

IMPLEMENTAÇÃO DE CONEXÃO SEMIRRÍGIDA EM MODELOS RETICULADOS NO CONTEXTO DA PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

MARQUES, Í. R.; LOPES, P. C.; RANGEL, R. L.; MARTHA, L.F.

Instituto Tecgraf / PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / PUC-Rio

icarormarques@tecgraf.puc-rio.br; cortezpedro@tecgraf.puc-rio.br; rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.com; lfm@tecgraf.puc-rio.com

Introdução e Objetivos

Convencionalmente, em modelos reticulados, idealiza-se a conexão entre os elementos como sendo rotuladas ou perfeitamente rígidas. Entretanto, muitas ligações em estruturas reais apresentam um comportamento intermediário. Neste contexto, é possível considerar uma rigidez numérica associada à rotação relativa entre barras, tornando a ligação flexível. Esse tipo de ligação é chamado de semirrígido, podendo ter comportamento linear ou não linear.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de implementação de ligações semirrígidas em modelos reticulados, incluindo pórticos planos e espaciais, e grelhas. Foi adotado o paradigma de Programação Orientada a Objetos (POO) em ambiente MATLAB, como extensão do programa LESM (Linear Elements Structure Model) [1].



Figura 1. Logomarca do programa LESM.

Metodologia

Com base em uma proposta semelhante à apresentada em [2], a ligação semirrígida é idealizada como um elemento adicional, sem dimensões geométricas, que possui apenas graus de liberdade de rotação. Este elemento é interpretado como uma mola, de comportamento linear elástico, sendo associados coeficientes de rigidez, referentes à relação momento-rotação, a cada um destes.

Para exemplificar a inserção deste tipo de conexão, a Figura 2 apresenta um modelo de pórtico plano composto por duas barras inclinadas conectadas por uma ligação semirrígida. A numeração das coordenadas generalizadas (graus de liberdade) locais de cada elemento, e globais do modelo, é indicada na direção do sistema de eixos global. Com a adição da mola rotacional, observa-se que o grau de liberdade identificado como "10" foi incluído ao modelo para desassociar a compatibilidade de rotação entre as barras. Desta forma, o sistema global de equações de equilíbrio foi ampliado.

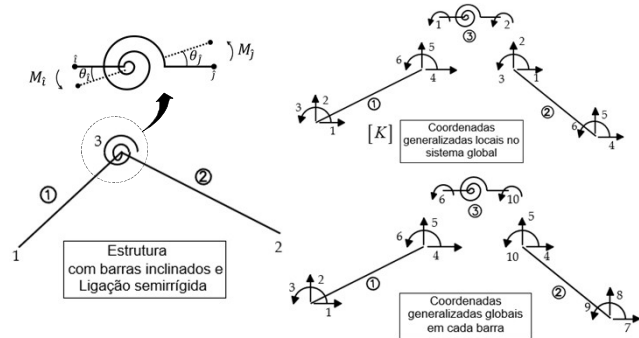


Figura 2. Barras de pórtico plano conectadas por ligação semirrígida

A matriz de rigidez global é montada a partir da superposição das matrizes de rigidez locais dos elementos de barra e da mola, por meio do mapeamento dos graus de liberdade locais de cada componente do modelo no sistema global.

A Figura 3 mostra esquematicamente como se dá a inserção dos coeficientes das matrizes de rigidez locais, dos elementos de barra e de mola, na matriz global do sistema. Um vetor de espalhamento, próprio para cada elemento, contendo a numeração dos seus graus de liberdade em relação ao sistema global, é utilizado para realizar esse mapeamento dos coeficientes na matriz global.

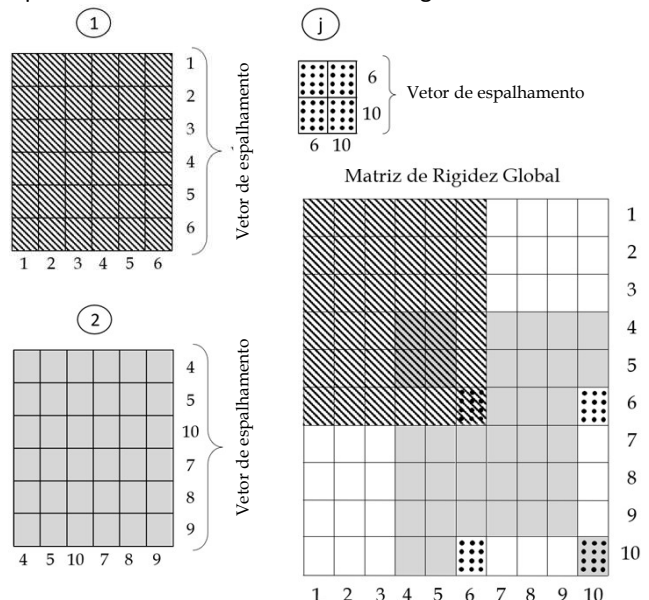


Figura 3. Esquema de montagem da Matriz de rigidez global com a superposição dos coeficientes dos elementos de barra e mola.

A soma de coeficientes representada pela superposição das regiões hachuradas com regiões preenchidas ocorre pelo fato de que, mesmo com a consideração da ligação semirrígida, não há translação relativa entre as extremidades das barras. Os termos hachurados/preenchidos e pontilhados referem-se ao acoplamento das rotações entre as extremidades das barras 1 e 2 com o elemento de mola.

Esta metodologia pode ser aplicada para os outros tipos de modelos de análise, além de pórticos planos, como pórticos espaciais e grelhas, bastando compatibilizar os devidos graus de liberdade de rotação de cada modelo.

