

RELATÓRIO DE ACTIVIDADES

José Manuel Vieira Antunes

Triénio: 01/05/2014 – 30/04/2017

Nos termos dos artigos 39º e 41º do Decreto-Lei N º 124/99 de 20 de Abril, o presente relatório resume as actividades do signatário durante o triénio entre 01/05/2014 e 30/04/2017. Na qualidade de Investigador Principal do CTN do IST, responsável pelo Núcleo de Dinâmica Aplicada do Laboratório de Engenharia Nuclear (LEN), e de investigador do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN) do CTN, as actividades realizadas estão essencialmente relacionadas com o comportamento vibratório dos sistemas mecânicos existentes nas centrais nucleares e outras instalações industriais.

De um ponto de vista técnico, as actividades exercidas pelo signatário cobrem os domínios científicos seguintes: vibrações mecânicas, acústica, interacção fluido-estrutura, tratamento de sinais e identificação de sistemas. De acordo com a filosofia de actuação defendida desde o início pelo signatário, todos os projectos levados a cabo apresentam simultaneamente componentes teórica e experimental, sendo os ensaios frequentemente realizados no Laboratório de Dinâmica Aplicada (LDA), de que o signatário é responsável, mas também nas instituições que colaboram nos projectos de investigação de interesse comum.

Para além dos estudos motivados pelos equipamentos das centrais nucleares, através de um conjunto de projectos realizados sob contrato para o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA/Saclay, França), foram prosseguidos e/ou iniciados vários projectos de investigação financiados pela FCT, em colaboração com o DEM do IST, com a Universidade Nova de Lisboa, com o Instituto Politécnico do Porto e com a École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), na Tunísia. No âmbito destes projectos o signatário foi co-supervisor do enquadramento de três estudantes, para preparação das respectivas teses de doutoramento.

As actividades realizadas pelo signatário durante o período coberto por este relatório – incluindo a coordenação do LDA, os trabalhos de investigação, as acções de formação, bem como outras actividades relevantes (participação em comissões científicas, organização de conferências, participação em júris, etc.) – são detalhadas em seguida. Estão também listados os trabalhos publicados e os contratos realizados, de que o signatário foi responsável ou em que participou como investigador.

1 Actividades científicas e técnicas

1.1 Coordenação de programas e de projectos de I&D

(a) Identification of the flow excitation of nuclear fuel rods from the structural vibratory responses (IVECO-3): Contrato de investigação com o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA-Saclay, França), Ref. 4000627324/P5B61. Duração 2014-2015, valor 20000 euros, coordenador J. Antunes.

(b) Experimental validation of identified flow turbulence excitations of nuclear fuel rods: Preliminary experiments (IVECO-4): Contrato de investigação com o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA-Saclay, França), Ref. 4000686250/P5B61. Duração 2015-2016, valor 9500 euros, coordenador J. Antunes.

(c) Extension of blind identification techniques to systems with complex modes: Contrato de investigação com o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA-Saclay, França), Ref. 4000730471/P5B61. Duração 2016-2017, valor 14000 euros, coordenador J. Antunes.

(d) Identification of flow turbulence excitation from the CALVI experiments: Contrato de investigação com o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA-Saclay, França), Ref. 4000765990/P5B61. Duração 2017-2018, valor 9800 euros, coordenador J. Antunes.

Trata-se de um conjunto plurianual de projectos financiados pelo Comissariado de Energia Atómica Francês (CEA/Saclay) e desenvolvidos pelo signatário em colaboração com colegas desta instituição. Estes estudos têm como aplicação concreta a análise vibratória dos componentes das centrais nucleares submetidos à acção dinâmica dos escoamentos de permuta térmica, em particular: (1) os feixes tubulares dos geradores de vapor, e (2) os elementos de combustível nuclear. O esforço de investigação nesta área é pertinente, motivado por aspectos de segurança essenciais, sendo levado a cabo por várias equipas internacionais, em particular em França, Japão, EUA e Canadá.

No âmbito dos estudos levados a cabo em colaboração com o CEA/Saclay, os projectos de investigação realizados durante o período em apreço foram essencialmente consagrados ao prosseguimento do desenvolvimento de técnicas para a identificação das excitações pela turbulência dos escoamentos complexos inter-tubulares, a partir do campo de respostas vibratórias medido em laboratório. Esta necessidade resulta das dificuldades em conhecer as excitações vibratórias que realmente ocorrem no interior dos componentes das centrais, em ambientes extremamente insalubres para os captosres vibratórios (radiação, temperaturas elevadas, constrangimentos de espaço,...).

