



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Dimensionamento automatizado de vigas mistas conforme a NBR 8800:2008 e a NBR 6118:2014

**Ray Fernando da Silva Andrade¹, Prof. Msc. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira²,
Rafael Otávio Alves Abreu³**

¹ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA / Faculdade de Engenharia Civil /
andrade.ray.fernando@gmail.com

² Universidade Estadual do Maranhão - UEMA / Departamento de Engenharia de Construções e
Estruturas / clodocesar@ig.com.br

³ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA / Faculdade de Engenharia Civil /
rafael_oabreu@hotmail.com

Resumo

O presente estudo aborda um tratamento automatizado através do “software” MATLAB para o dimensionamento de vigas mistas aço-concreto. Para tal, baseia-se na NBR 8800:2008 que lida com o projeto de estruturas de aço e de estruturas de aço e concreto de edificações. O trabalho faz um apanhado da teoria do dimensionamento de vigas mistas, apresentando-a de maneira didática e inteligível a todos que se mostrarem interessados em desenvolver o conhecimento nesta área, tocando na questão da homogeneização das seções mistas e nas equações que determinam os momentos fletores resistentes das vigas mistas. Sendo assim, exemplos de procedimentos para dimensionamento são mostrados de forma objetiva e sistemática, averiguando os estados limites de serviço e o estado limite último. O programa elaborado visa automatizar o dimensionamento a fim de deixá-lo mais interativo e instantâneo, valendo-se de uma linguagem clara e direta, tanto para o utilizador quanto para futuros programadores. É importante ressaltar que o programa é idealizado para o cálculo de vigas mistas biapoiadas de edifícios, nos casos de seções compactas e semicompactas, que apresentam interação total ou parcial. Ao final do estudo, será exibido um exemplo resolvido utilizando o processo automatizado de cálculo.

Palavras-chave

Viga Mista; Dimensionamento computacional; Homogeneização das seções transversais.

Introdução

Sabe-se que viga mista de aço concreto é aquela constituída pela associação de um perfil metálico com uma laje de concreto, a união entre os dois componentes é feita por conectores mecânicos, principalmente os do tipo pino com cabeça.

A fim de tornar o método de dimensionamento mais dinâmico, optou-se pela utilização do “software” MATLAB (2014), devido à grande velocidade de cálculo e relativa facilidade no manuseio de suas ferramentas.

Dimensionamento da viga mista

O principal norteador para a elaboração do programa desenvolvido no presente trabalho é o Anexo O da NBR 8800:2008. Segundo o mesmo, a área de compressão do concreto deve ser



suposta como uma área de aço equivalente, tal transformação é atingida ao se dividir a largura efetiva da laje de concreto pela relação entre módulos de elasticidade do aço e do concreto abaixo mostrada:

$$\alpha = \frac{E_{aço}}{E_{concreto}} \quad (1)$$

Segundo a NBR 6118:2014, as seguintes expressões podem ser usadas para a obtenção de um valor médio do módulo secante do concreto de resistência f_{ck} :

$$E_{c0} = a_i \cdot a_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}, \text{ para } 20 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$E_{c0} = a_i \cdot 21,5 \cdot 10^3 \cdot a_E \cdot (f_{ck} / 10 + 1,25)^{1/3}, \text{ para } 50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3)$$

sendo:

- $a_E = 1,2$, para basalto e diabásio;
- $a_E = 1,0$, para granito e gnaisse;
- $a_E = 0,9$, para calcário;
- $a_E = 0,7$, para arenito;

$$\alpha_i = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \right) \quad (4)$$

Contudo, esse são valores obtidos para cargas de curta duração. Como é necessário que para cargas de longa duração seja considerada a fluência do concreto, PFEIL (2009) considera o valor de α majorado em três vezes como seguro à vida útil da obra.

