

AMBIENTE PEDAGÓGICO PARA A ENGENHARIA ESTRUTURAL COM O USO DO SOFTWARE MATHCAD

Walnório Graça Ferreira, D.Sc. - walgraf@npd.ufes.br
Luiz Herkenhoff Coelho, D.Sc. - lhcoelho@npd.ufes.br
Elicarlos Vionet Scaramussa Correia - elicorreia@yahoo.com.br
Victor Carlos Teixeira da Costa - victorctcosta@yahoo.com.br
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico
Departamento de Estruturas e Edificações
Av. Fernando Ferrari s/n, Goiabeiras
Vitória-E.S

***Resumo:** O professor do curso de engenharia pode contar hoje, para sua missão pedagógica, com modernos ambientes de matemática simbólica como Mathematica[®], Mathcad[®], Matlab[®] e Maple V[®]. Dentre estes, o Mathcad[®] é o mais adequado para o aprendizado, pois ele funciona como uma prancheta eletrônica, trabalhando da esquerda para a direita e de cima para baixo, como realmente se faz manualmente. Além disso, as fórmulas e equações são apresentadas na tela exatamente como se escreve no caderno e possui todos os recursos sofisticados de programação, não requerendo conhecimentos aprofundados de linguagem de programação e podendo ainda trocar dados com outros programas como o Excel[®], por exemplo. O presente trabalho mostra como tirar proveito deste ambiente como instrumento pedagógico no ensino das disciplinas da engenharia estrutural. Serão apresentados três exemplos interativos que podem ser utilizados pedagogicamente nas disciplinas Resistência dos Materiais, Estruturas de Concreto Armado e Estruturas Metálicas. Todos esses exemplos necessitam da interação do aluno, estimulando o raciocínio e provocando o aprendizado dos conceitos fundamentais da engenharia estrutural, atingindo o objetivo do presente trabalho.*

***Palavras-Chave:** Ensino na Engenharia, Ambiente Pedagógico, Mathcad[®].*

1. INTRODUÇÃO

Desde que começaram a surgir os primeiros computadores, o ensino das disciplinas da área de estruturas nos cursos de Engenharia vem demandando a sua utilização cada vez mais intensa. Durante anos, os alunos dos cursos de Engenharia aprenderam e utilizaram programas de computador baseados nas mais diversas linguagens de programação com o objetivo de tornar seu aprendizado mais eficiente. Recentemente surgiram as modernas linguagens de matemática simbólica como os softwares Mathematica[®], Maple V[®], Matlab[®] e Mathcad[®], que rapidamente se popularizaram em todo o mundo. Dentre estes, o Mathcad[®] é o mais adequado para o aprendizado, pois ele funciona como uma prancheta eletrônica, trabalhando da esquerda para a direita e de cima para baixo, como realmente se faz manualmente. Além disso, as fórmulas e equações são apresentadas na tela exatamente como se escreve no caderno e possui todos os

recursos sofisticados de programação, como procedimentos para decisões (*if*, *while*), *loops (for)*, dentre outros, não requerendo conhecimentos aprofundados de linguagem de programação e podendo ainda trocar dados com outros programas como por exemplo o Excel®.

O presente trabalho mostra como tirar proveito deste ambiente como instrumento pedagógico no ensino na área de estruturas da engenharia. Serão apresentados três exemplos interativos que podem ser utilizados pedagogicamente nas disciplinas dessa área. Como auxílio na disciplina de Resistência dos Materiais é apresentada a solução de uma viga bi-apoiada onde são calculadas as deflexões, tensões normais e as tensões cisalhantes em qualquer de suas seções transversais. Na disciplina de Estruturas de Concreto Armado é resolvido o problema de dimensionamento de pilares com seção transversal retangular. Finalmente, em Estruturas Metálicas é resolvido um problema de verificação da capacidade resistente de colunas de aço, com o uso dos recursos de interação do Mathcad® com o Excel®. Todos esses exemplos possibilitam a participação do aluno, estimulando o raciocínio e provocando o aprendizado dos conceitos fundamentais da engenharia estrutural, atingindo o objetivo do presente trabalho.