O período a que respeita este relatório foi dedicado ao aperfeiçoamento das técnicas desenvolvidas para a identificação de fontes aleatórias distribuídas – no caso vertente a turbulência dos escoamentos. Tratando-se de um problema inverso, a robustez dos

resultados identificação, relativamente aos erros de medida e de modelação, constitui uma dificuldade particularmente delicada. No seguimento dos estudos anteriores, foi desenvolvido uma técnica poderosa para a identificação de modos complexos em condições de funcionamento (sem medição das excitações), através da utilização da transformada de Hilbert. Por outro lado, para além das simulações numéricas realizadas, as técnicas desenvolvidas foram experimentalmente validadas através dos ensaios CALVI, realizados no CEA/Cadarache em colaboração com os colegas do CEA/Saclay. Os resultados obtidos estão documentados em diversos artigos publicados em congressos e revistas internacionais, incluindo o *Journal of Fluids and Structures*, *Mechanical Systems and Signal Processing* e *Journal of Sound and Vibration* (este último artigo aceite para publicação em 2018).

(e) Dynamical behavior of segmented blades for aeolic generator with horizontal axis: Cooperação científica com a École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), Sfax University. Duração 2015-2017, coordenador IST/CTN J. Antunes. Tese de doutoramento de Majdi Yangui, defendida com êxito em 2017.

Como é sabido, a potência produzida pelos geradores eólicos aumenta consideravelmente com o diâmetro da respectivas hélices. Para minorar as dificuldades de transporte e montagem, uma solução correntemente investigada consiste na utilização de hélices com pás segmentadas. Neste projecto foi realizada a modelação vibratória de pás concebidas dessa forma, incluindo os efeitos não-lineares resultantes dos esforços centrífugos e do pré-tensionamento axial das pás (associado ao sistema de montagem). A contribuição do signatário neste projecto incidiu na concepção da montagem experimental realizada no LDA e nas técnicas para a identificação modal das pás em rotação, com a finalidade de validar o modelo de cálculo por elementos finitos desenvolvido. Este trabalho, co-orientado pelo signatário, fez parte da tese de doutoramento do Eng. Majdi Yangui, defendida com êxito em 2017 na École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS) da Universidade de Sfax.

(f) Robust identification of structural constraining fixtures: Cooperação científica com a École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), Sfax University. Duração 2015-2018, coordenador IST/CTN J. Antunes. Tese de doutoramento de Ahmad Baklouti, a submeter em 2018.

Este projecto destina-se à caracterização das características físicas (inércia, rigidez, dissipação) dos elementos de ligação entre sub-sistemas dinâmicos acoplados, com base nas respostas vibratórias medidas. Esta área de investigação assume considerável importância relativamente à caracterização dos suportes e elementos de ligação em numerosos componentes mecânicos, em particular máquinas rotativas. Trata-se de um problema inverso, com aspectos delicados ligados à robustez das soluções identificadas, face aos erros inevitáveis nas medidas. As técnicas de identificação desenvolvidas, baseadas em manipulações da matriz das funções de transferência medidas, bem como em diversas técnicas de regularização, conduziram a resultados satisfatórios e várias publicações internacionais. Este trabalho, co-orientado pelo signatário, constitui a tese

de doutoramento do Eng. Ahmad Baklouti, cuja defesa está prevista para 2018 na École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS) da Universidade de Sfax.

(g) Development and analysis of optimized universal granular dampers: Cooperação científica com a École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), Sfax University. Duração 2017-2021, coordenador IST/CTN J. Antunes. Tese de doutoramento de Chaima Boussollaa, a submeter em 2021.

Os amortecedores vibratórios por impactos apresentam vantagens consideráveis, em particular a robustez face a condições de operação agressivas. Por outro lado, este tipo de amortecedores carece em geral de regulações delicadas, apresentando um espectro largo de absorção vibratória. Em compensação, este tipo de componentes é extremamente não-linear, o que obriga à realização de cálculos temporais numericamente exigentes, para a respectiva concepção e simulação dinâmica. Este projecto, recentemente iniciado, destina-se ao desenvolvimento de técnicas de natureza energética para a análise dinâmica simplificada de estruturas acopladas a amortecedores por impactos. Este trabalho, co-orientado pelo signatário, constituirá a tese de doutoramento da Eng^a. Chaima Boussollaa, cuja defesa está prevista para 2021 na École Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS) da Universidade de Sfax.

1.2 Participação em projectos de I&D

(h) Improvement of the Acoustical Performance of the Portuguese guitar: Projecto de investigação financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Ref. FCT/PTDC/EMS-SIS/3255/2012. Duração 2013-2015, valor total 91562 euros (valor IST 31602 euros), coordenador do projecto O. Inácio (IPP/ESMAE), membro da equipa de investigação e responsável para o IST/CTN J. Antunes.

