



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rafael Ramos Marques

**ESTUDOS BIOMECÂNICOS NO CONTEXTO DA
AVALIAÇÃO DO ATLETA NA PRÁTICA DO TÊNIS**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica orientada
pela Professora Doutora Ana Paula Betencourt Martins Amaro e pelo Professor
Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro e apresentada ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias.**

Janeiro de 2021



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Estudos Biomecânicos no Contexto da Avaliação do Atleta na Prática do Ténis

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto.

Biomechanical Studies in the Context of the Athlete's Evaluation in Tennis

Autor

Rafael Ramos Marques

Orientadores

**Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins
Amaro**

Professor Doutor Luis Manuel Ferreira Roseiro

Júri

Presidente Professora Doutora Maria Augusta Neto
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professora Doutora Maria Antónia Ferreira de Castro
Professora Adjunta do Instituto Politécnico de Coimbra
Mestre Ana Catarina M. Miguens Amaro
Assistente Convidada da Universidade de Coimbra

Coimbra, Janeiro de 2021

Aos meus pais.

Agradecimentos

Existem pessoas que estão presentes em todos os momentos da nossa vida, pelos valores inculcados, esforço, presença, amizade e apoio incansável que dão.

Em primeiro lugar não posso deixar de agradecer aos meus pais Manuela Ramos e Serafim Marques, por serem exemplos em tudo o que fazem, pelos princípios que me transmitiram, pelo apoio incondicional, esforço, confiança e disponibilidade na conquista dos meus sonhos sem que nada me faltasse. O meu enorme agradecimento também é extensível aos meus irmãos Tomás Marques e Rodrigo Marques, que me ajudaram bastante na pessoa que sou hoje. Avós, tios e primos por serem presença assídua na minha vida, brindando alegria, conhecimento e muita amizade. A todos eles fica nesta dissertação o meu enorme agradecimento, por serem peças fulcrais no meu crescimento intelectual e humano.

Ao meu tio Urbano Ramos, por todos os valores transmitidos, todos os momentos proporcionados e por ter introduzido, acompanhado e investido no meu percurso tenístico, que representa grande parte da minha vida.

Aos meus grandes amigos, pela presença, alegria, compreensão e pelos momentos inesquecíveis que partilhámos.

Um agradecimento especial aos meus orientadores Prof.^a Dra. Ana Paula Bettencourt Martins Amaro e Prof. Dr. Luís Manuel Ferreira Roseiro, pelo apoio, paciência, amizade e disponibilidade constantes nesta reta final do meu percurso académico.

A todos o meu enorme e genuíno, obrigado.

Resumo

O desporto é um estilo de vida saudável, que traz inúmeros benefícios para as pessoas. Todavia, por vezes conduz o corpo humano a conhecer os seus limites, principalmente em termos físicos.

As vibrações são um elemento presente em praticamente todos os desportos. No ténis, as Vibrações Mão-Braço são as mais perigosas, pois podem originar lesões ao nível dos membros superiores, com maior incidência nos ombros, pulsos e cotovelos.

A preocupação pela saúde das pessoas, a curto, médio e longo prazo, faz com que os estudos na área das vibrações no desporto, se direcionem para a tentativa da diminuição de lesões e de problemas relativos à saúde causados pela prática desportiva.

Por exemplo, a nível do ténis, existem estudos apoiados em diferentes técnicas, para o constante desenvolvimento das características das raquetes, e do conhecimento do corpo humano. No entanto, a revisão das investigações leva a concluir que grande parte dos estudos existentes é direcionado para a raquete. Os movimentos mais estudados são a direita e a esquerda. O serviço é uma das pancadas que exige mais fisicamente do atleta, contudo até agora pouco estudada.

Do mesmo modo, o estudo da fadiga muscular, e os seus tempos e métodos de recuperação, utilizando a eletromiografia e a termografia, retratam uma área que necessita de ser mais explorada.

Assim, este estudo visa abranger todos os estudos associados a análise da exposição dos tenistas a situações que possam potencializar o aparecimento de lesões. O principal objetivo é apresentar um conjunto de análises que possam ajudar os treinadores, e os atletas, a definirem estratégias de treino de forma a reduzirem, ou evitarem, o aparecimento de eventuais lesões.

Palavras-chave: Ténis, Vibrações, Lesões, Sistema Mão-Braço, Estudos Biomecânicos.

Abstract

Sport represents a healthy lifestyle, which has several benefits for the human being. However, sometimes it leads the human body to face its limits, mainly in a physical way.

Vibrations are an element that's felt in almost all sports. In tennis, the hand-arm vibrations are the most dangerous because they can cause injuries at the level of the upper limbs, with greater incidence in shoulders, wrists and elbows.

The concern for people's health, in short, medium and long term, makes the studies related to vibration in sports to focus on the attempt to reduce injuries and problems related to health caused by sport's practice.

In tennis, for example, there are studies supported by different techniques, aiming the constant development of racket characteristics and knowledge about the human body. However, the investigation's review leads to the conclusion that a large part of the existing studies are directed towards the racket. The most studied movements are the right and left ones. The service is one of the strokes that physically demands more from the athlete but, so far, has not been much studied.

Likewise, the study of muscle fatigue and its recovery times and methods, using electromyography and thermography, portray an area that needs to be further explored.

Thus, this study aims to cover all studies associated with the analysis of tennis players exposure to situations that may enhance the appearance of injuries. The main objective is to present a set of analyzes that can help coaches and athletes to define training strategies to reduce, or prevent, the appearance of possible injuries.

Keywords Tennis, Vibrations, Injuries, Hand-Arm System, Biomechanical Studies.

Índice	
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Simbologia e Siglas	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contribuição do Autor	3
1.2. Estrutura do Trabalho	3
2. VIBRAÇÕES	5
2.1. Vibrações – o que são?	5
2.1.1. Exposição do corpo humano a vibrações e os seus efeitos	8
2.1.2. Avaliação da exposição humana à vibração	12
2.1.3. Vibrações no Sistema Mão-Braço	14
2.1.4. Limites Segundo as normas e diretrizes internacionais.....	17
2.2. Influência das vibrações no desporto.....	18
2.2.1. Vibrações no ténis	18
2.2.2. Influência das vibrações mão-braço noutros desportos.....	19
2.3. LMERT	19
2.4. Presença de vibrações em atividades de lazer.....	22
3. LESÕES NO DESPORTO	25
3.1. Lesões no ténis.....	26
3.1.1. Lesões no ombro.....	27
3.1.2. Lesões no Cotovelo	28
3.1.3. Lesões no punho	29
3.2. Lesões Noutros Desportos	31
4. ESTUDOS DA AVALIAÇÃO DO ATLETA NA PRÁTICA DO TÊNIS	33
4.1. Técnicas de estudo nos desportos	33
4.1.1. Eletromiografia.....	33
4.1.2. Vibrações SMB	35
4.1.3. Termografia	37
4.1.4. Avaliação da pressão plantar	38
4.2. Estudos da avaliação do atleta noutros desportos.....	40
4.3. Estudos no Ténis.....	42
4.4. Estudos e áreas a explorar – Opinião do autor.....	48
5. CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	51
5.1. Sugestões para trabalhos futuros.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXO A	59

Commented [AA1]: Todos os cabeçalhos (2, 3, ...) têm de ser escritos em CAPS de modo a aparecerem em letra maiúscula no índice.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Dimensões e limites de um campo de ténis (Adaptado de: [1]).....	2
Figura 2.1. Principais parâmetros característicos de um sinal vibratório não periódico (adaptado de [4]).	7
Figura 2.2. Decomposição do sinal vibratório através da aplicação de transformada rápida de Fourier (adaptado de [4])......	7
Figura 2.3. Representação geral das principais frequências de vibração no corpo humano.	9
Figura 2.4. Direção dos eixos cartesianos quando aplicados no corpo humano [8].....	9
Figura 2.5. Sistemas de coordenadas utilizados na avaliação da exposição a vibração no sistema mão-braço (adaptado de [15]).	15
Figura 2.6. Curva de ponderação em frequência (adaptado de [15]).	16
Figura 2.7. Relação entre a exposição diária de vibração e o tempo, em anos, necessário para o aparecimento de doença de <i>Raynaud</i> , com 10% de probabilidade (adaptado de [11]).	17
Figura 2.8. Zonas comuns das LMERT [29].	21
Figura 3.1. Coifa dos rotadores [36].	27
Figura 3.2. Cotovelo de tenista [38].	29
Figura 3.3. Extensor Ulnar do Carpo [43].	31
Figura 4.1. Diferentes tipos de elétrodos: de superfície (1) e de profundidade (2) [46].	34
Figura 4.2. Acelerómetro piezoelétrico triaxial (1), (à esquerda) [47], e Acelerómetro piezoelétrico triaxial (2) (à direita) [48].	35
Figura 4.3. Condicionador de sinal [49].	36
Figura 4.4. Placa de aquisição envolvida num chassis <i>wireless</i> [50].	36
Figura 4.5. Câmara Termográfica [62].	37
Figura 6.6. Plataforma de distribuição de pressão plantar [68].	39
Figura 4.7. "In-Shoe" system [70].	39
Figura 4.8. Cabo da raquete.	43
Figura 4.9. Diferentes locais de impacto da bola na encordoação.	44
Figura 4.10. Anti vibrador presente na raquete.	45
Figura 4.11. <i>Overgrip</i>	47
Figura 4.12. Manga de compressão (<i>Arm sleeve</i>) [89].	49
Figura 0.1. Diagrama da pancada de direita no ténis.	59
Figura 0.2. Diagrama da pancada de esquerda no ténis.....	59

Figura 0.3.Diagrama da pancada do serviço no tênis..... 60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Frequências de ressonância para as várias partes do corpo humano (adaptado de [9]).	10
Tabela 2.2. Efeitos das vibrações induzidas ao corpo humano na gama de frequência 4-20 Hz (adaptado de [12]).....	11
Tabela 2.3. Normas internacionais ISO.....	14
Tabela 2.4. Limites de exposição à vibração (adaptado de [18]).	18

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

- a_{hv} – Valor total de aceleração, [m/s^2]
 $a_{hw}(t)$ – Aceleração instantânea ponderada em frequência, [m/s^2]
 $a_{rms,wh}$ – Aceleração eficaz ponderada segundo cada um dos eixos ortogonais, [m/s^2]
 $A(8)$ – Exposição total equivalente
 D – Probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos, em anos
 n – Número de exposições com características diferentes
 T_d – Duração diária de exposição à vibração
 T_i – Duração respectiva de exposição
 T_m – Intervalo de tempo de medição, [s]
 T_0 – Valor normalizado de horas diárias de trabalho
 w_h – Fator de ponderação em frequência para análise VMB

Siglas e Acrónimos

- ECRB – Extensor *Carpi Radialis Brevis*
ECU – Extensor *Carpis Ulnaris*
EMG – Eletromiografia
FFT – *Fast Fourier Transform*
LMERT – Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho
MMT – *Manual muscle test*
MVC – Máxima contração voluntária
PET – Polietileno Tereftalato
RMS – Aceleração eficaz
SMB – Sistema Mão-Braço
VCI – Vibração Corpo Inteiro
VMB – Vibração Mão-Braço

1. INTRODUÇÃO

O ténis é um desporto praticado por milhões de pessoas, tanto com um carácter mais competitivo, como de uma forma mais desportiva e social. Começou como um desporto medieval, *le jeu de paume*, onde se usava a mão para bater na bola, tendo sido inventado no século XII, em França. No final do século XVI, surgiu a raquete como o objeto que se segurava com a mão para bater na bola, e na altura passou a ser designado por *Tenez*. A modalidade que representa o Ténis atual, surgiu no século XIX, em Inglaterra. O torneio mais antigo de ténis no mundo, é o Torneio de Wimbledon, e foi realizado em Londres pela primeira vez em 1877. Esse mesmo torneio ainda persiste na atualidade com o mesmo nome, sendo um dos quatro torneios mais importantes e conceituados do Ténis, os *Grand Slams*. *Wimbledon* (Londres, Inglaterra), *Australian Open* (Melbourne, Austrália), *US Open* (Nova Iorque, EUA) e *Roland Garros* (Paris, França). Estes são os quatro *Majors*, torneios mais importantes no mundo do ténis. O ténis tornou-se modalidade Olímpica a partir de 1986, nos Jogos de Atenas.

O ténis está dividido, atualmente, em 3 classes de torneios: Singulares (Masculino e Feminino), Pares (Masculino e Feminino) e Pares Mistos (Par com uma pessoa de cada género). Existem três superfícies oficiais distintas em que se pode praticar este desporto, a relva natural ou sintética, o piso rápido e a terra batida. As partidas são disputadas à melhor de três *sets*, com exceção dos torneios de *Grand Slam* masculinos, em que sai vencedor o atleta que vencer primeiro três *sets* (à melhor de cinco *sets*). Cada *set* é disputado até aos seis jogos, sendo obrigatório a vantagem de dois jogos. Caso o *set* esteja empatado a seis jogos (6-6), terá de se desempatar com a disputa de um “*tie-break*”. O vencedor do “*tiebreak*” ganha o *set* por sete jogos a seis (7-6).

As dimensões e marcações de um *court* de ténis são apresentadas na Figura 1.1. O ténis é uma modalidade muito técnica, com uma grande diversidade de pancadas. O serviço, a direita, a esquerda, que pode ser batida a duas mãos (*double handed backhand*) ou a uma mão (*one handed backhand*), o *slice*, o *volley*, o *smash*, o *drive volley*, o *amortie* e o *half volley*. As três pancadas mais utilizadas num jogo de ténis são, normalmente, o serviço, a direita e a esquerda, e são estas também as mais estudadas pelo

impacto negativo que podem ter nos praticantes, devido às suas características e ao seu uso excessivo.



Figura 1.1. Dimensões e limites de um campo de tênis (Adaptado de: [1]).

O tênis, e o desporto em geral, trazem inúmeros benefícios para o ser humano. Daí ser uma aposta por parte dos pais, colocarem os seus filhos desde muito tenra idade em atividades desportivas. O desporto desperta melhorias a níveis físicos, como a coordenação, capacidade aeróbica e flexibilidade, bem como a níveis psicológicos e sociais, por promoverem a constante partilha de momentos, e conhecimento com pessoas de diferentes zonas, países e culturas.

