



CNaPPES.15

Congresso Nacional de Práticas Pedagógicas
no Ensino Superior



ipfn
INSTITUTO DE PLASMAS
E FUSÃO NUCLEAR

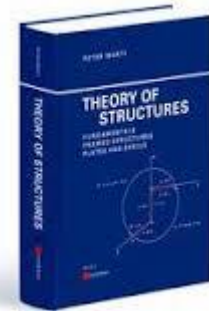
“Professor, a aplicação informática dá uma solução diferente da do livro. Qual delas está certa?”

- Práticas no ensino da mecânica estrutural

Miguel Matos Neves (DEM/IST) e Hugo Policarpo (IPFN)

Contexto (1/5)

- Na aplicação de ferramentas de cálculo, ao comparar resultados numéricos com os da literatura (analíticos).



- Engenheiros (e alunos) deparam-se com a necessidade de processar informação aparentemente contraditória, i.e ... quando os valores não coincidem.

Contexto (3/5)

- O desafio está em: como desenvolver capacidades para lidar com informação aparentemente contraditória como e.g. no contexto da aplicação de distintos modelos teóricos?

Contexto (4/5)

- Tal desafio é, na nossa opinião, de bastante relevância num contexto de acentuado progresso do desenvolvimento de ferramentas computacionais.
- Partilhamos aqui uma (breve) abordagem nossa à elaboração, acompanhamento e avaliação de problemas com este tipo de discordâncias.

Contexto (5/5)

O que estamos a partilhar surgiu no seguinte contexto :

- Disciplina do 4ºano do curso de Eng. Aeroespacial com vários trabalhos de aplicação de ferramentas CAD/FEA.
- Alunos para quem o conhecimento teórico e sua aplicação directa não levanta maiores dificuldades.
- Matérias envolvendo vários modelos teóricos (com hipóteses simplificativas) e generalizações em diversos graus.
- Corpo docente que faz investigação na área e com vários anos de experiência de ensino na disciplina.

Exemplo 1 - Enunciado

Para a sua estrutura, uma das Figs 1 e 2, considere o material aço S355J2G3 ($E=200\text{GPa}$, $\rho=7800\text{ kg/m}^3$) com troços de secção transversal constante, com as condições de fronteira CF#, carga axial P e carga distribuída actuando no sentido positivo de Oz com intensidade definida pela função $q(x)$ e cujos valores bem como os restantes dados são os indicados, consoante o seu número de aluno, na tabela de dados fornecida em anexo.

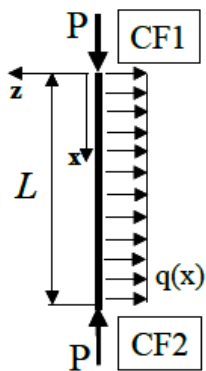


Figura 1

P1

1a) Desenvolva em MatLab um pequeno código que permita obter a solução analítica de Euler-Bernoulli (EB), a de Elementos Finitos (EF) e os modos de viga EB, para a alínea (i, ii ou iii) e restantes dados indicados na tabela anexa. Realize um estudo de convergência das soluções numéricas.

- os diagramas de esforço normal N , esforço cortante V e momento flector M , a deformada $w(x)$ e a distribuição de temperatura produzidas pela acção das cargas;
- a primeira frequência natural de vibração transversal (em Hz) e o respectivo modo de vibração.
- a carga crítica de Euler (P_{cr}), no caso em que se aplica apenas $P=1$, e o respectivo modo de instabilidade.

1b) Compare os valores obtidos na sua alínea anterior com os que obtém no programa de elementos finitos e comente.

1c) Considere apenas a carga axial de valor P , i.e. nesta alínea $q=0$. Apresente um gráfico do quadrado da primeira frequência natural (em rad/s) em função do valor de intensidade da força axial P no intervalo de $[-|P_{cr}|, +|P_{cr}|]$ para 9 pontos igualmente espaçados.