2. APLICAÇÃO EM AMBIENTES INTERATIVOS

2.1 Resistência dos Materiais

O ambiente implantado apresenta os diagramas de distribuição de tensões normais e de cisalhamento e o traçado da deformada da viga em qualquer seção transversal de uma viga simplesmente apoiada de vão L , seção transversal retangular e submetida a uma carga uniformemente distribuída (Figura 1). O módulo de deformação do material da viga também é conhecido.

Interatividade

Ao fornecer dados de uma viga (b , h , L , q e E), o aluno obterá como resposta o diagrama linear de tensões normais bem como a distribuição parabólica das tensões cisalhantes, com os respectivos valores máximos e a deformada da viga (linha elástica), com o valor máximo da flecha.

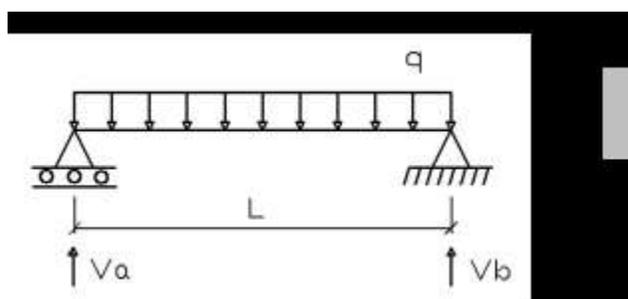


Figura 1 Viga simplesmente apoiada com carga uniformemente distribuída

Características da Viga:

- $b := 10 \text{ cm}$ (largura da seção)
- $h := 20 \text{ cm}$ (altura da seção)
- $L := 250 \text{ cm}$ (comprimento da viga)
- $q := 5 \text{ kN/m}$ (carga uniformemente)
- $E := 1200 \text{ kN/cm}^2$ Módulo de Elasticidade

A Figura 2 abaixo apresenta o diagrama de Momento Fletor da viga dada:



Figura 2 Diagrama de Momento Fletor

Cálculo do Momento Máximo:

$$M_m := \frac{q \cdot L^2}{8} \quad M_m = 390.625 \text{ N}\cdot\text{cm} \text{ Momento}$$

$$M := M_{m \text{ a x}}$$

$$I_x := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = 6666.667 \text{ cm}^4 \text{ (Momento de Inércia)}$$

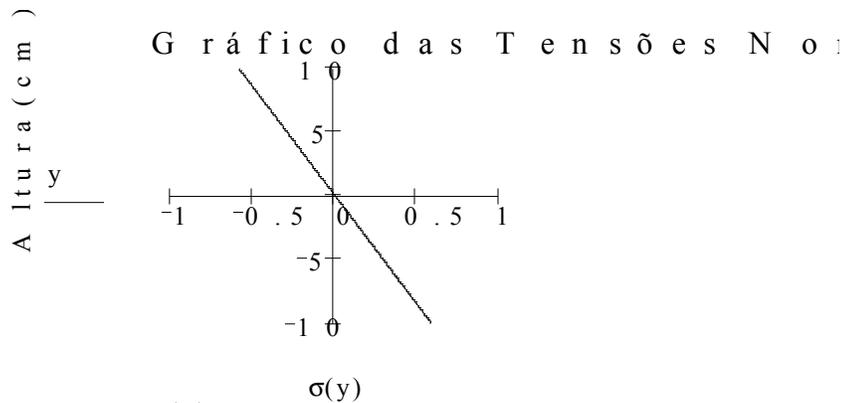
Variação das Tensões Normais

Função das tensões normais

$$\sigma(y) := -\frac{M \cdot y}{I_x}$$

-





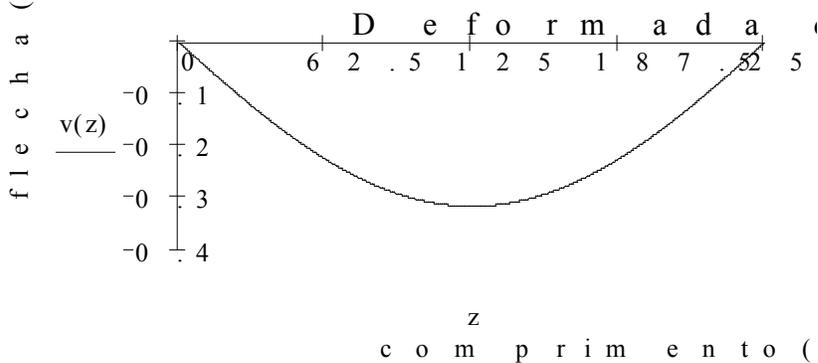
$$\sigma_m \bar{a} = \sigma \left(\frac{h}{2} \right) \quad (\text{T e n s ã o m á x i m a d e})$$