No registo de competição, o tênis é um desporto que exige muito fisicamente. Para os jogadores de alta competição, é indispensável uma excelente forma física, não só pela enorme intensidade do jogo, mas também, pelo facto de não existir um tempo limite definido para o final do encontro. A partida mais longa da modalidade, aconteceu no torneio de Wimbledon no ano de 2010, com início no dia 22 de junho, num encontro à melhor de cinco *sets*, com uma duração total de 11 horas e 5 minutos, espalhadas por três dias. No tênis feminino, o jogo com maior duração terminou passadas 6 horas e 31 minutos do seu início.

A exigência do tênis e as vibrações induzidas ao Sistema Mão-Braço provenientes da sua prática, representam um fator de risco na saúde dos seus praticantes,

podendo conduzir a desconforto, lesões temporárias, e em caso extremos, em lesões crónicas. Tendo em conta esta relevância, o trabalho que se apresenta pretende elucidar, numa abordagem biomecânica, a importância da perceção das vibrações transmitidas para o corpo humano no desporto, informar sobre as lesões existentes nas modalidades derivadas dessas vibrações, e produzir uma revisão generalista do universo desportivo, dos estudos e das técnicas utilizadas nessas investigações, sempre aprofundando para o desporto central, o ténis. A avaliação de eventuais lesões durante a prática do ténis é também abordada por recurso a eletromiografia, termografia e pressão plantar.

1.1. Contribuição do Autor

O presente estudo teve como objetivo apresentar um conjunto de análises, com o intuito de dar aos treinadores e atletas, uma ajuda complementar para definir estratégias de treino e jogo que evitem o aparecimento de lesões e reduzam a sua exposição a vibrações na prática do ténis.

1.2. Estrutura do Trabalho

O corrente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos: introdução, vibrações, lesões no desporto, estudos da avaliação do atleta na prática do ténis e conclusão e propostas de trabalhos futuros. A introdução apresenta de forma breve o tema em estudo, realça a sua utilidade para sociedade e define os objetivos principais deste trabalho. O segundo capítulo descreve os conceitos base das vibrações, salientando a exposição do corpo humano a vibrações e o seu impacto na saúde humana, realizando-se uma avaliação das vibrações no sistema mão-braço com base na revisão da literatura. É abordado também o impacto das vibrações no desporto, no trabalho e numa simples atividade de lazer. O capítulo terceiro aborda as diferentes lesões no desporto, com maior destaque no ténis. Com base na literatura já existente, são apresentadas as zonas do corpo humano mais afetadas na prática de alguns desportos. O capítulo quatro, apresenta os estudos biomecânicos desenvolvidos na área do ténis, as técnicas utilizadas e uma opinião do autor com sugestões de áreas e variáveis por investigar no desporto central desta dissertação, o ténis. Por último, no quinto capítulo retiram-se as conclusões e sugerem-se ideias para possíveis trabalhos futuros.

2. VIBRAÇÕES

O presente capítulo serve de enquadramento, em termos do que já existe na literatura aberta, para este trabalho. É feita uma revisão do conhecimento adquirido através de outros estudos, com o objetivo introduzir as bases para a análise desta dissertação.

2.1. Vibrações – o que são?

Define-se vibração como o ato ou efeito de vibrar, sendo vulgarmente associado a uma oscilação que pode, ou não produzir. Deste modo, é perceptível que ao longo do dia o ser humano seja constantemente exposto a vibrações, mesmo que não dê pela presença das mesmas.

Um corpo está a vibrar quando se encontra num movimento oscilatório em torno de um ponto referência. Este movimento oscilatório pode ser regular, com apenas uma frequência, ou ter várias frequências, denominado irregular. Na prática, a grande maioria dos sinais vibratórios é composto por várias frequências de vibração, do tipo irregular, tornando difícil a tarefa de analisar as vibrações recorrendo somente a diagramas de amplitude de vibração-tempo. Assim, na generalidade dos casos, para tentar quantificar a vibração, recorre-se a uma análise de frequência. Qualquer vibração que se repita num determinado intervalo de tempo pode ser quantificada a partir da sua frequência, seja ela regular ou irregular, tendo por base uma escala temporal. Esta frequência, passível de avaliação, é referida como sendo o número de ciclos que o corpo completa em torno da posição de referência, durante um segundo, sendo expressa em Hertz [Hz].

A vibração de um corpo pode ser caracterizada de diferentes formas, como por exemplo, através do deslocamento, da aceleração ou da sua velocidade. Normalmente, a vibração é exibida em unidades métricas segundo as normas ISO. Estas vibrações são caracterizadas através dos níveis de aceleração que lhes estão associadas, em metros por segundo ao quadrado [m/s^2]. No entanto, podem ser utilizadas escalas logarítmicas em decibel [dB], quando se pretende analisar sinais vibratórios nos quais se verifiquem amplitudes de vibração com diferentes ordens de grandeza.

Existem dois grupos nos quais a vibração pode ser dividida: intencional, que provoca trabalho útil, como por exemplo a vibração do telemóvel, constantemente presente no dia a dia do ser humano; não intencional, que é de difícil controlo e perceção para o corpo humano, são exemplo as vibrações causadas por irregularidades no pavimento.

Pelo facto de a presente dissertação contemplar vibrações nomeadamente associadas ao desporto, estarão presentes com mais regularidade situações de vibrações não intencionais.

Para a análise de um sinal vibratório é necessário em primeiro lugar caracterizar, e identificar, os parâmetros associados à vibração em estudo. Nesse sentido, consideram-se os seguintes fatores: o valor de pico-a-pico, o valor da *Root Mean Square* (RMS) ou valor eficaz, o fator de forma, o fator de crista e o valor médio. O valor de pico-a-pico é o valor da máxima amplitude de onda, e é utilizado para caracterizar níveis de impacto de curta duração [2]. O impacto de uma bola com o taco de golfe, ou da bola com uma raquete, são exemplos de impactos de curta duração. O valor RMS representa o valor da aceleração eficaz e quantifica a grandeza da energia que o movimento vibratório contém, representa a média quadrática do sinal. É o parâmetro mais importante para a análise de vibrações por demonstrar o potencial destrutivo. O fator de forma indica a homogeneidade do sinal, e serve como indicador de picos irregulares que resultam de fenómenos que se repetem em intervalos regulares [2]. O fator de crista pode ser descrito como o módulo da relação entre o valor máximo instantâneo de pico da aceleração ponderada em frequência e o seu valor eficaz, não indicando necessariamente a grandeza da vibração [3]. O valor médio representa a média aritmética do sinal e permite avaliar, num determinado período, a influência da amplitude de vibração [2].

Na Figura 2.1 está representado um sinal vibratório não periódico e não harmónico, e os seus diferentes parâmetros associados.

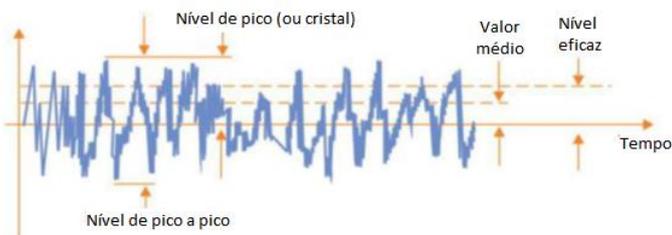


Figura 2.1. Principais parâmetros característicos de um sinal vibratório não periódico (adaptado de [4]).

A análise de um movimento vibratório com várias frequências nem sempre é suficiente através de uma simples análise temporal. Joseph Fourier, matemático e físico francês, desenvolveu um método analítico que permite decompor funções periódicas em séries trigonométricas convergentes, as séries de Fourier. Este método permite atualmente que se quantifiquem movimentos com várias frequências de vibração, ou seja, decompor um sinal não harmônico em vários sinais harmônicos, graças à transformada rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*), representada na Figura 2.2. Na figura 2.2 fica clara a possibilidade de associar uma frequência e amplitude a cada um dos sinais constituintes, e visualizar o espectro de frequência.

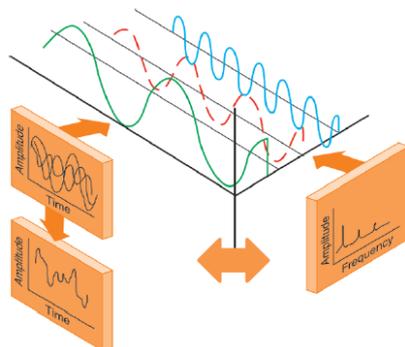


Figura 2.2. Decomposição do sinal vibratório através da aplicação de transformada rápida de Fourier (adaptado de [4]).

Existe também outra forma de transformar um sinal de domínio temporal para o domínio de frequência, aplicando filtros de frequência do tipo passa-banda, utilizando a análise de Fourier como algoritmo de filtragem. Da necessidade da comparação entre medições, as bandas de frequência foram padronizadas, segundo a Organização Internacional de Normalização, em filtros do tipo passa-banda. Os filtros de passa-banda, filtram o espectro de forma a apenas deixar passar bandas de frequência que sejam úteis para análise.

Os filtros de passa-banda mais utilizados são os $1/n$ oitava. Os filtros de oitava dividem o espectro em bandas em que a frequência do limite superior da banda, é o dobro da frequência do limite inferior. O fator que distingue uma banda de oitava de outra é a frequência central, que é dada pelo centro logarítmico da banda, sendo que cada frequência central das diferentes bandas é dupla da frequência central anterior.

Os filtros de terços de oitava surgiram com a necessidade de obter informações mais detalhadas em frequência, tanto de ruído com de vibração. São filtros mais estreitos e tal como o nome sugere, têm um terço da largura de banda de oitava.

2.1.1. Exposição do corpo humano a vibrações e os seus efeitos

Em conformidade com o referido anteriormente, o ser humano no seu dia-a-dia está permanentemente exposto aos diferentes tipos de vibração, direta ou indiretamente, quer se encontre em movimento, quer esteja em repouso. O corpo humano é um sistema complexo, tanto fisicamente como biologicamente, podendo ser simplificado num sistema biomecânico que engloba componentes lineares, e não lineares, que diferem consoante a pessoa [2]. A ressonância é um fator que está sempre presente quando se fala de vibração, por ser prejudicial para o corpo humano. Este fator ocorre quando a frequência de excitação a um determinado sistema corresponde à frequência natural de vibração do mesmo. Quando este fenómeno acontece, a amplitude de vibração é máxima para o sistema. Neste tipo de frequências, pela capacidade de o sistema armazenar energia no decurso do movimento vibratório, até as forças periódicas de pequena dimensão conseguem causar vibrações de grande amplitude, visto que, quando este entra em ressonância, as vibrações que recebe são amplificadas [5]. Considerando

isto, os fatores a ter em consideração na exposição às vibrações do corpo humano são: a amplitude, a frequência de vibração e o tempo de exposição [6].

Tavares [7] afirma que cada corpo possui uma ou mais frequências próprias de vibração, que estão diretamente relacionadas com a massa do corpo, e com a constituição química, física, forma e ajuste do mesmo. De uma forma simplificada a frequência própria de vibração de um corpo está relacionada com a sua massa e a sua rigidez. O corpo humano é normalmente dividido em regiões, com gamas de valores de referência para a frequência natural de vibração, Figura 2.3.

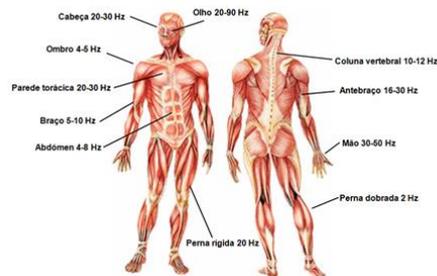


Figura 2.3. Representação geral das principais frequências de vibração no corpo humano.

As vibrações propagam-se em diferentes direções, segundo os eixos cartesianos x , y e z . Longitudinalmente (ao longo do eixo z) incidindo maioritariamente sobre a coluna vertebral, e transversalmente (ao longo dos eixos x e y) afetando mais o tórax e os braços, como é possível verificar na Figura 2.4.

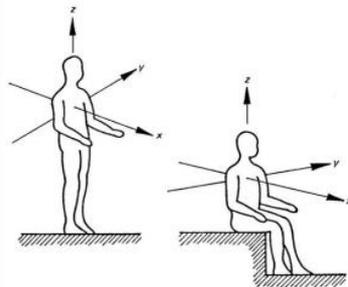


Figura 2.4. Direção dos eixos cartesianos quando aplicados no corpo humano [8].

A Tabela 2.1 mostra para cada parte do corpo humano a sua frequência de ressonância e a direção da propagação das vibrações consoante a posição do sujeito exposto aos vibratos.

Tabela 2.1. Frequências de ressonância para as várias partes do corpo humano (adaptado de [9]).

Posição	Parte do corpo	Direção da vibração	Escala de frequência de ressonância [Hz]
Deitado	Pés	X	16-31
	Joelhos	X	4-8
	Abdómen	X	4-8
	Tórax	X	6-12
	Crânio	X	50-70
	Pés	Y	0,8-3
	Abdómen	Y	0,8-4
	Cabeça	Y	0,6-4
	Pés	Z	1-3
	Abdómen	Z	1,5-6
	Cabeça	Z	1-4
	Em pé	Joelhos	X
Ombros		X	1-2
Cabeça		X	1-2
Corpo Inteiro		Z	4-7
Sentado	Tronco	Z	3-6
	Tórax	Z	4-6
	Espinha	Z	3-5
	Ombros	Z	2-6
	Estômago	Z	4-7
	Olhos	Z	20-25

O corpo humano é muito sensível a alterações, por mais pequenas que sejam. As vibrações são a prova disso mesmo, por muito baixa que seja a frequência de vibração tem repercussões para o ser humano. As vibrações atuam no corpo humano de forma gradual e conforme a sua intensidade. A probabilidade de contrair lesões aumenta com a intensidade e duração de exposição vibracional a que o corpo é sujeito. Assim, para baixos níveis de vibração existirá desconforto e redução de eficiência, enquanto que, para altos níveis e longos períodos de exposição, existe a possibilidade de ocorrerem lesões e doenças que afetam os vasos sanguíneos e a circulação [10]. Soeiro [11] explica que o sistema nervoso de um indivíduo exposto diariamente a vibrações excessivas, a curto ou longo prazo, sofre consequências. Tonturas, respiração irregular, enxaquecas e tremores

são alguns dos sintomas observados. A Tabela 2.2 mostra os diversos efeitos das vibrações induzidas ao corpo humano, numa gama de frequências balizada entre os 4 e os 20 Hz.

Tabela 2.2. Efeitos das vibrações induzidas ao corpo humano na gama de frequência 4-20 Hz (adaptado de [12]).

