

A importância do ensino da Teoria e Metodologias de Projeto na Engenharia Mecânica

João Fradinho

jmf@fct.unl.pt

UNIDEMI, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

António Gabriel-Santos

agms@fct.unl.pt

UNIDEMI, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Helena Navas

hvgn@fct.unl.pt

UNIDEMI, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Miguel Cavique

cavique.santos@marinha.pt

UNIDEMI, Escola Naval, Base Naval de Lisboa, Portugal

António Mourão

ajfm@fct.unl.pt

UNIDEMI, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Resumo:

A actividade de projecto é de primordial importância em engenharia, nomeadamente na engenharia mecânica. Projectar é uma actividade cognitiva que consiste em transformar um conjunto de necessidades em requisitos técnicos e estes num produto, num serviço ou numa organização. Tradicionalmente o ensino do projecto tem sido focado nas soluções. Porém, constata-se que cerca de 75% do custo final do produto fica determinado com o projecto, o que lhe confere uma importância determinante. Por este motivo, nas últimas décadas, o ensino de teoria e metodologias do projecto (TMP) começou a fazer parte dos planos curriculares dos cursos de engenharia. É fundamental para os alunos de engenharia conhecerem as principais TMP como ajuda na estruturação do raciocínio e também na fundamentação das decisões tomadas em todas as fases. Devem ser desenvolvidas as suas capacidades de síntese para além das de análise, e especialmente serem estimuladas as capacidades de síntese em termos de: especificação técnica de problemas da sociedade, desenvolvimento de alternativas de soluções sustentáveis e desenvolvimento de critérios para fundamentação das tomadas de decisão. Neste artigo são apresentadas as convicções dos autores relativamente ao ensino de teoria e metodologias de projecto nos cursos universitários de engenharia.

Palavras-chave: engenharia mecânica, ensino, projeto, teoria e metodologias de projeto.

Abstract:

Design activity is of primordial importance in engineering, particularly in mechanical engineering. Design is a cognitive activity that consists of transforming a set of needs into technical requirements and these into a product, a service or an organization. Traditionally design teaching has been focused on solutions. However, it is noted that about 75% of the final cost of the product is determined in design, which gives it a determining importance. For this reason, in last decades, teaching of design theory and methodologies (DTM) began to be part of the curricular plans of the engineering courses. It is fundamental for the engineering students to know the main DTM to help in structuring the reasoning and also in the fundamentals of the decisions-making in all the design phases. In addition, its synthesis capabilities should be developed in addition to those of analysis, and especially the synthesis capabilities should be stimulated in terms of: technical specification of societal problems, development of sustainable alternative solutions and development of criteria for decision-making. This article presents the authors' convictions regarding teaching design theory and methodologies in university engineering courses.

Keywords: design, design theory and methodologies, mechanical engineering, teaching.

1. O ensino tradicional do projecto

O lascar de uma pedra para poder ser usada como arma de ataque e em operações de furação e de corte, pode ser considerado como o primeiro projeto feito nos primórdios da humanidade. Na verdade, foi criado um produto (pedra aguçada) que visava satisfazer as necessidades (caçar e cortar peles e carne) dos primeiros hominídeos. Isto é projeto.

Em termos atuais, pode-se considerar que projetar é uma atividade cognitiva que consiste em transformar um conjunto de necessidades em requisitos técnicos e estes num produto, num serviço ou numa organização. Por outro lado, a atividade de engenharia é a aplicação de conhecimento científico, económico, social e prático para conceber, dimensionar, desenhar, construir, manter e melhorar estruturas, máquinas, sistemas e processos. Os conceitos de projeto e de engenharia estão, pois, muito relacionados. De uma forma simplista, pode-se considerar que um projetista deve ter formação em engenharia, ou dito de outra forma, o ensino do projeto deve fazer parte do ensino da engenharia.