$$\sigma_m \bar{a} = 0.586 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

F u n ç ã o q u e r e g e a d

E q u a ç ã o p o l i n o m i a

$$v(z) := \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left(-\frac{q \cdot 1}{2} \cdot \frac{z^4}{4} + \frac{q \cdot 1}{1} \cdot \frac{z^3}{2} - \frac{q \cdot 1}{2} \cdot \frac{L^3 \cdot z}{4} \right)$$



$$v_m \bar{a} = \left| v_x \left(\frac{L}{2} \right) \right| \quad (\text{F l e c h a m á x})$$

$$v_m \bar{a} = 0.318 \text{ m}$$

A Figura 3 abaixo apresenta o diagrama de Esforço Cortante da viga dada:

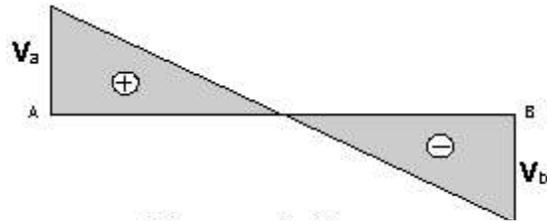


Figura 3 Diagrama de Esforço Cortante

V a r i a ç ã o d a s T e n s õ e s

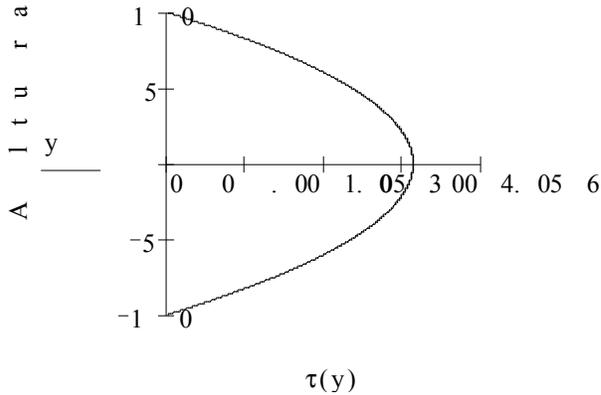
$$V_a := \frac{q \cdot L \cdot 1}{2} \quad V_a = 6 \text{ kN} \quad (\text{e s f o r ç o})$$

$$V := V_a$$

$$S(y) := \left(\frac{h}{2} - y \right) \cdot b \cdot \left[y + \frac{\left(\frac{h}{2} - y \right)}{2} \right]$$

$$\tau(y) := \frac{V \cdot S(y)}{I_x \cdot b}$$

T e n s õ e s d e C i s a l h a m e n t o



$$\tau_m := \tau(0)$$

$$\tau_m = 0 \text{ k}$$

2.2 Estruturas de Concreto Armado

Este ambiente interativo mostra o dimensionamento das armaduras longitudinais de um pilar intermediário, bi-rotulado, de concreto armado (Figura 4) sendo conhecidas as dimensões da seção transversal, o comprimento do pilar, as propriedades mecânicas dos materiais, o diâmetro máximo dos agregados, bem como as suas solicitações.

Interatividade

O aluno fornece os dados iniciais, dimensões do pilar, características dos materiais aço e concreto e esforços solicitantes. Posteriormente, o programa calcula a área de aço necessária para garantir a segurança estrutural fazendo as verificações previstas pelas NBR-6118 (2003) e apresenta os resultados para serem analisados pelo usuário.