Trata-se de um projecto cujo interesse cultural e patrimonial é evidente, já que a guitarra portuguesa é uma componente essencial na prática do Fado, que em anos recentes se transformou num "produto de exportação" com êxito crescente. A natureza dos trabalhos associados a este projecto aproximam-no bastante da investigação fundamental na área dos sistemas dinâmicos complexos. Este tema tem sido tratado no LDA, em colaboração com colegas do IST/DEM e do IPP/ESMAE, no âmbito de dois projectos de investigação financiados pela FCT.

No seguimento dos estudos anteriores, no âmbito deste projecto, o período em análise neste relatório foi consagrado à simulação (nos domínios temporal e frequencial) do comportamento dinâmico do sistema acoplado "Corpo do instrumento + Totalidade das cordas". Assim, foi desenvolvido um modelo dinâmico não-linear, que incorpora as 12 cordas acopladas ao tampo harmónico do instrumento através do cavalete. Por outro lado, o desenvolvimento de uma versão modal da formulação de Udwadia-Kalaba para sistemas constringidos, revelou-se constituir uma estratégia de modelação bastante interessante, tanto para ligações permanentes como intermitentes. Os sons sintetizados através deste modelo físico são bastante realistas, tendo as técnicas desenvolvidas e os resultados obtidos sido objecto de várias publicações internacionais.

(i) Development of advanced methods in musical acoustics for tuning and restoration of historical carillons: Cooperação científica com a Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas (UNL/FCSH). Duração 2014-2019, coordenador do projecto V. Debut (UNL), membro da equipa de investigação e responsável para o IST/CTN J. Antunes. Tese de doutoramento de Miguel Carvalho, a submeter em 2019.

Este projecto, na área da organologia, foi definido em conjunto com o Departamento de Ciências Musicais da UNL/Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. O seu financiamento integral pela FCT (bem como o interesse que os carrilhões de Mafra e o respectivo restauro têm despertado recentemente nos meios de comunicação) revela a pertinência do projecto proposto. Enquanto aos colegas da UNL cabe a análise musicológica dos carrilhões e dos documentos a eles associados, a investigação do LDA tem por objectivos: 1) Realizar um levantamento rigoroso e exaustivo das frequências modais dos sinos, para os dois carrilhões existentes na Basílica; 2) Desenvolver técnicas não destrutivas de afinação, especialmente adaptadas aos carrilhões históricos.

Após a conclusão do primeiro objectivo, o período em análise neste relatório foi essencialmente dedicado ao desenvolvimento de técnicas não-destrutivas de afinação otimizada de sinos históricos. As técnicas desenvolvidas baseiam-se na utilização de um conjunto de massas de afinação, fixadas no sino, cujos valores e localizações são objecto de optimização, com base nos modos vibratórios. A técnica desenvolvida para o cálculo dos modos do sino modificado, baseada nos modos do sistema original, permite realizar cálculos de optimização muito eficazes, já que se evita a realização de cálculos modais pesados utilizando o método dos elementos finitos. Após a aplicação com êxito desta técnica na afinação de barras de vibrafone e sinos simulados, está em preparação a sua validação experimental em sinos reais. Este trabalho, co-orientado pelo signatário, constituirá a tese de doutoramento do Dr. Miguel Carvalho, cuja defesa está prevista para 2019 na Universidade Nova de Lisboa.

1.3 Publicações

1.3.1 Livros

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, E. Figueiredo (2014)
“Ressurreição virtual do som do sino de São Pedro de Coruche utilizando técnicas de modelação dinâmica”. Capítulo do livro “Coruche: o Céu a Terra e os Homens”, Museu Municipal de Coruche, Portugal (ISBN 978-989-98647-1-9).

1.3.2 Revistas internacionais

J. Antunes, L. Borsoi, X. Delaune, P. Piteau, Identification of random excitation fields from vibratory responses with application to multi-supported tubes excited by flow turbulence. ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 136(5), Paper 051304-051304-13 PVT-13-1074 (2014).

I. Politopoulos, Ph. Piteau, J. Antunes, L. Borsoi, Applications of hybrid time-frequency methods in nonlinear structural dynamics. *Engineering Structures*, Vol. 68, pp. 134-143 (2014).

F. Marques, N. Mandal, R. Taborda, J. Antunes, S. Bose, The behaviour of deformable and non-deformable inclusions in viscous flow. *Earth-Science Reviews*, Vol. 134, pp. 16-69 (2014).

J. Antunes, P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, A new method for the generation of representative time-domain turbulence excitation, *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 58, pp. 1-19 (2015).