Ao ter como objetivo a satisfação das necessidades sentidas pelas pessoas, a nível individual, e pelas organizações sociais, a nível coletivo, a atividade de projetar assume grande

importância em engenharia em geral, e em particular na engenharia mecânica. Como tal, a engenharia tem sido objeto de ensino em universidades e escolas superiores desde há cerca de duzentos anos, na qual a atividade de projeto, e em particular o dimensionamento e o desenho, têm uma expressão dominante. Desde há cerca de meio século, o ensino do projeto de engenharia passou a fazer parte dos planos de estudos das principais universidades de referência, ganhando ênfase o processo do projeto.

Nessa altura, pôs-se a questão: como ensinar projeto de engenharia?

Sendo o projeto de engenharia uma atividade variada, transversal e nessa época desprovida de qualquer formalização, tipicamente os alunos eram postos perante problemas de resolução determinista. Por outras palavras, os problemas assentavam na sua resolução matemática não dando oportunidade ao aluno para considerar simultaneamente todas as áreas intervenientes no projeto e não estimulando a criatividade. Em suma, pode-se dizer que o ensino tradicional do projeto assentava em respostas fechadas, mais se parecendo com resolução de exercícios, e não na criação de soluções funcionais, ou seja, em respostas com soluções abertas.

Era essencialmente um problema de análise uma vez que se centrava essencialmente no dimensionamento de soluções.

2. Teorias e Metodologias do Projecto

A consciencialização de que o projeto de engenharia é um processo tornou-o por direito próprio uma disciplina da engenharia. Nas últimas décadas várias teorias e metodologias foram propostas e desenvolvidas para ajudar e guiar os profissionais de projeto. O nome mais corrente desta disciplina é “Teoria e Metodologias de Projeto”.

Importa clarificar a diferença entre teoria de projeto e metodologia de projeto. Evbuomwan *et al.* [1996, p 302] define-as da seguinte forma:

- Teoria de Projeto – É descritiva. Especifica o que é o projeto;
- Metodologia de Projeto – É prescritiva (estabelece um padrão). Especifica como se projeta.

O propósito de uma teoria de projeto é descrever, explicar e prever [Chakrabarti e Blessing, 2014, p 17], enquanto uma metodologia de projeto é um conjunto de procedimentos, ferramentas e técnicas para uso dos projetistas durante o projeto [Evbuomwan *et al.*, 1996, p 302].

De acordo com Adams [2015, p 18], todas as teorias e metodologias de projeto (TMP) têm parte das características apresentadas na Tabela 1 que representam parte das diferentes facetas do processo de projetar no seu conjunto. Estas propriedades dependem do campo de engenharia do produto, processo ou sistema que se pretende projetar e em particular da sua natureza, tipo, variedade e complexidade.

Contrariamente às ciências da engenharia que modelam objetos conhecidos, as teorias e metodologias de projeto são estruturas de raciocínio que modelam objetos ainda desconhecidos, com a utilização do conhecimento disponível [Le Masson *et al.*, 2013, p 100].

No projecto de engenharia usam-se termos com diferentes significados e consequentes diferentes posicionamentos na hierarquia científica. Adams [2015] diferencia, por ordem decrescente de especificidade: paradigma, filosofia, metodologia, método e técnica (Tabela 2). Não existe uniformidade dos diversos autores no uso destes termos. Por exemplo, o termo filosofia é mais frequentemente usado como teoria e Evbuomwan *et al.* [1996] designam por modelos aquilo que Adams [2015] denomina como metodologias.

