

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UMA ESTRUTURA DE SUPORTE DA CUBA DE UM PROTÓTIPO DE UMA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA

S. M. Coelho, J. D. Duarte, R. A. Moreira e J. A. Simões

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro

RESUMO

No âmbito do desenvolvimento do protótipo funcional de uma máquina de lavar roupa, realizou-se a análise dinâmica da estrutura concebida para o suporte da cuba. O estudo, numérico e experimental, contemplou a determinação das frequências naturais e modos próprios de vibração.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um produto é uma actividade que implica a conjugação de diferentes saberes e competências nas diversas áreas do design industrial e do design de engenharia. Para além destas, outras poderão desempenhar um papel importante, como por exemplo, a sociologia e a psicologia, desde a ideia até à comercialização do produto.

O projecto de engenharia de determinados produtos pode implicar a análise do seu comportamento dinâmico. O projecto de um produto como uma máquina de lavar roupa, que devido à sua funcionalidade, implica o estudo do seu comportamento dinâmico, de forma a evitar fenómenos de ressonância dos diversos órgãos que a constituem. A vibração e ruído da máquina de lavar têm principalmente origem no motor e sistema de transmissão e movimento da água e roupa dentro da cuba em movimento.

Normalmente a cuba da máquina está ligada à blindagem através de amortecedores e molas. Estes elementos

são responsáveis pela resposta vibratória de todo o conjunto que compõe a cuba e sistema motor. São também estes elementos os responsáveis pela transmissão da vibração da cuba para o corpo da máquina, apoios da máquina e em última instância para o utilizador. O cálculo das características destes elementos assume assim a importância devida.

O estudo apresentado fez parte do desenvolvimento de uma nova máquina de lavar roupa. A máquina foi concebida no âmbito de um concurso internacional promovido pela empresa *LG Electronics* (Coreia do Sul) [1]. O desenvolvimento da nova máquina englobou diversas fases de projecto: adaptação de órgãos mecânicos funcionais de uma máquina convencional à volumetria da máquina concebida, cálculo estático e dinâmico, fabrico de moldes e da respectiva blindagem, implementação de toda a componente de automação (controlo da máquina), fabrico dos botões de comando e realização de acabamentos e pintura [2]. A figura 1 ilustra a máquina concebida e a fabricada.

O protótipo idealizado consiste numa máquina de lavar roupa, de design formal baseado em formas orgânicas, que aliam a sua geometria a um carácter funcional, estético e inovador. Em termos conceptuais, a forma da máquina protótipo está intimamente associada à sua função, ou seja, a sua forma em turbilhão invoca o movimento circulatório realizado pela roupa no interior da cuba.

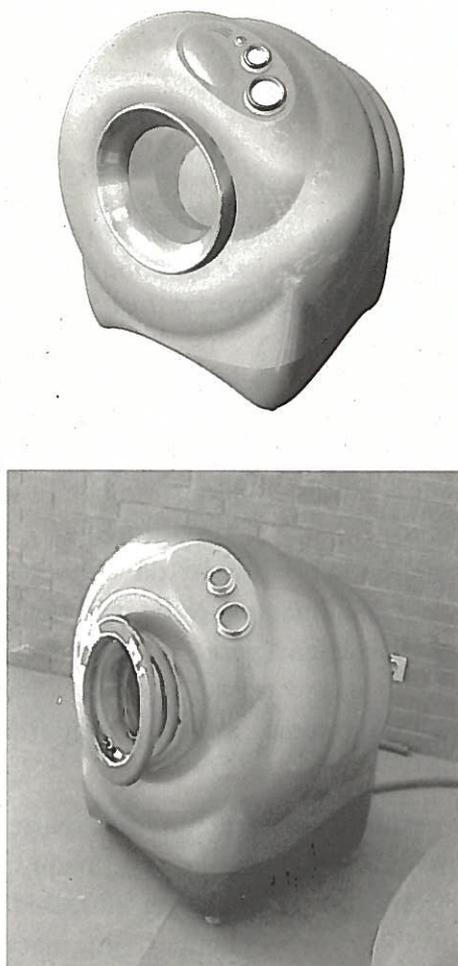


Fig. 1 - Modelação conceptual e protótipo da máquina de lavar.

