

## UMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE INCERTEZAS ASSOCIADAS ÀS RETAS DE CALIBRAÇÃO

OLIVIER PELLEGRINO, ANDREIA FURTADO, LUÍS FILIPE RIBEIRO ISABEL GODINHO

*Laboratório Nacional de Metrologia, IPQ, Rua António Gião, 2, 2829-513 Caparica;*

[opellegrino@ipq.pt](mailto:opellegrino@ipq.pt)

Numa precedente comunicação [1], foi ilustrada a metodologia recomendada pelo *Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM) [2], documento produzido por peritos de várias organizações científicas internacionais sob a coordenação do Bureau Internacional dos Pesos e Medidas. Mais especificamente, o exemplo da reta de calibração, a função de calibração mais simples e mais utilizada em metrologia, evidenciou a respetiva determinação por meio do método dos mínimos quadrados e também a incerteza associada à utilização desta função com base da metodologia do GUM, consistindo na Lei de propagação das incertezas e em métodos de avaliação de incerteza de tipo estatístico (chamado método de tipo A) e de tipo não estatístico (ou método de tipo B).

À luz das reflexões e publicações produzidas sobre a incerteza de medição [3], a presente comunicação propõe-se alargar as possibilidades apresentadas previamente. Assim, um texto normativo [4] apresenta a determinação da reta de calibração, tendo em conta as incertezas e as correlações das medições, deduzindo, por meio dum processo iterativo, as incertezas e covariâncias dos parâmetros da reta de calibração. Também avalia a validade do modelo linear com a hipótese de as grandezas terem distribuições de probabilidade gaussianas, comparando o  $\chi_{\text{obs}}^2$ , para um número de graus de liberdade,  $\nu$ , igual ao número de pontos experimentais menos 2, ao valor máximo  $\chi_{\nu}^2$ , com um quantil de 95 %. Por outro lado, o método de tipo A apresentado no GUM corresponde a uma estatística por amostragem o que não é coerente com a avaliação de tipo B, baseada sobre distribuições de probabilidade associadas a um conhecimento prévio [5]. É portanto lógico que os conceitos de estatística bayesiana fornecem um quadro coerente à metodologia do GUM [6], [7]. Aplicações práticas das melhorias evocadas são apresentadas para calibração em refratometria de soluções aquosas de açúcares. Considera-se o processo iterativo e a avaliação da validade do modelo linear a partir de dados com incertezas. Também efetua-se um uso da estatística bayesiana assim como uma análise de programa informático de cálculo de incerteza dum Instituto Nacional de Metrologia [8].

1. “Incertezas Associadas às Retas de Calibração”, O. Pellegrino, A. Furtado, E. Filipe, Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática, Número Especial, Actas do Encontro Nacional da SPM, Faro, Julho de 2012, pp. 217-130.

2. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement, BIPM *et al* JCGM 100:2008.

3. GUM Anniversary Issue, Metrologia Special Issue, 51, 2014, S141-S244.

4. ISO/TS 28037:2010 Determination and use of straight-line calibration functions.
5. "On use of Bayesian statistics to make the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement consistent", R.N. Kacker, A.T. Jones, Metrologia, 40, 2003, 235-248.
6. "Probabilistic and least-squares inference of the parameters of a straight-line model", I. Lira, C. Elster, W. Wöger, Metrologia, 44, 2007, 379-384.
7. "A probabilistic approach to the analysis of measurement processes", M.G. Cox, G.B. Rossi, P.M. Harris, A. Forbes, Metrologia, 45, 2009, 493-502.
8. "LNE-MCM : logiciel d'évaluation des incertitudes de mesure par la Méthode de Monte Carlo", disponible en <http://www.lne.fr/fr/logiciels/MCM/logiciel-lne-mcm.asp>

# **INTRODUÇÃO À UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA HAM PARA RESOLUÇÃO ASSIMPTÓTICA DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS NÃO LINEARES**

MIGUEL MOREIRA

*Escola Naval, Departamento de Ciências e Tecnologia*

[miguel.moreira@marinha.pt](mailto:miguel.moreira@marinha.pt)

O método de análise por homotopia (HAM, Homotopy Analysis Method) foi introduzido e desenvolvido por Shijun Liao em 1992. Esta técnica permite determinar soluções exactas (expressas na forma de série) de equações diferenciais (ou sistemas de equações) não lineares. Basicamente este método transforma o problema original num conjunto de equações diferenciais lineares cujas soluções analíticas constituem os termos duma série de funções que representa a solução exacta do problema original.