Tabela 1 – Características que suportam as teorias e metodologias de projecto

Característica	Descrição
Exploratória	O projecto requer conhecimento específico, talento e competência.
Racional	O projecto é racional envolvendo raciocínio lógico, análise matemática, simulação computacional, ensaios laboratoriais, etc.
Investigativa	O projecto requer a identificação dos requisitos e expectativas dos interessados, técnicas de projecto existentes, soluções de projecto anteriores e conhecimento sobre os seus sucessos e insucessos, etc.
Criativa	O projecto requer conhecimento, criatividade, memória, capacidade de reconhecimento de padrões, pensamento lateral, “brainstorming”, analogias, etc.
Oportunista	A equipa de projecto faz abordagens que partem do geral para o particular e do particular para o geral.
Incremental	Melhorias e refinamentos são propostos durante o processo de projectar para aprimorar o projecto.
Facilitadora de decisão	O projecto requer juízos de valor. As linhas de acção e de selecção das soluções são baseadas na experiência e em critérios fornecidos pelos envolvidos no sistema.
Iterativa	O projecto é iterativo. As soluções são analisadas em relação aos seus requisitos, restrições e custos
Transdisciplinar	O projecto de sistemas de engenharia requer uma equipa transdisciplinar.
Interactiva	O projecto é interactivo. A equipa de projecto é uma parte integral do projecto.

Fonte: adaptado de Le Masson *et al.* (2013)

Ao longo das últimas décadas têm sido propostas várias dezenas de teorias, metodologias, métodos e técnicas. Distinguem-se entre si quanto às suas características e ao seu grau de aplicação e profundidade. Umhas têm um carácter mais prescritivo, outras mais descritivo e

outras mais numérico e computacional. Neste artigo, usar-se-á a sigla TMP para referir o seu conjunto.

Tabela 2 – Termos científicos usados em projeto de engenharia ordenados pelo seu crescente carácter normativo, especializado e específico

Termo científico	Atributos
Paradigma	Conjunto de crenças e valores; Visão global da comunidade científica.
Filosofia	Conjunto de conhecimento teórico que sustenta a visão global; É o mais alto nível de abstração; Contém as leis do sistema, princípios, teoremas e axiomas usados pela comunidade científica para abordar o mundo.
Metodologia	Abordagem sistemática que é usada para conduzir a investigação científica ou qualquer outra actividade.
Método	Dedicado; Sistemático; Relacionado com uma disciplina.
Técnica	Restrita; Procedimentos passo-a-passo; Acções precisas; Resultados padrão.

Fonte: adaptado de Adams (2015, p 24)

Apresenta-se de seguida uma lista das principais TMP propostas ao longo das últimas décadas e ao dispôr da comunidade científica e profissional do projecto de engenharia. Algumas delas são conhecidas pelo nome próprio do seu proponente. Noutras manteve-se a sua designação e/ou o seu acrónimo pelo qual são universalmente conhecidas. Este conjunto não pretende ser exaustivo e é apresentado por ordem alfabética:

- AD - Teoria Axiomática do Projecto
- C-K *Design Theory*
- DfX – *Design for X* (custo, qualidade, produção, montagem, etc.)
- DSM – *Design Structure Matrix*
- Engenharia simultânea
- FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*
- GDT – Teoria Geral do Projecto
- Hubka & Eder
- *Mechanical Design Process* (David Ullman)
- Métodos de Taguchi
- Morris Asimov
- Nigel Cross
- QFD – *Quality Function Deployment*
- *Systematic Approach* (Pahl & Beitz)
- *Total Design* (Pugh)
- TRIZ - Teoria da Resolução Inventiva de Problemas
- UDT – *Universal Design Theory*

- Ulrich & Eppinger
- VDI – Associação dos Engenheiros Alemães

A caracterização e a identificação das principais áreas de aplicação de cada uma destas TMP não se enquadra no objectivo deste artigo. No entanto, todas têm a sua validade e utilidade, dependendo dos objectivos, da fase e do campo de aplicação do projecto, quer se trate de um novo projecto ou de melhoria de um projecto já existente. Todas as TMP são complementares, e a referência a todas elas, bem assim como a exemplos de aplicação, pode caber no ensino da disciplina de Teoria e Metodologias de Projecto.

Algumas TMP são bastante conhecidas, frequentemente citadas e usadas em investigação, no ensino e na indústria. Todavia, muitas outras são usadas apenas nas instituições que as desenvolveram, quer no ensino quer em aplicações industriais.

A Tabela 3 apresenta as principais TMP agrupadas pela sua natureza abstracta ou concreta e o seu carácter geral ou individual, de acordo com Tomitama *et al.* [2009]. Distingue-se com cores nas células da tabela as TMP pouco ensinadas, frequentemente ensinadas e frequentemente ensinadas e usadas.