V. Debut, J. Antunes, M. Marques, M. Carvalho, Physics-based modeling techniques of a twelve-string Portuguese guitar: A three-dimensional non-linear time-domain computational approach for the multiple-strings/bridge/soundboard coupled dynamics. *Applied Acoustics*, Vol. 108, pp. 3-18 (2016).

J. Antunes, L. Borsoi, X. Delaune, P. Piteau, Techniques for estimating the unknown functions of incomplete experimental spectral and correlation response matrices. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 68/69, pp. 431–448 (2016).

V. Debut, M. Carvalho, E. Figueiredo, J. Antunes, R. Silva, The sound of bronze: Virtual resurrection of a broken 13th century bell. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 19, pp. 544-554 (2016).

V. Debut, M. Carvalho, J. Antunes, An objective approach for assessing the tuning properties of historical carillons. *Applied Acoustics*, Vol. 101, pp. 78-90 (2016).

J. Antunes, V. Debut, Dynamical computation of constrained flexible systems using a modal Udwadia-Kalaba formulation: Application to musical instruments. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 141, pp. 764-778 (2017).

V. Debut, J. Antunes, O. Inacio, Linear modal stability analysis of bowed-strings. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 141. pp. 2107-2120 (2017).

A. Baklouti, J. Antunes, V. Debut, T. Fakhfakh, M. Haddar, A method for the identification of dynamic constraint parameters in multi-supported flexible structures. *Comptes Rendus Mecanique*, Vol. 345, pp. 239-247 (2017).

1.3.3 Revistas nacionais

1.3.4 Actas de congressos

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, E. Figueiredo, Physical modelling and dynamical simulation of a 13th century bell. 9th European Conference on Structural Dynamics (EURODYN2014), Porto, Portugal, 30 June-2 July 2014.

L. Borsoi, P. Piteau, X. Delaune, J. Antunes, Shock oscillator response by Fokker-Planck equation to analyse a loosely supported tube subjected to turbulence and fluid-elastic forces. 9th European Conference on Structural Dynamics (EURODYN2014), Porto, Portugal, 30 June-2 July 2014.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, Assessing the perceived strike notes and tuning properties of two historical carillons based on the identified modes and empirical psychoacoustic pitch criteria. International Symposium on Musical Acoustics (ISMA), Le Mans, France, 7-12 July 2014.

J. Antunes, P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, A new method for the generation of representative time-domain turbulence excitations. Proceedings of the ASME, 2014 Pressure Vessel and Piping Conference (PVP2014), Anaheim, USA, 20-24 July 2014.

J. Antunes, V. Debut, Nonlinear string effects on the three-dimensional string/soundboard coupled dynamics of a twelve-string Portuguese guitar. Invited paper, Tecniacústica-2014, with the 45th Congresso Espanhol de Acústica and the 8^o congresso ibérico de acústica (ICOVP-2014), Murcia, Spain, 29-31 October 2014.

V. Debut, J. Antunes, Modelling string sympathetic vibration, string/body coupling and nonlinear string phenomena in guitars, Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22), Florence, Italy, 12-16 July 2015.

P. Piteau, L. Borsoi, X. Delaune, I. Politopoulos, J. Antunes, Computation of a loosely supported tube under cross-flow by a hybrid time-frequency method, Proceedings of the ASME Pressure Vessel and Piping Conference (PVP2015), Boston, USA, 19-23 July 2015.

J. Antunes, L. Borsoi, X. Delaune, P. Piteau, A new method for the reconstruction of incomplete experimental spectral response matrices, Proceedings of the 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design (M2D2015), P. Delgada/Azores, Portugal, 26-30 July 2015.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, Tuning of transient excited musical instruments through optimized structural modification and modal techniques, Proceedings of the Tecniacustica 2015 - 46 Congreso Español de Acustica, Valencia, Spain, 21-23 October 2015.

A. Baklouti, J. Antunes, V. Debut, T. Fakhfakh, M. Haddar, An effective method for the identification of support features in multi-supported systems. In Advances in Acoustics and Vibrations: Proceedings of 6th International Congress on Design and Modeling of Mechanical Systems, Hammamet, Tunisia, 21-23 March 2016.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, Maîtrise de l'accord et du timbre d'instruments de percussion à lames par modifications structurales optimales. Invited paper, in Proceedings of 13e Congrès Français d'Acoustique et le 20e colloque Vibrations, Shocks and Noise, Le Mans, France, 11-15 April 2016.

V. Debut, J. Antunes, P. Vaz Carvalho, A physics-based modeling approach for vibrato on fretted and non-fretted string instruments. In Proceedings of EuroRegio2016, Porto, Portugal, 13-15 June 2016.

