Abstracts/VassiliaHatz_.PDF).

17. Hay, J. (1981). Biomecânica das Técnicas Desportivas (2nd ed). Editora Interamericana.

18. Ivanova, G.; Makarov, N. (1996). *Energetic Analysis for Tramp Jump*. Proceedings of the 10th Conference of the European Society of Biomechanics. Van de Perre (Ed.). Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

19. Kho, M.; Bishop, P. (1998) *Ground Reaction Forces in Simulated Figure Skating Jump Take-Offs and Landings*. Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/243/index.html).

20. Kreighbaum, E.; Barthels, K. M. (1996). Biomechanics: Qualitative Approach for Studying Human Movement (4th ed.). Allyn and Bacon, Boston.

21. Mathiyakom, W.; McNitt-Gray, J.; Munkasy, B.; Eagle, J.; Gabriele, J. (1998) *Joint Kinetics Differences During the Take-Off of Forward and Backward Rotating Dives.* Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/146/index.html).

22. McNitt, J.L., Irvine, D.E., Munkasy, B.A., Smith, T., Chen, Y.T. (1998). *Biomechanics of landings.* Technique website. (web: www.usa-gymnastics.org/usag/publications/technique /1996/7).

23. McNitt-Gray, J.; Munkasy, B.; Costa, K.; Mathiyakom, D. (1998). *Invariant Features of Multijoint Control Strategies Used by Gymnasts During Landings Performed in Olympic Competition.* Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/NACOB98 /145/index.html).

24. McNitt-Gray, J.; Yokoi. T.; Millward, C. (1993) *Landing Strategy Made by Female Gymnasts in Response to Drop Height and Mat Composition. Journal of Applied Biomechanics*: 9 (3): 173 - 190.

25. Miller, D. (1998) *Pushing Throught Maximum Depression to Increase Springboard Dive Height.* Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/13/index.html).

26. Munkasy, B.; McNitt-Gray, J (1998) *Differences in segmental coordination for high and low vertical jumps performed with and without arms.* Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. Smith, G. (Web Ed.) (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/132/index.html).

27. Munkasy, B.; McNitt-Gray, J.; Welch, M. (1996) *Kinematics Prior to Contact in Landing Preceded by Rotation* (abs) Proceedings of the 20th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. Smith, G. (Web Ed.) (web: www.asb-biomech.org/abstracts/munkasy.html).

28. Oliveira, A. (1993). Caracterização Somatotipológica do Ginasta de Trampolins Português de Elite. Tese de Monografia. FCDEF. Universidade do Porto. (Não Publicado).

29. Rash, G. (1999). *Electromyography Fundamentals*. (web: http://www.gcmas.org/EMG fundamentals .pdf).

30. Rash, G.; Campbell, K. (1999). *Fundamentals of Equipment and Methodology*. (web: www. gcmas.org/Fundamentals.pdf).

31. Riehle, H. (1996) *Joints – Nature's High-Tech? – Biomechanical Methods, Instruments and Models for the Analysis of Load and Strain Imposed on Human Joints by Participation in Sports Activities* (abs). XIV International Symposium on Biomechanics in Sports (ISBS). Abrantes, J. (ed.) Edições FMH: 50 - 51.

32. Russel, K.; Quinney, H.; Hazlett, C.; Hills, D. (1995) *Knee Muscle Strenght in Elite Male Gymnasts* (abs). Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy: 22 (1).

33. Salgueiro, L.; Ferreira, J. (1991) Introdução à Biofísica. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

34. Vieten, M., Riehle, H. (1995) *An estimate of forces and torques at the joints during trampoline performances*. Biomechanics in Sports XII - Proceedings of the XII ISBS. Barabás, A., Fábián, G. (Ed.).

35. Zhang, S.; Bates, B.; Dufek, J. (1996) *Selected Knee Joint Forces During Landings Activities*. Proceedings of the 20th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. Smith, G. (Web Ed.) (web: www.asb-biomech.org/abstracts/zhang.html).

2. Bibliografia Consultada

1. Bartlett, R. (1999). Sports Biomechanics – Reducing Injury and Improving Performance. E & Fn Spon.

2. Brüggeman, G.P. (1994). *Biomechanics of Gymnastics Techniques*. Sport Science Review. Human Kinetics Publishers, Inc.

