

Referências Bibliográficas

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. **Comportamento Estrutural e Dimensionamento de Elementos Mistos Aço-Concreto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas São Carlos, v. 7, p. 51-84, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A370: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products**. 50 p., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 6 p., 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento portland - preparo, controle e recebimento - procedimento**. Rio de Janeiro, 18 p., 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 13 p., 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 237 p., 2008.

ASSOCIATION CANADIAN STANDARDS. **CAN/CSA-S16-10: Limit states design of steel structures**. Ontario, 146 p., 2001.

CHEN, S.; LIMAZIE, T.; TAN, J. **Flexural behavior of shallow cellular composite floor beams with innovative shear connections**. Journal of constructional steel research, p. 329-346, 2015.

CHIEN, E. Y. L.; RITCHIE, J. K. **Design and Construction of Composite Floor Systems**. Canadian Institute of Steel Construction, 323 p., 1984.

CHUNG, K. F.; LAWSON, R. M. **Simplified design of composite beams with large web openings to Eurocode 4**. Journal of Constructional Steel Research, v. 57, p. 135–163, 2001.

DARWIN, D. **Design of steel and composite beams with web openings**. Steel Design Guide Series 2. American Institute of Steel Construction, Chicago, n. 3, 65 p., 1990.

DAVID, D. L. **Análise teórica e experimental de conectores de cisalhamento e vigas mistas constituídas por perfis de aço formados a frio e laje de vigotas pré-moldadas**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 250 p., 2007.

FAHMY, E. H.; HASSANEIN, A. A. **Analysis of Composite Beams With Web Opening**. Structural Specialty Conference of The Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, 10 p., 2002.

FRANGI, A.; KNOBLOCH, M.; RAVEGLIA, E.; FONTANA, M. **Composite slab with integrated installation floor using cellular beams**. International conference on composite construction in steel and concrete, p. 112-124, 2008.

GRÜNBAUER, J. Grünbauer BV. Disponível em: <<http://www.grunbauer.nl/eng/raatvorm.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

JU, Y. K.; CHUN, S.; KIM, S. **Flexural test of a composite beam using asymmetric steel section with web opennings**. Journal of structural engineering, p. 448-458, 2009.

JURKIEWIEZ, B.; HOTTIER, J. M. **Static behaviour of a steel-concrete composite beam with an innovative horizontal connection.** Journal of Constructional Steel Research, v. 61, p. 1286-1300, 2005.

KLAIBER, F. W.; WIPF, T. J. **An alternative shear connector for composite action.** Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, Iowa, p. 115-120, 2000.

LAWSON, R. M.; LIM, J.; HICKS, S. J.; SIMMS, W. I. **Design of composite asymmetric cellular beams and beams with large web openings.** Journal of Constructional Steel Research, v. 62, p. 614-629, 2006.

LAWSON, R. M.; SAVERIRAJAN, A. H. A. **Simplified elasto-plastic analysis of composite beams and cellular beams to Eurocode 4.** Journal of Constructional Steel Research, v. 67, p. 1426-1434, 2011.

LEWIS, K.; HOLT, N. **One world trade center.** CTBUH journal, p. 14-19, 2011.

LI, G. Q.; LI, X.; LI, L. **Experimental Study on the Bend and Shear Behaviors of Steel-concrete Composite Beams with Notched Web of Inverted T-shaped Steel Section.** International Journal of Steel Structures, v. 12, p. 391-401, 2012.

MARTHA, L. F. **Ftool: A Frame Analysis Educational Software.** v.3. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftool/>>

NARDIN, S.; DEBS, A. L. H. C. E. **Study of partially encased composite beams with innovative position of stud bolts.** Journal of Constructional Steel Research, p. 342-350, 2009.

OEHLERS, D. J. **Splitting Induced by Shear Connectors in Composite Beams.** Journal of Structural Engineering, v. 115, p. 341-362, 1989.

OEHLERS, D. J. **The Hunt for the Elusive Concept.** Advances in Structural Engineering, v. 13, n. 5, p. 755-772, 2010.

ONE WTC. One World Trade Center. Disponível em: <<http://onewtc.com/>>. Acesso em: 06 maio 2015.