De referir a possibilidade de implementar a aplicação deste método automaticamente utilizando para tal ambientes de programação baseados em manipuladores simbólicos tais como o MATHEMATICA, o MAPLE ente outros.

Nos últimos anos esta técnica tem sido utilizada na obtenção de soluções assintóticas de equações diferenciais não lineares em muitas áreas da engenharia.

Neste trabalho, tendo por suporte o ambiente MATLAB, apresentaremos o método, ilustraremos a sua aplicação a casos simples e descreveremos alguns aspectos do seu vasto potencial de utilização na engenharia.

# **Análise Termo-Fluido Dinâmica em Cilindros Rotativos com Fronteira Imersa e Modelo Físico Virtual**

**Rômulo Chaves**

damasclin@yahoo.com.br

Estudante de Doutorado em Matemática Aplicada  
pela Faculdade de Ciências do Porto

**Resumo:** Há um grande interesse científico, industrial e tecnológico pelo estudo de escoamentos ao redor de corpos que podem estar ou não aquecidos. A análise destes escoamentos e os fenômenos presentes tais como geração e desprendimento de vórtices, transferência de calor e forças exercidas pelo fluido têm sua importância em diferentes áreas da engenharia. Escoamentos sobre plataformas de extração de petróleo, sobre linhas de transmissão de energia, em problemas de interação fluido-estrutura em meios porosos, em trocadores de calor e sobre geometrias complexas, podendo estas serem móveis, estacionárias ou deformáveis, são alguns exemplos. A compreensão destes fenômenos e o desenvolvimento de métodos numéricos têm sido de grande interesse e tem despertado para o desenvolvimento de novas metodologias com maior precisão numérica. No presente trabalho foi utilizada a metodologia Fronteira Imersa (MFI) / Modelo Físico Virtual (MFV) para simulações de escoamentos incompressíveis, bidimensionais sobre cilindros aquecidos e rotativos. O cálculo das forças exercidas sobre o cilindro assim como a imposição indireta do aquecimento do cilindro foram feitos pelo MFV que se baseia nas equações de conservação da quantidade de movimentos linear e da energia. Um código computacional em linguagem C/C++ foi empregado para estudar as alterações na dinâmica do escoamento e no campo térmico causado pela imposição de diferentes taxas de rotação do cilindro. Foram realizadas diversas simulações com o intuito de analisar a estabilidade do método bem como obter os parâmetros relevantes ao problema como coeficientes de arrasto, sustentação e pressão, número de Strouhal e de Nusselt, juntamente com os campos de velocidade, pressão, vorticidade e de temperatura, fazendo assim, um estudo comparativo dos resultados numéricos obtidos com outros trabalhos científicos.

**Palavras-chave:** *Método da Fronteira Imersa, Modelo Físico Virtual e Cilindros Rotativos Aquecidos.*

# Singularidades Aerodinâmica no escoamento Potencial com Aplicações em Turbomáquinas

Rômulo Chaves

damasclin@yahoo.com.br

Estudante de Doutorado em Matemática Aplicada  
pela Faculdade de Ciências do Porto

(Tema de Projeto de Tese de Doutorado em Matemática Aplicada - Orientador:  
Prof. Silvio Marques Gama)