P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, J. Antunes, Time-domain numerical simulation of a loosely supported tube subjected to cross-flow using a convolutional technique for modelling fluid-elastic forces. FIV'2016, 11th International Conference on Flow-Induced Vibration, The Hague, Netherlands, 4 - 6 July 2016.

P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, J. Antunes, Experimental identification of fluid-elastic coupling forces on a square tube bundle subjected to single-phase cross-flow. ASME PVP2016, Pressure Vessel and Piping Conference, Vancouver, BC, Canada, 17-21 July 2016.

L. Borsoi, P. Piteau, X. Delaune, J. Antunes, Primitive model for the random excitation of a tube under two-phase cross flow. ASME PVP2016, Pressure Vessel and Piping Conference, Vancouver, BC, Canada, 17-21 July 2016.

J. Antunes, P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, V. Debut, On using the Hilbert transform for blind identification of systems with complex modes. In Proceedings of the International Congress on Acoustics (ICA-2016), Buenos Aires, Argentina, 5-9 September 2016.

V. Debut, J. Antunes, Dynamical modelling of constrained flexible systems using a modal Udwadia-Kalaba formulation: application to guitar modelling. In Proceedings of the International Symposium on Room and Music Acoustics (ISMRA-2016), La Plata, Argentina, 11-13 September 2016.

V. Debut, J. Antunes, When singing bowls don't sing: a numerical and experimental investigation on the subtle dynamics of Tibetan bowls. In Proceedings of the International Symposium on Room and Music Acoustics (ISMRA-2016), La Plata, Argentina, 11-13 September 2016.

V. Debut, J. Antunes, A dynamical multibody approach for guitar modelling incorporating string geometric nonlinear effects. In Proceedings of the XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Elche, Spain, 9-11 November 2016.

1.4 Comunicações por convite, orais e em poster em encontros científicos (nacionais e internacionais)

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, A physical modelling approach for assessing the comparative timbral features of medieval and modern bells. Congresso de Organologia, Braga, Portugal, 18-20 July 2014.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, A Acústica Musical ao serviço da Musicologia: Ressurreição virtual do som de um sino do séc. XIII através de técnicas de modelação física. A afinação dos Carrilhões do Palácio Nacional de Mafra. Sociedade Portuguesa de Investigação em Música (SPIM). Diálogos In Música, Lisboa, Portugal, 15 November 2014.

J. Antunes, Modelling of musical instruments: Generic aspects, multiphysics and dynamics. **Keynote talk** at the International Conference on Multiphysics Modelling and Simulation for Systems Design (MMSSD2014), Sousse, Tunisia, 17-19 December 2014.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, J.S. Carvalho, The carillons of Mafra and their testimony to the bell foundry industry. 2º Encontro Indústria, História, Património, Tomar, Portugal, 16-18 April 2015.

J. Antunes, Analytical methods for predicting turbulence excitations and responses. **Invited talk** for the FSI-8: Fluid Structure Interaction for Nuclear Components International Symposium, ASME Pressure Vessel and Piping Conference (PVP2015), Boston, USA, 19-23 July 2015.

J. Antunes, Les vibrations aimables : mécanique des instruments de musique. **Keynote Talk** at the 22nd Congrès Français de Mécanique, Lyon, France, 24-28 August 2015.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, Experimental validation of optimized structural modification and modal techniques for tuning innovative bar percussion instruments. Congresso de Organologia, Tavira, Portugal, 18-20 December 2015.

J. Antunes, Overview of problems and predictive approaches in flow-induced vibrations. **Keynote talk** at the International Congress on Design and Modelling of Mechanical Systems, March 2017, Hammamet, Tunisia.

1.5 Patentes

1.6 Protótipos (instalações e equipamentos)

1.7 Técnicas desenvolvidas

A investigação realizada conduziu ao desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de técnicas originais para:

- a identificação de excitações aleatórias distribuídas;
- a identificação de sistemas dinâmicos;
- o cálculo dinâmico de estruturas com não-linearidades geométricas e localizadas.