3. Carvalho, P. (1967) Curso Geral de Física. (7ª ed.) Faculdade de Ciências. Universidade do Porto.

4. Dainty, D.; Norman, R. (ed.) (1987). Standardizing Biomechanical Testing in Sport. Human Kinetics Publishers, Inc. Champaign, Illinois.

5. Hochmuth, G. (1983). Biomechanics of Athletic Movement. Sportverlag Berlin.

6. Kent, M. (1998). The Oxford Dictionary of Sports Science and Medicine. (2th Ed.) Oxford University Press Inc. New York.

7. Klaus, K. (1998). *Optimum Sports Technique of thr Push-Off Movement in Difficult Armstand Dives* (abs) Proceedings of the XVI Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport. Vieten, M. (Ed.). (web: www.isbs98.uni-konstanz.de/Abstracts/Knoll-Kl1.PDF).

8. Lourenço, M; Tadeu, V. (1987). Física 12º ano – Exercícios 1. Editorial O Livro.

9. Lourenço, M; Tadeu, V. (1987). Física 12º ano – Exercícios 2. Editorial O Livro.

10. McNitt, J.; Irvine, D.; Eagle, J.; Munkasy, B. (1996). *Relative work done by the ankle, knee and hip during landings of front and back saltos*. Technique website (web: www.usa-gymnastics.org/usag/publications/technique/1996/7).

11. Nigg, B.; Herzog, W. (ed.) (1994). Biomechanics of the Musculo-Skeletal System. John Wiley & Sons: 308 – 336.

12. Requejo, P.; McNitt-Gray, J.; Eagle, J.; Munkasy, B.; Smith (1998). Multijoint load distribution and power genaration during high velocity impact Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/148/index.html)

13. Selbie, W.; Caldwell, G. (1998). *Commom features of simulated jumping*. Proceedings of the Proceedings of the 1998 North American Congress on Biomechanics. University of Waterloo. Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/NACOB98/176/index.html)

14. Smith, T. (1991). Gymnastics: A Mechanical Understanding. Hodder and Stoughton Educational.

15. Solomon, M.; Baratta, R. (1997). *Methods for EMG Power Spectrum Assessment for Biomechanical Applications*. Proceedings of the 21th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. Smith, G. (Web Ed.). (web: www.asb-biomech.org/abstracts97/19/index.html)