As equações de momento fletor resistente, M_{Rd} , variam de acordo com a posição da linha neutra e com a condição de interação da viga em questão. Serão mostradas abaixo as equações de momento resistente para interação total e com linha neutra na laje de concreto, equação (5), e no perfil metálico, equação (6), seguidas pela equação de momento para interação parcial, equação (7):

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \cdot T_{ad} \cdot \left(d_1 + h_F + h_c - \frac{a}{2} \right) \quad (5)$$

onde:

- a é a espessura da região comprimida da laje;
- h_c é a altura da laje de concreto;
- d_1 é a distância do centro de gravidade do perfil metálico até a face superior do próprio perfil;
- h_F é a espessura da pré laje (caso não exista $h_F = 0$);
- $\beta_{vm} = 1$, para vigas contínuas e biapoiadas;
- T_{ad} é a força resistente de cálculo da região tracionada.



$$M_{Rd} = \beta_{vm} \cdot \left[C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right) \right] \quad (6)$$

onde:

- d é a altura total do perfil de aço;
- y_t é a distância do centro de gravidade da seção de aço tracionada, medida a partir do bordo inferior;
- y_c é a posição do centro de gravidade d seção comprimida do aço medida a partir do bordo superior da seção de aço;
- C_{ad} é a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço;
- C_{cd} é a força resistente de cálculo da região comprimida da laje de concreto.

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \cdot \left[C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right) \right] \quad (7)$$

sendo:

$$a = \frac{C_{cd}}{\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (8)$$

onde:

- $\alpha_c = 0,85$, para concretos de classes até C50;
- $\alpha_c = 0,85 \cdot [1,0 - (f_{ck} - 50) / 200]$, para concretos de classes C50 até C90;
- f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto;
- b é a largura efetiva da laje de concreto;

As verificações quanto ao esforço cortante nas vigas mistas, segundo a NBR 8800:2008, devem levar em consideração apenas a resistência ao cisalhamento do perfil de aço, tais verificações podem ser encontradas no item 5.4.3 da norma supracitada. Assim como as verificações anteriores, o dimensionamento dos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça, responsáveis por resistir aos esforços cisalhantes horizontais e impossibilitar o deslocamento vertical entre a viga metálica e a laje, é vislumbrado no item O.4.2.1 do Anexo O da mesma norma.

Automatização do processo de cálculo

Para o programa elaborado, dois tipos de construção são abordados, a construção não-escorada e a escorada. Além disso, as seções mistas transversais podem ser calculadas nos casos de seção compacta ou semicompacta, em vigas de edificações e para perfis com dupla simetria, enquanto ao tipo de ligação, consideraram-se as ligações totais e parciais.

São adotadas lajes do tipo maciça e diretamente apoiadas sobre a mesa superior do perfil de aço, conforme NBR 6118:2014. Os carregamentos das lajes devem ser inicialmente conhecidos e atribuídos em cada viga. Os conectores escolhidos são os do tipo pino com cabeça. A laje de concreto não será solicitada aos esforços de tração, ou seja, a dada hipótese não considera a ação de momentos fletores negativos e, por conseguinte, a existência de flambagem lateral.

Assim sendo, a análise somente é feita a vigas biapoiadas, pois a ação do momento é positiva. Tal consideração foi feita porque proporciona uma melhor resultante em estrutura mista, propiciando o uso inteligente das características de cada material, além de ser a opção utilizada em maior escala na construção civil.

O programa foi desenvolvido com o “software” MATLAB (2014), uma vez que o mesmo apresenta alta performance na área de engenharia e científica. Ainda mais, o mesmo pode realizar uma manipulação veloz de grande quantidade de dados. Como também, é um “software” de fácil manejo e desenvolvimento, por não apresentar o grau de complexidade e rigor da programação tradicional.

O programa elaborado ainda traz uma biblioteca própria com alguns dos perfis de aço mais utilizados no mercado (perfis CVS, VS, I, W e H), restando ao usuário apenas a função de optar por qual perfil lhe parece mais vantajoso.