Essas técnicas estão descritas, nomeadamente, nas publicações seguintes:

- J. Antunes, L. Borsoi, X. Delaune, P. Piteau, Identification of random excitation fields from vibratory responses with application to multi-supported tubes excited by flow turbulence. *ASME Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol. 136(5), Paper 051304-051304-13 PVT-13-1074 (2014).
- J. Antunes, P. Piteau, X. Delaune, L. Borsoi, A new method for the generation of representative time-domain turbulence excitation, *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 58, pp. 1-19 (2015).
- V. Debut, J. Antunes, M. Marques, M. Carvalho, Physics-based modeling techniques of a twelve-string Portuguese guitar: A three-dimensional non-linear time-domain computational approach for the multiple-strings/bridge/soundboard coupled dynamics. *Applied Acoustics*, Vol. 108, pp. 3-18 (2016).
- J. Antunes, L. Borsoi, X. Delaune, P. Piteau, Techniques for estimating the unknown functions of incomplete experimental spectral and correlation response matrices. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 68/69, pp. 431–448 (2016).
- V. Debut, M. Carvalho, J. Antunes, An objective approach for assessing the tuning properties of historical carillons. *Applied Acoustics*, Vol. 101, pp. 78-90 (2016).
- J. Antunes, V. Debut, Dynamical computation of constrained flexible systems using a modal Udwadia-Kalaba formulation: Application to musical instruments. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 141, pp. 764-778 (2017).

- Baklouti, J. Antunes, V. Debut. T. Fakhfakh, M. Haddar, A method for the identification of dynamic constraint parameters in multi-supported flexible structures. *Comptes Rendus Mecanique*, Vol. 345, pp. 239-247 (2017).

1.8 Equipamentos desenvolvidos

1.9 Aplicações computacionais

No âmbito dos contratos de investigação realizados para o Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA, França) o signatário desenvolveu integralmente um programa de identificação, de dimensões e complexidade significativas, o qual foi testado na identificação de ensaios em condições realistas, realizados em França:

J. Antunes (2016) "IVECO – CEA software for the identification of flow turbulence excitation in flow-excited tubular bundles".

2 Actividades de apoio técnico/científico (OAC&T)

2.1 Aplicação de resultados de investigação na resolução de problemas concretos

As técnicas desenvolvidas referidas no ponto 1.7 tiveram aplicação directa na resolução de problemas concretos, nomeadamente:

- A identificação das propriedades espectrais e espaciais das excitações pela turbulência dos escoamentos que refrigeram os elementos de combustível nuclear;
- A simulação das excitações pelos escoamentos turbulentos nos geradores de vapor e nos elementos de combustível das centrais nucleares;
- O cálculo dinâmico de estruturas com não-linearidades geométricas e localizadas, com aplicação nos componentes nucleares e nos instrumentos musicais;
- A síntese dos sons produzidos por sinos, baseada em modelação física;
- A identificação dos parâmetros em estruturas constrangidas, com aplicação nos rotores multi-apoiados.

Estas aplicações estão descritas nas publicações referidas no ponto 1.7.

2.2 Consultoria e assistência técnico-científica

Durante o período em apreço, o signatário realizou as seguintes actividades de assistência técnico-científica:

- Revisão de mais de duas dezenas de artigos submetidos para publicação em diversas revistas internacionais (*Journal of Fluids and Structures, Journal of Sound and Vibration, Applied Acoustics, Journal of Pressure Vessel Technology,...*) e congressos internacionais (*ASME Pressure Vessel and Piping Conferences, International Conferences on Flow-Induced Vibrations, International Conferences on Condition*

Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations, International Conferences on Digital Audio Effects,...).

- Avaliação de projectos como membro do painel de avaliação do "Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada".

2.3 Elaboração de protocolos técnicos no âmbito da qualidade e controlo de qualidade

2.4 Elaboração de documentação técnica

2.5 Prestação de serviços especializados

3 Actividades de formação avançada e docência

3.1 Orientação de teses de Mestrado e Doutoramento

Teses concluídas

- Co-orientação, com os Profs. V. Debut (UNL/FCSH, IST/C2TN) e M. Haddar (ENIS, Sfax, Tunísia), da tese de mestrado de **Ahmad Baklouti**, trabalho integralmente realizado no Laboratório de Dinâmica Aplicada (LDA) do IST/CTN: "Modélisation et validation expérimentale de la dynamique d'un rotor multi-supporté". MSc Thesis, *Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)*. Defendida com êxito em 2014.
- Co-orientação, com os Profs. V. Debut (UNL/FCSH, IST/C2TN), S. Bouaziz e M. Haddar (ENIS, Sfax, Tunísia), da tese de doutoramento de **Majdi Yangui**, trabalho parcialmente realizado no LDA do IST/CTN, "Etude numérique et expérimentale du comportement dynamique d'une pale segmentée d'éolienne à axe horizontal". PhD Thesis, *Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)*. Defendida com êxito em 2017.