Efeito	Gama de frequências [Hz]
Aumento do ritmo respiratório	4-8
Aumento do tónus muscular	13-20
Alterações do sistema cardiovascular	13-20
Contrações musculares	4-9
Desconforto	4-9
Dores abdominais	4-10
Dores de garganta	12-16
Dores no maxilar inferior	6-8
Sensações incómodas na cabeça	13-20
Urgência de urinar e defecar	10-18

A classificação das vibrações em relação à zona do corpo onde estas incidem é muito importante para facilitar a análise, e a avaliação mais pormenorizada dos inúmeros, e diferentes, casos existentes. Deste modo, dependendo da zona submetida às vibrações, estas classificam-se em dois tipos: vibração corpo inteiro (VCI) e vibração no sistema mão-braço (VMB).

As vibrações corpo inteiro são transmitidas a partir das superfícies de suporte tais como: os pés numa pessoa em pé, as costas, os pés e as nádegas para uma pessoa sentada. As VCI são de baixa frequência e elevada amplitude situando-se entre 1 e 80 Hz. Quando o corpo é atingido por vibrações acima dos 80 Hz outros fatores, tais como o ponto de aplicação, direção, posição, área e amortecimento do local atingido, têm uma maior influência na resposta da pele e tecidos a essa vibração [2] [8].

Segundo Rehn *et al.* [13], a magnitude de exposição a vibrações de corpo inteiro é um resultado da combinação de diversos fatores, como como por exemplo, no caso dos veículos as técnicas de operação, o tipo de veículo, o tipo de terreno e a suspensão no assento. A vibração é transmitida ao corpo inteiro num veículo através do

assento, do encosto e do apoio de pés, e pode ter um efeito adverso no sistema neuro-esquelético. Citando ainda o mesmo estudo, concluíram, também, que os sintomas músculo-esqueléticos no pescoço se manifestam, em alguns casos, associados aos planos transversal e longitudinal em que ocorrem as vibrações, pelo facto de serem os músculos responsáveis por realizar o chamado trabalho de alavanca, e por manterem o equilíbrio do corpo. Furness & Maschette [14], asseguram que o produto da amplitude e frequência é a aceleração. Dado que, a posição do corpo humano não é constante, a taxa de variação de VCI (aceleração), que atua num indivíduo, é afetada pela manipulação da amplitude e frequência, por consequência, é o sistema neuromuscular de cada pessoa que tem de perceber, e controlar, as mudanças de posicionamento para tentar potenciar o desempenho e conforto do corpo humano durante a exposição VCI.

As dores lombares e dorsais, dores na zona do pescoço, náuseas, capacidade visual reduzida, enjoos e o aumento da frequência cardíaca, são alguns dos problemas causados pelas vibrações no sistema de corpo inteiro [13].

Relativamente às vibrações no sistema mão-braço, VMB, os principais sistemas afetados são o vascular, neurológico, osteoarticular e muscular [11]. As VMB são transmitidas como o nome indica às mãos e ao braço, sendo geralmente de baixa amplitude e frequências entre os 6,3 Hz e os 1250 Hz [15].

Perturbações osteoarticulares são muito comuns nos pulsos, cotovelos e ombros para vibrações de frequência inferior a 30 Hz. Subindo na escala de frequências, para a gama entre os 40 Hz e 125 Hz, o sistema vascular é o mais afetado, sendo os sintomas mais frequentes o formigueiro e a palidez. Associado a este tipo de vibrações também é comum falar da doença de *Raynaud*, também conhecida como a doença dos dedos brancos, que pode provocar espasmos que diminuem a circulação de sangue nas extremidades dos dedos e consequentemente afetar a saúde humana [11].

2.1.2. Avaliação da exposição humana à vibração

De acordo com o referido anteriormente, o corpo responde de forma distinta aos estímulos externos. Pela possibilidade de ocorrência de ressonância nas gamas de baixa frequência (entre 1 e 100 Hz), o parâmetro da frequência de vibrações toma uma importância adicional, sendo esta gama a mais perigosa pelo papel nocivo que tem no ser humano. Não são só as baixas frequências que constituem perigo, mas, também, as

frequências superiores são bastante prejudiciais para o corpo humano, com foco principal no sistema mão-braço, onde atuam predominantemente. As lesões no SMB (Sistema Mão-Braço) ocorrem na maioria entre valores de frequência compreendidos entre os 30 e 125 Hz.

O estudo de um movimento vibratório carece de muita e variada informação, não se podendo focar apenas num parâmetro para a sua avaliação total. Deste modo, é necessário mais do que o valor da frequência de vibração, fatores como a intensidade, direção, tempo de exposição e áreas de contacto com a fonte de vibração tomam grande importância na complementação da análise vibratória [9] [15] [16].

No que toca à análise de vibração do corpo humano, existem questões por responder, respostas estas que são passíveis de referências credíveis para a sua sustentação. O desenvolvimento contínuo é nota dominante quando se fala nas normas internacionais. Ao longo do tempo o aperfeiçoamento e a procura de um guia infalível são o foco. No entanto, não é possível ainda afirmar que exista uma norma que satisfaça e sustente cabalmente um estudo de vibrações no corpo humano, também pelo facto de este possuir uma diversidade genética que acaba por individualizar muito cada caso e, também, segundo muitos investigadores, por existir uma ambiguidade muito grande no que toca ao estabelecimento de limites, e de um procedimento experimental orientado, na análise das vibrações. A necessidade de basear os estudos em algo credível leva à utilização das normas internacionais, de referência aos trabalhadores e não a desportistas, que têm como objetivo orientar e viabilizar uma metodologia uniforme e que, de momento, são a referência mais viável.

As normas internacionais existentes relativas à avaliação da exposição humana à vibração encontram-se descritas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Normas internacionais ISO.

Normas ISO (avaliação da exposição humana a vibrações)	
Vibração Corpo Inteiro (VCI)	<ul style="list-style-type: none"> • ISO (2631) – Guia para a avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro • ISO (2631-1) – Vibração mecânica e choque - Parte 1: Requisitos gerais
Vibração Mão-Braço (VMB)	<ul style="list-style-type: none"> • ISO (5349) – Guia para medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão • ISO (5349-1) – Parte 1: Requisitos gerais • ISO (5349-2) – Parte 2: Guia prático para medição no local de trabalho

Importa referir que, até à data não existe nenhuma norma específica para a avaliação das vibrações na prática desportiva, desse modo, a grande maioria dos estudos encontrados regem-se pela norma ISO 2361 – Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro, no caso de se tratar de uma análise em VCI, e através da norma ISO 5349 – Medição e avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas à mão, se a análise for relativa à VMB.

2.1.3. Vibrações no Sistema Mão-Braço

As vibrações no sistema mão braço são associadas a efeitos nocivos no corpo humano. Muitos e diversos sintomas são detetados, destacando-se a perda parcial da sensibilidade motora, distúrbios circulatórios e musculoesqueléticos, dos quais, todos eles sintomas são associados à síndrome da vibração mão-braço que está associada à doença de *Raynaud*, de acordo com o já mencionado

A norma ISO 5349, já referida anteriormente, estabelece diretrizes para a quantificação e a avaliação da exposição à VMB. Esta norma refere que os parâmetros essenciais são a magnitude, espectro de frequências, duração de exposição e duração de exposição acumulada. No entanto, os resultados não são 100% fidedignos, embora a margem de erro seja reduzida, pelo facto de não serem definidos limites de exposição [15]. Existe apenas a indicação de sistemas de eixo de medição, guias de medição, e de avaliação das vibrações. É apresentada uma relação dose-resposta na qual a probabilidade de aparecimento de dedos brancos é de 10% [15].

Formatted: Portuguese (Portugal)

Esta norma está associada a vibrações periódicas, não periódicas ou casuais e, ainda, excitações do tipo impacto. Mune também, os seus utilizadores, de indicações e ferramentas para a medição de vibrações em faixas de um terço de oitava e de uma oitava, com frequências centrais compreendidas entre 8 e 1000 Hz. Conforme a norma ISO 5349-1 [15] sugere, a medição da aceleração deve ser efetuada tendo como referência um sistema de eixos ortogonais, existindo a possibilidade de definir o sistema de duas formas distintas: sistema basicêntrico ou biodinâmico. No caso do sistema basicêntrico, é na interface entre a mão e a superfície de transmissão de vibração onde se situa a origem do diferencial. No sistema biodinâmico, a cabeça do terceiro metacarpo é o ponto de origem do sistema de eixos. A Figura 2.5, apresenta a orientação axial, relativamente à mão, e o posicionamento da mesma, em função da superfície de vibração.

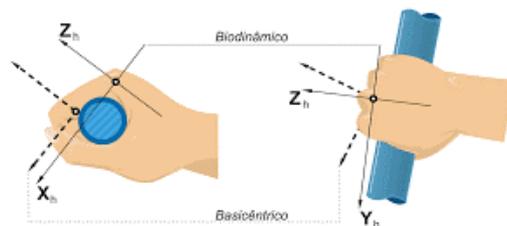


Figura 2.5. Sistemas de coordenadas utilizados na avaliação da exposição a vibração no sistema mão-braço (adaptado de [15]).

Numa análise na qual o sistema mão-braço está exposto a vibrações, a aceleração é a primeira grandeza a ser medida, e deve ser obtida segundo cada uma das direções, filtrada e ponderada em frequência. Ponderação essa que tem como objetivo evidenciar os valores de frequência que têm maior probabilidade de provocar danos ao segmento mão-braço. O fator de ponderação w_h , cuja relação é apresentada graficamente na Figura 2.6, é estimado em função da frequência da vibração.

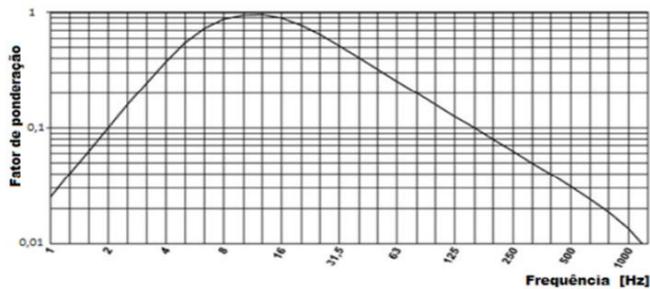


Figura 2.6. Curva de ponderação em frequência (adaptado de [15]).

A aceleração eficaz ponderada em frequência, denominada por $a_{rms,wh}$ em $[m/s^2]$, é determinada para cada um dos eixos coordenados, x, y e z, pela equação (2.1):

$$a_{rms,wh} = \left[\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} a_{hw}^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1),$$

onde $a_{hw}(t)$ é a aceleração instantânea, em $[m/s^2]$, ponderada em frequência e T_m é o intervalo de tempo de medição, em segundos, [s].

Segundo a norma, o valor total de aceleração, a_{hv} , expresso em $[m/s^2]$, é o valor que deve ser usado na avaliação de exposição às vibrações. O cálculo deste valor é efetuado através da raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações eficazes ponderadas consoante os eixos x, y e z, equação (2.2):

$$a_{hv} = (a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvx}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2).$$

O valor de aceleração total, a_{hv} , pode ser normalizado para um período equivalente de oito horas, definido por $A(8)$, representado na equação (2.3). Este valor, à posteriori, pode ser utilizado para estimar a duração de exposição D, em anos, à qual corresponde uma probabilidade de 10% de ocorrência de dedos brancos:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T_d}{T_0}} \quad (2.3),$$

onde, T_d , é a duração diária total de exposição à vibração e, T_0 , o valor normalizado de horas de trabalho, 8 horas. Caso o movimento vibratório seja composto por várias exposições de magnitude e duração distintas, a exposição total equivalente, $A(8)$, é determinada a partir da equação (2.4):

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \times T_i} \quad (2.4)$$

O índice i , representa o indicador relativo à exposição em análise, T_i é a duração respetiva de exposição e n o número de exposições com características distintas.

A relação entre $A(8)$ e D , Figura 2.7, é definida pela equação (2.5). Precisa o limite de exposição a vibração para o qual existe 10% de probabilidade do aparecimento da doença de *Raynaud* num indivíduo.

$$D = 31,8 \times [A(8)]^{-1,06} \quad (2.5)$$

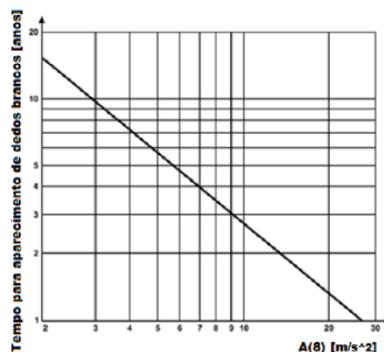


Figura 2.7. Relação entre a exposição diária de vibração e o tempo, em anos, necessário para o aparecimento de doença de *Raynaud*, com 10% de probabilidade (adaptado de [11]).

2.1.4. Limites Segundo as normas e diretrizes internacionais

Segundo o Decreto-Lei n° 46/2006, do Ministério de Trabalho e da Solidariedade Social, publicado em diário da república, em território nacional os limites em vigor para a exposição a vibração mecânica são estabelecidos em concordância com a diretiva n° 2002/44/CE [17] do Parlamento Europeu, que estipula os limites mínimos de segurança e saúde, Tabela 2.4.

O decreto mencionado estabelece como parâmetro referência o valor de ação de exposição, a partir do qual é necessário tomar medidas de precaução. Assim, impõem-se um “valor limite de exposição”, valor que não deve ser excedido, implicando a interrupção da exposição até regularização da situação. Estes valores são referentes à exposição de pessoas durante um período normalizado de oito horas diárias.

Tabela 2.4. Limites de exposição à vibração (adaptado de [18]).

	VCI	VMB
Valor de ação de exposição diária	$A(8) = 0,5 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ $VDV = 9,1 \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right]$	$A(8) = 2,5 \left[\frac{m}{s^2} \right]$
Valor limite de exposição diária	$A(8) = 0,5 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ $VDV = 21 \left[\frac{m}{s^{1,75}} \right]$	$A(8) = 5,0 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

2.2. Influência das vibrações no desporto

O desporto é uma das formas possíveis de praticar atividade física, que aliada a objetivos, individuais ou coletivos, culmina em diferentes modalidades. O desporto é de certa forma, a grande maioria das vezes associado a algo positivo, dado que proporciona bem-estar, diversão e melhorias a nível físico, psicológicos, social e da saúde das pessoas que o praticam [19]. Mas, infelizmente, o desporto não beneficia só de aspetos positivos. As vibrações são um dos efeitos negativos que o desporto tem sobre o corpo humano. Tal como no trabalho, a exposição a vibrações é constante. Dependendo da modalidade, o corpo humano encontra-se exposto tanto a VCI, VMB.