**Resumo:** Aqui a proposta é apresentar um método numérico para a formulação a priori do escoamento potencial, incompressível em torno de corpos em turbomáquinas (máquinas de fluxo - água) com pás de largura variável. A formulação do problema a ser estudado conduz a um tipo de equação "difusão convecção" para o potencial de velocidades. Os termos "convectivos" apresentam o efeito da variação de largura e serão aproximados por uma combinação de função de base radial centradas em pontos do domínio computacional, com coeficientes a serem determinados. A cada função de base radial corresponderá um potencial conhecido que irá satisfazer uma equação do tipo Poisson cujo termo não-homogêneo será a própria função de base radial. Esses potenciais se combinam com o potencial de perturbação das pás na forma de um potencial puramente Laplaciano, cujo efeito poderá ser representado por distribuição de vórtices no contorno do corpo ou das pás. As densidades dessas distribuições e os coeficientes das funções de base radial são determinados pela aplicação das condições de contorno e de interpolação. Após essa determinação, é possível reconstruir o campo de velocidades e de pressões no domínio de cálculo do escoamento e em seguida, calcular grandezas resultantes, tais como: circulações, forças no contorno, variações de quantidade de movimento angular e potenciais (no caso de rotores e grades axial e radial, respectivamente). A posteriori apresentar análise do escoamento em turbomáquinas axiais e radiais, onde tem-se verificado que frequentemente operam na sua condição ótima com significativas regiões de separação da camada-limite. Este facto foi evidenciado por alguns pesquisadores tais como Lieblein (1959) e Schlichting (1959), sendo corroborado por análises teóricas de camada-limite e ensaios experimentais em túneis de grade e em compressores axiais. Nesse sentido, as situações de fluxo "descolado" devem ser necessariamente consideradas já nos estudos preliminares do projecto. Além da proposta inicial desta pesquisa de tese, é apresentar a um modelo numérico para o cálculo do escoamento viscoso em grandes lineares de turbomáquinas axiais e em rotores radiais centrífugos de largura variável. O modelo é baseado em modificações na técnica dos painéis de Hess e Smith (1967), de forma a introduzir os efeitos viscosos na região do fluxo "colado", através das velocidades normais de transpiração, que serão obtidas do cálculo da camada-limite. Na região de fluxo descolado, serão introduzidas velocidades normais, quantificadas através de uma intensidade de vazão fictícia que será obtida de modo semi-empírico e assumindo a hipótese de pressão constante na esteira. Na situação de não ser detectada a separação, é possível simular o efeito de

uma pequena esteira descolada próxima ao bordo de fuga através da própria injeção de vazão numa região determinada pelos critérios de ajuste de Gostelow (1975). Este modelo numérico apresentará dois ciclos de iteração numérica, o primeiro para *encontrar o ponto de separação* e o segundo para *realizar o acoplamento viscoso/não-viscoso*, no qual as velocidades de transpiração e de injeção de vazão são submetidas a um processo de sub-relaxação para garantir a convergência do método. Pretende-se obter as distribuições de pressão, ângulos de deflexão da grade e os coeficientes de sustentação e arrasto que serão comparados com dados experimentais com o objetivo de validar a metodologia.

**Palavras-chave:** *Método das Singularidades, Método dos Painéis, Iteração Viscosa/Não-Viscosa, Grades Lineares, Rotores Centrífugos de Largura Variável.*

# Método das Forças Fictícias: Aplicação do Método do Ponto Fixo à Análise Materialmente Não Linear de Estruturas Reticuladas

Pedro Gala<sup>1</sup>, Paulo Providência<sup>2</sup>, Miguel Ferreira<sup>3</sup>

## Resumo

A análise estrutural em engenharia consiste num conjunto de operações que visam caracterizar a “resposta” (deslocamentos, deformações, tensões, etc.) das estruturas (edifícios, pontes, etc.) quando solicitadas por um conjunto de acções. A solução deste problema emerge da conjugação de três famílias de equações:

- i) Relações de equilíbrio entre as forças actuantes (solicitações) e as tensões desenvolvidas;
- ii) Relações constitutivas entre tensões e extensões para os materiais da estrutura;
- iii) Relações de compatibilidade entre extensões e deslocamentos.

Na análise de estruturas correntes, considera-se frequentemente a linearização destas três famílias de equações. De facto, o ensino e prática da Engenharia de Estruturas é extremamente focado na teoria linearizada, ignorando-se por vezes o facto de ser uma teoria simplificada. Por outro lado, em certos tipos de problemas, torna-se indispensável considerar algumas destas relações num formato não linear.

Neste quadro, existem métodos que procuram “simplificar” os procedimentos da análise não linear tornando-os, tanto quanto possível, similares aos empregues na análise linear. Um destes métodos é o designado método P-Delta (p. ex., Gala *et al.*, 2016), que se aplica a problemas geometricamente moderadamente não lineares, e que considera as relações de equilíbrio na configuração deformada. As operações do método P-Delta são idênticas às da análise linear, havendo contudo a necessidade de considerar termos suplementares no carregamento os quais são determinados iterativamente. De um ponto de vista matemático, trata-se de uma aplicação do método de Ponto Fixo.