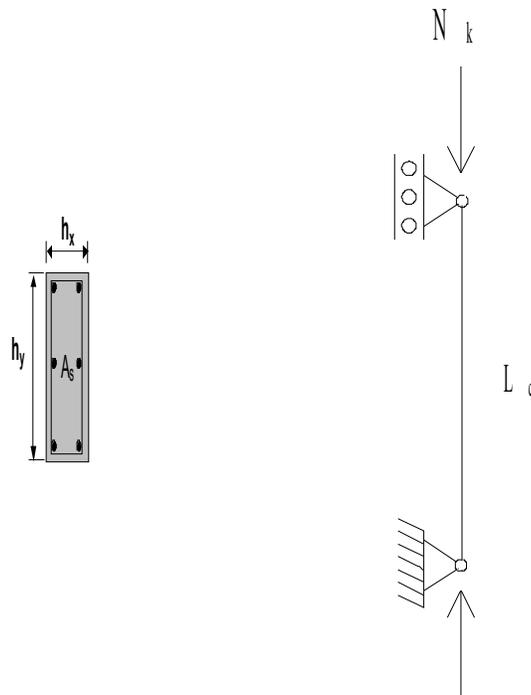


Figura 4 Coluna de Concreto Armado

Pilar P1

Dados do Pilar:

$$N_k := 500 \text{ kN (esforço solicitante)}$$

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

$$l_c := 3 \text{ m (altura de piso a piso)}$$

$$h_x := 20 \text{ cm (dimensão do pilar em relação a direção considerada x)}$$

$$h_y := 30 \text{ cm (dimensão do pilar em relação a direção considerada y)}$$

$$c := 3 \text{ cm (cobrimento da armadura)}$$

$$\phi_{est} := 5 \text{ mm (não deve ser inferior a } \frac{1}{4} \phi \text{ das barras longitudinais nem menor que } 5 \text{)}$$

$$\phi_{max_agreg} := 2.5 \text{ cm (diâmetro máximo do agregado que varia de acordo com o tipo brita brita 0} \Rightarrow \phi = 19 \text{ mm, brita 1} \Rightarrow \phi = 25 \text{ mm e brita 2} \Rightarrow \phi = 32 \text{ mm)}$$

$$k := 1 \text{ (coeficiente de flambagem)}$$

C l a s s i f i c a ç ã o d o P i l a r q u a n t o à e s b e l t a m e n t o
Pilar Moderadamente Esbelto "

E x c e n t r i c i d a d e s t o t a i s n a s d i r e ç õ e s
 $e_x = 4.05 \text{ m}$ $e_y = 3.70 \text{ m}$

F l e x o C o m p r e s s ã o N o r m a l n a s d i r e ç õ e s
 $M_{d \bar{x}} = 25.9 \text{ kNm}$ (momento gerado pel
 $M_{d \bar{y}} = 28.3 \text{ kNm}$ (momento gerado pel

A r m a d u r a s m í n i m a s n e c e s s á r i a s e
 $A_{s m} = 2.4 \text{ cm}^2$ $A_{s m} = 2.4 \text{ cm}^2$

A r m a d u r a d e A ç o n e c e s s á r i a e m c a b e ç o
Distribuída ao longo da direção x:
Distribuída ao longo da direção y:

"bitola"	"barras em hx"	"barras em hy"	"barras no pilar"	"Área de Aço"	"Análise"	"espaç estr"
10	2	4	8	6.283	"Atende"	12
12.5	2	3	6	7.363	"Atende"	15
16	2	2	4	8.042	"Atende"	19.2
20	2	2	4	12.566	"Atende"	20
25	2	2	4	19.635	"Atende"	20
32	2	2	4	32.17	"Não Atende"	20

2.3 Estruturas Metálicas

Este ambiente analisa colunas de aço fazendo as verificações quanto a flambagem local, flambagem global e, realizando por fim, o cálculo da capacidade de carga da coluna (Figura 5). O ambiente atua de maneira interativa com uma planilha do Excel®, obtida junto ao fabricante. Em cada linha da tabela, estão dispostos os dados geométricos de um determinado perfil.

Interatividade

Ao fornecer os dados geométricos da coluna, cargas axiais aplicadas, propriedades mecânicas do aço utilizado e escolher um perfil através da identificação da posição(linha) do mesmo na tabela do fabricante, o programa apresenta o cálculo da esbeltez informando se o perfil atende ou não e, em seguida, faz os cálculos e verificações quanto aos diversos modos de flambagem de acordo com a NBR 8800(1986), realizando por fim a determinação da capacidade de carga e informando se o perfil suporta com segurança a carga de cálculo.