2.2.1. Vibrações no tênis

O tênis é um desporto que exige uma excelente preparação física global. No entanto, as características do jogo levam a que a parte superior do corpo, principalmente os membros superiores, sofram de maior carga e consequente desgaste. Desgaste muitas vezes proveniente das vibrações que são transmitidas da raquete para o SMB. O instante do impacto raquete/bola é uma constante neste desporto, momento no qual se produzem

grandes magnitudes de vibração. Deste modo, existem diversos fatores que influenciam a magnitude das vibrações induzidas. O material constituinte da raquete, a tensão das cordas, a massa e a sua distribuição, a dureza da bola, o *design*, o nível de prática e técnica do jogador, a pancada executada, a zona em que a bola impacta na raquete, e a força que se exerce para agarrar a raquete, o chamado “*grip force*”, são, de acordo com alguns autores, os principais fatores que influenciam as vibrações [20-24].

A excessiva exposição a VMB, derivado dos inúmeros impactos entre a bola e a raquete, leva ao aparecimento de lesões, em especial nos membros superiores.

2.2.2. Influência das vibrações mão-braço noutros desportos

Neste trabalho, o ténis é o desporto estudado com mais pormenor, mas tal como o ténis existem outros desportos em que o efeito das vibrações no sistema mão-braço deve ser tido em conta. Exemplos são desportos de raquete, como o badminton, o ténis de mesa e, mais recentemente, o padel. O basquetebol, o ciclismo, o voleibol, o golfe são modalidades que também têm uma taxa elevada de exposição a vibrações mão-braço. Umhas por apresentarem semelhanças em relação aos movimentos do ténis, outras por serem modalidades repetitivas e sujeitas a velocidades de impacto e de movimento muito grandes, evidenciam a importância do estudo das vibrações que são induzidas durante a sua prática.

2.3. LMERT

As lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT), cada vez mais são uma preocupação a nível mundial. Em Portugal, no ano de 2011, 81% das doenças profissionais registadas foram LMERT's [25]. Recuando na escala temporal, em 1997, nos Estados Unidos da América, de acordo com o relatório de *National Arthritis and Musculoskeletal Disorders and Skin Diseases*, 15% da população nacional já haviam sofrido de pelo menos uma lesão musculoesquelética [26]. Com estes dados, e com a previsão das alterações demográficas, para 2020 anteciparam o crescimento da taxa para um valor de 18,4 %, o que representa cerca de 59,4 milhões de pessoas afetadas pelas LMERT no presente ano [26]. Devido à enorme taxa de pessoas atingida por este tipo de lesões, já muitos autores consideram as LMERT uma epidemia no mundo do trabalho.

Deste modo, a sensibilização para a prevenção deste problema é muito importante no contexto profissional.

As LMERT surgem da ação de fatores de risco profissionais como a sobrecarga, a incorreta postura durante a realização das tarefas, e o grande volume de movimentos repetitivos. Existem também fatores de risco individuais como a idade, o sexo e as características antropométricas que têm muita importância neste âmbito. Por fim, os fatores de risco organizacionais/psicossociais que abordam pontos como os ritmos intensos de trabalho, a monotonia das tarefas que leva à desmotivação originando stress, a falta de suporte social e o modelo organizacional de produção incorretos.

Estas lesões consistem num processo patológico inflamatório, com síndromes de dor crónica, manifestando-se nos músculos, tendões, ligamentos, abrangendo os nervos correspondentes, tecido conjuntivo, vasos sanguíneos e articulações [27]. Os membros superiores e a coluna vertebral são os locais que apresentam maior número de lesões, porém, os tornozelos e os joelhos também são partes do corpo humano que despoletam bastantes problemas. Doenças inflamatórias e degenerativas do sistema locomotor também fazem parte do núcleo das lesões musculoesqueléticas [28].

Os sintomas predominantes nas LMERT são a sensação de perda de força, sensação de peso, dor localizada ou irradiada, fadiga e dormência nas áreas afetadas ou nas suas vizinhanças. A presença de sintomas surge de uma forma gradual, atingindo o seu pico nos finais de dia e/ou nas horas de maior produção. Sintomas intermitentes evoluem para incómodos constantes caso a exposição aos fatores de risco se mantenha, podendo evoluir para doenças crónicas, que irão ter interferência nas atividades laborais, de lazer e no quotidiano da pessoa.

As LMERT podem ser divididas e agrupadas em quatro classes diferentes, em concordância com a estrutura afetada. Tendinites que são lesões ao nível dos tendões e bainhas tendinosas, como a tendinite do punho, a epicondilite (lesão muito comum no tênis, conhecida como “lesão do cotovelo de tenista”), e os quistos das bainhas dos tendões. Síndromes canaliculares, onde o nervo é afetado, um exemplo é a Síndrome do Túnel Cárpico. Raquialgias, lesões osteoarticulares e/ou musculares localizadas em qualquer parte da extensão total da coluna vertebral. Por último, as Síndromes neurovasculares, onde existe uma lesão nervosa e vascular concomitante [28]. Alguns outros exemplos de LMERT não referidas acima são a Tendinite rotuliana, a Síndrome

de *Raynaud* (a muito popular doença dos dedos brancos, já abordada no capítulo das vibrações), Bursite do cotovelo, a Síndrome do desfiladeiro torácico, entre outras [28]. A Figura 2.8, apresenta as zonas do corpo humano onde é mais comum surgirem LMERT relacionadas com o trabalho.

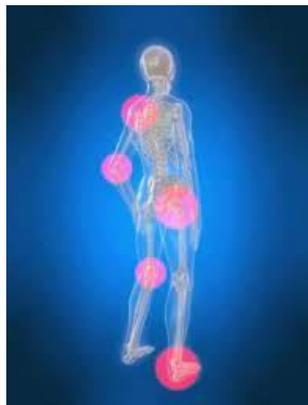


Figura 2.8. Zonas comuns das LMERT [29].

Com o crescimento exponencial desta “epidemia do trabalho” é necessário pensar em como será possível abrandar e até tentar estagnar a sua evolução. Com essa necessidade, surgiram métodos de prevenção. Já referido previamente, a sensibilização e partilha de informação é indispensável atualmente, pois as LMERT não são apenas um problema dos médicos e trabalhadores, mas sim de toda a população. Assim, a prevenção das lesões musculoesqueléticas assenta num modelo, o modelo de gestão de risco de LMERT, que se subdivide nas seguintes componentes: análise do trabalho, avaliação do risco de LMERT, vigilância da saúde do trabalhador, e informação e formação dos trabalhadores.

A análise do trabalho consiste na divisão da atividade nas diferentes tarefas a realizar, para investigar minuciosamente os aspetos a evoluir no sentido da prevenção. A avaliação do risco de LMERT deve ser uma das primeiras etapas a realizar, recorrendo a métodos de avaliação do perigo para classificar os variados postos de trabalho. A vigilância médica do trabalhador define-se como o método existente para obter dados sobre o estado de saúde dos trabalhadores. A realização de exames médicos regulares é uma excelente forma de efetuar esse controlo. Por fim, a informação e formação dos

trabalhadores presume a instrução da população sobre os fatores de risco dentro do trabalho, e até mesmo fora dele, e também pressupõe algum conhecimento sobre as lesões a que se sujeitam e a sua história.

É possível relacionar as LMERT com o tênis e também com outros desportos. Os fatores de risco profissionais nas LMERT, como a sobrecarga, a postura incorreta e a repetição constante dos mesmos movimentos, equiparam-se às causas pelas quais surgem as lesões nos desportos. No caso do tênis, grande parte das lesões surge por uso excessivo ou pela técnica imperfeita como acontece com a postura incorreta nas lesões no trabalho. Sendo as vibrações grandes causadoras de problemas nas pessoas, a constante exposição a vibrações aumenta a probabilidade de lesão tanto no trabalho como no desporto, pois estão presentes em ambos os ambientes, o que também cria um elo nas semelhanças entre as LMERT e os desportos em geral.

2.4. Presença de vibrações em atividades de lazer

A presença de vibrações no dia-a-dia do ser humano é uma constante, através do telemóvel, do solo e muito mais. Nas mais simples e comuns atividades praticadas pelo Homem, as oscilações estão presentes, e as atividades de lazer não são exceção. Atividades como uma simples caminhada, uma ida ao ginásio ou até jogos de consola podem ter pontos negativos para a saúde, umas mais que outras no âmbito das vibrações. Os ginásios são mesmo uma grande fonte de exposição a vibrações, sendo a bicicleta de “*spinning*” o aparelho que mais preocupa os investigadores devido à enorme quantidade de vibrações que transmite para o corpo humano. Surgiu nos últimos anos um novo aparelho no ginásio no qual o seu funcionamento se baseia em vibrações, a *Power Plate* [30], que é uma plataforma vibratória sobre a qual se podem realizar vários exercícios físicos. A utilização de vibrações para potenciar as melhorias físicas acaba por ter também a sua parte negativa. Os jogos de consola estão associados a excitações transmitidas do comando para o sistema mão-braço. Os jovens, nos dias de hoje, passam cada vez mais tempo em jogos de consola, e a percentagem de adolescentes que possui uma plataforma de videojogos também é maior, pelo que o risco de as vibrações se tornarem nocivas para o corpo humano nesta atividade se torna muito maior. Um estudo de Roseiro *et al.* [31],

expõe a quantidade de vibrações a que um baterista é sujeito. O que para muitos miúdos é apenas uma diversão pode estar a ter um impacto significativo na sua saúde.

Em suma, muitas atividades de lazer praticadas em excesso podem ter repercussões na saúde humana. A falta de conhecimento nesta área pode ser um problema, pelo facto de as pessoas não estarem cientes do impacto que algumas atividades podem ter no corpo humano.

3. LESÕES NO DESPORTO

O desporto no geral tem um papel fundamental na educação, no crescimento e no desenvolvimento humano, social e pessoal. Melhora o estilo de vida, desenvolve os indicadores vitais e proporciona aos seus praticantes bons momentos, que se refletem numa melhoria da saúde mental [19]. Contudo, o corpo humano por vezes não suporta determinadas cargas e esforços, surgindo lesões.

As lesões podem ser causadas por diversos fatores, externos ou internos ao corpo humano. Porém, a probabilidade de as pessoas se lesionarem aumenta quando não existe um aquecimento correto, quando não descansam o necessário, ou até quando a alimentação não é adequada. Existem também os fatores estruturais e fisionómicos que dependem de pessoa para pessoa e têm influência na maior, ou menor, suscetibilidade à ocorrência de lesões.

No desporto, as lesões podem ser divididas em várias categorias, entre elas: esforço excessivo, trauma por impacto, fraturas e deslocamentos, ou entorses. Os músculos e os ligamentos, normalmente, sofrem lesões quando são expostos a esforços superiores à sua força intrínseca. As articulações têm maior tendência a sofrer lesões quando os músculos e os ligamentos que as sustentam se encontram debilitados [32].

Lesões por esforço excessivo estão associadas normalmente à repetição de determinada tarefa de forma incorreta. Uma técnica incorreta torna-se prejudicial para o atleta, em qualquer desporto. As forças aplicadas nas zonas inadequadas fazem com que o risco de lesão aumente, e a quantidade de vibrações transmitidas ao sistema seja muito superior. As vibrações são também um grande calcanhar de Aquiles no que toca às lesões, pois o aumento de vibrações reflete-se num maior número de anomalias. Durações inapropriadas e com intensidades muito altas podem ser outro fator que contribui para a ocorrência de lesões.

De seguida, irão ser abordadas várias lesões associadas às VMB nos diferentes desportos, sendo que o ténis será alvo de uma análise mais aprofundada.

3.1. Lesões no tênis

O tênis é um desporto muito completo em termos físicos, solicita praticamente todas as partes do corpo. Desse modo, as lesões neste desporto são muito diversas. No entanto, as lesões nos membros superiores são mais frequentes devido às características do desporto, visto que durante a sua prática esta parte do corpo é a mais solicitada [33]. Tal como referido atrás, o tênis é uma modalidade em que o impacto entre a bola e a raquete acontece imensas vezes, impacto esse que liberta grande quantidade de vibrações que são absorvidas, parte pela raquete e parte pelo SMB. Dessa recorrente absorção de grandes vibrações, provêm lesões, maioritariamente, no SMB.

Segundo Kibler [34], em jogadores profissionais de classe mundial as velocidades rotacionais das três pancadas principais (o serviço, a direita e a esquerda) chegam a valores como, 1500, 387 e 895 graus por segundo, respetivamente. As velocidades da mão no impacto da bola são em média de 75, 59 e 53 quilómetros por hora, respetivamente para o serviço, a direita e a esquerda. Em praticantes de níveis mais baixos os valores são previsivelmente inferiores, no entanto, são sujeitos a forças aplicadas significativas para os membros superiores. Muitos fatores influenciam as forças geradas no membro superior, destacando-se a força, a amplitude de movimento e o nível de habilidade [35]. Estes valores revelam a agressividade a que o braço, o ombro e o punho estão sujeitos, que aliados a outros fatores aumentam a probabilidade de lesão nestas áreas do corpo humano.

Sendo assim, é possível dividir em três as zonas do corpo que sofrem mais lesões no tênis, todas elas situadas nos membros superiores: o cotovelo, o ombro e o punho.

É impossível falar de lesão e não referir características, métodos ou treinos que diminuam a probabilidade da sua ocorrência. A flexibilidade dos tecidos musculares e sua força muscular são elementos fundamentais num jogador de tênis. Estas características podem ser potenciadas com rotinas de alongamentos, com o aproveitamento do treino de pesos e com treinos Iso cinéticos que têm como objetivo melhorar a força e resistência muscular, reduzindo assim o risco de lesão e aumentando a *performance* individual.

3.1.1. Lesões no ombro

Estima-se que as lesões no ombro representem entre 4% e 17% de todas as lesões existentes no ténis [33]. Os tenistas devido à natureza repetitiva do jogo predispõem-se, maioritariamente, a lesões por uso excessivo. Robert G. Marx *et al.* [35] afirmam que os jogadores de ténis devem equilibrar a produção máxima de força com a manutenção da estabilidade dos ombros, pois a exaustiva repetição das pancadas do ténis causa fadiga muscular, que por sua vez diminui a eficácia dos músculos estabilizadores dinâmicos do ombro, causando lesões secundárias nos músculos estabilizadores estáticos. A deformação dos estabilizadores estáticos resulta num aumento da instabilidade do ombro, que consequentemente se traduz em lesões. O ombro é muito solicitado no ténis, principalmente, pela pancada do serviço e do “*smash*”, dado que as suas execuções são acima do nível da cabeça.