O Método das Forças Fictícias (MFF) (Gala, 2013), (Gala *et al.*, 2016 e 2010) considera as relações constitutivas não lineares dos materiais através de um procedimento similar ao método P-Delta. Neste método, é estabelecida uma estrutura auxiliar feita de materiais com relações constitutivas lineares, sendo as relações constitutivas não lineares originais consideradas apenas de forma indireta através de um carregamento fictício adicional que “corrige” esta permuta na lei constitutiva. O MFF pode ser visto como uma aplicação do Método das Tensões Iniciais de Zienkiewicz *et al.* (1969), que por sua vez é claramente uma aplicação do método do Ponto Fixo.

Nesta comunicação faz-se uma apresentação sumária do MFF, de modo a evidenciar a sua relação com o método do Ponto Fixo.

## Referências:

Chen, W.F. e Lui, E.M. (1991). *Stability Design of Steel Frame*. CRC Press.

Gala, P. (2013). *The fictitious force method and its application to nonlinear material analysis of skeletal structures* (<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/23834>). Ph.D. thesis, University of Coimbra.

Gala, P., Costa, R., Ferreira, M. Providência, P. e Dias, A. (2016). *The Fictitious Force Method and its Application to the Nonlinear Analysis of Plane RC Skeletal Structures*, *Journal of Structural Engineering* (a aguardar publicação).

*Método das Forças Fictícias: Aplicação do Método do Ponto Fixo à Análise Materialmente Não Linear de Estruturas Reticuladas*

Gala, P., P. Providência, V. Dias da Silva, and M. Ferreira (2010). O Método das Forças Fictícias na Modelação da Não Linearidade Material em Estruturas Porticadas de Betão Armado – Aplicação à Determinação da Curva de Capacidade Resistente. in Encontro Nacional de Betão Estrutural 2010. Lisboa.

Zienkiewicz O.C., Valliapan, S. and King, I.P. (1969). Elasto-Plastic Solutions of Engineering Problems. Initial Stress, Finite Element Approach. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1(1): 75:100.

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria. INESCC Coimbra. pedro.gala@estg.ipleiria.pt

<sup>2</sup> Universidade de Coimbra, INESC Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, FCTUC – Pólo II, 3030-788 Coimbra. provid@dec.uc.pt

<sup>3</sup> Lena, Engenharia e Construções, S.A. 2495-185 Santa Catarina da Serra. miguelpedrosaferreira@gmail.com

# A modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas públicos de abastecimento de água

Ricardo GOMES

MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, E-mail: [ricardo.gomes@ipleiria.pt](mailto:ricardo.gomes@ipleiria.pt)

## Resumo

A degradação das infraestruturas e a rápida expansão dos sistemas públicos de abastecimento de água, sobretudo em áreas urbanas de crescimento acentuado, estão relacionados com a maior parte dos problemas de ineficiência existentes na vertente em “baixa”. Por outro lado, a experiência tem demonstrado que a sectorização das redes de distribuição de água reduz substancialmente a sua complexidade de gestão e exploração, sobretudo no que diz respeito à monitorização do caudal, à gestão da pressão e dos níveis operacionais dos reservatórios, do modo de operação de válvulas e grupos elevatórios, e, ainda, a verificação dos parâmetros relacionados com a qualidade da água. Além do mais, facilita a previsão e identificação das tendências de consumo a médio e longo prazo, permite caracterizar os vários cenários de consumo (diário, mensal e sazonal), controlar o volume global de faturação, facilitar a recolha de dados para aplicações em Engenharia, promover o *benchmarking* entre entidades gestoras, direccionar e programar os investimentos ao longo do tempo, auxiliar a avaliação global do programa de controlo de perdas, entre outros. O planeamento e o projeto de sectorização de redes de distribuição de água requerem um conhecimento prévio das condições topológicas da rede e do modo de operação e comportamento global do sistema. No entanto, a falta de cadastro atualizado das infraestruturas de abastecimento de água e a incerteza relativamente à avaliação das evoluções do consumo e da taxa de degradação das infraestruturas ao longo do tempo, constituem os principais obstáculos à implementação desta técnica em algumas entidades gestoras.

