

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL MULTIMÍDIA PARA DIMENSIONAMENTO DE VIGAS À FLEXÃO SIMPLES, AO ESFORÇO CORTANTE E À TORÇÃO. Lidiane Faccio, Paulo Sérgio dos Santos Bastos – Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Campus de Bauru.

Com a evolução do ensino as novas tecnologias utilizando recursos de multimídia vêm cada vez mais sendo usadas no ensino da engenharia, e têm alcançado resultados bastante positivos, tanto no Brasil como em outros países (FERNANDES & BITTENCOURT, 2001). Os programas educacionais multimídia vêm ajudando os alunos e os professores a tornarem o aprendizado mais fácil, rápido e eficiente (ASSIS & BITTENCOURT, 2002).

A multimídia é definida como qualquer combinação de textos, gráficos, sons, animações e vídeos por meio de computador ou outro meio eletrônico.

Em função da forte presença da internet e das novas tecnologias computacionais, o ensino de Engenharia não pode prescindir dessas novas ferramentas. É preciso ressaltar ainda que o avanço da microinformática abre enorme leque de possibilidades para a educação, tornando urgente o desenvolvimento de pesquisas na área de novas tecnologias aplicadas à mesma, e diversos são os estudos que demonstram que a utilização das novas tecnologias de informação e comunicação, como ferramentas, traz uma significativa contribuição para práticas escolares em qualquer nível de ensino (ASSIS & BITTENCOURT, 2002).

Especificamente, as novas tecnologias de multimídia têm o potencial de gerar uma nova forma de aprendizado, introduzindo uma nova dimensão ao ensino, podendo obter conhecimento tanto por meio da interatividade, permitindo a simulação de análises, como também através da visualização de modelos geométricos, possibilitando a assimilação dos conceitos de maneira mais eficiente.

Segundo FERNANDES & BITTENCOURT (2001) os recursos multimídia possibilitam melhor visualização e compreensão dos conceitos e processos de cálculo aprendidos em sala de aula. Por terem a interatividade como uma de suas principais características, possibilitam ao usuário a compreensão da influência das várias variáveis envolvidas no problema.

Um dos principais problemas encontrados na aprendizagem dos alunos de Engenharia Civil é a dificuldade deles visualizarem os fenômenos ligados ao comportamento, dimensionamento e detalhamento final das estruturas de concreto armado, pois a forma tradicional de ensino não é suficiente para que os alunos possam aprender os conceitos necessários (CALIXTO et al., 2004).

A finalidade é complementar o ensino apresentado segundo as suas particularidades nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura da UNESP, em Bauru/SP. Espera-se que os programas computacionais a serem criados sirvam de apoio efetivo no ensino das disciplinas de concreto armado, tornando-as atualizadas, mais atraentes e que aumentem a motivação dos alunos.

A utilização de programas computacionais de multimídia interativa no ensino dos tópicos a serem abordados permitirá a manipulação dos dados dos problemas e a visualização dos processos de dimensionamento.

Os cálculos das seções submetidas à flexão normal simples e ao esforço cortante são os primeiros tópicos com o cálculo de armaduras nas disciplinas de concreto armado. A quantidade de variáveis que interferem nos problemas é muito grande, e qualquer mudança em alguma das variáveis influencia a quantidade de armadura necessária. Geralmente o Professor não dispõe de tempo suficiente para mostrar, em sala de aula, as mudanças ocorridas, isto é, a influência de cada variável no problema. Desse modo, os programas computacionais facilitarão ao aluno a exploração e visualização imediata das mudanças ocorridas. Porém, para que isso ocorra é imprescindível que a formulação teórica dos problemas seja visualizada no próprio programa computacional.

O projeto propôs a elaboração de programas computacionais para o dimensionamento à flexão simples de seções retangulares (figura 1) e T (figura 2), ao esforço cortante (figura 3) e à torção (figura 4), de seções retangulares segundo a nova NBR 6118/03, e implementados utilizando-se o programa *Macromedia Flash MX*. Nas figuras apresentadas abaixo, nota-se que na parte esquerda dos aplicativos, estão as entradas de dados da seção, do lado direito, à cima, estão os resultados, e no caso da flexão o diagrama de deformações e a baixo, uma pequena memória de cálculo.