As lesões mais comuns ao nível do ombro no ténis são localizadas na coifa dos rotadores, podendo ser de roturas ou tendinopatias. A coifa dos rotadores, Figura 3.1, é constituída por um conjunto de músculos e tendões que envolvem a articulação do ombro, de extrema importância para o seu movimento. A causa das tendinopatias deve-se à inflamação dos tendões, que são provocadas pelos movimentos repetitivos característicos deste desporto. Já as roturas na coifa, totais ou parciais, ocorrem devido ao próprio envelhecimento ou a traumatismos, resultando na perda de força e limitação de movimentos.



Figura 3.1. Coifa dos rotadores [36].

Outras lesões, como por exemplo a Síndrome do Impacto Subacromial e a Instabilidade Glenoumeral são muito comuns em desportos em que existam movimentos de arremesso, como é o caso do serviço no tênis.

3.1.2. Lesões no Cotovelo

A conjugação de tênis com lesão traz ao discurso o cotovelo de tenista, conhecido em termos médicos como a Epicondilite Lateral. O cotovelo de tenista é uma inflamação ou, em alguns casos, uma micro tensão dos tendões que unem os músculos do antebraço no exterior do cotovelo. Esses tendões do antebraço que prendem os músculos ao osso são frequentemente designados por extensores. O tendão normalmente envolvido no cotovelo de tenista designa-se por Extensor *Carpi Radialis Brevis* (ECRB), que adota o mesmo nome que o músculo correspondente.

Estudos recentes mostram que o cotovelo de tenista surge frequentemente devido a lesões de um músculo específico do antebraço. O músculo extensor radial curto do carpo, ou Extensor *Carpi Radialis Brevis* (ECRB), ajuda a estabilizar o pulso quando o cotovelo está direito. Isto ocorre, por exemplo, durante uma pancada no tênis. Quando o ECRB é enfraquecido por atividade excessiva, formam-se roturas microscópicas no tendão onde se prende ao epicôndilo lateral. Isto leva à inflamação e à dor no exterior do cotovelo [37].

O ECRB também pode estar em risco acrescido de danos devido à sua posição anatómica. À medida que o cotovelo se dobra e endireita, o músculo raspa contra as saliências ósseas. Isto pode causar um desgaste gradual do músculo ao longo do tempo. A Figura 3.2, apresenta uma ilustração anatómica do interior do cotovelo e da zona onde surge a Epicondilite Lateral.



Figura 3.2. Cotovelo de tenista [38].

Na Epicondilite Lateral são visados os músculos e tendões do antebraço responsáveis pela extensão do pulso e dos dedos. Sendo a mão a zona que entra em contacto direto com a raquete, torna-se a recetora primária das VMB resultantes do impacto das pancadas do ténis. Assim, essas vibrações acabam por desgastar os músculos e tendões dirigentes do movimento dos dedos e do pulso, que perfazem grande parte da mão. Sem surpresa, grande parte dos praticantes de ténis sofrem desta lesão, tanto iniciantes como profissionais. No entanto, o seu aparecimento também surge noutros desportos, atividades de lazer e em atividades profissionais.

Como já mencionado no subcapítulo 2.2.1, a experiência tenística, e principalmente o desenvolvimento técnico, têm uma influência muito grande na quantidade de vibrações transmitidas para o SMB. Praticantes de nível iniciante produzem muito mais vibrações devido às imperfeições técnicas das suas pancadas, que aumentam significativamente a probabilidade do aparecimento do cotovelo de tenista. Já os tenistas profissionais, são afetados por esta lesão devido à repetição incessante das mais variadas pancadas do ténis [35].

3.1.3. Lesões no punho

DeCastro [39], em 2019, afirma que a biomecânica do pulso funciona como uma articulação que liga o antebraço e a mão. No ténis, o pulso em algumas pancadas pode funcionar como uma parede, em que toda a sua extensão tem de estar rígida e sem quebrar e, pode funcionar como o elemento que flexiona de modo a dar o designado *topspin* que é muito utilizado neste desporto. O *topspin* é o efeito que a bola leva, que faz

com que gire para a frente enquanto se move e quando embate no chão ganhe ainda mais velocidade. O pulso tem um papel muito importante pois, juntamente com a rotação do tronco, é ele que confere esse efeito na bola que está presente na maior parte das pancadas deste desporto. Daí, as lesões no punho serem muito frequentes, tanto nos iniciantes por falta de técnica, que resulta muitas vezes num atraso do ponto de impacto massacrando “a articulação antebraço-mão”, como nos profissionais mais uma vez por uso excessivo.

Ao nível do pulso, as lesões mais comuns são a tendinite de DeQuervain, a lesão do Complexo de Fibrocartilagem Triangular, a tendinite do Extensor Ulnar do Carpo (ECU) e a luxação do ECU [40]. Na maioria dos casos trata-se de problemas unilaterais, atingindo a mão dominante, mas pode acontecer afetar bilateralmente. A tendinite de DeQuervain é uma inflamação que afeta os tendões do punho que se dirigem para o polegar. O abdutor longo e extensor curto do polegar são os tendões afetados, na zona onde atravessam uma bainha fibrosa espessa, que constitui o primeiro compartimento extensor do punho. É causada mais uma vez, normalmente por movimentos repetidos do punho, mas também pode surgir por sobrecarga recorrente. A lesão do Complexo de Fibrocartilagem Triangular resulta da combinação entre o impacto e a rotação na pancada de tênis que pode por vezes ser muito agressivo. A dor é sentida na zona do estilóide ulnar que se agrava com a carga da articulação ulnocarpal [40]. As lesões no Extensor Ulnar do Carpo, ou Extensor *Carpis Ulnaris* (Figura 3.3), são as mais comuns nos tenistas, tanto as tendinites como as luxações. Seeley *et al.* [41], determinaram que para o aumento da velocidade da bola na direita de média para rápida, requeria 31% de maior velocidade angular do pulso no impacto. Deste modo, a repetição dinâmica desta pancada depende em grande parte da capacidade do ECU. Como referido anteriormente, o *topspin* nas diferentes pancadas é muito importante para o tênis, e é o extensor ulnar que ajuda bastante nessa tarefa, daí ser mais sobrecarregado. Existem também, algumas pegas (“*grip techniques*”), que representam a forma como o jogador agarra na raquete, que ajudam na execução do *topspin*. Tagliafico *et al.* [42], num estudo que envolvia 370 atletas não profissionais, descobriram que a utilização dos tipos de pega “Western” e “Semi-Western” na pancada de direita, que são mais eficazes para a produção de *topspin*, foram associadas quase exclusivamente a lesões no Extensor Ulnar do Carpo. Pode-se então concluir que, o risco de lesão no ECU de jogadores que utilizam esta pega é mais elevado do que em jogadores com “*grip techniques*” diferentes.

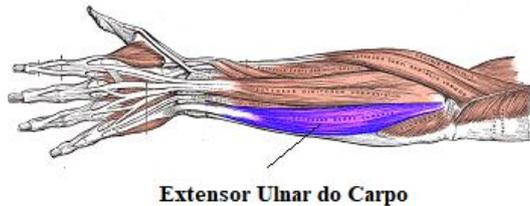


Figura 3.3. Extensor Ulnar do Carpo [43].

3.2. Lesões Noutros Desportos

As lesões nas extremidades superiores do corpo humano são muito comuns nos diferentes desportos. Tal como o ténis, um desporto que exige muito do movimento de arremesso e se baseia muito na repetição excessiva, o basebol, o voleibol, o basquetebol, o rugby e o golfe apresentam semelhanças nestas áreas. Desse modo, sofrem, também, de grande parte das lesões acima referidas para as três diferentes partes dos membros superiores.

O voleibol e o basquetebol, por serem desportos repetitivos e que se jogam também muito acima do nível da cabeça, podem originar lesões ao nível dos ombros, no entanto, as lesões mais comuns são nos membros inferiores, tornozelos e joelhos. Enquanto que o golfe e o basebol, são desportos também muito repetitivos, mas que têm velocidades de impacto entre taco e bola muito elevadas que massacraram principalmente o punho, pela necessidade de serem pancadas fluídas e compactas. O rugby, por sua vez, não tem uma zona mais crítica. É fácil encontrar uma lesão em qualquer uma destas partes dos membros superiores. Já as lesões no cotovelo são originárias, na sua maioria, de desportos com raquetes como o ténis de mesa, o badminton, o padel e o squash, para além do ténis.

4. ESTUDOS DA AVALIAÇÃO DO ATLETA NA PRÁTICA DO TÊNIS

A constante evolução no mundo carece da incessante procura de novas respostas e soluções para as inúmeras incertezas e perguntas que existem. Na ciência, na tecnologia, no desporto, e em muitas outras áreas o desenvolvimento é algo comum com o passar do tempo. Esse progresso é baseado nas ininterruptas investigações e estudos feitos, uns com maior sucesso, outros com menos, mas todos com algo de importante a retirar. Este capítulo, aprofundando mais a modalidade do ténis, aborda vários estudos desenvolvidos, as técnicas utilizadas nos mesmos e, também, algumas sugestões e variáveis que não se encontram tão pesquisadas, mas que podem ser importantes para o desenvolvimento do desporto e consequentemente para quem o pratica.

4.1. Técnicas de estudo nos desportos

Os estudos do atleta, e dos seus comportamentos físicos nos diferentes desportos, baseiam-se consoante a necessidade do propósito da investigação em diferentes métodos. Esses métodos são enunciados e clarificados neste subcapítulo. Todos os métodos estudam áreas diferentes, mas assemelham-se no objetivo de procurar soluções e melhorias para o desporto, atletas e treinadores.

4.1.1. Eletromiografia

A eletromiografia (EMG) é uma técnica de diagnóstico que avalia problemas nervosos ou musculares, determinando as diferenças de potencial nas fibras musculares. Este método utiliza dois tipos diferentes de eléctrodos. Os eléctrodos de superfície que, tal como o nome indica, são colocados na superfície da pele, avaliam a capacidade de células nervosas transmitirem sinais eléctricos. Os eléctrodos de profundidade permitem classificar a atividade muscular em repouso ou durante a contração muscular. Esta última vertente que recorre a eléctrodos de profundidade, denominada eletromiografia intramuscular, através de eléctrodos de agulha do tipo *fine wire* ou *hook wire*, que consistem em dois fios

totalmente isolados, com um diâmetro máximo de 51 μm frequentemente feitos de platina, que são inseridos no músculo através de uma agulha oca [44].

A eletromiografia é utilizada tanto no âmbito médico como desportivo. Na área clínica é aplicada para testar velocidades de condução nervosa. O registo da atividade eletromiográfica, na área cinesiológica permite a análise dos músculos utilizados em determinado movimento, o nível de ativação muscular durante a execução do movimento, a intensidade e duração da solicitação muscular, além de possibilitar avaliações relativas à fadiga muscular. No âmbito desportivo a EMG desempenha um papel fundamental na análise do desempenho muscular e na sua recuperação, estando já a ser utilizada como ferramenta de ajuda para a recuperação de lesões. A capacidade de avaliar o estado muscular do indivíduo torna-a muito útil na recuperação de lesões, e possibilita aferir o avanço do tratamento terapêutico.

Dos testes com EMG retiram-se parâmetros relativos à amplitude e frequência do sinal elétrico muscular. A análise do espectro de sinal em frequência é baseada na frequência média e mediana. Já o estudo da amplitude é sustentado pela RMS e pela integral do sinal da eletromiografia. Para a normalização do sinal, executa-se um teste estático denominado por máxima contração voluntária (MVC), que consiste numa resistência aos músculos testados, com o objetivo de encontrar a força máxima muscular. Durante as avaliações EMG podem surgir valores de MVC superiores ao registado, pelo facto do teste MMT (*manual muscle test*) ser um teste estático e, a prática desportiva se comportar como uma excitação dinâmica, atingindo então valores superiores [45]. A Figura 4.1 mostra os diferentes tipos de elétrodos referidos anteriormente.

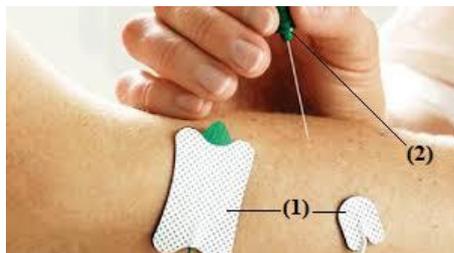


Figura 4.1. Diferentes tipos de elétrodos: de superfície (1) e de profundidade (2) [46].

4.1.2. Vibrações SMB

As vibrações no SMB já foram acima abordadas. Porém, os métodos de recolha dessas mesmas vibrações ainda não foram referidos. De acordo com os estudos existentes sobre as vibrações no desporto pode-se constatar que o equipamento mais utilizado para a recolha das vibrações induzidas é o acelerómetro piezoelétrico triaxial conectado a um sistema de aquisição.

O acelerómetro piezoelétrico triaxial serve para quantificar um dado nível de vibração. O acelerómetro mede as excitações nos três eixos (x,y,z), fornecendo valores de aceleração individualizados para cada um deles. A sua constituição consiste numa massa sísmica, num cerâmico piezoelétrico, ou um cristal de quartzo, e no corpo do acelerómetro. Quando submetido às vibrações, com frequências menores que a frequência natural do sistema, a aceleração da massa sísmica comprime o material piezoelétrico, produzindo um sinal elétrico com a mesma magnitude dessa solicitação. A magnitude do sinal pode ser definida pela segunda Lei de *Newton*. A dimensão da massa sísmica é diretamente proporcional à força aplicada no material e, conseqüentemente, ao sinal elétrico gerado. A gama de frequência, nestes acelerómetros, com intervalo de frequência constante depende da dimensão da massa sísmica. Por norma as frequências apresentadas por estes acelerómetros são frequências naturais superiores a 5 KHz. Posteriormente é convertido e transmitido para os dispositivos de receção do sinal. A Figura 4.2 ilustra um acelerómetro piezoelétrico triaxial típico, habitualmente utilizado em recolhas de vibração no sistema mão-braço (1) e um acelerómetro piezoelétrico triaxial (2) utilizado nos sistemas corpo inteiro.



Figura 4.2. Acelerómetro piezoelétrico triaxial (1), (à esquerda) [47], e Acelerómetro piezoelétrico triaxial (2) (à direita) [48].