A blindagem, devido às suas formas orgânicas, e no pressuposto de ser um protótipo, foi fabricado num material compósito do tipo "sandwich". Assim, para o fabrico da blindagem foi necessário o fabrico de moldes maquinados em espuma de poliuretano. A blindagem é constituída por uma parte inferior, base, que suporta a estrutura metálica e que permite o encaixe da parte superior.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Devido a restrições de volumetria, foi necessário idealizar uma estrutura capaz de suportar os esforços impostos pelos elementos constituintes da máquina de lavar, tendo como parâmetros limitativos as medidas de atravancamento do protótipo, a geometria, restrições de projecto e elementos da cadeia cinemática (cuba, motor eléctrico, etc.), em substituição da tradicional blindagem em chapa quinada. A aplicação de todos os elementos mecânicos da máquina convencional no protótipo fabricado, bem como à respectiva estrutura de suporte, foi numa fase inicial a principal dificuldade, devido à diferença formal entre os dois conceitos de máquinas de lavar roupa.

Após a concepção e modelação da estrutura, realizaram-se cálculos estruturais estáticos e dinâmicos, procedendo-se posteriormente ao seu fabrico e revestimento por processo de galvanização. Efectuada a construção da estrutura, procedeu-se à montagem de todos os órgãos mecânicos, tendo sido necessário aplicar molas, lastro e amortecedores diferentes dos típicos em máquinas convencionais.

A análise do comportamento estático e dinâmico da estrutura foi efectuada através do método dos elementos finitos. Os resultados da simulação dinâmica foram aferidos e comparados com os resultados experimentais obtidos através de um estudo realizado para o efeito e mais adiante descrito.

2.1 Modelação da estrutura suporte da cuba

Relativamente à estrutura que suporta os diversos órgãos da máquina protótipo, nomeadamente a cuba e o bloco do motor, foi feita uma abordagem inicial que pretendeu associar uma estrutura resistente de baixo peso com a necessária funcionalidade de todos os constituintes da máquina, não esquecendo a adequada estabilidade da máquina. A figura 2 ilustra a modelação em perspectiva explodida dos

componentes da máquina. A figura 3 ilustra a modelação da estrutura fabricada e analisada. É de salientar que a solução apresentada resultou de um processo de optimização da estrutura, respeitando restrições de geometria e de cálculo estrutural estático e dinâmico.

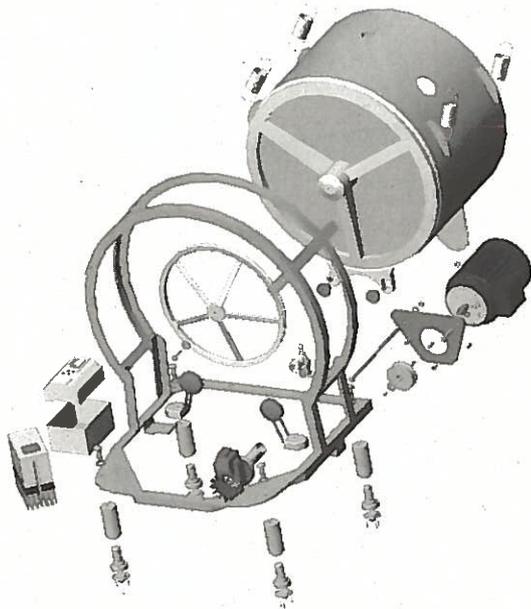


Fig. 2 – Perspectiva explodida dos órgãos mecânicos da máquina protótipo.

2.2 Determinação do comportamento dinâmico da estrutura

O método dos elementos finitos é um técnica numérica utilizada na análise de problemas de engenharia, permitindo a determinação de campos de deslocamentos, deformações e tensões a que uma determinada estrutura está sujeita. Este tipo de resultados são também passíveis de serem obtidos usando técnicas experimentais como a extensometria, a holografia laser, fotoelasticidade, etc. Estas técnicas são extremamente úteis para comparar e validar os resultados numéricos.

De forma a evitar fenómenos de ressonância da estrutura é necessário calcular as frequências naturais e formas modais da mesma. O cálculo numérico dos modos naturais da estrutura de apoio da cuba foi desenvolvido, usando o método dos elementos finitos, com o *software*



Fig. 3 – Estrutura de suporte da cuba (modelação e peça fabricada).

CosmosWorks 4.0 dada a sua total integração com o modelador sólido utilizado na sua modelização. A malha de elementos finitos utilizada era composta por 65046 nós e 30957 elementos. Devido a limitações inerentes do *software*, não foi possível utilizar elementos de viga, que para a presente aplicação se tornariam mais adequados, tendo sido utilizados elementos hexaédricos e tetraédricos.