III	E	SD	1.5	1		W150x29.8				
i	E	ED	1.6	500	400	W150x24				
II	E	SF	1.7	1		W150x18				
iii	SF	E	1.8	1		W150x13.5				
Número	CF1	CF2				Secção B&J	Alinea P2	L1	L2	rOs

Exemplo 1 – Cálculos e comparação

W (m) - Solução 1. Resultado
Relatório - 10/01/2015, 10:02:15, 10/01/2015
Emprego: NKA_2
KIT_1,000, Nca - 0,270, K10y - 100
Informações: Emprego: NKA_2, NKA_2

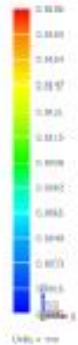


Figura 11: $w(x)$ - NX

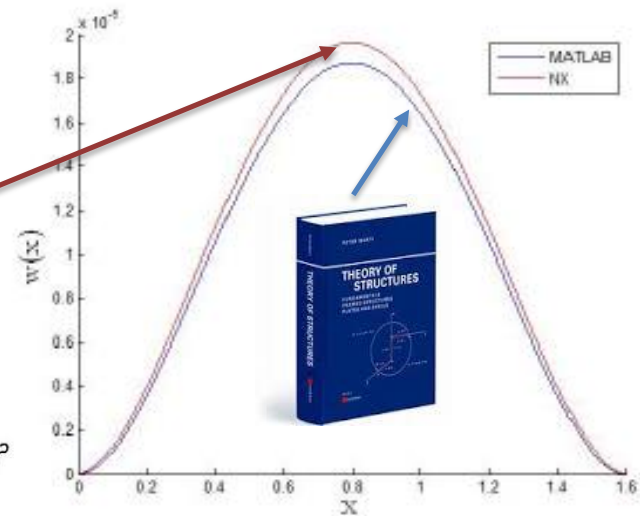


Figura 12: $w(x)$ - NX e MATLAB

A solução obtida no NX tem a mesma forma do que a obtida anteriormente, mas tem um valor máximo de $w(0.8) = 1.9638 \times 10^{-5} \text{ m}$, enquanto que a obtida no MATLAB tem um valor máximo de $w(0.8) = 1.8702 \times 10^{-5} \text{ m}$.

(Extracto da resposta dada pelo aluno)

Exemplo 1

“Professor, a aplicação informática dá uma solução diferente da do livro. Qual delas está certa?”