CAPÍTULO VII – Simbologia e Índices Gerais

1. Simbologia Geral

Altura Máxima (h_{max})– pp 14

Centro de Massa (CM) – pp 9

Electromiografia (EMG) – pp 27

Espaço Horizontal Percorrido pelo Centro de Massa (di) – pp 91

Espaço Vertical Percorrido pelo Centro de Massa (Sy) - pp 12

Federação Internacional de Ginástica (FIG) – pp 8

Federação Internacional de Trampolins (FIT) – pp 8

Força (F) – pp 3

Força de Impacto (FI) – pp 91

Força Exercida para Deformar a Tela (Fd) – pp 93

Força Muscular (Fm) – pp98

Força Total (FT) – pp 37

Forças Exteriores (F_{ext}) – pp 23

Membros Inferiores (MI) – pp 4

Membros Superiores (MS) – pp 11

Momento (M) – pp 6

Momento Angular (L) – pp 14

Momento de Inércia (I) – pp 12

Nivelador (R1) – pp 90

Peso do Trampolim (Pt) – pp 91

Peso Estático do Ginasta (P) – pp 98

Plataforma de Forças (PF) ou (R2) – pp 34 ou pp 90

Pontos (pts) – pp 33

Resistência do Ar ao Movimento de Rotação (RA') – pp 98

Resistência do Ar ao Movimento de Translação (RA) – pp 10

Take-Off (TAKO) – pp 4

Unidades Motoras (UM) – pp 27

2. Simbologia Específica

a – Aceleração Linear – pp 13

A – Área da Figura Plana – pp 95

E – Energia Cinética – pp 88

EPel - Energia Potencial Elástica – pp 15

g – Aceleração Gravítica – pp 43

K_t – Coeficiente de Rigidez do Trampolim – pp 88

m – Massa – pp 13

r – Raio – pp 13

R^2 – Coeficiente de Correlação – pp 48

t – Tempo – pp 45

U – Energia de Deformação Elástica do Trampolim – pp 87

v – Velocidade Linear – pp 12

ω – Velocidade Angular – pp 14

ϕ - Ângulo de Saída – pp 12

δ - Peso Específico do Fluído – pp 94

Δp – Variação da Quantidade de Movimento – pp 91

3. Simbologia Utilizada nas Diversas Unidades

Hz (Hertz) – Unidades SI para Frequência – pp 33

kg (kilograma) – Unidades para Massa – pp 25

kgf (kilogramaforça) – Unidades para Força (1 kgf = 9,81 N) – pp 25

kgm (kilograma x metro) Unidades SI para Momento de Inércia – pp 32

m (metros) – Unidades SI para Espaço – pp 18

mm (milímetros) – Unidades para Espaço – pp 88

ms (milisegundos) – Unidades Temporais – pp 19

ms-1 (metros por segundo) – Unidades SI para Velocidade Linear pp 23

ms-2 (metros por segundo ao quadrado) – Unidades SI para Aceleração Linear pp 46

N (Newton) - Unidades SI para Força – pp 18

N/m (Newton por metro) – Unidades para Coeficiente de Rigidez do Trampolim – pp 94

N/m^2 – (Newton por metro ao quadrado) – Unidade para Pressão – pp 101

Nm (Newton x metro) – Unidades SI para Momentos de Força – pp 25

rad/s (radianos por segundo) – Unidades SI para Velocidade Angular – pp 21

v (volts) – Unidades SI para Potencial Eléctrico – pp 105

4. Índice de Figuras

[1,4] - Alterações da posição corporal durante o voo (coluna da esquerda [1,3] corresponde à subida dos saltos e a da direita [2,4] à descida dos mesmos. pp 11

5 – Representação de um salto duplo mortal à frente com um ângulo de saída excessivamente baixo. A preto, pode-se verificar a possibilidade de queda devido à pouca altura e tempos disponíveis para a realização do salto; a vermelho, observa-se que, com a abertura dos vários ângulos segmentares e a modificação da posição corporal poder-se-á travar o movimento, aumentando o momento de inércia e permitindo uma Recepção segura. Em que [ϕ] - Ângulo de Saída; [v_x] - Velocidade horizontal de Saída. pp 12

6 - Representação do Momento Angular gerado com uma impulsão à frente. Em que, [ϕ] - Ângulo de Saída; [L] - Momento Angular; [v] - Velocidade Linear; [m] - Massa; [r] - Raio de Giração. pp 13

[7,10] - Figuras de quatro momentos do salto do TAKO (Deformação Máxima e Saída) e da Rrecepção Final (Entrada e Amortecimento). pp 16

[11,12] - Diferentes índices de flexão articular ao nível da anca e do joelho partindo de três diferentes alturas de salto. *In*: www.cc.gatech.edu/gvu/animation/landing.mov. pp 19

13 - "Stick Figure" de um Salto Mortal Engrupado obtida numa imagem (*frame*) em plena inversão da posição corporal. pp 20

[14,16] - Salto à Retaguarda em Saltos para a Água – 14 (TAKO); 15 (Saída); 16 (Altura Máxima). *In*: www.cc.gatech.edu/gvu/animation/divetwist.mov pp 22

17 – Representação do Momento Angular gerado com uma impulsão à retaguarda. Onde, [ϕ] - Ângulo de Saída; [L] - Momento Angular; [v] - Velocidade Linear; [m] - Massa; [r] - Raio de Giração. pp 27

18 – – Efeitos na amplitude do EMG relativos a diferentes locais de aplicação dos eléctrodos no músculo. pp 31

[A,D] - A – Zona de enervação muscular; B - Porção medial do músculo; C - Região lateral do músculo; D - Junção Miotendinosa. *In: www.delsys.com/emg_articles/biomechanics. shtml*

19 – Plano Transversal (y) da captura de imagens para o estudo cinemático. pp 36

20 – Plano Transversal e respectivos pontos anatómicos do modelo. pp 38

21 – Plano Frontal e respectivos pontos anatómicos do modelo. pp 38

22 – Imagem recolhida durante o registo dinâmico das Forças no Trampolim. É possível observar os vários eixos em que se registam as Forças, sendo o mais importante o acima enunciado como [z]. pp 39

23 – Imagem do material móvel utilizado, com especial relevo para a parte da cablagem de inserção dos eléctrodos e para o amplificador utilizado. pp 40