Organograma do “Software” – Entrada de dados

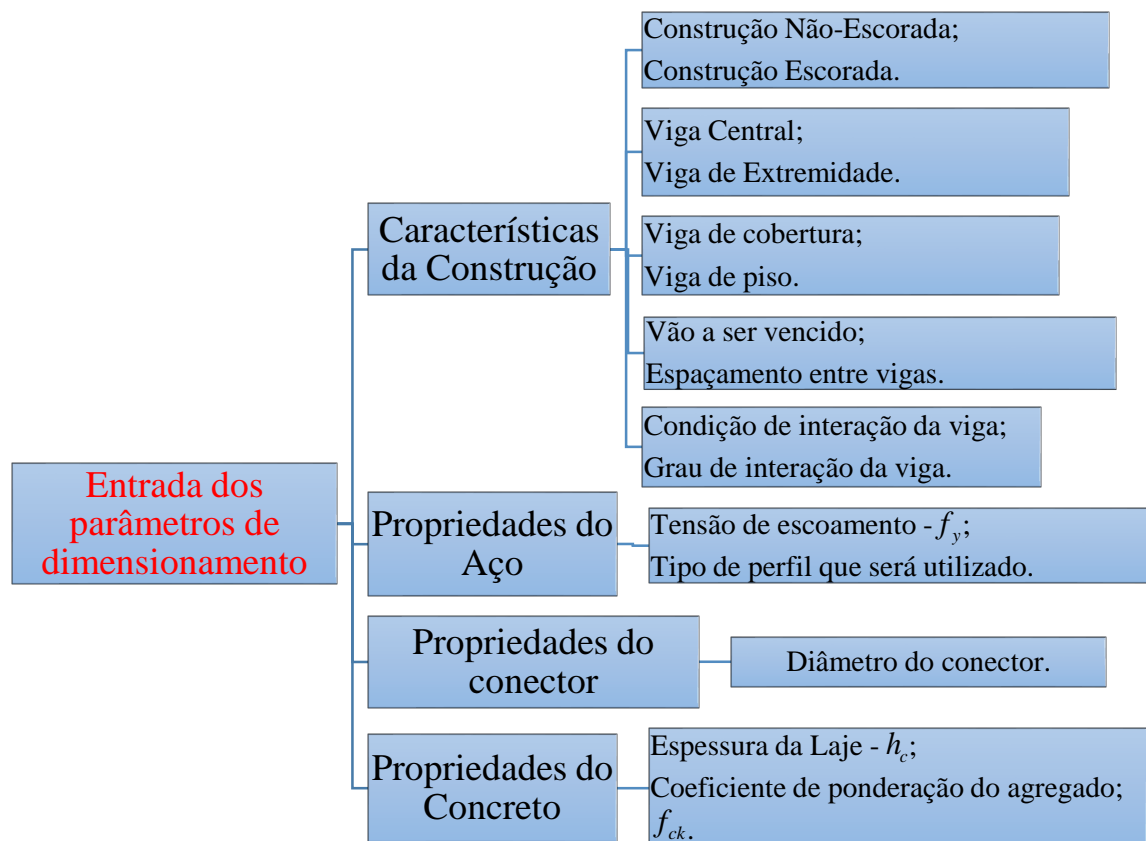


Figura 1 - Organograma dos parâmetros de dimensionamento da viga mista

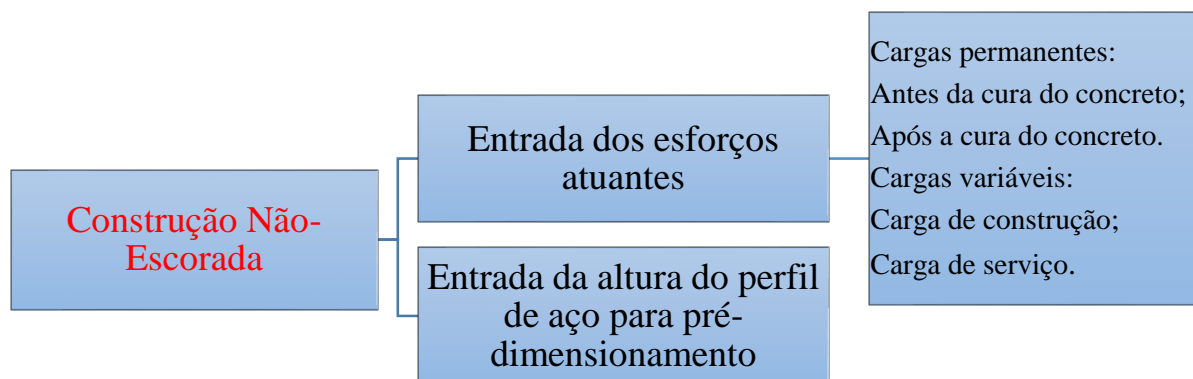


Figura 2 - Organograma de entradas de dados para construção não-escorada

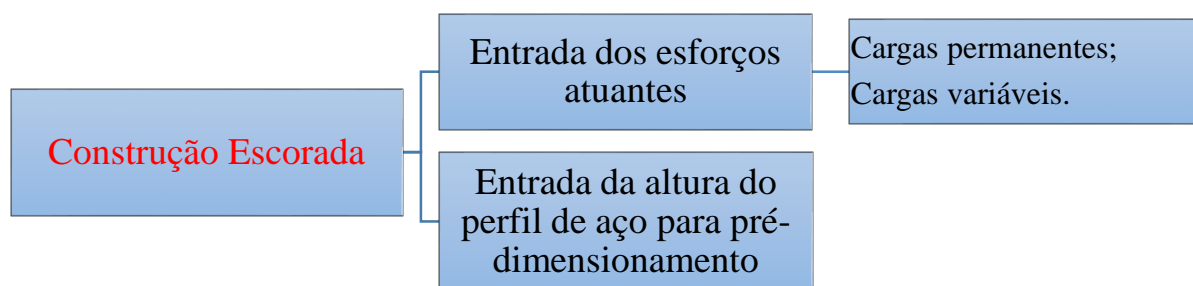
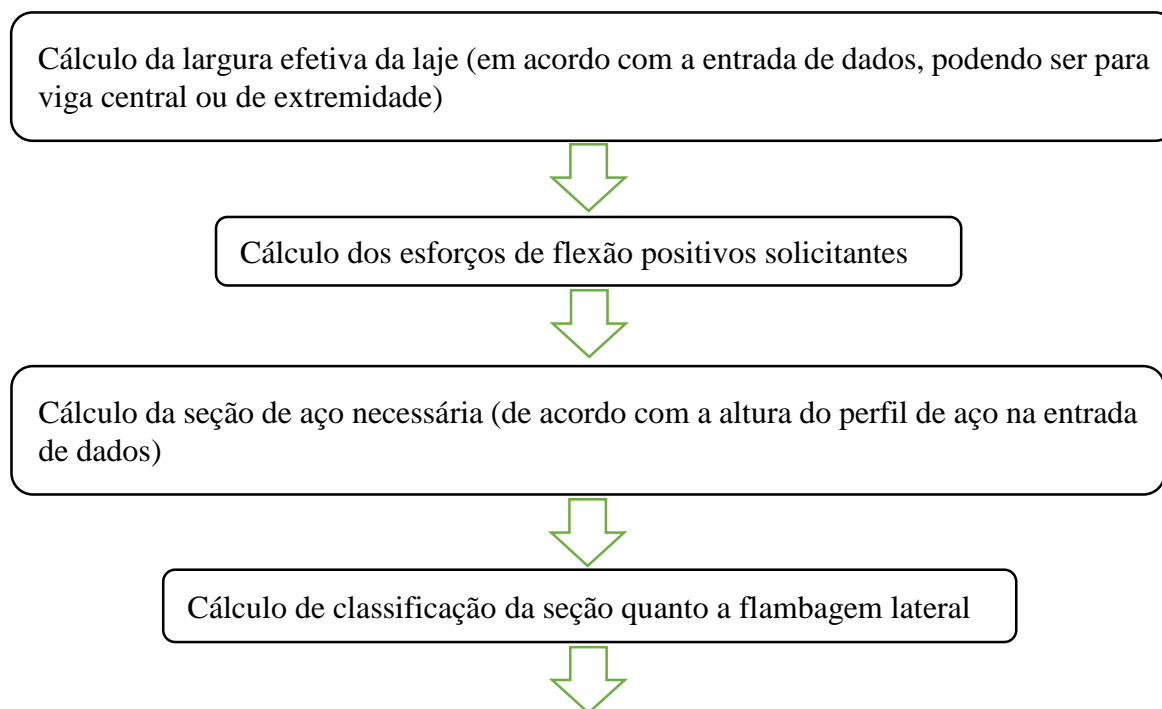


Figura 3 - Organograma de entrada de dados para construção escorada

Étapas de Cálculo – Fluxograma





Cálculo das tensões em regime elástico para o perfil metálico e a laje de concreto (apenas para o caso de seções semicompactas)



Cálculo da posição da linha neutra (podendo estar na laje de concreto ou no perfil de aço)



