



Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões



5º encontro nacional

**Análise Experimental de
Tensões**

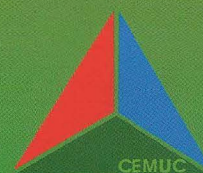
e

Mecânica Experimental

COIMBRA

21 – 23 Janeiro de 2004

Centro de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra



**5º Encontro Nacional Análise Experimental
de
Tensões e Mecânica Experimental**

Resumo de Comunicações

Editado por:



**ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES**

Sede: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Av. do Brasil, 101 - 1700-066 LISBOA

Tel 218 443 419

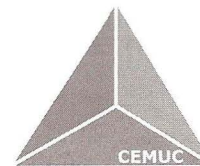
Fax: 218 443 021

E.mail: apaet@lnec.pt

<http://www-ext.lnec.pt/APAET/>



COMISSÃO ORGANIZADORA



J. F. Silva Gomes (FEUP)

Mário Santos (INETI)

A. Gonçalves (LNEC)

R. Pereira Leal (FCTUC)

Maria de Lurdes Eusébio (LNEC)

F. B. Branco (IST)

J. M. Cirne (FCTUC)

Paulo Piloto (PB-ESTIG)

N. F. Rilo (FCTUC)

COMISSÃO CIENTÍFICA

J.L. Lataillade (França)

C. Navarro (Espanha)

J.F. Silva Gomes (FEUP)

C.A. Mota Soares (IST)

J. Montalvão e Silva (IST)

J.L. Pérez Castellanos (Espanha)

Morão Dias (FCTUC)

M. Teresa Vieira (FCTUC)

M. Vaz (FEUP)

A. Martins Ferreira (FCTUC)

A. Ferreira (FEUP)

M.C. Cruz Azevedo

S.A. Meguid (Canadá)

Gérard Gary (França)

J. Fernandez Saez (Espanha)

J.M. Catarino (LNEC)

Luis A. Oliveira (FCTUC)

F.B. Branco (IST)

A.S. Miranda (UM)

A. T. Marques (FEUP)

J.M. Cirne (FCTUC)

Mário Santos (INETI)

A. Ramalho (FCTUC)

AGRADECIMENTOS

DEM - Departamento de
Engenharia Mecânica



FCTUC - Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra



 Caixa Geral de Depósitos

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR

Portugal

Apoio do Programa Operacional Ciência, Tecnologia, Inovação do
Quadro Comunitário de Apoio III

Análise não-linear de elementos tubulares submetidos à compressão: fenómenos de instabilidade.

Elza M. M. Fonseca¹; Carlos A. M. Oliveira²; Francisco Q. Melo³

1 – Instituto Politécnico de Bragança; 2 – Faculdade de Engenharia do Porto; 3 – Universidade de Aveiro

A noção de estabilidade aparece associada ao conceito de equilíbrio de uma estrutura, caracterizada pelos valores dos deslocamentos dos seus pontos. Essa instabilidade pode surgir pela ocorrência de uma bifurcação de equilíbrio (instabilidade bifurcacional) ou pela ocorrência de um ponto limite (instabilidade por *snap-through*). O esforço de compressão tende a acentuar o efeito de curvatura em elementos estruturais, ao contrário do efeito da tracção. Os deslocamentos laterais que são produzidos traduzem o fenómeno conhecido por encurvadura por flexão ou por varejamento. As cascas possuem em geral um estado não linear de pré-encurvadura caracterizado por deslocamentos e rotações. Neste tipo de estruturas a tensão crítica de bifurcação está associada à ocorrência simultânea dos dois modos de instabilidade, o modo axissimétrico (caracterizado pela não existência de semi-ondas circunferenciais) e o assimétrico (caracterizado pela existência de semi-ondas longitudinais e circunferenciais), conforme se pode observar na fig.1. A tensão de colapso de uma casca cilíndrica é significativamente

inferior à correspondente tensão crítica, dado o facto do comportamento inicial de pós-encurvadura das cascas cilíndricas ser extremamente instável, o que implica uma grande sensibilidade às imperfeições geométricas, como referido por Camotim, 2001 e se pode verificar no gráfico da fig.1. Existem elementos estruturais em que o estado de pré-encurvadura não pode ser determinado com base numa teoria geometricamente linear, nomeadamente: arcos, calotes esféricas, cascas cilíndricas, em que a relação comprimento/raio é pequena. Para este tipo de estruturas a trajectória de equilíbrio não é linear desde o início do carregamento e a instabilidade ocorre por *snap-through* quando se atinge o ponto limite, (trajectória do gráfico *BF*). No caso em que a relação comprimento/raio é muito grande, a deformação não envolve encurvadura localizada da secção recta e o estudo da instabilidade pode ser efectuado com base na resistência à encurvadura por varejamento conforme regras apresentadas em códigos e regulamentos. Na fig.2 observam-se estes dois tipos de fenómenos, conforme testes efectuados em estruturas tubulares.