Tabela 3 – O ensino de TMP

	Geral	Particular
Abstracta	GDT UDT	Optimização AD Métodos de Taguchi Programas computacionais
Concreta	Hubka & Eder Pahl & Beitz Ullman Ulrich & Eppinger AD Eng ^a . simultânea DfX DSM FMEA Pugh QFD TRIZ	Métodos de projeto
Legenda:		Pouco ensinadas
		Frequentemente ensinadas
		Frequentemente ensinadas e usadas

Fonte: adaptado de Tomitama *et al* (2009, p 561)

Desta tabela emanam, entre outras, as seguintes conclusões:

- As teorias de projecto essencialmente abstractas (GDT e UDT) são pouco ensinadas;
- Algumas metodologias (Hubka & Eder, Pahl & Beitz, Ullman e Ulrich & Eppinger) são ensinadas, porém com poucas aplicações industriais;
- Metodologias que permitem alcançar objectivos concretos (AD, Engenharia simultânea, DfX, DSM, FMEA, Pugh, QFD e TRIZ) são largamente ensinadas e aplicadas;
- Metodologias com base matemática (Optimização, AD, Métodos de Taguchi e Programas computacionais) são também largamente ensinadas e aplicadas;
- Com propriedade, a Teoria Axiomática do Projeto (AD) é simultaneamente classificada como Concreta/Geral e Abstracta/Particular.

3. Teoria Axiomática do Projecto

Em finais da década de 1970, Nam P. Suh, professor do MIT, desenvolveu a Teoria Axiomática do Projecto (*Axiomatic Design* – AD) com dois objetivos [Suh, 1990]:

-Criar uma estrutura de raciocínio aplicável a qualquer tipo de projeto;

-Facilitar o ensino do projeto.

Na verdade, a Teoria Axiomática do Projeto, mais do que uma teoria de projecto, é essencialmente uma estrutura de raciocínio. Tem as seguintes características [Park, 2014]:

-É simples, coerente, e possível de aprender facilmente;

-Tem uma base teórica rigorosa (é lógica);

-É aplicável a pequenos e a grandes projetos;

-É globalmente aplicável;

-É aplicável a novos projetos e a projetos de melhoria.

Segundo Adams [2015], e em oposição a todas as outras TMP, a Teoria Axiomática satisfaz nove atributos críticos que garantem a sua viabilidade (Tabela 4). Possui também a capacidade de recorrer a axiomas que permitem desenvolver quantificações para avaliação de projetos.

Tabela 4 – Atributos da Teoria Axiomática (AD)