Cálculo do momento resistente (caso a construção seja não-escorada, também é analisada a etapa construtiva)



Cálculo dos esforços cortantes solicitantes



Cálculo dos esforços cortantes resistentes



Cálculo do número de conectores de cisalhamento



Cálculo do espaçamento entre conectores



Cálculo dos espaçamentos máximo e mínimo entre os conectores



Cálculo dos deslocamentos da viga mista no Estado Limite de Serviço (de acordo com a entrada de dados para viga de cobertura ou de piso)



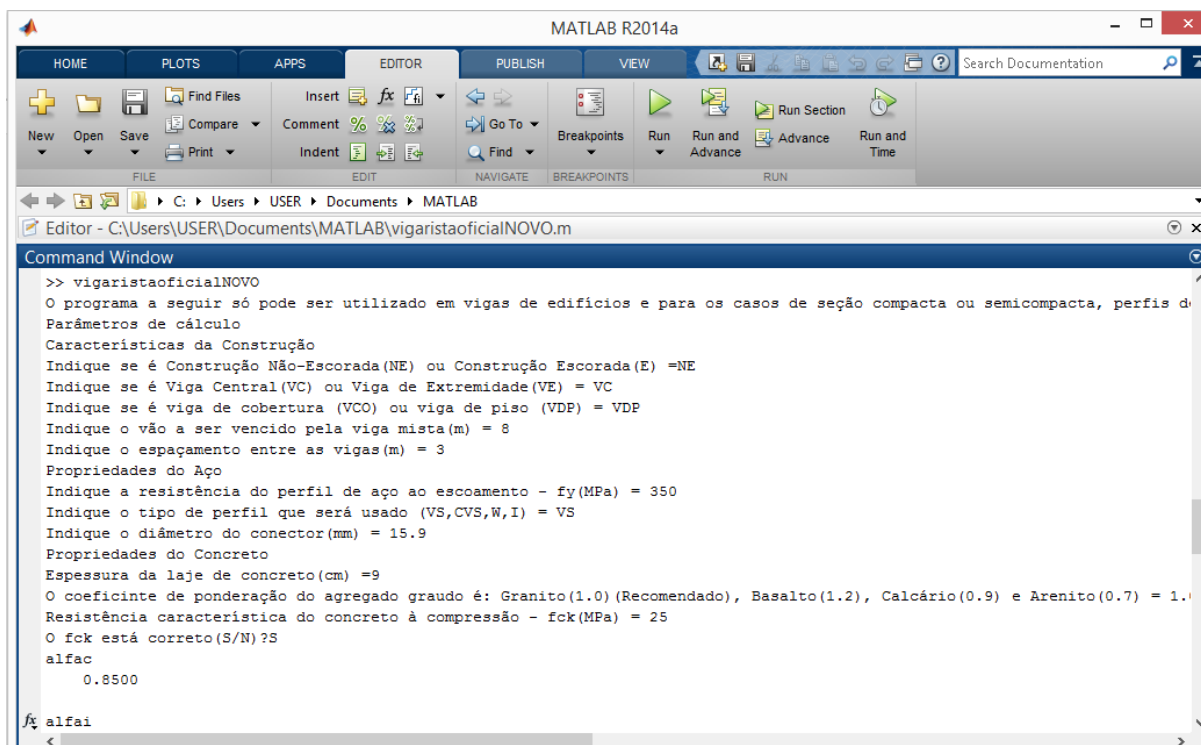
Visualização de todos resultados e comparação entre os valores solicitantes e resistentes; para as construções não-escoradas, também serão mostrados os valores para a etapa construtiva

Exemplo resolvido

Dimensionar uma viga central de piso que deve vencer um vão de 8 metros e está espaçada por 3 metros das vigas adjacentes, como viga mista pela NBR 8800:2008. Sabe-se que a laje de concreto será moldada no local, com uma espessura de 9 cm, resistência $f_{ck} = 25MPa$ e para uma condição de não-escoramento. Considerar, também, interação total, seção metálica do tipo VS, conectores do tipo pino com cabeça e aço AR 350. As cargas atuantes na viga são:

- Antes da cura do concreto:
Carga permanente (g_1) = 7.2 KN/m;
Carga de construção (q_1) = 2 KN/m.
- Após a cura do concreto:
Carga permanente (g_2) = 6 KN/m;
Carga de serviço (q_2) = 9 KN/m.