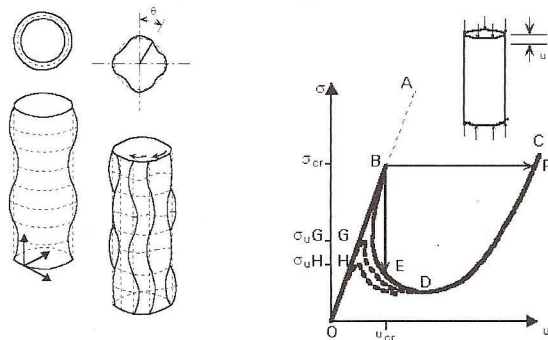


Fig.1- Modo axissimétrico e assimétrico. Comportamento de uma casca cilíndrica comprimida.
(Cortesia ESDEP-CD Electronic version)

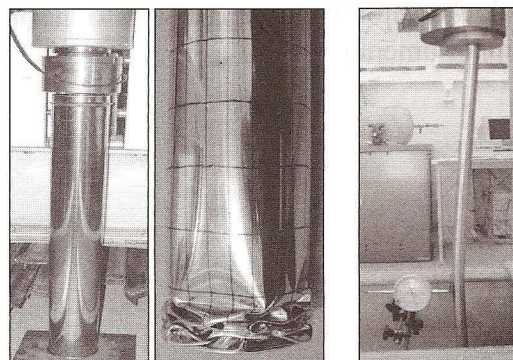


Fig.2- Encurvadura localizada e por varejamento.

No caso de projecto de estruturas cilíndricas submetidas a esforços de compressão, pode-se utilizar a recomendação da ECCS (European Convection for Constructional Steelwork), 1988. Este método é válido para cilindros impedidos de se deslocar numa das extremidades (na direcção radial e tangencial) e para uma geometria que não exceda o seguinte limite geométrico $L/r \leq 0.95\sqrt{r/t}$. Este limite é imposto para impossibilitar a interacção da encurvadura por varejamento em colunas com instabilidade localizada de cascas. Em relação ao fenómeno de instabilidade por varejamento, a segurança em relação ao estado último de encurvadura é definido em função da carga última de uma estrutura associada ao colapso por instabilidade elástica ou elasto-plástica. No caso da resistência à encurvadura por compressão e conforme proposto pelo Eurocódigo3, 1992, a carga limite é função da esbelteza adimensional $\bar{\lambda}$ e define-se pela expressão $N_{b,Rd} = \chi\beta_A A f_y / \gamma_{M1}$. Este fenómeno foi estudado através dos resultados obtidos com um elemento finito de tubo desenvolvido para análise não linear e com os resultados de um programa comercial utilizando um elemento de viga. Efectuaram-se ainda alguns ensaios em elementos tubulares com as mesmas características. Na fig.3 observa-se que a carga de colapso atinge valores semelhantes nos dois programas tendo o deslocamento lateral da estrutura o mesmo comportamento.

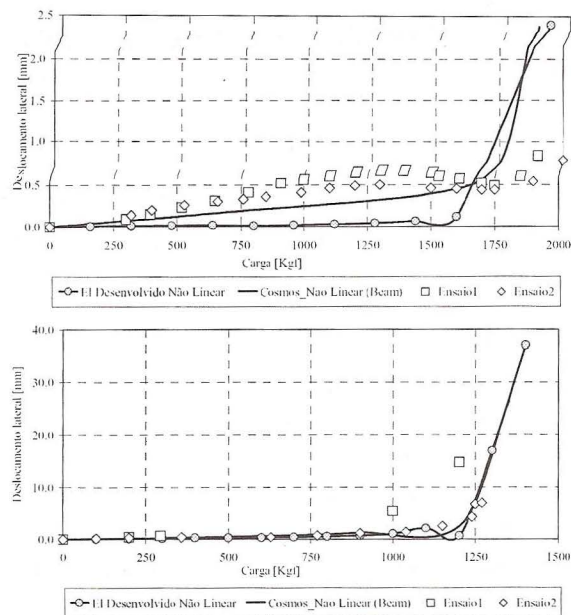


Fig.3- Deslocamento lateral da estrutura em função da carga de compressão aplicada incrementalmente.

Na fig.4 representa-se o limite de resistência à encurvadura por varejamento obtido para as colunas em estudo, com diferentes comprimentos, comparado com a curva teórica de Euler e a curva do Eurocódigo3, 1992. A deformada observada neste fenómeno é evidenciada na fig.5.

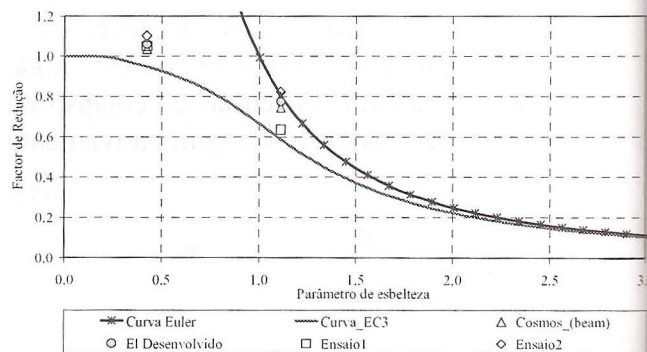


Fig.4- Limite de resistência atingido em estruturas com diferentes comprimentos.



Fig.5- Deformada numa estrutura tubular submetida à compressão.

Referências

- Camotim, D., Reis, A., *Estabilidade Estrutural*, McGraw-Hill, Portugal 2001.
- Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1.1: *General rules and rules for buildings*, ENV 1993-1-1 1992.
- ECCS-European Convection for Constructional Steelwork – *Buckling of Steel Shells European Recommendations*, Fourth edition 1988.
- ESDEP-European Steel Design Education Programme, WG 8 –*Plates and Shells, Design of Unstiffened Cylinders*, CD-electronic version.