Exemplo 1 – extracto de relatório 1/2

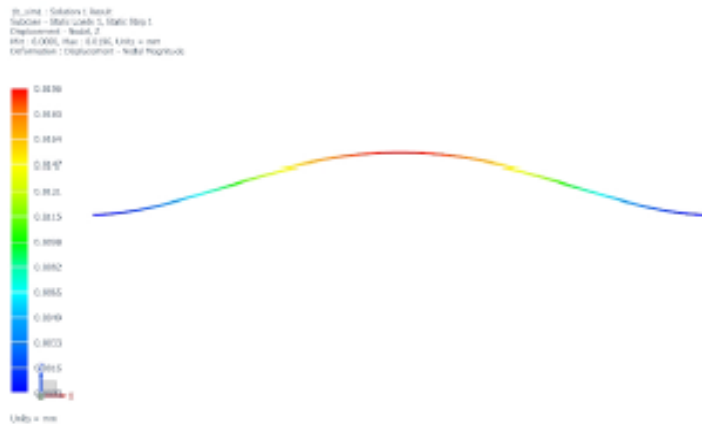


Figura 11: $w(x)$ - NX

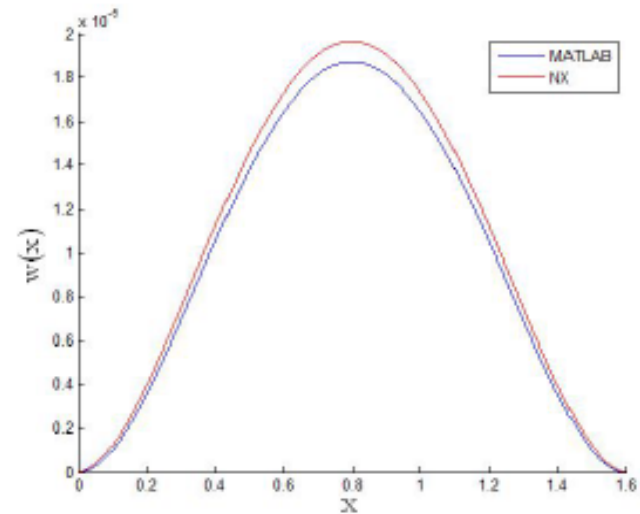


Figura 12: $w(x)$ - NX e MATLAB

A solução obtida no NX tem a mesma forma do que a obtida anteriormente, mas tem um valor máximo de $w(0.8) = 1.9638 \times 10^{-5} \text{ m}$, enquanto que a obtida no MATLAB tem um valor máximo de $w(0.8) = 1.8702 \times 10^{-5} \text{ m}$.

A diferença entre os dois resultados deve-se às diferenças nos modelos que são utilizados no NX e no MATLAB. No MATLAB a teoria utilizada é simplesmente a de Euler-Bernoulli, em que as secções da viga se mantêm retas e perpendiculares ao eixo x . Nesta teoria as vigas são mais rígidas do que são na realidade, e por isso, deformam menos.

(Extracto da resposta dada pelo aluno)

Exemplo 1 – extracto de relatório 2/2

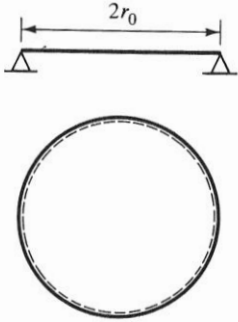
(Cont. Extracto da resposta dada pelo aluno)

Os efeitos das tensões de corte e da rotação das secções são menores no caso das vigas esbeltas. Quanto mais curtas forem as vigas, maiores são as diferenças esperadas entre a teoria de EB e o modelo utilizado no NX. No nosso caso a viga não é esbelta nem demasiado curta e por isso as diferenças entre os resultados não são muito grandes.

Podemos confirmar que a diferença entre as duas teorias se deve a o NX contabilizar os efeitos do corte simplesmente anulando estes efeitos no programa, ou seja podemos obter a solução para um material com as mesmas propriedades A , I_{yy} e I_{zz} e fazer $K1 = K2 = 0$ (anular os fatores de rigidez ao corte, "shear stiffness factors"). Não a mostramos neste relatório mas a solução obtida para a deformada é a mesma que a obtida para EB no MATLAB (ver pasta 1b\1b_K_igual_0). Uma outra maneira de fazer este teste seria resolver o mesmo problema para uma viga mais esbelta pelos dois métodos.

Excelente trabalho!

Exemplo 2 – CFs na literatura

139		$\omega_{ni} = \frac{\lambda_{ni}}{r_0^2} \sqrt{\frac{D}{\bar{m}}}$	<table border="1" data-bbox="971 458 1464 729"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">λ_{ni}</th> </tr> <tr> <th>$i \backslash n$</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>4.977</td> <td>13.94</td> <td>25.65</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>29.76</td> <td>48.51</td> <td>70.14</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>74.20</td> <td>102.80</td> <td>134.33</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>138.34</td> <td>176.84</td> <td>218.24</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="971 743 1329 796"> n = number of nodal diameters i = number of nodal circles </p>			λ_{ni}			$i \backslash n$	0	1	2	0	4.977	13.94	25.65	1	29.76	48.51	70.14	2	74.20	102.80	134.33	3	138.34	176.84	218.24	[A7], [A25], and [A26]	$\nu = 0.3$; \bar{m} mass per unit area of the plate. See Sec. 4.3.
		λ_{ni}																												
$i \backslash n$	0	1	2																											
0	4.977	13.94	25.65																											
1	29.76	48.51	70.14																											
2	74.20	102.80	134.33																											
3	138.34	176.84	218.24																											

* See Sec. 4.1 for definition.