As imagens abaixo apresentam a interface do programa e como os resultados são expostos ao usuário:



```

MATLAB R2014a
HOME PLOTS APPS EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Find Files Insert fx fx
Compare Comment % % %
Print Indent Go To Breakpoints Run Run and Advance Run and Time
FILE EDIT NAVIGATE BREAKPOINTS RUN
C:\Users\USER\Documents\MATLAB
Editor - C:\Users\USER\Documents\MATLAB\vigaristaoficialNOVO.m
Command Window
>> vigaristaoficialNOVO
O programa a seguir só pode ser utilizado em vigas de edifícios e para os casos de seção compacta ou semicompacta, perfis d
Parâmetros de cálculo
Características da Construção
Indique se é Construção Não-Escorada (NE) ou Construção Escorada (E) =NE
Indique se é Viga Central (VC) ou Viga de Extremidade (VE) = VC
Indique se é viga de cobertura (VCO) ou viga de piso (VDP) = VDP
Indique o vão a ser vencido pela viga mista (m) = 8
Indique o espaçamento entre as vigas (m) = 3
Propriedades do Aço
Indique a resistência do perfil de aço ao escoamento - fy (MPa) = 350
Indique o tipo de perfil que será usado (VS, CVS, W, I) = VS
Indique o diâmetro do conector (mm) = 15.9
Propriedades do Concreto
Espessura da laje de concreto (cm) =9
O coeficiente de ponderação do agregado graúdo é: Granito(1.0) (Recomendado), Basalto(1.2), Calcário(0.9) e Arenito(0.7) = 1.
Resistência característica do concreto à compressão - fck (MPa) = 25
O fck está correto (S/N)?S
alfac
    0.8500
fx alfai
<

```

Figura 4 - Entrada de dados sobre as características da construção.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

```
0.8625

Os dados estão corretos(S/N)?S
Esforços atuantes para a Construção Não-Escorada
Somatório das cargas permanentes antes da cura do concreto (KN/m) =7.2
Somatório das cargas permanentes após a cura do concreto (KN/m) =6
Carga de construção (KN/m) =2
Carga variável de serviço (KN/m) =9
Os dados estão corretos(S/N)?S
Pré-dimensionamento|
Indique a altura do perfil que será selecionado(mm) =400
Área mínima da seção metálica(cm²)
    32.8191

Largura efetiva be(cm)
    200

Seção compacta -> Ok!
Posição da linha neutra
Linha neutra na laje de concreto
Momento Resistente "MRd" (KN.m)
    421.4901
```

Figura 5 - Entrada de dados com os carregamentos atuantes, com o pré-dimensionamento e o valor do momento resistente.

```
Momento Solicitante "Md" (KN.m)
    255.8400

Md <= MRd -> Seção pode ser utilizada!
Momento Resistente - Etapa Construtiva "MRd2" (KN.m)
    255.2785

Momento Solicitante - Etapa Construtiva "Md2" (KN.m)
    103.0400

Md2 <= MRd2 -> Seção pode ser utilizada na etapa construtiva!
Verificação da Resistência ao Cisalhamento
Esforço Resistente de cálculo - VRd(KN) =
    237.9271

Esforço Cortante Solicitante - V(KN)
    127.9200

Seção atende a solicitação para cisalhamento - VRd >= V!
Número de conectores de cada lado da viga=
    25
```

Figura 6 - Resultados dos cálculos de momento fletor, esforço cortante e número de conectores.