PEIKKO GROUP. Peikko. Disponível em: <<http://www.peikko.com/product/p=Deltabeam+product+information>>. Acesso em: 05 maio 2015.

PELTONEN, S.; LESKELÄ, M. V. **Connection behaviour of a concrete dowel in a circular web hole of a steel beam**. Composite Construction in Steel and Concrete V, p. 544-552, 2006.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço Dimensionamento Prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 382 p., 2009.

REDWOOD, R.; CHO, S. H. **Design of Steel and Composite Beams with Web Openings**. Journal of Constructional Steel Research, v. 25, p. 23-41, 1993.

SLIMLINE FLOOR SYSTEM. Slimline buildings. Disponível em: <<http://slimlinebuildings.com/>>. Acesso em: 05 maio 2015.

TATA STEEL EUROPE LIMITED. Tata Steel. Disponível em: <<http://www.tatasteelconstruction.com/en/design-guidance/slimdek>>. Acesso em: 05 maio 2015.

TSAVDARIDIS, K. D.; D'MELLO, C.; HUO, B. Y. **Experimental and Computational Study of Vertical Shear Behaviour of Partially Encased Perforated Steel Beams**. Engineering Structures, v. 56, p. 805-822, 2013.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Departamento de engenharia civil. Disponível em: < <http://www.dec.uc.pt/LME/EC52PEM/objectivos.htm>>. Acesso em: 04 abril 2015.

VERÍSSIMO, G. S.; RIBEIRO, J. C. L.; FAKURY, R. H.; PAES, J. L. H. **Projeto de aberturas em almas de vigas de aço e vigas mistas de aço e concreto.** Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, p. 117, 2012.

VOORTMAN STEEL GROUP. Voortman Steel Machinery. Disponível em: <<http://www.voortman.net/pt/>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

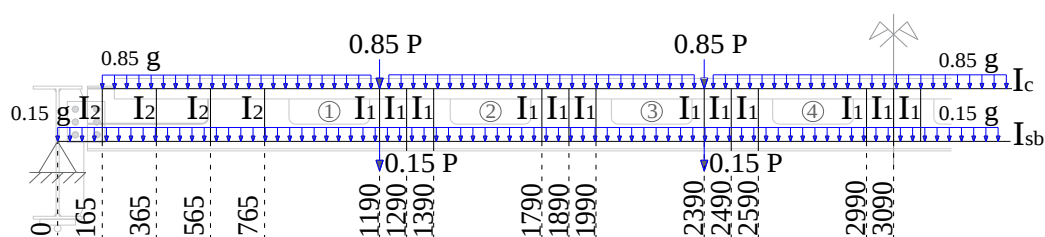
WATSON, J.; O'NEIL, R.; BARNOFF, R.; MEAD, E. **Composite Action Without Shear Connectors.** Engineering Journal, p. 29-33, 1974.

Anexo A

Modelagem das Vigas Mistas no Programa Ftool

Neste anexo é demonstrado como foi feito a construção do modelo de viga mista no programa Ftool e são apresentados os dados de entrada no programa.

- Modelo VM-01



Condições de apoio: biapoiada

Dados:

a) Laje de concreto:

Elemento: barra

Dados de entrada:

Comprimento da barra: 5,85 m

Momento de inércia da seção transversal em unidade de aço:

$$I_c = 7872853,88 \text{ mm}^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

b) Tê do perfil:

Elemento: barra

Dados de entrada:

Comprimento da barra: 6,18 m

Momento de inércia da seção transversal: $I_{sb} = 1436961,62 \text{ mm}^4$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

c) Alma 1 (região de alma cheia entre aberturas com comprimento de 300 mm)

A seção longitudinal da alma foi dividida em 3 partes representada por barras.

Elemento: barra

Dados de entrada:

Distância entre barras: 100 mm

Comprimento da barra: 220,7 mm

Momento de inercia da seção longitudinal da Alma 1:

$$I_{A1} = 13050000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momento de inercia de cada barra: } I_1 = \frac{I_{A1}}{3} = 4350000 \text{ mm}^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

d) Alma 2 (região de alma cheia entre apoio e primeira abertura com comprimento de 750 mm)

A seção longitudinal da alma foi dividida em 4 partes representada por barras.