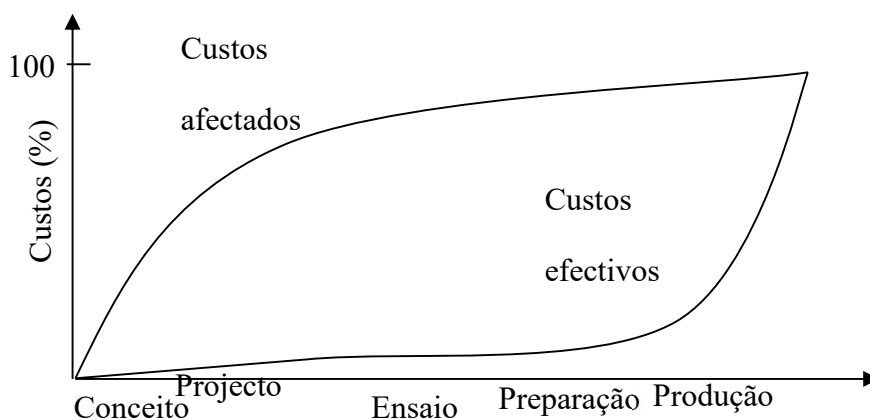
Atributo crítico	Descrição do atributo e satisfação na AD
Transportável	<i>Deve ter aplicação em todo o espectro de problemas e contextos complexos de engenharia. A AD tem sido aplicada com sucesso numa grande variedade de problemas de projecto em múltiplos domínios.</i>
Base teórica e filosófica	<i>Deve ter uma ligação com um corpo teórico de conhecimento, bem como os fundamentos filosóficos que formam a sua base e aplicações. O corpo teórico da AD faz parte da Teoria de Sistemas.</i>
Guia de acção	<i>Deve ter suficiente pormenor para enquadrar as acções apropriadas e conduzir os actos para a sua implementação. A AD permite transformar as necessidades do cliente em requisitos funcionais e restrições, estes em parâmetros de projecto e os parâmetros em varáveis do processo.</i>
Significância	<i>Deve exibir uma capacidade holística para abordar múltiplos domínios de problemas, minimizando os aspectos contextuais, humanos, organizacionais, de gestão, técnicos e políticos. A AD considera requisitos funcionais e restrições.</i>
Consistência	<i>Deve proporcionar replicabilidade de abordagem e interpretação de resultados com base na sua implantação em contextos similares. O rigor matemático do AD assegura a consistência de resultados</i>
Adaptabilidade	<i>Deve ser flexível e capaz de modificar a abordagem, configuração, execução ou expectativas devido a condições variáveis ou circunstanciais. A AD pode ser aplicada numa grande variedade de condições e circunstâncias sujeitas ao cumprimento dos axiomas.</i>
Neutralidade	<i>Tenta minimizar as influências externas na sua aplicação e interpretação. A AD é suficientemente transparente na técnica para eliminar enviesamentos e no levar em conta as suas limitações durante a sua execução.</i>
Utilidade múltipla	<i>Suporta uma variedade de aplicações em relação a sistemas complexos para incluir um novo projecto, a transformação de um existente e avaliação das situações. A AD pode ser aplicada em múltiplos domínios e aplicações.</i>
Rigorosa	<i>Deve ser capaz de suportar o escrutínio em relação a : (1) ligação ao corpo de uma teoria do conhecimento; (2) profundidade suficiente para demonstrar uma base detalhada da teoria; (3) provimento de resultados transparentes e replicáveis. A AD baseia-se na aplicação de axiomas da independência e da informação e no rigor matemático que garante resultados replicáveis que usam lógica comum para retirar de conclusões.</i>

Fonte: adaptado de Adams (2015, p 37)

4. Novos paradigmas do projeto

Com a expansão económica ocorrida após a II Guerra Mundial, aumentou a competitividade de produtos, serviços e organizações. O custo final de um produto passou a ser relevante para o seu sucesso. Vários autores são unânimes em apontar que cerca de 70 a 80% do custo final de um produto ficam determinados pelas opções tomadas aquando da sua fase conceptual de projeto. Não obstante os custos efetivos nessa fase serem relativamente diminutos, começam a crescer significativamente à medida que se aproximam as fases da implementação e da produção. Estas relações são esquematicamente apresentadas na Figura1.

Fig. 1 – Custos afetados e efetivos ao longo do processo de desenvolvimento de um produto



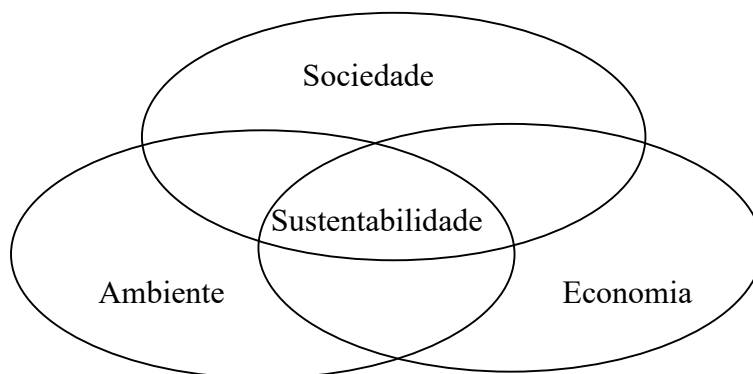
Fonte: adaptado de Barton *et al.* (2001).