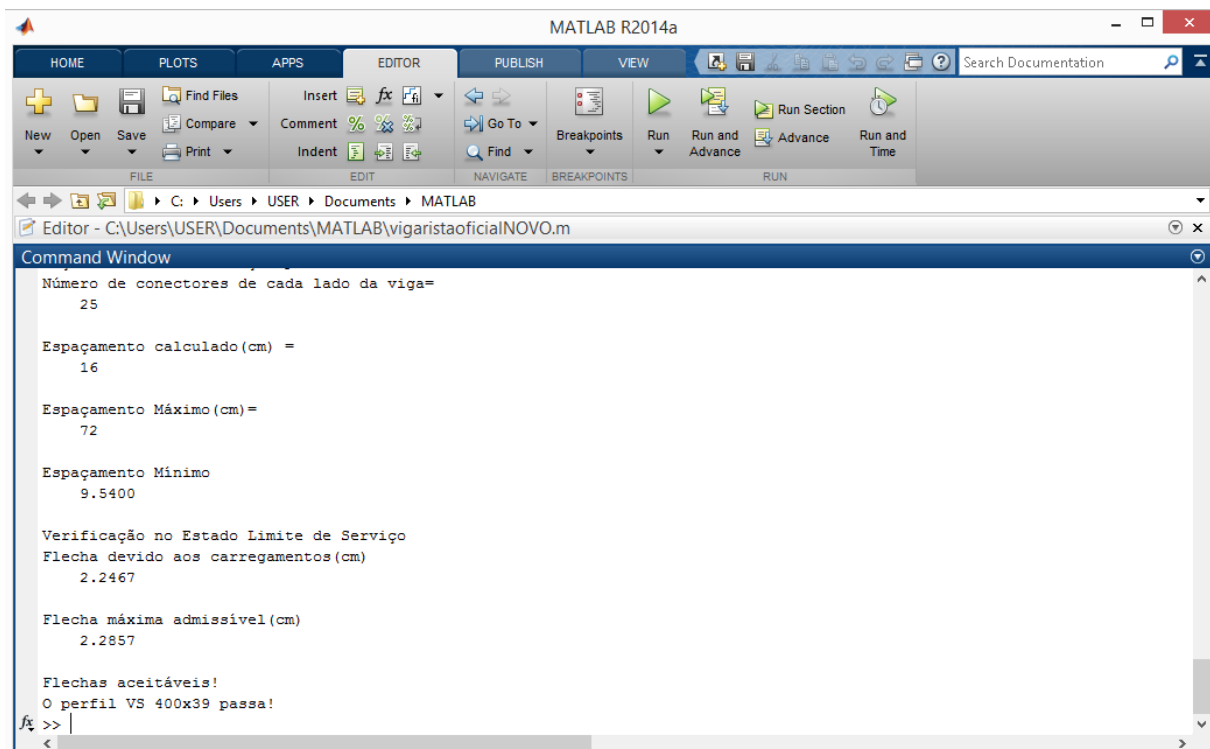


Figura 7 - Resultados dos espaçamentos e verificação das flechas.

Conclusões

No que diz respeito ao procedimento automatizado, pode-se inferir que o objetivo do programa foi alcançado, uma vez que as soluções obtidas foram coerentes com o processo de cálculo manual. Sendo assim, há uma otimização no dimensionamento, visto que são necessárias apenas informações sobre as características da construção e as cargas atuantes na estrutura para que as respostas quanto há momentos fletores e esforços cortantes sejam obtidas em um breve período de tempo.

Por fim, é importante afirmar que o programa é somente uma introdução à abordagem das estruturas mistas, com propósito de servir como interação inicial para todos aqueles que tenham interesse no assunto. Uma vez que fora desenvolvido da maneira mais inteligível e acessível possível, de forma autoexplicativa e simples manipulação.

Referências

- ALVA, G. M. S.; MALITE, M.. Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto. Cadernos de Engenharia de Estruturas. São Carlos, v.7, n. 25, p. 51-84, 2005.
- ANDRADE, R. F. S.. Dimensionamento de vigas mistas em aço-concreto: utilização de software para automatização do processo de cálculo. São Luís, 2015. 138 p. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, UEMA – Campus São Luís, para obtenção do título de Engenheiro Civil).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. NBR 6118.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. NBR 8800.
- BELLEI, I. H.; PINHO F. O.; PINHO M. O.. Edifícios de múltiplos andares em aço. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.
- GILAT, A.. MATLAB com aplicações em engenharia. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- CAMPOS JÚNIOR, H. S.. Automatização do dimensionamento de vigas mistas: aço-concreto. São Luís, 2009, 119 p. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, UEMA – Campus São Luís, para obtenção do título de Engenheiro Civil).
- MATLAB R2014a. Natick, Massachusetts: MathWorks, 2014.
- PFEIL, W.; PFEIL, M.. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- TONINI, A. M.; SCHETTINO, D. N.. MATLAB para engenharia. Centro Universitário de Belo Horizonte, 2002.