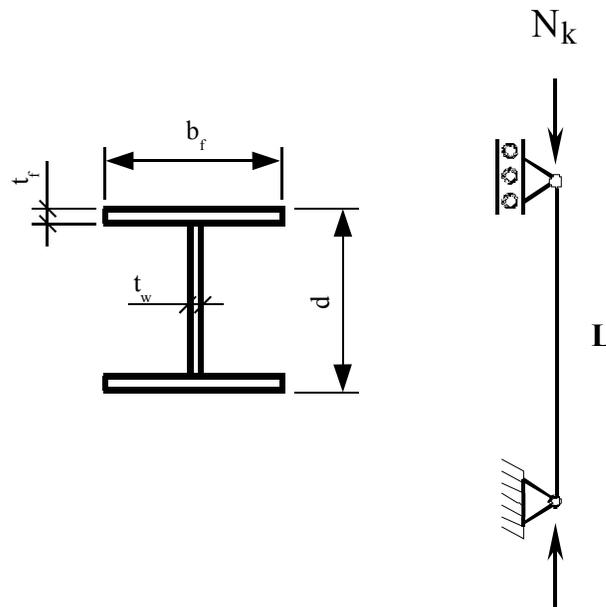


Figura 5 Coluna de Aço (Perfil HPL)

Perfil :=

C:\...\Perfil HPL.xls

f=25N120310e30

C a r g a s n a C o l u n a :

P e s o p r ó p r i o d e g r a S n d l e r v e a a i
C a r r g a 0 p k p N C a r g 4 a 0 k 0

C o m b i n a ç ã o d a s

$N_S = 1 \cdot C_4 + 1 \cdot C_5$ p a p r g a s o
 $N_S = 7 \cdot 2 \cdot N$

P o s i ç ã o d o p e r f i l

R e f i l H L = 180

E s b e l m t e á : z x d = a 2 C 0

$$\lambda := \frac{L}{r_y} \quad \lambda = 6 \quad 6 \quad . \quad 3 \quad 7 \quad 2$$

V e 1 " i Q i c p a e ç r ã f o i l a

F l a m b a g e m L o c a l

E l e m e n t o N â o E n r :

$$\lambda_1 := \frac{b_f}{2 \cdot t_f} \quad \lambda_p := \rho \cdot \sqrt{\frac{E_y}{f_y}} \quad 5 \quad \lambda_r := 1 \cdot \sqrt{\frac{E_y}{f_y}}$$
$$\lambda_1 = 9 \quad . \quad 4 \quad 7 \quad 4 \quad \lambda_p = 1 \quad 5 \quad . \quad 7 \quad 5 \quad \lambda_r = 2 \quad 9$$

E n Q f = ã o : 0 : 0

E l e m e n t o E n

$$\lambda_2 := \frac{(d - 2 \cdot t_f)}{t_w} \quad \lambda_2 = 2.5 \quad \lambda_p := 1.2 \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{f_y}} \quad \lambda_p = 4.2$$

$$Q_a = 1.0$$

$$A_s Q := Q_s \cdot Q_a \quad m \quad Q = 1.0$$

F l a m b a g e m

T e n s ã o e s e l á

$$f_e = 1.2 \cdot \frac{N}{A} \quad f_e = 4.7 \text{ kN} \quad f_e = 72.2 \text{ z c k 3 9 n}$$

$$A \quad t \quad e \quad f_e = 4 \quad s \quad \tilde{a} \quad N \quad \varnothing \quad 2 \quad c c \quad 9 \quad m$$