Existem diversos sistemas de aquisição que podem ser usados para adquirir o sinal dos acelerómetros. Como exemplo, apresenta-se o sistema da *National Instruments*, baseado numa placa de aquisição que serve para o processamento dos sinais de áudio ou vibracionais de elevada precisão transmitidos pelos acelerómetros. A Figura 4.3 mostra um condicionador de sinal, da marca *National Instruments*, que suporta os acelerómetros piezoelétricos.



Figura 4.3. Condicionador de sinal [49].

Este sistema envolve também um chassis, módulo que envolve a placa de aquisição. Trata-se de um *hardware* que permite transferir os dados adquiridos pelo sensor para o computador. Com o avanço da tecnologia surgiram chassis *wireless*, que vieram eliminar algumas limitações físicas existentes no processo de aquisição, Figura. 4.4.



Figura 4.4. Placa de aquisição envolvida num chassis *wireless* [50].

4.1.3. Termografia

A termografia é um dos métodos de diagnóstico não invasivo que é utilizado atualmente. Consiste na utilização de uma Câmara Termográfica, Figura 4.5, que deteta a radiação, emitida pela pele, no espectro infravermelho, produzindo termogramas [51]. Os termogramas contêm mapas de térmicos que são analisados por softwares específicos que permitem obter a distribuição da temperatura em regiões de maior interesse [52-53].

A termografia tem inúmeras aplicações, principalmente na área médico-desportiva, e tem vindo a ser utilizada para o diagnóstico, prevenção e tratamento de lesões no desporto [54-55]. Com o avanço da tecnologia estas técnicas que recorrem a equipamentos tecnológicos crescem. A evolução desta técnica, e da sua versatilidade, deve-se às melhorias na precisão, funcionalidade e acessibilidade da Câmara Termográfica [52, 56-57].

A termografia infravermelha é uma técnica rápida e emergente para determinar a temperatura da pele. É ainda uma técnica versátil, não invasiva, *wireless* e não requer contacto com o indivíduo [57,58]. Devido à sua capacidade de captura de imagem, a seleção de regiões de maior interesse permite a avaliação da distribuição da temperatura na superfície da pele em diferentes áreas do corpo humano [59,60]. As regiões afetadas por lesões, são caracterizadas por uma variação de temperatura anormal [61].



Figura 4.5. Câmara Termográfica [62].

Existem alguns cuidados a ter na preparação deste teste que minimizem a interferência de fatores biológicos (internos), e fatores ambientais (externos). Não

pressionar e não esfregar a pele, não tomar calmantes, analgésicos, não ingerir produtos termogénicos, como por exemplo o café, são algumas medidas a tomar em conta para minimizar a interferência de fatores biológicos [63]. A luz, a temperatura exterior, a humidade e as correntes de ar são fatores ambientais que devem ser controlados aquando do estudo [63]. Neves & Reis [63] sugerem uma gama de temperatura ambiente entre 23°C e 25°C para condições perfeitas. A estabilização da temperatura corporal também é um fator muito importante para os testes serem iniciados, esta estabilização deve ser feita no ambiente de estudo pois a temperatura da pele varia com a temperatura ambiente [64,65].

4.1.4. Avaliação da pressão plantar

A pressão plantar é o campo de pressão que atua entre o pé e a superfície de apoio durante as atividades locomotoras diárias.

Para avaliar a pressão plantar, é utilizado um sensor discreto ou uma matriz de vários sensores para medir a força que atua sobre cada sensor enquanto o pé está em contacto com a superfície de apoio. A magnitude da pressão é então determinada dividindo a força medida pela área conhecida do sensor ou sensores evocados enquanto o pé estava em contacto com a superfície de apoio [66]. As variáveis de interesse mais comuns incluem o pico e a pressão média, a força e a área [67].

Os sistemas de avaliação da pressão plantar existentes com vista à realização de estudos na área variam na configuração do sensor. Existe uma grande variedade de sistemas de avaliação da pressão, no entanto, no geral podem-se dividir em dois tipos distintos: plataformas de distribuição de pressão e palmilhas instrumentadas para embeter no calçado, os chamados “*in-shoe systems*”.

As plataformas de distribuição de pressão, Figura 4.6, são construídas a partir de uma matriz plana rígida com os sensores de pressão dispostos sobre essa matriz estacionária que se dispõem, normalmente, no chão. Estes sistemas tanto são usados para estudos dinâmicos como estáticos. Todavia, existem limitações neste sistema, nomeadamente, de espaço, dificuldade na medição interna, e os pacientes apresentam alguma dificuldade em contactar de forma correta a plataforma de forma a que a deteção de resultados seja precisa.



Figura 6.6. Plataforma de distribuição de pressão plantar [68].

“*In-shoe systems*”, apresentados na Figura 4.7, são sensores flexíveis e incorporados no calçado, de modo a que os valores das medições correspondam à interface entre o pé e o calçado. Os sensores plantares incorporados no calçado foram um avanço muito importante por possibilitarem que sistemas de medição alcançassem melhores eficiências, maximizassem a flexibilidade de movimentos, e a mobilidade com a redução do preço [69].



Figura 4.7. “In-Shoe” system [70].

Para leituras em tempo real, os sensores necessitam de ter determinadas características, com destaque para: sistemas *wireless* para garantir conforto, segurança e movimento fluído e natural [71]; sensores móveis, com massa e tamanho reduzido para atrapalhar o menos possível e ser adaptável aos diferentes tipos, e modelos de calçado [71,72]. Atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia já existem sensores na forma de palmilha o que se torna bastante prático e cómodo.

4.2. Estudos da avaliação do atleta noutros desportos

Em conformidade com o já mencionado acima, existem modalidades que pertencem ao grupo de desportos de raquete como o ténis, que apresentam grandes semelhanças entre si, tais como o badminton, o ténis de mesa, entre outros. Mas, importa referir outras modalidades como o ciclismo, voleibol e golfe, que apresentam semelhanças com o ténis no capítulo da exposição a Vibrações Mão-Braço e no âmbito dos músculos do corpo mais solicitados.

O badminton é um dos desportos mais praticados no mundo. No entanto, não existem estudos que incidam sobre as vibrações transmitidas ao jogador em si. Apenas foi possível identificar estudos, com o intuito de otimizar os movimentos do jogo para a alta competição, ou investigações para modificar e potenciar as características das raquetes e/ou do volante. Teu *et al.* [73], tentaram desenvolver um método simplista para análise do movimento dos membros superiores durante a pancada de remate, com vista no progresso do desempenho desse mesmo gesto técnico. Já Kralovic & Krylov [74], em 2008, procuraram alternativas reais para desenvolver o elemento que liga o cabo e a cabeça da raquete, o *shaft*. Jaitner & Gawin [75], procuraram formas de otimizar o movimento do remate, pois segundo os mesmos, a aceleração do braço e a velocidade obtida pelo volante, pós pancada, são relação direta. Zhang *et al.* [76] e Phomsoupha *et al.* [77], analisaram aspetos que contribuíssem para o aumento da velocidade do remate. Os primeiros, concluíram que a experiência na modalidade, e a rotação ideal do tronco contribuía positivamente para esse aumento. Phomsoupha *et al.* [77], afirmaram que a elasticidade da raquete de badminton, ampliava o alcance da velocidade ponta do volante. Muitos outros investigadores, como Hart [78], Alam *et al.* [79] e Nakagawa *et al.* [80], estudaram as características do volante, e o que podia ser aperfeiçoado para desenvolver o seu comportamento aerodinâmico.

Por não existirem estudos relativos às vibrações induzidas ao sistema mão braço no badminton, muitas vezes são efetuados paralelismos entre esta modalidade e o ténis, pelo facto de apresentarem características muito similares. O remate no badminton e o serviço no ténis, são duas pancadas que apresentam semelhanças enormes. No entanto, não se pode afirmar que as massas dos constituintes sejam as mesmas. A massa das raquetes de ténis e da bola são superiores à massa da raquete de badminton e do volante, respetivamente. No caso das raquetes, a massa é três vezes superior, o que se traduz numa

maior dissipação de energia, e numa inércia superior do conjunto raquete/bola no tênis. Todavia, as velocidades atingidas no badminton são bastante superiores às máximas registadas no tênis, o que leva a uma maior velocidade de impacto, que se traduz numa maior força transmitida ao encordoamento, implicando amplitudes de vibração superiores.

No caso do Tênis de Mesa, as massas dos corpos e as velocidades da bola são muito inferiores, o que acaba por não preocupar tanto como o tênis no capítulo das vibrações induzidas.

No ciclismo, tanto as Vibrações Corpo Inteiro (VCI) como as Vibrações Mão-Braço (VMB) são preocupantes, e por isso, é importante serem estudadas.

Muitos fatores são determinantes para a variação das vibrações no corpo humano. No caso das VMB, os aspetos mais importantes a considerar são o tipo de terreno, a suspensão, a pressão dos pneus e o material do quadro da bicicleta. Roseiro *et al.* [81] verificaram que a gravidade da exposição às VMB depende essencialmente do tipo de terreno, e de alguns ajustes de pressão dos pneus, tipo de suspensão e material do quadro da bicicleta, confirmando, assim, o referido anteriormente. A suspensão diminui a rigidez da bicicleta, o que em provas de pavimentos rígidos e irregulares é muito importante para reduzir os efeitos das vibrações transmitidas ao atleta. Em relação à pressão dos pneus, alguns estudos afirmam que quanto menor for a pressão, menos vibrações existentes, não obstante que a pressão deve ser ajustada consoante o tipo de terreno. Contudo, a diminuição da pressão no pneu tem efeitos negativos, como o aumento da probabilidade de ocorrência de furos.

No mesmo estudo, Roseiro *et al.* [81], concluíram que a exposição de VCI no ciclismo depende do conforto do atleta quando sentado. Um posicionamento correto sobre o selim pode minimizar a ocorrência de futuras implicações na saúde dos praticantes da modalidade.

Os três pontos nevrálgicos de transmissão de vibrações na bicicleta são o selim, os pedais e o guiador. Sendo que os dois primeiros são transmissores de vibrações para o sistema corpo inteiro, e o último tem mais influência na transmissão das vibrações provenientes do exterior para o sistema mão braço.

4.3. Estudos no Tênis

Os estudos no Tênis até ao momento têm sido mais direcionados para a otimização da raquete com vista no aperfeiçoamento dos mais ínfimos detalhes da raquete em si. A cessante procura da perfeição é suportada pela preocupação em reduzir ao máximo as lesões no praticante e, também, pela tentativa de oferecer aos jogadores um maior conforto e jogabilidade. No entanto, cada vez mais são avaliados outros fatores que permitam a melhoria da qualidade deste desporto.

Hennig *et al.* [20], fez uma investigação com a participação de vinte e quatro atletas, em que foram feitos testes técnicos em vinte e três raquetes diferentes, com o intuito de determinar individualmente as suas propriedades mecânicas, como a dimensão geométrica, o peso, o centro de massa, e a frequência de ressonância e testes biomecânicos para analisar as vibrações causadas pela oscilação da raquete. O objetivo do estudo era diferenciar a aceleração no pulso, e no cotovelo, provocada pela zona de impacto da bola. Bolas batidas fora do centro da raquete provocam quase três vezes mais aceleração do que bolas que batem no chamado “*sweet spot*”. A aceleração sentida na zona do pulso ascendia a valores quatro vezes e meia maiores do que os sentidos no cotovelo. Foi também identificado que, tanto o peso do corpo, como o nível de experiência do jogador, influenciam a quantidade de vibrações. Atletas menos experientes, ainda que joguem o desporto com menos velocidade e intensidade, demonstraram um aumento das vibrações no braço. Esta conclusão é suportada pela maior quantidade de vezes que impactam a bola fora do “*sweet spot*”, e com técnicas menos corretas. Concluíram, ainda, que a dureza das raquetes tem influência nas vibrações pois, quanto mais dura a raquete, menos oscilações sentidas.

Em 2013, Ferrara & Cohen [21] desenvolveram um estudo para determinar a influência do cabo da raquete. Foram analisados dez protótipos de raquetes, de cinco fabricantes diferentes, com três tipos de cabo diferente: oco, de duplo *core* e triplo *core*. Os punhos dos cabos de duplo e triplo *core* no final dos testes demonstraram com sucesso uma redução no tempo de amortecimento, cerca de 35% nos duplo *core* e 50% nos triplo *core* comparados com os valores encontrados para o cabo oco. Determinou-se também que para os cabos de duplo e triplo *core*, as forças de impacto eram relativamente mais baixas do que no cabo oco. Na Figura 4.8, está representado um cabo de raquete.



Figura 4.8. Cabo da raquete.

Cross [22] fez também uma investigação sobre as vibrações no cabo da raquete. Concluiu que o principal fator que afeta as vibrações sentidas no punho é a rigidez da raquete, mas também a massa da mesma, a sua distribuição, o local de impacto, a duração do mesmo, a rigidez da bola e da encordoação (cordas da raquete). Massa adicionada na extremidade superior da raquete reduz a vibração no cabo quando a bola impacta na parte de cima da encordoação, mas aumenta as vibrações quando o impacto acontece perto do coração (zona que liga a parte de cima da raquete ao cabo) do objeto. Adicionar massa à pega reduz as vibrações sentidas nessa mesma zona, independentemente do ponto de impacto. Este estudo vai de encontro ao estudo referido acima, que constituem um importante progresso no âmbito das vibrações no tênis.

Seguindo o tema do cabo da raquete, alguns investigadores afirmam que a transferência de vibrações da raquete para o braço não depende apenas das características estruturais, e dos seus constituintes, mas podem, também, ser controladas pelo próprio jogador.

Segundo Chadeaux *et al.* [24] as características associadas à vibração dependem da força de apreensão do utilizador na raquete. É o controlo do “*grip force*” que define a quantidade de energia que é transferida para o antebraço. No geral, todos os “experts”, jogadores de níveis mais altos, conseguem afinar voluntariamente o nível de vibrações a que se sujeitam, variando a força com que agarram a raquete. Ainda Chadeaux *et al.* [82], em 2016, concluíram, num estudo do “*grip force*”, que a força exercida para a pega da raquete afeta as frequências modais e, também, os fatores de amortecimento. Quanto maior a força com que se agarra o “*grip*”, maior são os fatores de amortecimento, com menores frequências para os dois primeiros modos de flexão, e maiores frequências para o primeiro modo torsional [82].

