

LESM – Linear Elements Structure Model – 2.0

Rafael Rangel

(rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)

Pedro Cortez

(cortezpedro@tecgraf.puc-rio.br)

Luiz Fernando Martha

(lfm@tecgraf.puc-rio.br)

Engenharia Estrutural

Ramo da engenharia civil dedicado ao projeto de estruturas para transporte, moradia, trabalho e lazer.



Objetivo do projeto estrutural

Documentar os detalhes para a execução de uma estrutura que atenda todas as necessidades para as quais ela foi planejada, visando a segurança e economia.

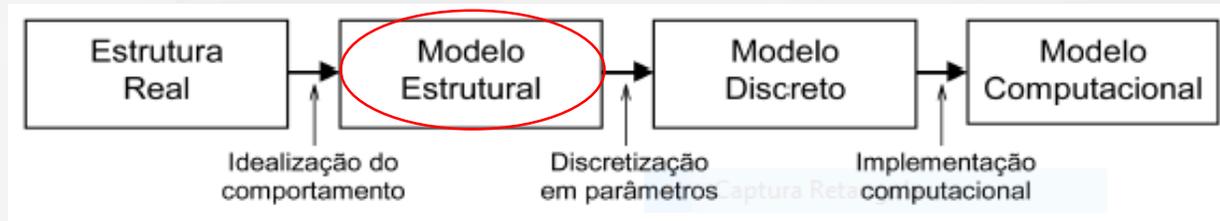


Principais etapas do projeto estrutural

- Concepção do modelo estrutural (modelagem)
- Cálculo dos esforços e deformações (análise)
- Dimensionamento e detalhamento das peças



Considerações de modelagem



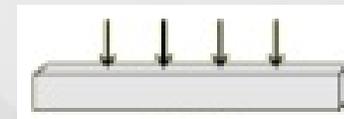
Modelo Estrutural

Idealização da estrutura real assumindo hipóteses simplificadoras sobre o seu comportamento que permitem descrevê-la através de formulações matemáticas provenientes das teorias de mecânica dos sólidos.

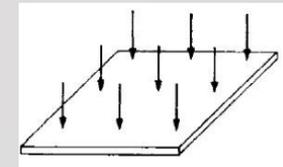
Hipóteses simplificadoras:

- Geometria do modelo
- Conexões internas e externas
- Propriedades físicas do material
- Carregamento aplicado