O estudo consistiu na determinação das frequências e formas naturais de vibração da estrutura que suporta os elementos da máquina. Na simulação realizada não

foram introduzidas restrições de movimento (condições fronteira) de modo a simular a condição livre-livre da estrutura. Na figura 4 é possível observar as primeiras seis frequências naturais de vibração da estrutura.

Para aferir os resultados numéricos, fez-se um estudo experimental para determinar as principais frequências naturais de vibração da estrutura metálica. De forma a obter condições fronteira próximas das consideradas no modelo numérico suspendeu-se a estrutura através de três elásticos.

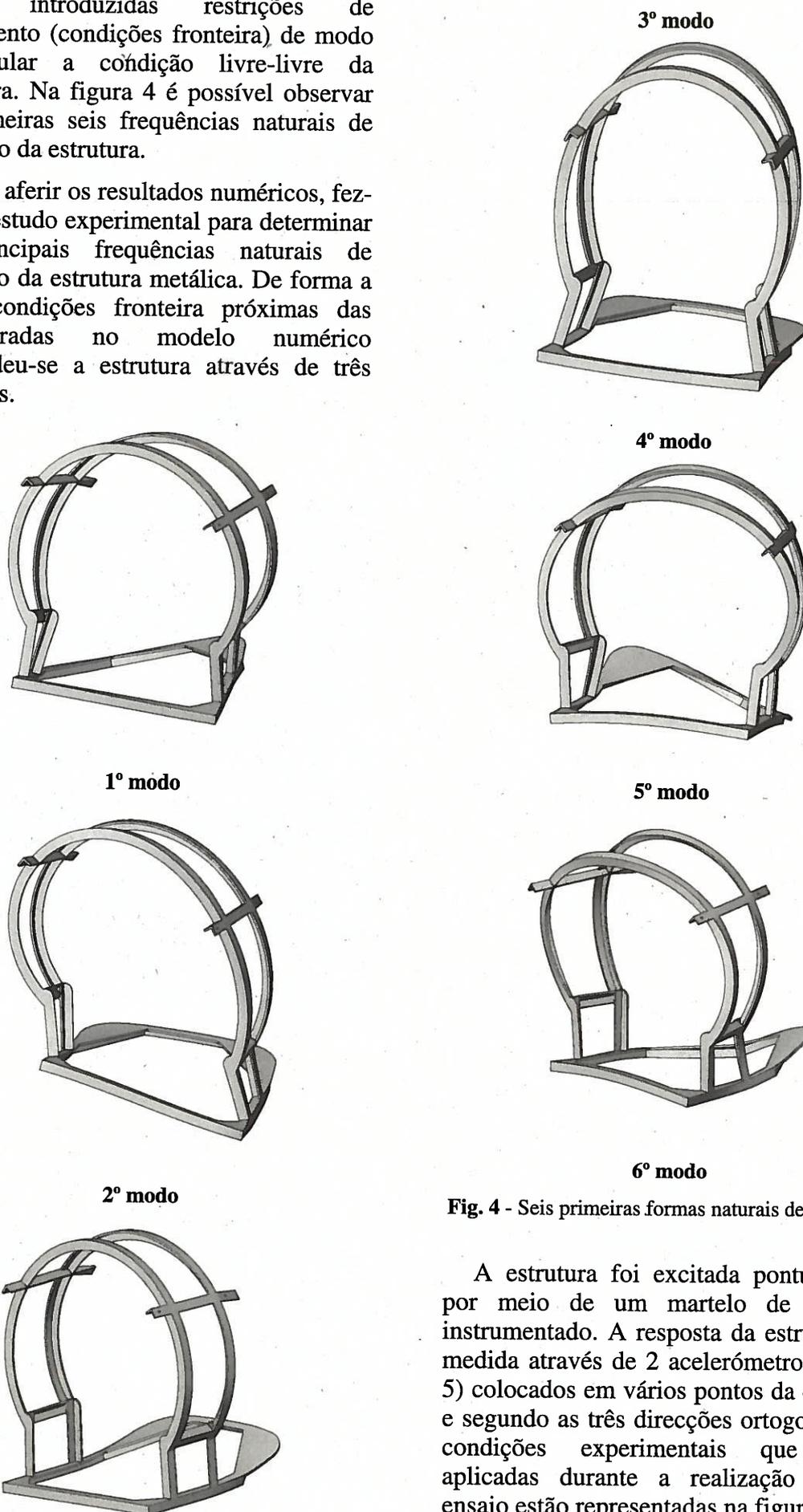


Fig. 4 - Seis primeiras formas naturais de vibração.