Os diferentes níveis de experiência, e de técnica, são fatores que influenciam a quantidade de vibrações a que o sistema mão-braço é sujeito. Os iniciantes, possuem pancadas menos desenvolvidas tecnicamente, muitas das vezes realizadas de forma errada, pelo que ficam sujeitos a maior quantidade vibracional, Hennig [83]. O local de impacto da bola na raquete é um dos fatores que mais tem influência nas vibrações produzidas pela raquete. Bolas batidas no centro da raquete, o designado “sweet spot”, produzem muito menos vibração do que quando o impacto é fora dele [20]. Um estudo de Yang *et al.* [84], revela que para diferentes locais de impacto da bola com a raquete, estão associados diferentes níveis de vibração. Desse modo, definiram que locais da raquete produziam maior ou menor vibração. O “sweet spot” (1) é o local que produz menos vibração aquando do impacto com a bola, seguido dos lados da raquete (2), da ponta da mesma (3) e, por fim, do coração onde se produzem mais vibrações no momento da pancada [84], Figura 4.9.



Figura 4.9. Diferentes locais de impacto da bola na encordoação.

No tênis, existe um acessório chamado anti vibrador, Figura 4.10, que como o nome indica, reduz as vibrações.

Num estudo de Stroede *et al.* [85], no qual participaram dez homens e dez mulheres vendados e com a audição obstruída, experimentaram-se dois tipos de raquetes em duas batidas em pontos diferentes da encordoação da raquete, uma no “sweet spot” e outra a 100 mm do centro, com e sem anti vibrador. Imediatamente a seguir à pancada, os participantes deram o seu *feedback* sensorial. Não houve diferenças significativas nos impactos registados com o anti vibrador e sem ele, nem entre os dois tipos de raquete. Os

impactos centrais foram considerados mais confortáveis que os desviados do centro, como era de esperar, tendo em conta os estudos acima referidos.

O anti vibrador é colocado na raquete para tentar diminuir a vibração das cordas. No entanto, este não atenua as vibrações de baixa frequência e alta amplitude, que correspondem às vibrações responsáveis por provocarem lesões, que são transmitidas da face da raquete para o punho [85,86]. A explicação encontrada para este acessório não conseguir dissipar a gama de vibrações acima referidas, deve-se ao facto de a sua massa ser muito inferior à massa da raquete [85].



Figura 4.10. Anti vibrador presente na raquete.

Já mencionado anteriormente, o tipo de corda é também um fator que influencia a passagem de vibrações para o SMB. Um estudo comparativo das duas gamas de cordas mais usadas no mundo do tênis, as cordas do tipo Polyester e as do tipo Co-Polyester, explica as vantagens e desvantagens das mesmas, e o porquê de terem surgido nesta modalidade.

Gustavo Kuerten, jogador profissional, campeão com múltiplos títulos nos grandes palcos deste desporto usou em 1997, pela primeira vez na história da modalidade, cordas de Polyester compostas por um mono filamento feito de um único polímero, o Polietileno Tereftalato (PET). Kuerten sentiu a necessidade de aumentar a velocidade do seu jogo, conjugado com a criação de *topspin*, que iria ajudar na segurança e *control* da bola. Dessa necessidade de evolução do jogo surgiram as cordas do tipo Polyester, que para além das características já referidas ainda apresentam uma grande durabilidade. No entanto, apresentam uma grande desvantagem que condiciona o desempenho nesta modalidade, a perda de tensão muito rápida. Esta perda de tensão traduz-se numa menor

absorção por parte das cordas, das vibrações provenientes do choque entre a raquete e a bola, que acabam por ser absorvidas pelo SMB. Para colmatar esta lacuna, foi desenvolvida uma corda com uma constituição diferente em Co-Polyester. Estas cordas têm a base das de Polyester, mas com adição de aditivos, de forma a que, se colmatem as desvantagens do outro tipo de cordas, sem apresentar as características negativas. No entanto, as características que conferem o *topspin* e o *control*, não se apresentam tão eficazes nas Co-Polyester. Daí, para os atletas mais experientes ser recomendado o uso do primeiro tipo de cordas. Já os jogadores menos avançados tenisticamente, não tiram proveito do que as primeiras podem oferecer, por isso o uso das cordas Co-Polyester que reduzem as vibrações transmitidas para o braço e conferem na mesma as características necessárias para a prática do tênis nesses níveis, é aconselhado.

A raquete e as suas características têm sido muito estudadas até então, porém existem outras áreas que podem, e devem, ser mais exploradas para o crescimento deste desporto. Optar por explorar também o próprio atleta, as fragilidades do corpo provenientes da prática do tênis, e tentar indicar soluções para minimizar, ou até extinguir, os seus efeitos nefastos. Foi neste âmbito que surgiram os estudos eletromiográficos no desporto, área de investigação que está em crescimento.

Um estudo de Rota *et al.* [87], examinou o efeito de fadiga no desempenho tenístico e na atividade muscular dos membros superiores. Dez jogadores foram testados antes e depois de um volumoso treino de tênis, onde foram executadas vários serviços e direitas, estas pancadas estão representadas por figuras presentes no Anexo A, para a deteção da atividade eletromiográfica nesses dois instantes, em oito músculos dos membros superiores. Detetaram-se diminuições significativas na precisão, na velocidade e na consistência, após os serviços e as direitas, principalmente derivadas da fadiga muscular. Os resultados deste estudo estão em concordância com Girard & Millet [88], que afirmaram que os efeitos da fadiga no tênis podem manifestar-se como pancadas mal batidas (velocidade e precisão), jogo de pés enfraquecido (velocidade e trabalho de pés, posicionamento para a bola) e escolhas táticas incorretas.

O estado de fadiga dos músculos acaba por ser uma informação poderosa para trabalhar em estratégias de recuperação, e de adaptação, com o intuito de diminuir e limitar as perdas de desempenho. Para isso são necessários mais estudos nesta área para

determinar os mecanismos de fadiga muscular dos membros superiores no ténis, e compreender melhor as estratégias de compensação intermuscular.

Outro método que é pouco utilizado nas investigações na área do desporto é a termografia. Como já referido neste mesmo Capítulo, no Subcapítulo 4.1.3., os mapas termográficos permitem diferenciar as inúmeras zonas do corpo e identificar o seu estado térmico. Marques [62], na sua dissertação de mestrado, desenvolveu um estudo onde pretendia identificar a influencia dos diferentes tipos de *overgrip* (Figura 4.11) nas vibrações transmitidas para o SMB na pancada do serviço, e também investigar sobre o que o uso da termografia podia trazer de novo para o universo dos estudos desportivos com base nos comportamentos do corpo humano. Marques [62] concluiu que a presença dos dois tipos de *grip* utilizados não tem qualquer efeito significativo sobre as VMB. O uso da termografia mostrou diferenças consideráveis nas temperaturas médias da pele em determinadas zonas do corpo, o que significa que esta técnica é uma mais valia para identificar o risco de lesões nos jogadores de ténis.



Figura 4.11. *Overgrip*.

A eletromiografia e a termografia são duas técnicas que, conjugadas, podem ajudar muito no desenvolvimento deste desporto. O conhecimento dos comportamentos do corpo do atleta, e do seu estado físico, é importante para perceber as suas fraquezas e os seus pontos fortes físicos, de modo a que se previnam lesões e se desenvolva o potencial do atleta.

4.4. Estudos e áreas a explorar – Opinião do autor

Este subcapítulo pretende dar a conhecer a opinião que se pode formular da revisão feita, e propor algumas áreas e estudos que podem ser desenvolvidos no contexto da prática do ténis.

É um facto que, a grande maioria dos estudos feitos referem-se às características e propriedades da raquete que podem ser melhoradas e aperfeiçoadas, de forma a que atenuem as vibrações transmitidas para o SMB e melhorem as sensações do jogo, como a qualidade e o conforto da própria raquete. É, portanto, uma área já muito estudada e bastante aprofundada. Isto evidencia que se identificam muitos estudos dos objetos que compõe o jogo de ténis, e não tanto das pessoas que o praticam. O autor deste trabalho é da opinião que as técnicas de eletromiografia e termografia têm uma margem de crescimento enorme, e podem ser cruciais para grandes descobertas. É de relevante interesse estudar os músculos mais afetados, os seus limites, formas de aumentar o seu tempo de máxima produtividade, e maneiras de diminuir o tempo de recuperação da fadiga muscular, através dessas técnicas que dão informação sobre o estado físico do atleta.

Uma das ideias que inicialmente ocorreu para dissertação de mestrado, passava por estudar o efeito das “*sleeves*” na pancada de direita (Figura 4.12), no tempo de recuperação muscular através de uma análise eletromiográfica e termográfica. As “*sleeves*” são umas mangas que comprimem o braço. Vários estudos de medicina desportiva demonstraram que esta compressão ajuda a estabilizar os músculos dos braços e aumenta o fluxo sanguíneo, o que ajuda na recuperação muscular. A ideia era desenvolver um estudo eletromiográfico e termográfico, para verificar a diferença entre o estado dos músculos do SMB, no pré-treino e no pós-treino, numa situação sem manga, e comparar com uma situação na qual os jogadores utilizam a manga colocada no braço dominante. Esta avaliação pode ser feita em qualquer pancada do ténis, não apenas na direita. Era interessante perceber até que ponto essas mangas conseguem ajudar na recuperação muscular, o que no ténis seria uma mais valia, devido ao facto de os jogos não terem tempo limite para terminarem.



Figura 4.12. Manga de compressão (*Arm sleeve*) [89].

A utilização de câmaras de alta velocidade é uma técnica pouco utilizada no tênis e que, dada a complexidade técnica deste desporto, seria um grande passo para a melhoria de muitos aspetos do jogo, bem como importante para perceber melhor as causas de algumas lesões desportivas. Grande parte das lesões no tênis resulta da excessiva quantidade de vibrações transmitidas para o SMB. O nível técnico e de experiência do jogador afeta diretamente a quantidade de vibrações produzidas, e transmitidas, para o corpo humano. Tenistas menos desenvolvidos tecnicamente são expostos a uma maior quantidade de vibrações que os profissionais. Daí, os jogadores menos experientes sofrerem bastantes lesões. O recurso à precisão que as câmaras de alta velocidade permitem, seria essencial para perceber melhor as falhas técnicas que levam às lesões mais prejudiciais para o ser humano, como exemplo a Epicondilite Lateral, muito comum em jogadores de tênis amadores. A possibilidade de ver os pormenores estruturais, e técnicos, no momento do impacto da raquete com a bola, poderia ser um caminho para a redução de lesões nesses tenistas de níveis técnicos inferiores.

Num contexto de tênis nos níveis mais altos, as câmaras de alta velocidade poderiam ser fundamentais para determinar velocidades, acelerações e forças a que os jogadores profissionais estão sujeitos constantemente, no momento do impacto raquete/bola.

Como já referido, o estudo das características e propriedades da raquete já se encontra bastante aprofundado. Porém, não se pode afirmar que seja uma área que requer menos atenção. Pois, acredita-se que seja possível encontrar materiais que sirvam as características necessárias para garantir a qualidade de uma boa raquete, e que reduzam a

quantidade de vibrações transmitidas ao SMB. Pensa-se que é bastante importante continuar a investigar possíveis soluções nos materiais constituintes da raquete, num tipo de corda que tenha capacidade de absorver as vibrações e, até, procurar soluções para que os anti vibradores consigam amortecer as vibrações prejudiciais para o corpo humano.

Virando o foco para a avaliação biomecânica das diferentes pancadas do jogo, anteriormente indo de encontro ao já referido, as que aumentam a probabilidade de lesão no praticante devido às excessivas vibrações libertadas e à enorme repetibilidade são, a direita, a esquerda e o serviço, tal como já referido anteriormente para as pancadas da direita e do serviço, também a pancada da esquerda apresenta uma figura representativa no Anexo A. As duas primeiras são já bastante investigadas, contudo, os estudos no serviço são escassos, apesar de que pelas suas características, ser uma pancada muito destrutiva para a saúde humana.

5. CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

É inegável que as vibrações têm um enorme impacto negativo na vida do ser humano, no trabalho, no desporto e até no simples dia-a-dia das pessoas. São causadoras da grande parte das lesões mais comuns no ténis, e são o principal objeto de estudo no ténis. A tentativa de maximizar a percentagem de vibrações que se dissipam na raquete é um grande objetivo não só no ténis como noutros desportos.

A uni direccionalidade dos estudos é uma realidade. Esses estudos permitiram concluir que, bolas batidas fora do centro da raquete, provocam mais aceleração do que quando batiam no “*sweet spot*”. A experiência e técnica do jogador, são fatores preponderantes na quantidade de vibrações transmitidas para o SMB. O uso de anti vibrador em nada influencia nas vibrações induzidas para os membros superiores, ao contrário do tipo de corda. A “*grip force*” é um dos fatores que mais tem influência na saúde do atleta, e os jogadores profissionais, ao contrário dos menos experientes, conseguiam adaptar a “*grip force*” de forma a sentirem menores desconfortos vibracionais. O tipo de corda e os materiais constituintes da raquete são também fatores primários que podem reduzir as vibrações transmitidas à mão.

A principal conclusão a retirar deste trabalho é a necessidade de explorar o atleta, e o comportamento do seu corpo, durante e após a prática do ténis, não só a nível de vibrações induzidas, mas também através de técnicas como a eletromiografia, a termografia e até as câmaras de alta velocidade e precisão, que certamente irão ajudar bastante na avaliação biomecânica e da saúde do jogador.

Procurar soluções no tipo de corda, no material constituinte da raquete e em objetos que se acoplem à raquete ou ao corpo do jogador, podem permitir um avanço no desenvolvimento do ténis. Os estudos existentes e as futuras investigações nesta vertente das vibrações no ténis, permitirão um maior desenvolvimento nesta área, que certamente irá ter um impacto positivo na saúde e no jogo dos seus praticantes

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Em concordância com a presente dissertação, apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros.