NBR 6118/03 - Flexão Simples - Dimensionamento de Seções Retangulares			
<p>Seção Transversal da Viga</p> <p>Ilustração para M*</p>	<p>Dados Geométricos</p> <p>h = 30 cm bw = 19 cm d = 26 cm d' = 3 cm</p>	<p>RESULTADOS</p> <p>Momento Fletor de Cálculo: Md = 7000 kN.cm</p> <p>Limites da Linha Neutra: x_{2lim} = 6.76 cm x_{3lim} = 16.37 cm</p> <p>Posição da Linha Neutra: x = 22.10 cm Domínio: 4</p> <p>Áreas de Armadura: As = 7.52 cm² As' = 2.00 cm²</p> <p>Deformações no Concreto e na Armadura: ε_{cd} = 3.50 ‰ ε_{sd} = 3.50 ‰</p>	<p>DIAGRAMA DE DEFORMAÇÕES</p>
<p>Concreto: f_{ck} = 20 MPa γ_c = 1.4</p> <p>Aço: CA-25 CA-50 CA-60 γ_s = 1.15</p> <p>Momento Fletor Solitante (valor absoluto): M_k = 5000 kN.cm γ_f = 1.4</p> <p>A seção transversal é de apoio ou de ligação com outros elementos estruturais? <input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não</p> <p>Executar</p>		<p>MEMÓRIA DE CÁLCULO:</p> <p>1) x_{2lim} = 0.26d = 6.76 cm x_{3lim} = 0.63d = 16.37 cm</p> <p>2) x/d = 0.85 > 0.5 Como resultou x/d > 0.5, uma solução é colocar armadura dupla, com x = 0.5d!</p> <p>M_{1d} = 0.68 bw x f_{cd}(d - 0.4x) = 4991 kN.cm M_{2d} = Md - M_{1d} = 2009 kN.cm</p> <p>3) As = As₁ + As₂ → As₁ = M_{1d}/[σ_sd(d - 0.4x)] = 5.51 As = 7.52 cm² As₂ = M_{2d}/[σ_sd(d - d')] = 2.00 As' = 2.00 cm² As' = M_{2d}/[σ_sd'(d - d')] = 2.00</p>	

Figura 1: Aplicativo de dimensionamento à flexão simples – seções retangulares

NBR 6118/03 - Flexão Simples Seção "T" - Dimensionamento			
<p>Seção Transversal da Viga</p> <p>Ilustração para M*</p>	<p>Dados Geométricos</p> <p>h = 40 cm hf = 7 cm bw = 18 cm bf = 25 cm d = 35 cm</p>	<p>RESULTADOS:</p> <p>Momento Fletor de Cálculo: Md = 11200 kN.cm</p> <p>Limites da Linha Neutra: x_{2lim} = 9.09 cm x_{3lim} = 15.40 cm</p> <p>Posição da Linha Neutra: x = 9.90 cm → 0.8*x > hf → x = 10.36 cm</p> <p>Domínio: 3</p> <p>Área de Armadura: As = 6.92 cm²</p> <p>Deformações no Concreto e na Armadura: ε_{cd} = 3.50 ‰ ε_{sd} = 8.31 ‰</p>	<p>DIAGRAMA DE DEFORMAÇÕES</p>
<p>Concreto: f_{ck} = 30 MPa γ_c = 1.4</p> <p>Aço: CA-25 CA-50 CA-60 γ_s = 1.15</p> <p>Momento Fletor Solitante (valor absoluto): M_k = 8000 kN.cm γ_f = 1.4</p> <p>A seção transversal é de apoio ou de ligação com outros elementos estruturais? <input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não</p> <p>Executar</p>		<p>MEMÓRIA DE CÁLCULO:</p> <p>1) x_{2lim} = 0.26d = 9.09 cm x_{3lim} = 0.44*d = 15.40 cm</p> <p>2) 0.8*x > hf portanto calcular como seção "T"! x = 10.36 cm</p> <p>Como a seção se encontra no domínio 3, a seção escolhida é satisfatória!</p> <p>M_{1d} = (bf - bw)*hf*0.85*f_{cd}(d - 0.5*hf) = 2811 kN.cm M_{2d} = Md - M_{1d} = 8389 kN.cm</p> <p>3) As = As₁ + As₂ As₁ = M_{1d}/[σ_s(d - 0.5*hf)] = 1.71 As = 6.92 cm² As₂ = M_{2d}/[σ_s(d - 0.4*x)] = 5.21</p>	