A estrutura foi excitada pontualmente por meio de um martelo de impacto instrumentado. A resposta da estrutura foi medida através de 2 acelerómetros (figura 5) colocados em vários pontos da estrutura e segundo as três direcções ortogonais. As condições experimentais que foram aplicadas durante a realização de um ensaio estão representadas na figura 5.

Os sinais de resposta dos acelerómetros piezoelétricos e de excitação da célula de carga do martelo foram adquiridos e tratados através de um analisador espectral SIGLAB, permitindo obter as funções de resposta em frequência de tipo aceleração nos vários pontos medidos.

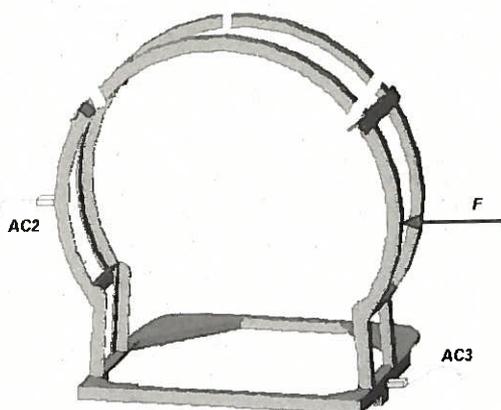


Fig. 5 - Representação das condições do ensaio experimental (AC - acelerómetros).

A figura 6 mostra duas das funções de resposta em frequência medidas.

De forma a correlacionar os resultados numéricos com os resultados experimentais seria necessário obter o modelo modal experimental da estrutura. Com base nas funções de resposta em frequência medidas e através de um processo de extracção modal seriam obtidos os valores das frequências naturais, bem como as respectivas formas modais, que permitiriam a correcta correlação com os dados numéricos obtidos.

No entanto, dada a complexidade geométrica da estrutura, o procedimento manual de identificação modal revelou-se impraticável, de modo que não nos foi possível obter o modelo modal experimental da estrutura.

Assim, apenas nos foi possível verificar, como se representa na figura 6, que as frequências naturais calculadas por via numérica se situam sobre as frequências de ressonância medidas experimentalmente.

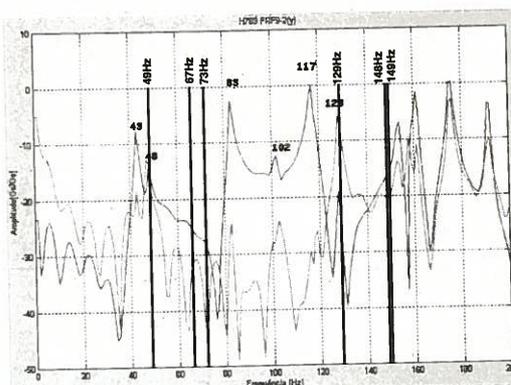


Fig. 6 - Valores das frequências naturais de vibração obtidas experimentalmente.

Não nos é contudo possível afirmar se duas frequências (numérica e experimental) muito próximas uma da outra correspondem efectivamente ao mesmo modo natural de vibração.

3. CONCLUSÕES

O estudo apresentado neste artigo mostra-nos uma aplicação prática de uma análise estrutural dinâmica. Devido ao tipo de produto em questão, a determinação das frequências e modos próprios de vibração é uma necessidade de projecto que não pode ser ignorada.

Obteve-se boa concordância entre os resultados numéricos e os experimentais a nível das frequências naturais. Contudo, a utilização de elementos finitos do tipo viga teria eventualmente conduzido a resultados numéricos mais consentâneos.

A determinação do modelo modal experimental teria possibilitado a comparação completa com o modelo modal numérico.

REFERÊNCIAS

- [1] - Freire, R. P., Ferreira, J. L., Simões, J. A., 1999, "HOMEBOXES", - *User First Design - Creating a New Age*, LG Electronics Corporate Design Center, BangLim Process, pp. 78, Coreia do Sul.
- [2] - Coelho, S. M. e Duarte, J. D., 2000, "Projecto e fabrico de uma máquina de lavar roupa", Seminário de Processos Tecnológicos/Projecto de Automação, Secção Autónoma de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.

