

Estudo do Comportamento Dinâmico de uma Raquete de Ténis

Nuno V. Ramos¹; Mário A. P. Vaz²; Hernâni Lopes³

¹Técnico Superior Auxiliar, LOME-INEGI

²Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

³Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança



RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo experimental e numérico para caracterizar o comportamento dinâmico de uma raquete de ténis durante o impacto com a bola. O seu desempenho é avaliado em termos da definição da posição e das dimensões do sweet spot. Para o efeito, procedeu-se à medição das propriedades modais da raquete em diferentes condições de apoio. Análise da aceleração medida no punho permite correlacionar a região nodal com o ponto ideal de batida.

1- INTRODUÇÃO

O ténis (inicialmente designado por “*Lawn Tennis*”) é uma das modalidades mais praticadas em todo o mundo e durante os últimos 20-30 anos sofreu uma grande evolução, tanto no desempenho dos atletas, como no equipamento utilizado. Ao nível das raquetes estes avanços foram mais acentuados uma vez que a raquete é um instrumento individual e, como tal, pode ser adaptado à antropometria e estilo de jogo de cada atleta. Utilizando as ferramentas de projecto mais avançadas e os materiais compósitos de última geração tem sido construídas raquetes cujo desempenho excede largamente as clássicas raquetes em madeira.

A posição e dimensões do *sweet spot* (Fig. 1) são actualmente utilizadas na caracterização da raquete, ainda que a sua

definição não seja única. Alguns autores definem-no como a região onde o coeficiente de restituição (COR) é máximo, outros consideram que é o centro de percussão (COP) e, por último, alguns ainda o definem como uma região nodal [Brody 1979].



Fig. 1 - Localização do *sweet spot*: ponto nodal, COP e COR.

Apesar de todos apresentarem localizações muito próximas é a secção nodal que define a região ideal de batida. Os ensaios experimentais realizados comprovam ser o impacto nesta região que produz menor amplitude de vibração ao punho da raquete [Brody 1997].

2- MEDIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS E MODOS DE VIBRAÇÃO

Para esta análise tem especial interesse o comportamento vibratório da raquete à frequência natural fundamental nas condições livre-livre, encastrada e fixa na mão. Neste sentido, procedeu-se a um conjunto de medições da raquete, sem e com cordas, sendo que nas últimas foi utilizado um tipo único de corda da marca Wilson®, modelo Enduro Mono 1,28 mm de diâmetro e com uma tensão de encordoamento de 260 N (26 kg). Para determinar as propriedades intrínsecas do modelo em estudo, isto é, frequências, modos e amortecimentos modais, foram medidas as Funções de Resposta em Frequência, FRF's cuja montagem se mostra na Fig. 2.

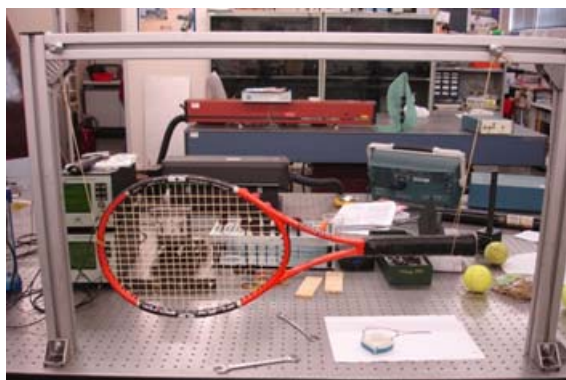


Fig. 2 - Montagem para análise modal experimental.

2.1 - Resultados da análise modal

Na Tabela 1, apresentam-se as três frequências naturais identificadas para a raquete *Head* modelo *Flexpoint Radical Tour* e os respectivos coeficientes de amortecimento, para a gama de frequências em análise e para as condições de fixação encastrada e livre-livre.

Tabela 1 – Frequência e amortecimento da raquete para diferentes condições.