Figura 2: Aplicativo de dimensionamento à flexão simples – seção "T"

NBR 6118/03 - Dimensionamento de Seção Retangular ao Esforço Cortante

Seção Transversal da Viga

Dados Geométricos

h = 55 cm
b_w = 12 cm
d = 50 cm
d' = 4 cm

Concreto:
f_{ck} = 30 MPa γ_c = 1.4

Aço:
CA-25 CA-50 CA-60 γ_s = 1.15

Esforço Cortante Solicitante (valor absoluto):
V_k = 180 kN γ_f = 1.4

Modelo de cálculo para α = 90°:
Modelo I → α = 45°
Modelo II → α = 38° (30° ≤ α ≤ 45°)

Executar

RESULTADOS

Esforço Cortante de Cálculo:
V_{sd} = 252 kN

Força Cortante Resistente Máxima de Cálculo:
V_{Rd2} = 296 kN V_{sd} < V_{Rd2}

Área de Armadura Transversal Mínima (Estribo a 90°):
A_{sw,min} ≥ 1.39 cm²/m

Área de Armadura Transversal Calculada:
A_{sw,90} = 9.68 cm²/m A_{sw,90} > A_{sw,min}, portanto: A_{sw,90} = 9.68 cm²/m

MEMÓRIA DE CÁLCULO:

1) Verificação da compressão nas bielas:
V_{sd} < V_{Rd2} = 296 kN, assim não ocorrerá esmagamento nas bielas!

2) Cálculo da armadura transversal:
V_{ed} = 52.13 kN V_c = 9.40 kN (Flexão simples) V_{sw} = V_{sd} - V_c = 242.59 kN
A_{sw,min} = (20 * f_{ctm} / f_{ywk}) * b_w = 1.39
A_{sw,90} = V_{sw} / (0.9 * d * f_{ywd} * (cotgα + cotgθ) * senα) = 9.68
A_{sw,90} > A_{sw,min}, portanto: A_{sw,90} = 9.68 cm²/m

Lidiane Faccio - UNESP/Bauru

Figura 3: Aplicativo de dimensionamento à cortante

NBR 6118/03 - Dimensionamento de Seção Retangular à Torção

Seção Transversal da Viga

Dados Geométricos

h = 55 cm
b_w = 20 cm
d = 52 cm
d' = 4 cm

Armadura Longitudinal e do Estribo:
ϕ_l = 8.0 mm ϕ_t = 5.0 mm

Cobrimento Nominal:
c = 2.5 cm

Concreto:
f_{ck} = 35 MPa γ_c = 1.4

Aço:
CA-25 CA-50 CA-60 γ_s = 1.15

Esforços Solicitantes Máximos (valor absoluto):
M_k = 3100 kN.cm
V_k = 45.1 kN γ_f = 1.4
T_k = 2200 kN.cm

A seção transversal é de apoio ou de ligação com outros elementos estruturais?
Sim Não

Executar

RESULTADOS

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO

Momento Fletor de Cálculo:
M_{ed} = 4340 kN.cm

Armaduras:
A_s = 1.95 cm² A_s' = 0.00 cm²

DIMENSIONAMENTO À CORTANTE

Esforço Cortante de Cálculo:
V_{sd} = 63.14 kN

Armadura:
A_{sw,90} = 2.56 cm²/m

DIMENSIONAMENTO À TORÇÃO

Momento de Torção de Cálculo: T_{ed} = 3080 kN.cm **Momento de Torção Máximo:** T_{Rd,2} = 4434 kN.cm

Armadura Longitudinal: A_{s,l} = 8.19 cm²/m A_{s,l,min} = 2.56 cm²/m **Armadura Transversal:** A_{sw,90} = 4.01 cm²/m A_{sw,90,min} = 2.56 cm²/m