Neste caso o aluno irá concluir que a solução analítica na literatura não corresponde ao caso da figura, a qual apresenta apoio fixo ao longo de todo o perímetro exterior.

Para obter rigorosamente os valores da tabela ajuda apoiar apenas e não fixar, i.e. se placa em xoy $uz=0$ mas ux e uy livres.

Descrição da prática pedagógica

- Objectivos: desenvolver a capacidade de justificar fundamentadamente tais discrepâncias. Requer um enunciado com dados que vão originar a discrepância.
- Público alvo: alunos para quem o conhecimento teórico e sua aplicação directa não levanta dificuldades.
- Já experimentamos duas possibilidades: 1) Aguardar que os alunos detectem a discrepância; ou 2) informar que vão obter discrepância.

Metodologia

Essencialmente, o aluno vai:

- 1) aplicar a metodologia de solução do problema na aplicação informática tal como aprendeu;
- 2) comparar a solução de 1) com a solução apresentada na literatura recomendada, verificando que existe uma discrepância entre as soluções.
- 3) o aluno vai estabelecer/construir um conjunto de possíveis justificações para a discrepância encontrada em 2) revendo as hipóteses simplificativas da solução da aplicação informática;

Metodologia

Essencialmente, o aluno vai (cont.):

- 4) recorrendo à aplicação informática, realizar estudos paramétricos que permitam tirar conclusões sobre a variação da solução em função destes parâmetros.
- 5) deverá ser capaz de baseado na etapa 4) justificar fundamentadamente a discrepância detectada em 2), mostrar em que condições(*) reproduz a solução da literatura e o porque é que na etapa 2 obteve discrepância.

(*) No caso da viga (exemplo 1), o aluno verifica no estudo paramétrico que para comprimentos L maiores, e tudo o resto fixo, a solução acaba por ser igual à da literatura (referida no relatório como a do Matlab). Embora não seja uma validação é um ponto de referência à validade do resultado.

Por fim espera-se que assinale como a solução da etapa 2 permite um ponto de referência para a solução da etapa 1, embora a validade desta última vai ainda depender do rigor/testes da aplicação informática.

Avaliação

Essencialmente:

A avaliação faz-se através da análise à linha de argumentação apresentada da etapa 1 à 5, permitindo observar o quanto a resposta escrita se aproximou dos objectivos.

Avalia-se a comparação de resultados, o estudo paramétrico e escolha dos parâmetros, a análise do caso similar, justificações e a conclusão.

Resultados (já recolhidos e esperados),

Os resultados desta prática foram taxas de dedicação e aprovação elevadas (para além da carga adicional sobre os docentes).

Os alunos desenvolveram o raciocínio esperado, com rigor e espírito crítico.

Eventual transferibilidade (aplicabilidade a outros domínios científicos)

Na opinião dos autores esta metodologia pode aplicar-se em domínios científicos onde existam pelo menos dois modelos de solução, em particular envolvendo um modelo mais limitado e outro mais avançado do qual o primeiro é um caso particular e com soluções para vários cenários nos livros ou textos de apoio.

Conclusão

Apresentou-se a experiência no desenvolvimento de capacidades de justificação fundamentada de discrepâncias entre soluções.

Esta metodologia pode aplicar-se em domínios científicos onde existam pelo menos dois modelos de solução, em particular envolvendo um modelo mais limitado (geralmente analítico) e outro mais avançado.

Tal desafio é, na opinião destes autores, de bastante relevância no contexto atual de acentuado progresso do desenvolvimento de ferramentas computacionais.