	Modo 1		Modo 2		Modo 3	
	Frequência [Hz]	Amortecimento [%]	Frequência [Hz]	Amortecimento [%]	Frequência [Hz]	Amortecimento [%]
Livre-Livre com Corda	133,4	0,64	392,9	2,23	741,4	1,13
Livre-Livre sem Corda	145,0	0,39	411,7	0,43	753,9	0,92
Fixa na Mão sem Corda	136,0	6,43	401,1	4,32	744,4	5,5
Encastrada Punho com Corda	33,2	1,28	159,5	1,01	411,0	0,24

A análise das frequências naturais de vibração, apresentadas na Tabela 1, revela que estas são superiores na condição livre-livre em relação às obtidas com o encastramento. Por outro lado, verifica-se que a incorporação das cordas na raquete conduz a uma ligeira diminuição das suas frequências naturais. Na condição de fixa na mão a raquete apresenta frequências naturais que estão muito próximas da situação livre-livre. As respectivas formas modais fundamentais apresentam uma configuração geométrica muito semelhantes entre si, Fig. 3.

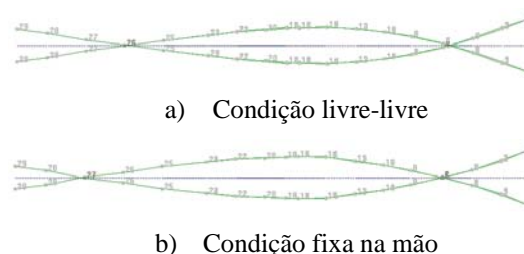


Fig. 3 - Modos fundamentais na condição a) livre-livre e b) fixa na mão.

2.2 - Resultados da medição da aceleração no punho

A raquete foi também montada na condição livre-livre, medindo-se a razão entre a aceleração no punho e a excitação nas cordas. Os respectivos pontos de excitação e medição estão assinalados na Fig. 4.

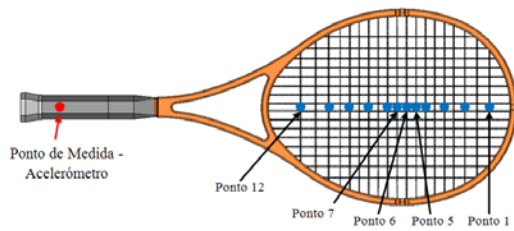


Fig. 4 – Discretização dos pontos de medição.

As magnitudes das FRF's obtidas para os diferentes pontos são apresentadas na Fig. 5. Nesta figura é considerada apenas a primeira frequência de vibração da raquete e a sua distribuição de magnitude revela um valor mínimo na região definida no intervalo dos pontos 5 a 7. Com esta medição constata-se que a região nodal obtida para a raquete é coincidente com a de menor amplitude de aceleração medida no punho.

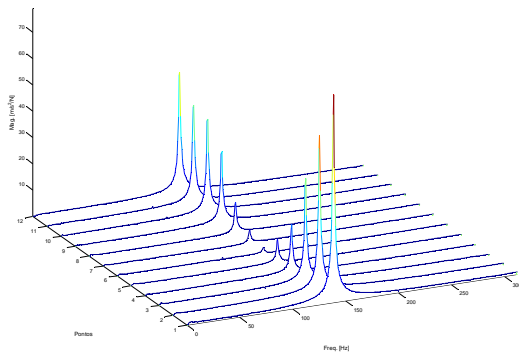


Fig. 5 – FRF's medidas experimentalmente ao longo do eixo longitudinal da raquete.

3- CONCLUSÕES

A metodologia seguida revelou-se adequada e permitiu conhecer em profundidade o comportamento dinâmico de um elemento estrutural de alta tecnologia como é a raquete de ténis.

A introdução das cordas tensionadas induz no quadro da raquete tensões de compressão, levando a um aumento da sua flexibilidade. Nas condições livre-livre e fixa na mão, os modos naturais de vibração apresentam uma configuração geométrica muito semelhante, observando-se, no segundo caso, pequenos desvios próximos da extremidade livre do punho.

As medições realizadas permitiram comprovar que o ponto ideal de batida, aquele que transmite menor vibração ao punho, é coincidente com a secção nodal da primeira forma natural vibração.

4- REFERÊNCIAS

- Brody, H., 1979. Physics of the tennis racket II: the "sweet spot". Am. J. Phys., Vol. 47(6): 482-487.
- Brody, H., 1997. The physics of tennis III. The ball-racket interaction. American Journal of Physics. Vol. 65(10), 981-987.