Esta percepção generalizada veio reforçar a importância da atividade do projeto, o qual passou a ser interpretado como determinante para o sucesso de um produto. Emergiram então dois conceitos que as organizações começaram a utilizar: a Engenharia Simultânea e o *Design for X*.

A partir dos anos 70 e 80 do século passado surgiu um novo paradigma quando a comunidade internacional começou a ganhar consciência de que os recursos naturais do planeta eram finitos e que era importante atuar desde já no sentido de preservar o equilíbrio ambiental e garantir a existência saudável das gerações vindouras, bem como de todos os outros seres vivos [Fradinho *et al.*, 2015].

Nas últimas duas ou três décadas, diversos académicos e profissionais da área [Chiu e Chu, 2012; Deutz *et al.*, 2013] propuseram um conceito de projeto mais alargado, segundo o qual, para além das preocupações sobre a funcionalidade e o custo, deveriam ser também consideradas as preocupações de ordem ambiental. Este novo conceito é designado por projeto sustentável (Fig. 2) no qual o lucro, o planeta e as pessoas são considerados simultaneamente, cobrindo toda a vida do produto. Assim, projeto sustentável é entendido como o desenvolvimento de um produto/processo que cumpre a suas funções, gera lucro, é socialmente aceitável e usa materiais e energia mínimos, gerando também desperdícios mínimos [Fradinho *et al.*, 2015].

Fig. 2– Triplo conceito de sustentabilidade



Fonte: adaptado de Chiu e Chu (2012)

A interiorização por parte dos decisores destes novos conceitos (importância do projecto no custo final e sustentabilidade) tornou ainda mais o projecto de engenharia extremamente desafiante. Todavia, dado o carácter fortemente multidisciplinar do projecto, põe-se a questão de como proceder ao seu ensino.

5. Necessidades do ensino de projeto de engenharia

Nenhuma escola de engenharia pode deixar de contemplar o projeto nos seus programas curriculares. Em várias disciplinas, os estudantes desenvolvem alguns pressupostos, executam cálculos de dimensionamento e elaboram os desenhos de pormenor das soluções desenvolvidas.

Há escolas que para além destas unidades curriculares, lecionam também disciplinas de Teoria e Metodologias do Projeto, para que os alunos disponham de uma informação holística das várias teorias, metodologias e técnicas de projeto que os possam guiar e ajudar nas várias tomadas de decisão necessárias ao longo de toda a atividade de projeto [Gabriel-Santos *et al.*, 2016; Gabriel-Santos *et al.*, 2017]. A existência destas unidades curriculares nos cursos de engenharia tem um carácter estruturante na formação.

Várias disciplinas devem contribuir para reforçar e estimular as competências dos estudantes em projeto de engenharia. Tal objetivo pode ser conseguido, não solicitando a resolução de exercícios de resposta fechada (única), mas sim problemas em que não sejam disponibilizados todos os dados e levem a que o aluno tenha que fazer várias suposições racionais. Desta forma, é estimulada a capacidade dos estudantes para o desenvolvimento de alternativas que atendam não só aos requisitos funcionais e de custo como também aos

requisitos ambientais e aos modelos sociopolíticos de governação [Mourão *et al.*, 2011; Cavique *et al.*, 2014]. É fundamental que os alunos sintam de que forma as suas opções se repercutem no resultado final das alternativas desenvolvidas, constituindo um processo racional de síntese. Pretende-se que, com este conhecimento e amadurecimento, os estudantes ganhem hábitos no desenvolvimento de soluções sustentáveis alternativas, e no desenvolvimento de critérios para fundamentação das tomadas de decisão.

A crescente complexidade dos sistemas requer que estes sejam desenvolvidos por equipas multidisciplinares, pelo que se torna necessária a interiorização dos conceitos da engenharia simultânea, os quais são bem evidenciados pela AD [Gonçalves-Coelho *et al.*, 2003].