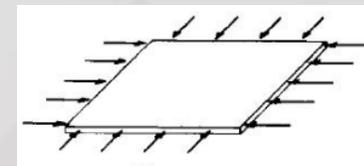
Exemplos de elementos



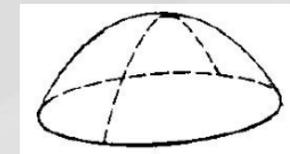
Viga



Placa



Chapa

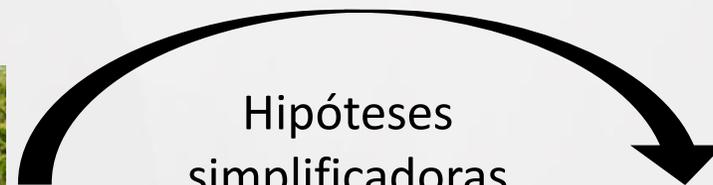


Casca

Elementos Unidimensionais

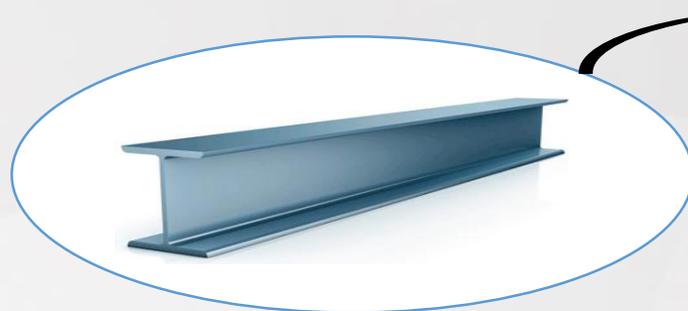
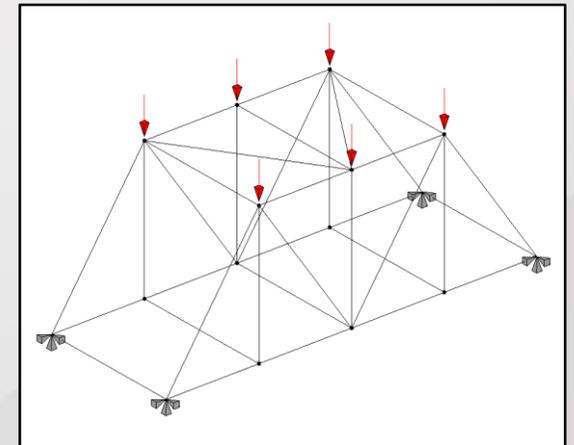
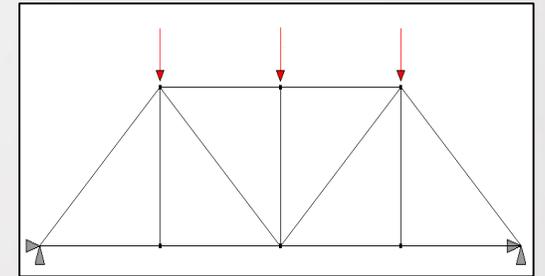


Estrutura real

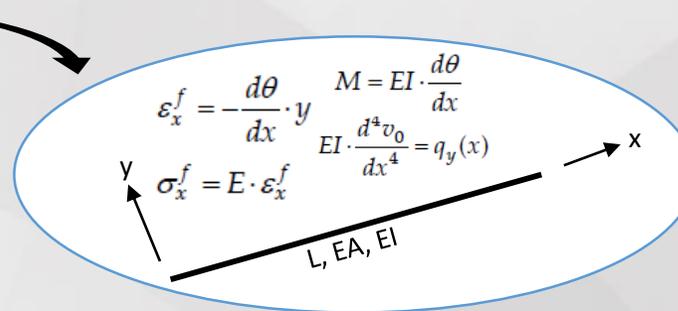


Hipóteses
simplificadoras

Modelo
estrutural



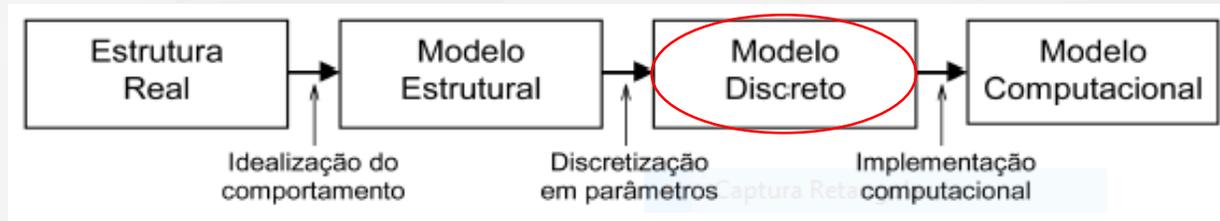
Perfil de aço


$$\begin{aligned} \varepsilon_x^f &= -\frac{d\theta}{dx} \cdot y & M &= EI \cdot \frac{d\theta}{dx} \\ \sigma_x^f &= E \cdot \varepsilon_x^f & EI \cdot \frac{d^4 v_0}{dx^4} &= q_y(x) \end{aligned}$$

L, EA, EI

Idealização do comportamento matemático

Análise de modelos estruturais



Análise Estrutural

Estudo dos efeitos das cargas no modelo estrutural para a determinação dos esforços e tensões e dos deslocamentos e deformações da estrutura que está sendo projetada.