24 – Gémeo e respectivo local de colocação do eléctrodo. *In:* Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil. pp 41

25 – Grande Glúteo e respectivo local de colocação do eléctrodo. *In:* Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil. pp 41

26 – Vasto Interno e respectivo local de colocação do eléctrodo. *In:* Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil. pp 41

27 – Bícipede Crural e respectivo local de colocação do eléctrodo. *In:* Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil. pp 41

28 – Tibial Anterior e respectivo local de colocação do eléctrodo. *In:* Delavier, F. (2000). Guia dos Movimentos Humanos. Abordagem anatómica (2ª ed.) Editora Manole Ltda, Brasil. pp 41

29 – Descrição dos cinco ângulos visados neste estudo. Especial relevo para o ângulo do Pescoço (1), o único que apresenta valores positivos e negativos. pp 45

30 – Análise gráfica do estudo cinemático teórico através dos parâmetros [v] e [a]. pp 48

31 – Altura e Velocidade do CM durante os quatro contactos estudados. Registe-se o padrão existente em todas as fases, bem como as alterações dos valores da Velocidade (positivos durante as fases ascencionais; nulos nos pontos de Altura Máxima e de Máxima Deformação da tela em cada salto; negativos nas fases descendentes). Observe-se também os declives das várias partes do gráfico das Velocidades: positivos e muito acentuados durante ambas as fases de contacto; negativos e menores (em valor absoluto) nas fases aéreas. pp 50

32 – Valores da Aceleração durante os quatro momentos de contacto com o Trampolim e as correspondentes fases aéreas. A enorme variabilidade destes valores é o reflexo directo da deformabilidade do corpo, da ocorrência de movimentos de rotação dos vários segmentos em torno de um eixo geral (CM do corpo) e de vários eixos específicos (CM dos segmentos corporais) e de possíveis erros provenientes da digitalização manual dos registos cinemáticos. pp 51

33 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Landing do Mortal. pp 52

34 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o TAKO do Mortal. pp 52

35 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o voo de subida do Mortal. pp 53

36 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante a descida do Mortal. pp 53

37 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Landing para o Barany Out. pp 61

38 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o TAKO do Barany Out. pp 61

39 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o voo de subida do Barany Out. pp 62

40 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante a descida do Barany Out. pp 62

41 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante o Landing da Vela. pp 69

42 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta (na vertical) durante o TAKO da Vela. pp 69

43 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta durante a subida (fase de voo) da Vela. pp 70

44 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta durante a descida (fase de voo) da Vela. pp 70

45 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta durante o Landing da Recepção. pp 76

46 – Variação do espaço percorrido pelo CM do atleta (na vertical) durante o Amortecimento. pp 77

47 – Variação do espaço percorrido pelo CM do ginasta na fase de Imobilização. pp 77

48 – Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão Mortal Engrupado à Retaguarda. pp 91

49 – Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão do Barany Out Engrupado.. pp 91

50 – Registo em bruto da Força medida na PF durante a realização da impulsão da Vela. pp 92

51 – Registo em bruto da Força medida na PF durante a Recepção. pp 92

52 – Registo em bruto da Força Total medida na PF durante a realização dos 4 ciclos estudados. pp 93

53 – Representação gráfica da deformabilidade do material quando sujeito à aplicação estática de várias cargas e da recta de regressão correspondente. pp 94

54 – Representação esquemática da Mesa de Euler, com a apresentação dos quatro apoios e das respectivas reações (R1, R2, R3 e R4) à Força de Impacto F. pp 96

55 – Diagrama Longitudinal do Trampolim evidenciando os locais de projecção do CM do ginasta em cada contacto (G1, G2, G3, G4) com as forças correspondentes (F1, F2, F3, F4) bem como as reacções na PF (R2) e no nivelador (R1). Observe-se também as distâncias deste último aos diferentes locais de projecção do CM (d1, d2, d3, d4). pp 98

56 – Representação gráfica geral das várias fases de um Salto-Tipo no que respeita à Aceleração e à Força (neste caso utilizaram-se os dados do Mortal Engrupado à Retaguarda). pp 110

57 – Estrutura da Cadeia Cinética Muscular de acordo com o início da activação e os três maiores picos de actividade durante as quatro fases do salto. Esta Figura permite a visualização imediata dos valores apresentados no Quadro 32, pelo que é, de certo modo, complementar deste. pp 115