Elemento: barra

Dados de entrada:

Distância entre barras: 200 mm

Comprimento da barra: 220,7 mm

Momento de inercia da seção longitudinal da Alma 2:

$$I_{A2} = 203906250 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momento de inercia de cada barra: } I_2 = \frac{I_{A2}}{4} = 50976562,5 \text{ mm}^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Carregamento:

O carregamento foi distribuído no banzo superior (laje de concreto) e banzo inferior (Tê) de acordo com a porcentagem do momento de inercia de cada elemento.

$$I_c + I_{sb} = 100\%$$

$$I_c = 85\%$$

$$I_{sb} = 15\%$$

- Peso próprio (g):

$$g = 2,55kN / m \quad \text{Corda sup. } 85\%.g = 2,16kN / m$$

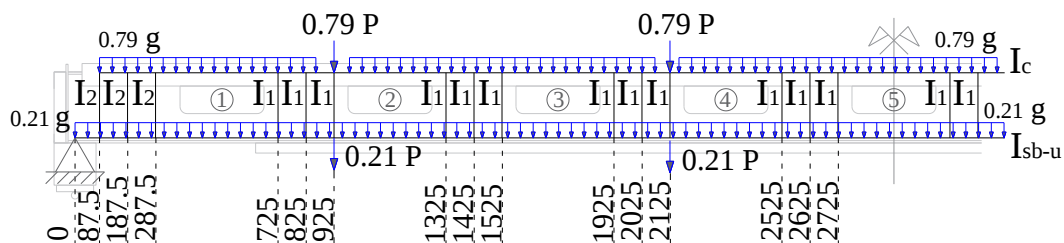
$$\text{Corda Inf. } 15\%.g = 0,39kN / m$$

- Cargas concentradas (P – aplicadas pelos atuadores):

$$P = 32kN \quad \text{Corda sup. } 85\%.P = 26,82kN$$

$$\text{Corda Inf. } 15\%.P = 4,9kN$$

- Modelo VM-02



Condições de apoio: biapoiada

Dados:

a) Laje de concreto:

Elemento: barra

Dados de entrada:

Comprimento da barra: 5,68 m

Momento de inércia da seção transversal em unidade de aço:

$$I_c = 7872853,88mm^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000MPa$

b) Tê do perfil + Perfil U:

Elemento: barra

Dados de entrada:

Comprimento da barra: 5,85 m

Momento de inércia da seção transversal: $I_{sb+U} = 2097706,72mm^4$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000MPa$

c) Alma 1 (região de alma cheia entre aberturas com comprimento de 300 mm)

A seção longitudinal da alma foi dividida em 3 partes representada por barras.

Elemento: barra

Dados de entrada:

Distância entre barras: 100 mm

Comprimento da barra: 231,35 mm

Momento de inercia da seção longitudinal da Alma 1:

$$I_{A1} = 13050000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momento de inercia de cada barra: } I_1 = \frac{I_{A1}}{3} = 4350000 \text{ mm}^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

d) Alma 2 (região de alma cheia entre apoio e primeira abertura com comprimento de 450 mm)

A seção longitudinal da alma foi dividida em 4 partes representada por barras.

Elemento: barra

Dados de entrada:

Distância entre barras: 100 mm

Comprimento da barra: 231,35 mm

Momento de inercia da seção longitudinal da Alma 2:

$$I_{A2} = 44043750 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momento de inercia de cada barra: } I_2 = \frac{I_{A2}}{4} = 14681250 \text{ mm}^4$$

Módulo de elasticidade do aço: $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Carregamento:

O carregamento foi distribuído no banzo superior (laje de concreto) e banzo inferior (Tê) de acordo com a porcentagem do momento de inercia de cada elemento.

$$I_c + I_{sb} = 100\%$$

$$I_c = 79\%$$

$$I_{sb} = 21\%$$

- Peso próprio (g):

$$g = 2,61kN / m \quad \text{Corda sup. } 79\%.g = 2,06kN / m$$

$$\text{Corda Inf. } 21\%.g = 0,55kN / m$$

- Cargas concentradas (P – aplicadas pelos atuadores):

$$P = 50kN \quad \text{Corda sup. } 79\%.P = 39,73kN$$

$$\text{Corda Inf. } 21\%.P = 10,59kN$$