Os resultados da análise são utilizados pelos projetistas para dimensionar as peças.

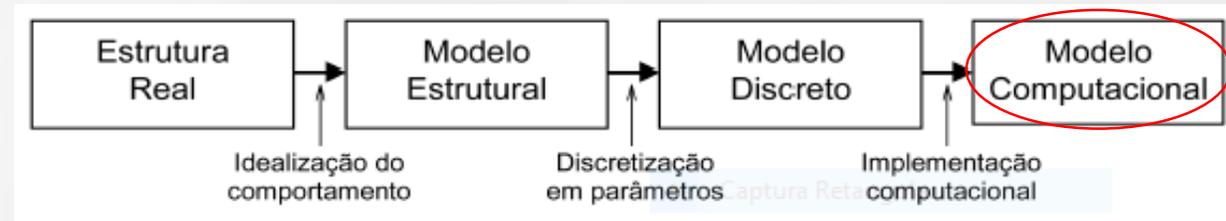
Modelo Discreto

As equações que descrevem o comportamento do modelo estrutural muitas vezes não possuem soluções analíticas ou são complexas de se obter.

Os métodos de análise consistem na discretização do modelo estrutural em um conjunto de parâmetros cujos valores são calculados para representar as soluções analíticas contínuas.

Ex.: Método das Forças, Método da Rigidez Direta, Método dos Elementos Finitos, etc.

Mecânica Computacional



Modelo Computacional

Implementação de um algoritmo para calcular os valores dos parâmetros discretos.

Busca-se técnicas de programação que visam a maior eficiência computacional para a implementação do método de análise e obtenção dos resultados.

Mecânica Computacional é a disciplina que utiliza métodos computacionais para estudar fenômenos governados pelos princípios da mecânica.

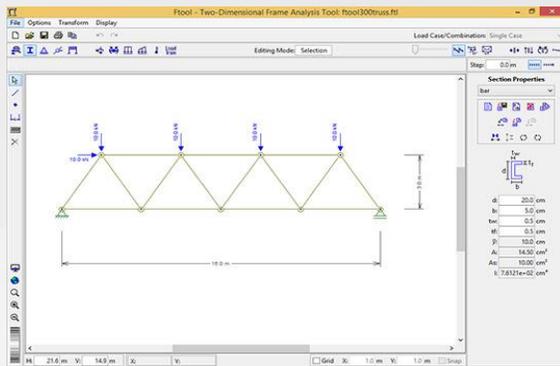
Princípios Mecânicos + Ciência da Computação

Mecânica Computacional

A importância da utilização de um software de análise estrutural:

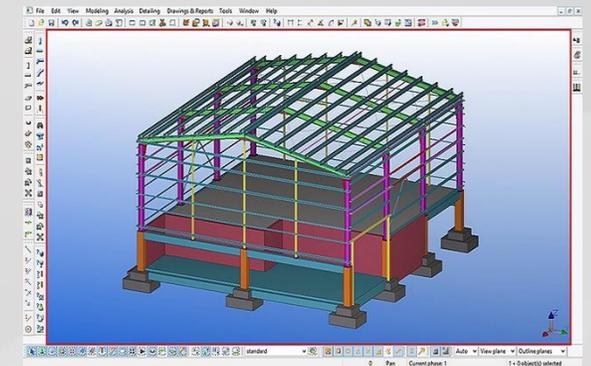
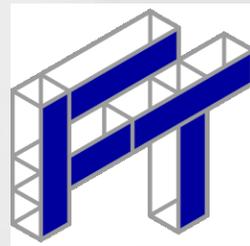
- Estrutura de dados robusta
- Eficiência e rapidez nos cálculos
- Exibição gráfica do modelo e resultados

Com a criação de programas gráficos interativos, a análise estrutural passou a ser feita com uso de computador em praticamente todos os escritórios de cálculo estrutural.