Teses em curso

- Co-orientação, com os Profs. V. Debut (UNL/FCSH, IST/C2TN) e T. Fakhfakh (ENIS, Sfax, Tunísia), da tese de doutoramento de **Ahmad Baklouti**, trabalho integralmente realizado no LDA do IST/CTN, "Robust identification of structural constraining fixtures". PhD Thesis, *Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)*, a submeter em 2018.
- Co-orientação, com o Prof. V. Debut (UNL/FCSH, IST/C2TN), da tese de doutoramento de **Miguel Carvalho**, trabalho integralmente realizado no LDA do IST/CTN, "Desenvolvimento de métodos avançados da acústica musical para afinação e restauro de carrilhões históricos". PhD Thesis, *Universidade Nova de Lisboa / Faculdade de Ciências Sociais e Humanas*, a submeter em 2019.
- Co-orientação, com os Profs. V. Debut (UNL/FCSH, IST/C2TN) e T. Fakhfakh (ENIS, Sfax, Tunísia), da tese de doutoramento de **Chaima Boussollaa**, trabalho integralmente realizado no LDA do IST/CTN, "Development and analysis of optimized

universal granular dampers". PhD Thesis, *Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS)*, a submeter em 2021.

3.2 Outras actividades de orientação

3.3 Actividade docente em cursos de licenciatura e pósgraduação

3.4 Acções de formação profissional

J. Antunes, V. Debut, O. Inacio. Curso "Room and music acoustics", EAA Summer School on Acoustics, 11-12 June 2016, Porto, Portugal.

R. Gibert, J. Antunes, D. Broc, C. Cremona, A. Millard, M. Hassini. Curso "Nonlinear vibrations of structures", Collège de Polytechnique, 18-20 October 2016, Palaiseau, France.

3.5 Documentação associada a cursos e acções de formação

J. Antunes, Lecture notes "Room and music acoustics", EAA Summer School on Acoustics, 11-12 June 2016, Porto, Portugal.

J. Antunes, Lecture notes "Nonlinear vibrations of structures", Collège de Polytechnique, 18-20 October 2016, Palaiseau, France.

4 Serviços à Comunidade

4.1 Organização de conferências

- Co-organizador de quatro sessões - FSI-3-16 (Axial flow I), FSI-3-17 (Axial flow II), FSI-3-18 (Flutter, aeroelasticity, aerodynamics I), FSI-3-19 (Flutter, aeroelasticity, aerodynamics II) - of the 2014 Pressure Vessel and Piping Conference (PVP2014), Anaheim, USA, 20-24 July 2014.
- Membro do Comité Científico do International Symposium on Musical Acoustics (ISMA), Le Mans, France, 7-12 July 2014.
- Membro do Comité Científico do 2014 Pressure Vessel and Piping Conference (PVP2014), Anaheim, USA, 20-24 July 2014.
- Membro do Comité Científico da 4th International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (CMMNO 2014), Lyon, France, 15-17 December 2014.
- Membro do Comité Científico da International Conference on Multiphysics Modelling and Simulation for Systems Design (MMSSD2014), Sousse, Tunisia, 17-19 December 2014.
- Membro do Comité Científico do 6th International Congress on Design and Modelling of Mechanical Systems (CMSM2015), Hammamet, Tunisia, 23-25 March 2015.
- Membro do Comité Científico da 12th International Conference "Sound and Music Computing (SMC2015)", 26 July to 1 August 2015, Maynooth, Ireland.

- Membro do Comité Científico da FIV'2016, 11th International Conference on Flow-Induced Vibration, The Hague, Netherlands, 4- 6 July 2016.
- Membro do Comité Científico do International Symposium on Musical and Room Acoustics (ISMRA 2016), La Plata, Argentina, 11-13 September 2016.
- Membro do Comité Científico da 5th International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (CMMN02016), Gliwice, Poland, 12-16 September 2016.
- Membro do Comité Científico do 7th International Congress on Design and Modelling of Mechanical Systems (CMSM2017), Hammamet, Tunisia, 27-29 March 2017.

4.2 Actividades de divulgação técnico-científica

J. Antunes, O. Inácio, conference “A Música em ponte com as Vibrações”, Ciclo de conferências Ciência Viva, Conservatório de Música do Porto, 14 November 2014.

J. Antunes, seminário "Identification of flow turbulence excitations from vibratory measurements: Part 1". Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 26 January 2016, CEA-Cadarache, France.

J. Antunes, seminário "Identification of flow turbulence excitations from vibratory measurements: Part 2". Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, 21 November 2016, CEA-Cadarache, France.

J. Antunes, seminário "The subtle dynamics of Tibetan bowls". Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Institut Jean le Rond d'Alembert, Laboratoire LAM. 5 December 2016, Paris, France.