Em modelos de treliça, a ligação semirrígida não é considerada, já que esse tipo de modelo de análise possui apenas comportamento axial e suas ligações são sempre rotuladas, sem a presença de momentos fletores.

Alternativamente, outra forma de considerar a influência da ligação semirrígida no sistema seria introduzir o efeito da mola diretamente na formulação do elemento de barra. Dessa forma, a matriz local do elemento apresentaria coeficientes com influência da ligação semirrígida. Tal metodologia é adotada em [3], porém é mais complexa de ser estendida a análises mais avançadas, como a inclusão de efeitos não lineares.

Implementação

Para a implementação da ligação semirrígida, foi desenvolvida uma nova classe, no contexto de POO, denominada *Srjoint*. Essa classe é responsável por armazenar informações e manipular genericamente o comportamento referente às molas rotacionais que modelam ligações semirrígidas. A criação e inclusão desta nova classe não alterou a organização estrutural do código já existente. A Figura 4 apresenta o diagrama de classes no padrão UML [4] da versão atual do programa LESM, considerando as contribuições apresentadas neste trabalho.

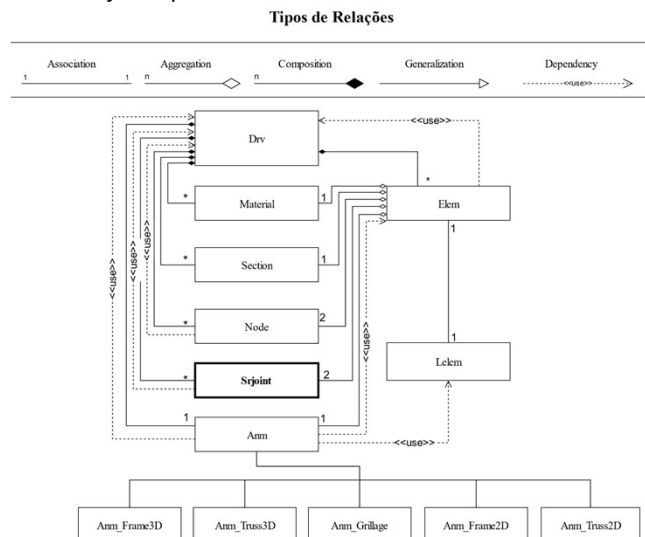


Figura 4. Diagrama UML das relações entre classes do programa LESM

Resultados e Discussões

Foi analisado um modelo de pórtico espacial no LESM para testar a nova implementação. Este modelo apresenta ligações semirrígidas com diferentes valores de coeficientes de rigidez rotacional.

Adotou-se para as vigas perfis metálicos W 200x15, de 4m de vão, submetidas a cargas uniformemente distribuídas de 10kN/m cada, e para os pilares seções circulares de 20cm de diâmetro. Todos os elementos apresentam módulo de elasticidade de 200GPa. As ligações semirrígidas foram inseridas em ambas as extremidades das vigas 3, 4 e 7, sendo representadas por globos, com setas duplas indicando as direções das rotações (Figura 5).

Os valores dos coeficientes de rigidez das ligações semirrígidas nas barras 3, 4 e 7, na direção pertinente à flexão vertical das barras, são, respectivamente, 1kNm/rad, 1e03kNm/rad e 1e06kNm/rad. Os demais coeficientes apresentam valores de 1e06kNm/rad para evitar comportamentos de torção e de flexão no plano comum às vigas.

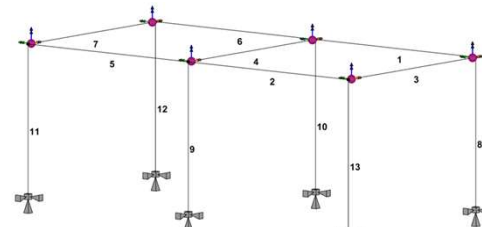


Figura 5. semirrígidas aplicadas aos elementos 3, 4, 7.

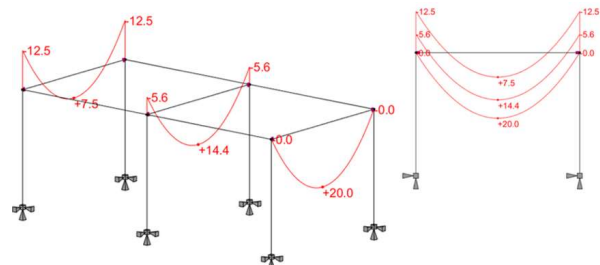


Figura 6. Diagramas de momento fletor das vigas analisadas.

Os elementos 3, 7 e 4, apresentam, respectivamente, comportamentos semelhantes aos de viga bi-rotulada, bi-engastada e intermediária (Figura 6).

Conclusões

A nova funcionalidade foi introduzida de forma modular, com a criação de uma nova classe, pouco interferindo no código de análise original do programa.

A forma com que as ligações semirrígidas foram introduzidas, utilizando molas rotacionais, facilita futuros trabalhos para a inclusão de efeitos de não linearidade física da conexão entre as barras. Dessa forma, o comportamento não linear da ligação se concentra apenas nos elementos adicionais de mola, sem interferir na formulação dos elementos de barra.

Referências

- [1] R. L. Rangel and L. F. Martha, "LESM—An object-oriented MATLAB program for structural analysis of linear element models," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 27, no. 3, pp. 553–571, May 2019.[2]
- [2] W. McGuire, R. H. . Gallagher, and R. D. Ziemian, *Matrix Structural Analysis*, 2nd ed. New York, 2000.
- [3] A. A. Del Savio. Modelagem computacional de estruturas de aço com ligações semi-rígidas. MSc thesis, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] G. Booch, J. Rumbaugh, and I. Jacobson, *The unified modeling language user guide*. Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ, 2005.