Nesta comunicação é descrito um método desenvolvido recentemente para o estudo prévio da viabilidade e sustentabilidade do projeto de sectorização de redes de distribuição de água, incluindo a gestão da pressão ao longo da rede [1]. Além disso, pode ser usado para planear os investimentos necessários em diferentes momentos até ao ano horizonte de projeto, de acordo com as necessidades reais e os recursos financeiros da entidade gestora. A metodologia proposta baseia-se na teoria dos grafos (algoritmo de *Floyd-Warshall*) para definir os limites entre Zonas de Medição e Controlo (ZMC), e num algoritmo de otimização (baseado na meta heurística *Simulated Annealing*) ligado a um simulador hidráulico em regime quase permanente para estudar as condições de fronteira entre ZMC, tal como o reforço da capacidade de transporte da rede e a gestão da pressão.

Esta comunicação encontra-se organizada da seguinte forma: i) após uma breve revisão sobre o assunto; ii) segue-se a descrição da metodologia proposta, para estudar a viabilidade e sustentabilidade do projeto de sectorização de uma qualquer rede de distribuição de água, e iii) termina com a apresentação e discussão dos resultados obtidos para um estudo de caso, no qual se faz referência às principais conclusões.

**Palavras-Chave:** Algoritmo de Floyd-Warshall; Meta heurística Simulated Annealing; Sistemas públicos de abastecimento de água

## Referências

- [1] Gomes, R. (2011). “Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água”, Tese de Doutoramento em “Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente”, Universidade de Coimbra – disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/17988>

**ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE MATEMÁTICA  
(ENSPM)  
MÉTODOS MATEMÁTICOS EM ENGENHARIA**

**ANÁLISE DE PADRÕES DINÂMICOS DE SPECKLE POR TRANSFORMADAS  
TEMPO-FREQUÊNCIA: TRANSFORMADA DE WAVELET E TRANSFORMADA  
DE HILBERT-HUANG**

Rui Fonseca-Pinto<sup>1,2</sup>, Mariela Gonzalez<sup>3</sup>, Isabel Passoni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Telecomunicações – MSP, Leiria, Portugal

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal

<sup>3</sup> Laboratorio de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

O fenómeno de speckle está presente quando uma fonte laser, que incide sobre uma amostra com algum tipo de atividade, se dispersa e é captada por uma câmara de vídeo. Este fenómeno pode ser observado em amostras biológicas (como é o caso de imagens de placas de petri com bactérias ou mesmo frutas e legumes) ou não biológicas (como o caso de imagens do processo de secagem de uma tinta numa superfície).

Existem várias metodologias para avaliar a atividade nas imagens de speckle, sendo a obtenção da imagem de *Time Histoty of the Speckle Patern* – THSP a mais comum, permitindo apresentar os padrões de textura para os distintos estados da amostra em análise. Atendendo ao tipo de decomposição que a Transformada de Wavelet (TW) proporciona, a extração das caraterísticas de textura pela TW é uma abordagem pela qual se têm extraído alguns marcadores que caraterizam a dinâmica do processo.

Nesta comunicação será apresentada uma caraterização da dinâmica do processo, com extração de features da imagem de THSP por via da Transformada de Hilbert-Huang (HHT). Os marcadores de textura obtidos são comparados com as mesmas caraterísticas obtidas pela TW, obtendo-se parâmetros distintos para as fases do processo.

# **A matemática nos ensaios de laboratório**

*Miguel Barreto Santos*

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria

[miguel.santos@ipleiria.pt](mailto:miguel.santos@ipleiria.pt)

## **Resumo**

O desenvolvimento das diversas áreas da Engenharia Civil evolui com recurso a métodos de análise teórica e experimental. Os estudos experimentais decorrem em laboratórios de ensaios, onde são aplicadas metodologias descritas em normas e especificações ou onde são utilizados métodos inovadores, em função da especificidade dos elementos em estudo. Na preparação, execução e tratamento de resultados dos ensaios experimentais são utilizados diversos métodos matemáticos, por vezes de forma discreta. Pretende-se com esta comunicação apresentar uma reflexão sobre a aplicação de alguns desses métodos matemáticos utilizados em ensaios laboratoriais para estudo de materiais de construção.