- A criação de uma norma internacional no âmbito das vibrações não intencionais no desporto, visto que as normas ISO utilizadas nas investigações desportivas são relativas ao trabalho com máquinas sujeitas a grandes vibrações.
- Avaliar o possível efeito da “*sleeve*” (manga de compressão) na recuperação muscular durante um jogo de ténis, utilizando a eletromiografia e a termografia como técnicas de estudo.
- Utilizar câmaras de alta velocidade para analisar com alta precisão os pormenores técnicos dos praticantes, na pancada do serviço. Verificar se os ajustes técnicos implementados, resultam numa diminuição de vibrações transmitidas da raquete para o SMB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Retirado de: <https://sites.google.com/site/tenisistingles/tennis-rules>
- [2] J. C. Fernandes, “Segurança Nas Vibrações Sobre O Corpo Humano,” Texto Acadêmico, 2000.
- [3] ISO 2631:1978. Guide for Evaluation of human exposure to whole-body vibration.
- [4] C. Costa and H. Mathias, “Análise de vibrações mecânica com FPGA,” 2008.
- [5] T. M. Saliba, “Manual prático de avaliação e controle de vibração,” São Paulo, LTR, 2009.
- [6] S. Milosavljevic, D. I. McBride, N. Bagheri, R. M. Vasiljev, R. Mani, A. B. Carman, and B. Rehn, “Exposure to whole-body vibration and mechanical shock: A field study of quad bike use in agriculture,” *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 55, no. 3, pp. 286–295, 2011.
- [7] G. Tavares, “Elementos orgânicos e fundamentais de máquinas e implementos agrícolas.” Londrina. UDUEL, 2000.
- [8] ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-vibration – Part 1: General requirements.
- [9] C. T. M. Anflor, “Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade”, Tese de Mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [10] C. A. Braga, “Exposição ocupacional a vibrações no sistema mão-braço no sector da construção”, Tese de Mestrado FEUP, Porto, 2007.
- [11] N. S. Soeiro, “Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional,” Monografia, GVA-UFGA, Belém, 2011.
- [12] ALEC, “Vibrações – o Risco Físico “furtivo”.”, 2016. Retrieved from <http://alec.org.br/novo/rental/vibracoes-o-risco-fisico-furtivo/>
- [13] B. Rehn, I. A. Bergdahl, C. Ahlgren, C. From, B. Järvholm, R. Lundström, T. Nilsson, and G. Sundelin, “Musculoskeletal Symptoms Among Drivers of All-Terrain Vehicles,” *J. Sound Vib.*, vol. 253, no. 1, pp. 21–29, 2002.
- [14] T. P. Furness and W. E. Maschette, “Influence of Whole-Body Vibration Platform Frequency on Neuromuscular Performance of Community-Dwelling Older Adults.,” *J. Strength Cond. Res. (Lippincott Williams Wilkins)*, vol. 23, no. 5, pp. 1508–1513, 2009.
- [15] ISO 5349-1:2001. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements.
- [16] ISO 5349:1979 (E). Mechanical vibration – Guide for evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.
- [17] Directive 2002/44/EC. On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). L177/13 (25-06-2002)
- [18] Directive, 2002/44/EC, Official Journal of the European Communities, 2002.
- [19] J. P. B. Rebelo, “Prática Desportiva: Impacto no Rendimento Académico e no Bem-Estar Psicológico de Adolescentes do Ensino Secundário”, Relatório de Estágio

para obtenção de Mestre em Enfermagem Comunitária, Instituto Politécnico de Bragança, 2017.

[20] E. M. Hennig, D. Rosenbaum, and T. L. Milani, "Transfer of tennis racket vibrations onto the human forearm," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 24, pp. 1134–1140, 1992.

[21] L. Ferrara and A. Cohen, "A mechanical study on tennis racquets to investigate design factors that contribute to reduced stress and improved vibrational dampening," *Procedia Eng.*, vol. 60, pp. 397–402, 2013.

[22] R. Cross, "Factors affecting the vibration of tennis racquets," *Sport. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 135–147, 2015.

[23] E. M. Hennig, T. L. Milani, and D. Rosenbaum, "The influence of tennis racket design on impact induced arm oscillations," *Biomech.* XIV, pp. 562–563, 1993.

[24] D. Chadeaux, G. Rao, P. Androuet, E. Berton and L. Vigouroux, "Active tuning of stroke-induced vibrations by tennis players", *Journal of Sports Sciences*, 2016.

[25] ACT, "Atividade de Inspeção do Trabalho - Relatório 2012", Lisboa: ACT, 2013.

[26] "Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low back and upper extremities", by National Research Council, Washington DC: National Academic Press/Institute of Medicine, 2001.

[27] S.C. Pereira, "Lesões músculo-esqueléticas: perspectivas da saúde ocupacional e da paleopatologia", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2011.

[28] A. S. Uva, F. Carnida, F. Serranheira, L. C. Miranda and M. F. Lopes, "Lesões Musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho – Guia de orientação para a prevenção", Direção Geral da Saúde, 2008.

[29] Vânia Santos, "Lesões Musculoesqueléticas mais frequentes em cada trabalho", *Physioclem*. Retirado de: <http://physioclem.blogspot.com/2012/03/lesoes-musculo-esqueleticas>, (2021).

[30] J. Muir, D. P. Kiel and C. T. Rubin, "Safety and severity of accelerations delivered from whole body vibration exercise devices to standing adults", *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013.

[31] L. M. Roseiro, M. F. Paulino, M. A. Neto and A. M. Amaro, "Analysis of hand-arm vibration syndrome in drummers", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2018.

[32] Manual MSD, "Considerações gerais sobre lesões provocadas por esportes".

[33] K. C. Chung and M. E. Lark, "Upper Extremity Injuries in Tennis Players – Diagnosis, Treatment, and Management", *Hand The Clinics*. 2017.

[34] W. B. Kibler, "Biomechanical analysis of the shoulder during tennis activities.", *Clin Sports Med* 14:79-85, 1995.

[35] R. G. Marx, J. W. Sperling and F. A. Cordasco, "Overuse injuries of the upper extremity in tennis players", *Clinics in sports medicine*, 2001.

[36] Retirado de: <https://www.universosenior.com/news/lesoes-do-ombro/>, 2021.

[37] "Tennis Elbow (Lateral Epicondylitis)", *Diseases & Conditions*, OrthoInfo.

[38] "The Body Almanac", *American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2003.

[39] A. DeCastro, "Common Upper-Extremity Injuries.", *Prim Care Clin Office Pract*, 2019.

- [40] R. H. Perkins and D. Davis, "Musculoskeletal Injuries in Tennis", *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 2006.
- [41] M. K. Seeley, M. D. Funk, W. M. Denning, R. L. Hager and J. T. Hopkins, "Tennis forehand kinematics change as post-impact ball speed is altered." *Sports Biomech*, 2011.
- [42] A. S. Tagliafico, P. Ameri, J. Michaud, E. D. Lorenzo, M. P. Sormani and C. Martinoli, "Wrist injuries in nonprofessional tennis players: relationships with different grips." *Am J Sports Med* 2009.
- [43] Retirado de: <https://study.com/academy/lesson/extensor-carpi-ulnaris-origin-insertion-action.html>, 2021.
- [44] M. L. Systems, "Eletromiografia de profundidade", 2019.
- [45] A. J. Farber, J. S. Smith, R. S. Kvitne, K. J. Mohr and S. S. Shin, "Electromyographic analysis of forearm muscles in professional and amateur golfers", *American Journal of Sports Medicine*, 2009.
- [46] Retirado de: <http://meuprofessordefisica.com/2018/05/01/fundamentos-da-eletromiografia-como-se-da-o-processo-de-estudo-da-atividade-eletrica-muscular/>, 2021.
- [47] Piezoelectric accelerometer. Retrieved from <https://www.pcb.com>, 2021a.
- [48] Piezoelectric accelerometer. Retrieved from <https://www.pcb.com>, 2021b.
- [49] National Instruments. Ni cDAQ-9171. Retirado de <http://www.ni.com/>, 2021a.
- [50] National Instruments. Ni cDAQ-9171. Retirado de <http://www.ni.com/>, 2021b.
- [51] E.F.J. Ring and K. Ammer, "The technique of infrared imaging in medicine", *Thermology International*, vol.10, 2000.
- [52] J.T. Costello, C.D. McInerney, C.M. Bleakley, J. Selfe and A.E. Donnelly, "The use of thermal imaging in assessing skin temperature following cryotherapy, a review", *Journal of Thermal Biology*, 2012.
- [53] J. Selfe, N. Hardaker, D. Thewlisa and A. Karki, "An accurate and reliable method of thermal data analysis in thermal imaging of the anterior knee for use in cryotherapy research", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2006.
- [54] V. Hadzic, B Sirok, A. Malnersic and M. Coh, "Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study", *Journal of Sport Health*, 2015.
- [55] C. Hildebrandt, C. Raschner and K. Ammer, "An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria", *Sensors*, 2010
- [56] A. J. E. Bach, I.B. Stewart, G.M. Minett and J. T. Costello, "Does the technique employed for skin temperature assessment alter outcomes? A systematic review", *Physiological Measurement*, 2015.
- [57] A.A. Fernandes, P.R.S. Amorim, C.J. Brito, A.G. Moura, D.G. Moreira, C.M.A. Costa, M. Sillero-Quintana and J.C.B. Martins, "Measuring skin temperature before, during and after exercise: a comparison of thermocouples and infrared thermography", *Physiological Measurement*, 2014.
- [58] D. Formenti, N Ludwig, A. Trecroci, M. Gargano, G. Michielon, A. Caumo and G. Alberti, "Dynamics of thermography skin temperature response during squat exercise at two different speeds", *Journal of Thermal Biology*, 2016.

- [59] D. Fournet, L. Ross, T. Voelcker, B. Redortier and G. Havenith, “Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold”, *Journal of Thermal Biology*, 2013.
- [60] N. Gerrett, Y. Ouzzahra, B. Redortier, T. Voelcker and G. Havenith, “Female thermal sensitivity to hot and cold during rest and exercise”, *Physiological Behavior*, 2015.
- [61] T.A. Turner, “Diagnostic thermographic assessment of racing Thoroughbreds”, *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, vol. 17, no. 1, pp. 95–113, 2001.
- [62] T. R. Marques, “Avaliação Biomecânica na prática do tênis”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, 2018.
- [63] E. B. Neves and V. M. Reis, “Fundamentos da Termografia para o acompanhamento do treinamento desportivo”, *Revista Uniandrade*, 2014.
- [64] F. Bandeira, E. B. Neves, M. A. Moura and P. Nohama, “A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no desporto”, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2014.
- [65] F. Bandeira, M. A. Moura, M. Souza, P. Nohama and E. B. Neves, “Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol”, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2012.
- [66] P. R. Cavanagh and J. S. Ulbrecht, “Plantar Pressure in the diabetic foot.”, In: G. J. Sammarco, “The Foot in Diabetes”, Philadelphia, Lea & Febiger, 1991:54-70.
- [67] M. N. Orlin and T. G. McPoil, “Plantar Pressure Assessment”, *Physical Therapy*, Vol. 80, Issue 4, Pag. 399-409, 2000.
- [68] Retirado de: <https://www.tekscan.com/pedobarography>, 2021a.
- [69] A. H. A. Razak, A. Zayegh, R. K. Begg and Y. Wahab, “Foot plantar pressure measurement system: a review”, *Sensores (Basel)*, 2012.
- [70] Retirado de: <http://www.memstec.com.tw/productDetail.php?PNo=55>, 2021b.
- [71] H. Tanwar, L. Nguyen and N. Stergiou, “Force sensitive resistor (FSR) – Based wireless gait analysis device”, *IASTED*, 2007
- [72] S. Bamberg, A.Y. Benbasat, D.M. Scarborough, D.E. Krebs and J.A. Paradiso, “Gait analysis using a shoe-integrated wireless sensor system”, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, 2008.
- [73] K. K. Teu, W. Kim, J. Tan and F. K. Fuss, “Using dual Euler angles for the analysis of arm movement during the badminton smash”, *Sports Engineering*, 2005.
- [74] V. Kralovic and V. Krylov, “Some new methods of damping impact-induced vibrations in badminton raquets”, 2008.
- [75] T. Jaitner and W. Gawin, “A mobile measure device for the analysis of highly dynamic movement techniques, 2010. *Procedia Engineering*, 2(2), 3005-3010.
- [76] Z. Zhang, S. Li, B. Wan, P. Visentin, Q. Jiang, M. Dyck, G. Shan, “The influence of X-Factor (Trunk Rotation) and experience on the quality of the badminton forehand smash”, *Journal of Human Kinetics*, 2016.
- [77] M. Phomsoupha, G. Laffaye, C. Cohen and C. Clanet, “How to use the elasticity of a badminton racket to increase its speed by 80%? *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2015.
- [78] J. Hart, “Simulation and understanding of the aerodynamic characteristics of a badminton shuttle” *Procedia Engineering*, 2014.
- [79] F. Alam, C. Nutakom and H. Chowdhury, “Effect of Porosity of Badminton Shuttlecock on Aerodynamic Drag”, *Procedia Engineering*, 2015.

- [80] K. Nakagawa, H. Hasegawa, M. Murakami and S. Obayashi, “Aerodynamic Properties and flow behaviour for a badminton shuttlecock with spin at high Reynolds numbers”, *Procedia Engineering*, 2012.
- [81] L.M. Roseiro, M. A. Neto, A. M. Amaro, C.J.Alcobia and M. F. Paulino, “Hand-arm and whole-body vibrations induced in cross motorcycle and bicycle drivers”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016.
- [82] D. Chadeaux, G. Rao, J.-L. Le Carrou, E. Berton and L. Vigouroux, “The effects of player grip on the dynamic behaviour of a tennis racket”, *Journal of Sports Sciences*, 2016.
- [83] E. M. Hennig, “Influence of racket properties on injuries and performance in tennis,” *Exerc. Sport Sci. Rev.*, vol. 35, no. 2, pp. 62–66, 2007.
- [84] C. H. Yang, P. C. Lin, and Y. J. Chiu, “The Influence of Vibration Mode on Response of Tennis Racket,” *J. Biomech.*, vol. 40, p. S774, 2007.
- [85] C. L. Stroede, L. Noble, and H. S. Walker, “The effect of tennis racket string vibration dampers on racket handle vibrations and discomfort following impacts,” *J. Sports Sci.*, vol. 17, no. 5, pp. 379–385, 1999.
- [86] F. X. Li, D. Fewtrell, and M. Jenkins, “String vibration dampers do not reduce racket frame vibration transfer to the forearm,” *J. Sports Sci.*, vol. 22, no. 11–12, pp. 1041–1052, 2004.
- [87] S. Rota, B. Morel, D. Saboul, I. Rogowski and C. Hautier, “Influence of fatigue on upper limb muscle activity and performance in tennis.”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2014.
- [88] O. Girard and G.P. Millet, “Neuromuscular fatigue in racquet sports.”, *Neurol Clin*, 2008.
- [89] Retirado de: https://www.djoglobal.eu/en_UK/index.html

ANEXO A

Neste anexo são apresentadas figuras demonstrativas das técnicas e movimentos do ténis referidos na presente dissertação.



Figura 0.1. Diagrama da pancada de direita no ténis.



Figura 0.2. Diagrama da pancada de esquerda no ténis.



Figura 0.3. Diagrama da pancada do serviço no tênis.