58 – EMG Rectificado envolvendo os 4 ciclos estudados (Descida / Landing / TAKO / Subida). pp 116

59 -- Relação entre Força e Actividade Eléctrica Muscular durante os 4 ciclos do movimento. Especial relevo para a integração cinemática/cinética/EMG nas fases de entrada no Trampolim, de Deformação Máxima (com um máximo de Força registado de 3183 N) e do final do TAKO. pp 117

60 – Conversão da máquina de *leg press* num aparelho mais adequado ao treino específico no Trampolim, adaptando-a a ângulos mais próximos da realidade sentida pelo ginasta durante as impulsões. pp 121

5. Índice de Quadros

Quadro 1: Intervenção da extremidade inferior durante TAKO e Recepção Final[7]. pp 16

Quadro 2: Processos fundamentais de utilização nos estudos cinemáticos. pp 21

Quadro 3: Registo das velocidades do CM em 3 fases do TAKO nos Saltos para a Água (valores de velocidade em ms^{-1}). pp 23

Quadro 4: Registo dos ângulos do joelho em 3 fases distintas do TAKO nos Saltos para a Água. pp 23

Quadro 5: Diferentes tempos de activação muscular dos 4 músculos estudados por Ivanova e Makarov (1996)[18]. pp 33

Quadro 6 – Pontos Anatómicos do modelo digitalizado - adaptado de de Leva (1996)[8]. pp 38

Quadro 7: Especificidade do procedimento utilizado na captura do EMG. pp 42

Quadro 8: Quadro Geral do Movimento do Mortal Engrupado à Retaguarda. pp 54

Quadro 9: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados no Mortal Engrupado à Retaguarda. pp 56

Quadro 10: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados no Mortal Engrupado à Retaguarda. pp 59

Quadro 11: Quadro Geral do Movimento do Barany Out Engrupado. pp 63

Quadro 12: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados no Barany Out Engrupado. pp 64

Quadro 13: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados no Barany Out Engrupado. pp 67

Quadro 14: Quadro Geral do Movimento respeitante ao Salto em Extensão (Vela). pp 71

Quadro 15: Valores dos Ângulos, Altura e Deslocamento verificados na Vela. pp 72

Quadro 16: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados na Vela. pp 75

Quadro 17: Quadro Geral do Movimento respeitante à fase de Recepção. pp 78

Quadro 18: Valores dos Ângulos dos Segmentos verificados na Recepção. pp 79

Quadro 19: Valores das Velocidades Angulares (ω) expressos em voltas/s verificados na Recepção. pp 81

Quadro 20 - Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para o Mortal Engrupado à Retaguarda. pp 83

Quadro 21 – Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos entre o Ciclo Teórico e o Prático para o Barany Out. pp 83

Quadro 22 – Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para o Salto em Extensão (Vela). pp 84

Quadro 23 - Quadro Comparativo dos Parâmetros Cinemáticos do Ciclo Teórico e do Salto Prático para a Recepção. pp 84

Quadro 24: Resultados da análise do Problema da Mesa de Euler para duas situações distintas. pp 97

Quadro 25: Dados do CM (di) e da Força de Impacto (Fi) para os 4 contactos. pp 98

Quadro 26: Comparação entre os valores de Fi para a simplificação planar e para o método de Euler. pp 99

Quadro 27 : Cálculo das Forças Máximas na transição Landing / TAKO. pp 100

Quadro 28: Valores parcelares (expressos em N) para a Equação Geral do Movimento nas fases aéreas. pp 106

Quadro 29: Valores corrigidos (expressos em N) para a F muscular (através da média dos valores na Subida e na Descida). pp 106

Quadro 30: Valores parcelares (expressos em N) para a Equação Geral do Movimento nas fases de contacto. pp 108

Quadro 31: Valores corrigidos (e expressos em N) para a Força muscular (através da média dos valores no Landing e TAKO). pp 108

Quadro 32: Estrutura da Cadeia Cinética Muscular de acordo com o início da activação e os três maiores picos de actividade (encontram-se a vermelho os momentos em que se registaram os valores máximos para cada músculo). pp 114

Quadro 33: Comparação entre os valores EMG para os tempos de activação muscular encontrados por Ivanova e Makarov (1996)[18] e o presente estudo. Todos estes valores são anteriores aos momentos de contacto com o Trampolim (tendo, por isso, ocorrido duurante a fase aérea). pp 115

Quadro 34: Diferenças Angulares entre a realização de exercícios no *leg press* e actividade no Trampolim. pp 118

Quadro 35: Quantificação da actividade eléctrica e da intervenção muscular durante exercícios no Trampolim. pp 119

6. Índice de Fórmulas

(1) $Sy = \frac{(v.\text{sen}\,\phi)^2}{2.a}$

[$v\text{sen}\,\phi$] - componente vertical da velocidade [V_{0y}].