No ensino de projecto de engenharia deverá haver, também, a ambição de contribuir para uma estrutura de raciocínio que promova a acção do engenheiro na sociedade, através de uma visão holística que permita a obtenção das melhores soluções técnico-científicas, mas, também, que contribua para as melhores decisões da sociedade.

6. Conclusões

O ensino de Teorias e Metodologias do Projeto deve existir em todos os cursos de engenharia. Este conhecimento dotará os estudantes com meios que permitem:

- a interpretação das soluções como resultado de um processo racional de síntese;
- a geração de soluções alternativas que atendam não só à funcionalidade, mas também aos aspectos económicos e ambientais;
- desenvolvimento da capacidade de decisão.

Pelas suas características particulares, a Teoria Aximática do Projecto (AD) constitui-se como um precioso condutor de raciocínio e apoio à tomada de decisão no projecto de engenharia. Em certas fases do projecto, outras teorias e metodologias podem também ser de grande utilidade como sejam os casos do TRIZ, DfX, DSM ou FMEA.

7. Referências

- Adams, K., “*Non-functional Requirements in Systems Analysis and Design*”, Springer, 2015.
- Barton, J. A.; Love, D. M.; Taylor, G. D. –“Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation”. *Journal of Engineering Design*. **12** (1): 47-58, 2001.
- Cavique, M.; Fradinho, J.; Gonçalves-Coelho, A.; Mourão A., “An Axiomatic design standpoint of socio-political models for sustainable governance”. *Proceedings of the Eighth International*

- Conference on Axiomatic Design (ICAD 2014)*, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, Portugal, 79-86, 2014.
- Chakrabarti, A.; Blessing, L. T. “*An Anthology of Theories and Models of Design*”, Springer-Verlag, London, 2014.
- Chiu, M.-C.; Chu, C.-H., “Review of Sustainable Product Design from life Cycle Perspectives”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13 (7): 1259-1272, 2012.
- Deutz, P.; McGuire, M.; Neighbour, G., “Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers”, *Journal of Cleaner Production*, **39**: 117-128, 2013.
- Evbuomwan, N. F. O., Sivaloganathan, S., & Jebb, A., “A survey of design philosophies, models, methods and systems” *Journal of Engineering Manufacture*, **210** (4): 301–320, 1996.
- Fradinho, J.; Gabriel-Santos, A.; Gonçalves-Coelho, A.; Mourão, A., “Sustainable Solutions Under the Axiomatic Design Principles: the Need for Resilience”, *Proceedings of the 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design*, Ponta Delgada/Azores, Portugal, 1537-1544, 2015.
- Gabriel-Santos, A.; Martinho, A.; Fradinho, J.; Cavique, M; Sousa-Santos, P.; Gonçalves-Coelho, A.; Mourão A., "How Axiomatic Design can promote creativity in the design of new products". MATEC Web of Conferences **112**, 09010 (2017) *IManE&E 2017*.
- Gabriel-Santos, A.; Rolla, J.; Martinho, A.; Fradinho, J.; Gonçalves-Coelho, A.; Mourão, A. (2016). "The rational footsteps for the design of the mechanism of a vertical carousel-type storage device", *The Tenth International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2016)*, Procedia CIRP (2016), 193-197, 2016.
- Gonçalves-Coelho, A.; Mourão, A.; Pamies-Teixeira, J., “Axiomatic Design as a Background for Concurrent Engineering Education and Practice”, *Concurrent Engineering: Advanced Design, Production and Management Systems*, 419-427, 2003.
- Le Masson, P.; Dorst, K.; Subrahmanian, E. “Design Theory: history, state of the art and advancements”, (Editorial), *Research in Engineering Design*, **24**: 97-103, 2013.
- Mourão, A.; Cavique, M., Gonçalves-Coelho, A., “Different perspectives in engineering education according to the mission – the balance between analysis and synthesis” *The 17th International Conference The Knowledge-Based Organization – Economic, Social and Administrative Approaches to the Knowledge-Based Organization*, “Nicolae Balcescu” Land Forces Academy, Sibiu, Romania, (Conference proceedings 2),. 496-501, 2011.
- Park, G.-J., “Teaching conceptual design using axiomatic design to engineering students and practitioners”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (3): 989-998, 2014.
- Suh, N.P., “*The principles of design*”, Oxford Univ. Press, N.Y., 1990.
- Tomiyama, T.; Gu, P.; Lutters, D.; Kind, C. ; Kimura, F., “Design methodologies: Industrial and educational applications” *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **58**: 543-565, 2009.

