

## **Abstract**

In the last decade the interest demonstrated, mainly by public and private companies from the aerospace and space engineering sectors, in the development and use of high performance structures, in general, and adaptive structures, in particular, comprising piezo-visco-elastic damping treatments as technological solutions to tackle vibration- and noise-related problems has grown. In the meantime, a relative maturity in the adequate modeling and design of piezovisco-elastic damping treatments has also been achieved. However, with the ever increasing strong demands of lighter, stiffer, lower cost and more efficient and reliable structures, engineers and scientists are faced nowadays with the requirement of having at their disposal refined and more accurate multiphysics models of those complex multilayer structures and damping technologies. That problem pushes the underlying complexity of more representative models to higher levels and poses a sustained and application-motivated challenge to the adaptive structures research community.

In that context, this dissertation addresses issues on the vibration control of adaptive structures, tentatively covering the design, analysis and application of the emerging piezo-viscoelastic damping technologies focusing, in general, main five research fields/topics. (1) MODELING: new refined finite element (FE) models of multilayer piezo-visco-elastic beam, plate and shell structures with a high degree of accuracy and a suitable trade-off between accuracy and complexity are developed; (2) DAMPING: viscoelastic (frequency-dependent) damping modeling and solution approaches are developed, assessed and implemented into FE modeling; (3) CONTROL: passive, active and hybrid damping treatments and control strategies considering both feedback and adaptive feedforward algorithms used separately or blended are developed, simulated, assessed and implemented in real-time control; (4) DESIGN: the efficiency of the damping treatments/technologies in terms of material properties, location, geometric configuration, thicknesses of the layers and control law is analyzed and discussed, and a general design methodology to assess their design is proposed and demonstrated; (5) APPLICATION: FE routines devoted to hybrid damping design and simulation, real-time test and analysis, validation and application of hybrid (with multi-algorithms and multi-

damping materials) damping technologies are developed and implemented into a FE modeling and programming environment.

**Keywords:** beam, plate, shell, finite element, adaptive structure, vibration, damping, control, piezoelectric, viscoelastic, feedback, feedforward.

## Resumo

Na última década o interesse demonstrado, principalmente por empresas públicas e privadas nos sectores de engenharia aeronáutica e aeroespacial, no desenvolvimento e utilização de estruturas de elevado desempenho, em geral, e estruturas adaptativas, em particular, incorporando tratamentos de amortecimento piezo-visco-elástico para tratar problemas relacionados com vibrações e ruído, tem aumentado. Entretanto, com os cada vez mais exigentes requisitos funcionais que obrigam a dispor de estruturas mais leves, rígidas e de reduzido custo que, simultaneamente, sejam também eficientes e fiáveis quando sujeitas a solicitações dinâmicas, engenheiros e cientistas encontram-se nos dias de hoje confrontados com a necessidade de terem à sua disposição modelos multi-disciplinares mais refinados e precisos representativos dessas complexas estruturas multi-camada e tecnologias de amortecimento. Esse problema desloca a subjacente complexidade de modelos mais refinados e mais representativos para um nível mais elevado e desafia de uma forma fundamentada e motivada pela aplicação a comunidade científica investigadora de estruturas adaptativas a dar resposta a esse problema.

Nesse contexto, esta dissertação investiga questões relacionadas com o controlo de vibração de estruturas adaptativas, tentando cobrir o projecto, análise e a aplicação de tecnologias emergentes de amortecimento piezo-visco-elástico focando, em geral, cinco áreas/tópicos principais. (1) MODELIZAÇÃO: são desenvolvidos novos modelos de elementos finitos de estruturas piezo-visco-elásticas multi-camada do tipo viga, placa e casca, com um elevado grau de precisão e com uma admissível relação de compromisso entre a precisão e complexidade computacional; (2) AMORTECIMENTO:

são desenvolvidas, avaliadas e implementadas em modelos de elementos finitos diferentes abordagens de modelização do amortecimento viscoelástico (dependente da frequência) e dos respectivos métodos de solução; (3) CONTROLO: são desenvolvidos, simulados, avaliados e implementados em tempo-real tratamentos de amortecimento passivo, activo e híbrido e estratégias de controlo considerando abordagens por feedback e feedforward adaptativo utilizados individualmente ou combinados; (4) PROJECTO: é analisada e discutida a eficiência dos tratamentos/tecnologias de amortecimento em termos das suas propriedades materiais, localização, configuração geométrica, espessuras das camadas e tipo de estratégia de controlo e é proposta e demonstrada uma metodologia geral de auxílio ao projecto desses mesmos tratamentos; (5) APLICAÇÃO: são desenvolvidas e implementadas num ambiente de modelização e programação de elementos finitos rotinas dedicadas ao projecto e simulação, teste em tempo-real e análise, e validação e aplicação de tecnologias de amortecimento híbrido considerando vários algoritmos de controlo e materiais de amortecimento.

**Palavras-chave:** viga, placa, casca, elemento finito, estrutura adaptativa, vibração, amortecimento, controlo, piezoelectrico, viscoelástico, feedback, feedforward.

Computational simulations indicate that light weight piezo-electric viscoelastic devices can be effectively used to actively or passively control flight vehicle structural response to aerodynamic noise.Â Beldica, C. E. and Hilton, H. H. Nonlinear viscoelastic beam bending with piezoelectric control -analytical and computational simulations. *Journal of Composite Structures*, 2001, 51, 195-203. Hilton, H. H. and Yi, S. (1999) Creep divergence of nonlinear viscoelastic lifting surfaces with piezoelectric control. *Proceedings of the Second International Conference on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace*, S. Sivasundaram, Ed., 1999, 1, 271-280, European Conference Publications, Cambridge, UK.