C á l c u l o d a c

$$\phi_c := 0.9 \quad \rho = 0.0748$$

$$N_c := \phi_c \cdot \rho \cdot Q_d \cdot A \cdot f_y \quad N_c = 7.6 \text{ kN} \quad N. 5$$

$$V_e = \text{trio f i c p a e ç r ã f i o l}$$

Í n d i c e d e a p r

$$i_a := \frac{N_s}{N_c} \cdot 1.0 \quad i_a = 9.5 \% \quad 2.08$$

3. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta o software Mathcad® como instrumento pedagógico nas disciplinas da área de estruturas do curso de Engenharia Civil. Três ambientes interativos foram desenvolvidos com aplicações pertinentes às disciplinas Resistência dos Materiais, Estruturas de Concreto Armado e Estruturas Metálicas. Em Resistência dos Materiais a interação permite que o aluno observe o comportamento de uma viga simplesmente apoiada quando se variam o vão ou as dimensões da seção transversal. No ambiente interativo pertinente a Estruturas de Concreto Armado o aluno visualizará a interferência do cobrimento, das dimensões da seção transversal, da dimensão máxima dos agregados e das propriedades mecânicas dos materiais na armadura necessária para uma coluna de concreto armado suportar, com segurança, um dado carregamento. Na interação com Estruturas Metálicas, o aluno poderá analisar a resposta estrutural dos diversos perfis de aço utilizados para a construção de colunas. O ambiente interativo calcula e apresenta as verificações de resistência da estrutura possibilitando que o aluno observe o comportamento de cada perfil estudado. Caso todas as verificações atendam às prescrições regulamentares, o programa apresenta o índice de aproveitamento, com o qual o aluno poderá refletir se aquela solução foi econômica. Em caso negativo, terá a liberdade de escolher um outro perfil e todas as

verificações serão feitas novamente. Os autores acreditam que os ambientes interativos desenvolvidos aqui contribuirão bastante para o aprendizado nas disciplinas supra citadas e esperam que este trabalho estimule os professores dos cursos de engenharia a desenvolverem projetos similares, com o mesmo objetivo.

Agradecimentos

Agradecemos ao NEXEM, Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas, convênio entre a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) e a Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), pelo apoio financeiro, imprescindível ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, NBR-6118/2003, *Projeto de estruturas de concreto*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, NBR-8800/86, *Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios*.

BEER, F.P.; JOHNSTON JR., R., *Resistência dos Materiais*, Makron Books, 3a. Edição, 1995.

BRAGA, W., “Internet e Interatividade no Ensino de Engenharia”, *Revista de Ensino de Engenharia*, V. 21, no. 1, junho de 2002.

FERREIRA, W.G; SARCINELLI, B.; CORREIA, E.V.S; COSTA, V.C.T, “Uso do Software Mathcad no Ensino e Dimensionamento de Estruturas Metálicas”, *Revista Ciência & Tecnologia*, V.06, No. 5, setembro/outubro/2003.

FERREIRA, WALNÓRIO GRAÇA, *Dimensionamento de Elementos de Perfis de Aço Laminados e Soldados. Com Exemplos Numéricos*, Vitória: NEXEM, Editora Grafer, 2004.

SUSSEKIND, J.C, *Curso de Concreto*. Vol. I, 6ª edição, Globo, Rio de Janeiro, 1989.

NITZ, M. e GALHA, Jr., *Calcule com o Mathcad*, Versão 11, Editora Érica, São Paulo, 2003.

QUEIROZ, GILSON, *Elementos das Estruturas de Aço*. 4. ed. Belo Horizonte:[s.n.], 1993.

NASH, WILLIAM A., *Resistência dos Materiais*, Coleção Schaum, Editora McGraw-Hill do Brasil LTDA., 3ª edição, São Paulo, 1982.

Summary: *The professor of engineering courses can count, for its pedagogical mission, with modern symbolic mathematics programs such Mathematica, Mathcad, Matlab and Maple V. Amongst these, the Mathcad software is a good one for learning, therefore it works as an electronic plane table, working from the left to the right and from top to bottom as when done manually. Moreover, the formulas and equations are presented in the screen accurately as if it writes in the notebook and it has all the sophisticated resources of programming, not requiring knowledge of programming language and being able to be chained with other programs like Excel®. This paper shows how to take off advantage of this environment as pedagogical instrument in learning structural engineering. Three interactive examples will be presented which can be used in Mechanics of Materials, Metallic Structures and Reinforced Concrete courses. All these examples need the interaction of the student, stimulating the reasoning and the learning of the basic concepts of structural engineering, reaching the objective of the present work.*

Key-words: *Education in Engineering, Pedagogical Environment, Mathcad.*