[a] - a aceleração linear. pp 13

(2) $L = mr^2\omega$

[L] – momento angular

[ω] - velocidade angular

[r] - o raio da curvatura descrita pelo CM dos braços do ginasta. pp 14

(3) $E = 1/2\ mv^2$

(4) $U = 1/2*F^2/k_t$

(5) $$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}.\frac{F^2}{K_t}$$

[E] - Energia cinética do ginasta em movimento

[U] - Energia de deformação elástica da membrana

[F] – Força estática equivalente ao impacto do ginasta;

[v] – Velocidade do primeiro contacto do ginasta com a tela;

[K_t] – Coeficiente de rigidez do Trampolim;

[m] – Massa do ginasta. pp 93

(6) $$F = v\sqrt{k_t.m}$$

[F] – Força estática equivalente ao impacto do ginasta;

[v] – Velocidade do primeiro contacto do ginasta com a tela;

[K_t] – Coeficiente de rigidez do Trampolim;

[m] – Massa do ginasta. pp 93

(7) $$F = -\frac{4 \times L \times C \times R2}{-2 \times L \times C1 + 3 \times L \times C - 2 \times L1 \times C}$$

[L] - Extensão da tela;

[C] - Largura da tela;

[L1] - Distância do ponto de queda ao eixo dos yy;

[C1] - Distância do ponto de queda ao eixo dos xx;

[Ri] - Reacção nos apoios i resultante da Força de Impacto. pp 96

(8) $$p = \frac{v^2}{2g}$$

[p] - Pressão, em metros da coluna de fluído;

[v] - Diferença de velocidades ou velocidade relativa entre a figura plana e o fluído. pp 101

(9) $$p' = p \times \delta$$

[p'] - Pressão;

[δ] - Peso específico do fluído (neste caso o ar) pp 101

(10) $$RA' = p' \times A$$

[RA'] - Resistência do Ar ao Movimento de Rotação;

[p'] - Pressão;

[A] - Área da figura plana. pp 102

(11) $$RA' = \frac{v^2 \times \delta \times A}{2g}$$

[RA'] - Resistência do Ar ao Movimento de Rotação;

[v] - Diferença de velocidades ou velocidade relativa entre a figura plana e o fluído;

[δ] - Peso específico do ar;

[A] - Área da figura plana. pp 102

(12) $$RA = \frac{C \times \delta \times A \times v^2}{2g}$$

[RA] - Resistência do Ar ao Movimento de Translação;

[v] - Diferença de velocidades ou velocidade relativa entre a figura plana e o fluído;

[δ] - Peso específico do ar;

[C] - Coeficiente de aerodinamismo;

[A] - Área da figura plana. pp 102

(13) $RA = C \times 0{,}64 \times A \times v^2$

[RA] - Resistência do Ar ao Movimento de Translação;

[v] - Diferença de velocidades ou velocidade relativa entre a figura plana e o fluído;

[C] - Coeficiente de aerodinamismo;

[A] - Área da figura plana. pp 102

(14) $Fm + P = RA + RA' + Fd + m.a$

(15) $Fm + Fd = P + RA + RA' + m.a$

(16) $Fm = \pm P + m.a + RA + RA' \pm Fd$

[Fm] – Forças musculares produzidas pelo atleta no conjunto dos seus segmentos corporais para reagir aos impactos e impulsões, produzir rotações, flexões e extensões;

[P] – Peso estático do ginasta;

[m] – Massa do corpo do ginasta;

[a] – Componente vertical da aceleração exercida no CM do atleta;

[RA] – Resistência do ar ao movimento de translação;

[RA'] – Resistência do ar ao movimento de;

[Fd] – Forças de deformação elástica calculadas em função do registo da Plataforma de Forças. pp 104