**Palavras-Chave:** Ensaios, laboratório, materiais de construção, tratamento de dados

# Cinéticas não lineares de inativação de microrganismos: modelização, análise de dados e planeamento experimental

Maria M. Gil<sup>a</sup>; Fátima A. Miller<sup>b</sup>; Teresa R. S. Brandão<sup>b</sup>; Cristina L. M. Silva<sup>b</sup>

<sup>a</sup>MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, ESTM, Instituto Politécnico de Leiria  
Campus 4 | Santuário Nossa Senhora dos Remédios, Apartado 126, 2520 - 641 Peniche - Portugal

<sup>b</sup>CBOF- Centro de Biotecnologia e Química Fina, Escola Superior de Biotecnologia, Centro Regional do  
Porto da Universidade Católica Portuguesa

Rua Arquiteto Lobão Vital, Apartado 2511, 4202-401 Porto, Portugal

\*Corresponding author: maria.m.gil@ipleiria.pt

## Resumo

O desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevem o comportamento de microrganismos constitui uma área de investigação vulgarmente designada por microbiologia preditiva. Estes modelos são de extrema importância na previsão da concentração de patogénicos e de microrganismos responsáveis por deterioração de alimentos, sendo uma contribuição importante para o projeto de condições de processamento adequadas.

O principal objetivo deste trabalho é a modelagem de cinéticas de inativação térmica de microrganismos com comportamento não linear. O modelo cinético assumido (vulgarmente referido como modelo primário) foi baseado na equação de Gompertz. Dependendo do processo, a inativação dos microrganismos apresenta uma fase de latência inicial (lag), seguida de um decréscimo linear (correspondendo a uma taxa de inativação máxima,  $k_{max}$ ), tendendo para um valor residual (cauda), que são os parâmetros do modelo.

A temperatura tem um efeito dominante na inativação dos microrganismos. Por este motivo, foi estudada a dependência dos parâmetros cinéticos com a temperatura. Testaram-se vários modelos na descrição da dependência da fase de latência inicial ( $L$ ) e da taxa de inativação máxima ( $k_{max}$ ) com a temperatura (vulgarmente designados por modelos secundários). Foram utilizadas duas metodologias de regressão: (i) baseada em *two steps* – num primeiro passo os parâmetros cinéticos do modelo primário são estimados e, num segundo passo, esses parâmetros são relacionados com a temperatura; (ii) baseada em *one step* - os modelos secundários são incluídos no modelo primário, efetuando-se uma regressão global com todos os dados experimentais. Concluiu-se que os modelos secundários selecionados com base numa metodologia *two-steps* devem ser utilizados com cuidado. Todo o trabalho referido foi baseado em condições isotérmicas. No entanto, estas condições não são verificadas na maioria dos processos alimentares. O modelo de Gompertz foi também aplicado com sucesso na descrição da inativação de *L. innocua* em condições não isotérmicas. Os resultados demonstraram que parâmetros cinéticos estimados em condições isotérmicas não devem ser aplicados para previsão de comportamento em situação não isotérmica.

Parâmetros cinéticos estimados com precisão acrescida implicam uma melhoria da capacidade de previsão dos modelos matemáticos. O planeamento  $D$ -ótimo foi aplicado nos estudos cinéticos de inativação de microrganismos, tendo sido determinadas condições ótimas de amostragem que conduzem a uma precisão acrescida dos parâmetros do modelo.

**Palavras-Chave:** Microbiologia preditiva; Gompertz; regressão não-linear; planeamento experimental  $D$ -ótimo.

# Title: New geometrical and topological methods applied to direct digital manufacturing for lattice porous structures

*Nelson Martins-Ferreira*

Affiliation: CDRSP and ESTG, Polytechnic Institute of Leiria., E-mail: [martins.ferreira@ipleiria.pt](mailto:martins.ferreira@ipleiria.pt)

## Abstract:

In this talk we introduce the concept of link, double-link and triple-link, as well as the general notion of an n-link. These are good models which are useful to handle all the geometrical, topological and functional information involved in the process of 3D printing. In particular, we explain how a triangulated surface can be regarded as a double-link, how a link can be used as a model for a planar curve and its relation with a directed graph, or how the algorithms for slicing and scanning can be improved when translated into this new setting. We also compare the general (triangular) approach with the (more special but also simpler) cubical approach. This is done by replacing a triangulated surface with a surface with a square patch, or replacing the volume of a part (which is usually filled by tetrahedrons) with a cubical lattice. One of the advantages of this approach is that each cube, on the cubical grid, is uniquely determined by its origin and the values that the origin takes under the maps in the structure of the n-link. These maps contain the geometrical information (coordinates, angles, distances, intersections), the topological information (neighbouring cubes in the grid), and the functional information (density, material, color, etc).

Palavras-Chave: link, double-link, triple-link, n-link, directed graph, triangulation, geometry, topology, functionally graded structures, direct digital manufacturing, porous structures.