A_{s,l} < A_{s,l,min} ∴ A_s = 8.19 cm²/m A_{sw,90} < A_{sw,90,min} ∴ A_{sw} = 4.01 cm²/m

MEMÓRIA DE CÁLCULO:

1) Verificação das diagonais comprimidas:
A = b_w * h = 1100.00 cm² u = 2 * (b_w + h) = 150.00 cm c₁ = 3.40 cm
h_e ≤ A/u = 7.33 cm e h_e ≥ 2 * c₁ = 6.80 cm Valor adotado → h_e = 7.11 cm
Área efetiva e perímetro da parede fina: A_{ef} = (b_w - h_e) * (h - h_e) = 617.30 cm²
u_{ef} = 2 * [(b_w - h_e) + (h - h_e)] = 121.56 cm
T_{Rd,2} = 0.5 * √(f_{cd} * A_{ef} * h_e * sen(2*θ)) = 4434 kN.cm
(V_{sd} / V_{Rd2}) + (T_{sd} / T_{Rd2}) ≤ 1 = 0.80, portanto não ocorrerá esmagamento!

2) Cálculo das armaduras por torção:
A_{st} = T_{sd} / (2 * A_{ef} * f_{ywd} * tgθ) = 8.19 cm² A_{sw,90} = T_{sd} * tgθ / (2 * A_{ef} * f_{ywd}) = 4.01 cm²

Lidiane Faccio - UNESP/Bauru

Figura 4: Aplicativo de dimensionamento à torção

Os objetivos propostos inicialmente no projeto de pesquisa foram alcançados, com o desenvolvimento dos quatro programas interativos. Na flexão simples foram consideradas as seções retangulares com armaduras simples e dupla e seções T com armadura simples.

O desenvolvimento dos aplicativos em Flash foi bastante satisfatório, pois o mesmo possui muitos recursos, para diversas áreas de programação e sua interface é simples e de fácil entendimento para o usuário. Foi desenvolvido um pequeno conhecimento diante da complexidade do programa o que leva a continuidade do estudo do mesmo.

A avaliação dos recursos utilizados é um procedimento que não pode ser desprezado, pois é a chave para detectarmos os pontos positivos e negativos do material multimídia e da metodologia adotada, para tornar possível o aperfeiçoamento dos componentes avaliados e, como já foi citado, o material está disponível no site: www.wp.feb.unesp.br/pbastos.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, NBR 6118. Rio de Janeiro, ABNT, mar/2003, 221p.

BASTOS, P.S.S. **Dimensionamento de vigas de concreto armado ao esforço cortante**. Disciplina 1309 – Estruturas de Concreto II. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista - UNESP, mar/2005, 55p. Disponível em wwwp.feb.unesp.br/pbastos.

BASTOS, P.S.S. **Torção em vigas de concreto armado**. Disciplina 1309 – Estruturas de Concreto II. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista - UNESP, maio/2005, 97p. Disponível em wwwp.feb.unesp.br/pbastos.

BASTOS, P.S.S. **Flexão normal simples - Vigas**. Disciplina 1288 – Estruturas de Concreto I. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista - UNESP, out/2004, 93p. Disponível em wwwp.feb.unesp.br/pbastos.

FERNANDES, K.S.; BITTENCOURT, T.N. **Desenvolvimento de material multimídia para o ensino da flexão composta normal e oblíqua nas estruturas de concreto**. Projeto de Iniciação Científica. São Paulo, Escola Politécnica - USP, Laboratório de Mecânica Computacional, 2001, 9p.

ASSIS, W.S.; BITTENCOURT, T.N. **Utilização de Recursos Multimídia no ensino de concreto armado e protendido**. Boletim Técnico, São Paulo, Escola Politécnica - USP, 2002, 19p.

CALIXTO, J.M.F.; ALMEIDA, G.N.; MAIA, E.V.; RODRIGUES, F. **Concepção e implementação de um ambiente virtual de ensino – Aprendizagem para as disciplinas de concreto armado**. IN: Cobenge 2004 – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, set./2004.

Bolsa: Fapesp