Agradecimento

Os autores agradecem o patrocínio da Fundação para a Ciência e Tecnologia através Projecto Estratégico UID/EMS/00667/2013 – UNIDEMI.

Authors Profiles:

João Fradinho fez todos os seus estudos superiores na FCT-UNL, Lisboa, Portugal. Trabalhou na indústria durante dez anos. Atualmente é Professor Auxiliar na FCT-UNL e investigador do UNIDEMI. As suas principais áreas de interesse são Teoria e Metodologias de Projeto (com particular ênfase na Teoria Axiomática de Projeto), Tomada de Decisão em Projeto de Engenharia, e Sustentabilidade. Received BSc, MSc and PhD degrees from FCT-UNL, Lisbon, Portugal. He worked in the industry during ten years. He is now an Assistant Professor at FCT-UNL and Researcher in UNIDEMI. His research interests are mainly Design Theory and Methodologies (in particular on Axiomatic Design), Design Decision-Making and Sustainability.

António Gabriel-Santos obteve os graus de Licenciado, Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica na FCT-UNL, Portugal, e concluiu o MBA, na UCP. É Professor Auxiliar na FCT-UNL e Investigador do UNIDEMI. As suas principais áreas de interesse são o Desenvolvimento de Produto, Projecto de Máquinas, Teoria Axiomática de Projecto e Teoria e Metodologias de Projecto. É Administrador Executivo e Director Técnico da empresa MANO, S.A., que se dedica à concepção, projecto, fabrico, instalação e colocação em serviço de equipamentos para movimentação de materiais e sistemas automáticos de logística interna. Received BSc, MSc and PhD in Mechanical Engineering degrees from FCT-UNL, Portugal, and received a MBA from UCP. He is Assistant Professor at FCT-UNL and Researcher in UNIDEMI. His research interests are mainly Product Development, Machine Design, Axiomatic Design and Design Theories and Methodologies. He is CEO and Technical Director at MANO, S.A., operating in conception, design, manufacture, installing and running materials handling equipment and automated conveying systems.

Helena Navas é Professora do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Investigadora do UNIDEMI - Unidade de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica e Industrial. É investigadora, consultora e formadora em Inovação, Inovação Sistemática e TRIZ. Is Professor of Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa and Researcher in UNIDEMI - Unit for Research and Development in Mechanical and Industrial Engineering. She is a researcher, consultant and trainer in Innovation, Systematic Innovation and TRIZ.

Miguel Cavique é Professor da Escola Naval na área de Mecânica da Engenharia Naval. Fez projecto na rede de gás de Lisboa, foi consultor e projectista de ar condicionado e auditor energético de edifícios. A sua actividade de investigação tem-se centrado na teoria Axiomática de Projecto, em particular no que respeita a aplicações a sistemas de energia e à indústria naval. Is Professor at the Naval Academy in Naval Engineering field of Mechanics. He designed at the gas network of Lisbon, gave consultancy and designed air conditioning design and building energy auditor. His research activity has been on Axiomatic Design (AD), in particular in what concerns to applications to energy systems and to the marine industry.

António Mourão é Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Investigador do UNIDEMI - Unidade de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica e Industrial. As áreas de interesse são o Toleranciamento de Sistemas Mecânicos, o Projecto para X, o Ensino da Engenharia e a Teoria Axiomática de Projecto. Is an Associate Professor of Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa and Researcher in UNIDEMI - Unit for Research and Development in Mechanical and Industrial Engineering. His research interests are mainly Design Theory and Methodologies (in particular on Axiomatic Design and Design for X), Mechanical Systems' Tolerancing, and Engineering Education.