M. Carvalho, V. Debut, J. Antunes, colaboração na exposição “Coruche: o Céu a Terra e os Homens”, Museu Municipal de Coruche, 22 November 2014, incluindo um capítulo de livro, bem como sons de síntese e animações das respostas dinâmicas calculadas de um sino do século XIIIth (S. Pedro de Coruche), o mais antigo repertoriado em Portugal.

4.3 Participação em júris, comissões, órgãos directivos de sociedades científicas

4.3.1 Conselhos científicos

- 2011-2014: Membro do Conselho Científico do LAMSID – Laboratoire de Mécanique des Structures Industrielles Durables, Unité Mixte de Recherche (UMR 2832), partenariat EDF/CNRS/CEA, Clamart, France.
- A partir de 2015: Membro do Conselho Científico do IMSIA – Institut des Sciences de la Mécanique et Applications Industrielles, partenariat EDF/CNRS/CEA, France.

4.3.2 Comissões de avaliação institucional

4.3.3 Júris de provas de agregação/habilitação

- Reporter jury member for the “*Habilitation à Diriger des Recherches (HDR)*” of Jean-Loïc le Carrou, “Vibroacoustique des instruments de musique à cordes pincées”, Université Pierre et Marie Curie (Sorbonne Universités), Paris, France, 7 October 2016.

4.3.4 Júris de provas de doutoramento

- Jury member for the PhD thesis in Acoustics of Simon Benacchio, “Contrôle actif modal appliqué aux instruments de musique à corde”, *Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)*, France, 2 December 2014.
- Reporter jury member for the PhD thesis in Acoustics of Soizic Terrien, “Instruments de la famille des flûtes: Analyse des transitions entre régimes”, *Université Aix-Marseille*, France, 10 December 2014.
- Reporter jury member for the PhD thesis in of Tiago da Silva, “Development and implementation of model updating techniques in structural dynamics”, *Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa*, Portugal, 6 July 2015.
- External reviewer for the PhD thesis of Beatriz de Pedro, “Numerical analysis of the damping-controlled fluidelastic instability of tube arrays subject to cross-flow”, *Universidad de Oviedo*, España, 9 May 2016.
- Reporter jury member for the PhD thesis in Acoustics of Augustin Ernoult, “Régimes non-stationnaires dans les instruments de type flûte”, *Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)*, France, 5 October 2016.
- Reporter jury member for the PhD thesis in Acoustics of Lionel Velut, “Contrôle par le musicien des régimes d’oscillation des instruments de la famille des cuivres”, *Université Aix-Marseille*, France, 19 December 2016.

4.3.5 Júris de provas de mestrado

- Reporter jury member for the MSc thesis of Jacobus Malan Crous, “The influence of a coupled formulation on the fluid dynamics in a large scale journal bearing”, *Faculty of Engineering, University of Pretoria*, South Africa, 25 July 2014.

5 Actividades de gestão

5.1 Funções de chefia e de coordenação (unidade, departamento, grupo, ...)

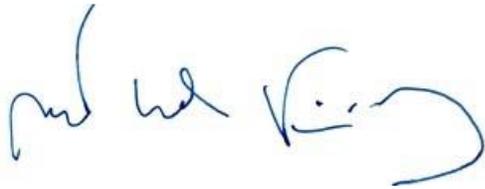
Para além da coordenação dos aspectos científicos e logísticos do Laboratório de Dinâmica Aplicada (LDA) do IST/CTN, o signatário elaborou ou participou activamente na elaboração dos projectos de investigação que foram propostos ao CEA e submetidos à FCT. É também da sua responsabilidade a elaboração de todos os documentos de natureza institucional – brochuras, relatórios e planos anuais – relacionados com as actividades do grupo de dinâmica aplicada, bem como a gestão financeira do LDA.

O Laboratório de Dinâmica Aplicada apresenta um "staff" permanente muito reduzido, mas dinâmico. Durante o triénio em apreço, esta equipa de investigação consistiu no signatário, o Doutor Vincent Debut (Professor convidado da UNL e membro do C2TN), o Dr. Miguel Carvalho (bolseiro FCT e doutorando da UNL), bem como os Engs. Ahmad Baklouti, Majdi Yangui e Chaima Boussellaa (todos doutorandos da Universidade de Sfax, Tunísia). A participação de cada um nas actividades do laboratório é essencial para a vida do LDA, estando claramente expressa nas co-autorias dos trabalhos publicados.

5.2 Participação em órgãos colectivos

O signatário é membro do centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), onde integra o grupo de Engenharia e Técnicas Nucleares (ETN), bem como do Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares (DECN). Nessas qualidades participou nas reuniões plenárias do C2TN e do conselho científico do DECEN, bem como nas reuniões quotidianas do grupo ETN.

Sacavém, 30 de Abril 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end, likely representing the name of the signatory.