SAP2000

ANSYS®



LESM – Linear Elements Structure Model

- Inicialmente concebido como uma ferramenta educacional
- Análise linear-elástica de elementos unidimensionais (treliças, grelhas e pórticos)
- Análise de modelos 2D e 3D
- Código sob o Paradigma da Orientação a Objetos
- Código fonte aberto em MATLAB®
- Documentação completa disponível
- Modelagem gráfica-interativa com mouse
- A primeira versão do programa acompanha o livro *Análise Matricial de Estruturas com Orientação a Objetos* do autor Luiz Fernando Martha, 2019.



PUC
RIO

MATLAB

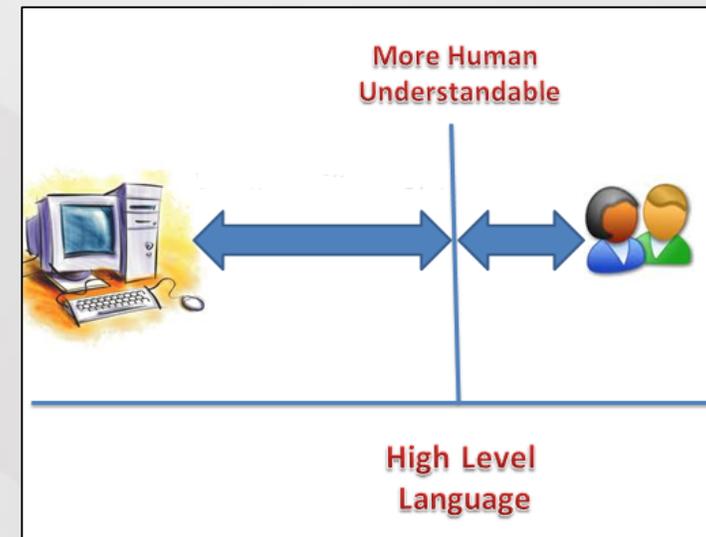
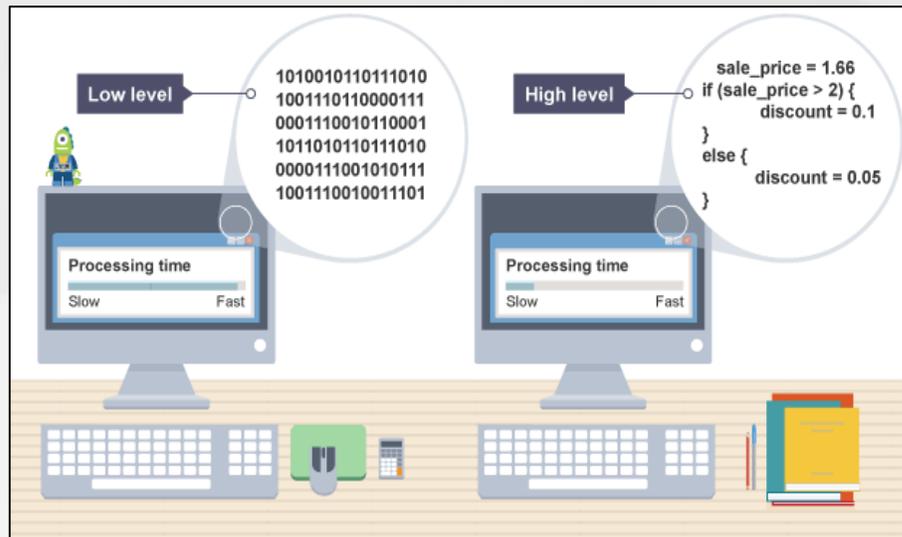
- Linguagem de programação de alto nível
- Legibilidade do código
- Acessível a estudantes de Engenharia
- Documentação
- Álgebra simbólica
- Desenvolvimento de interface gráfica
- Executável StandAlone
- “All in one”



MATLAB

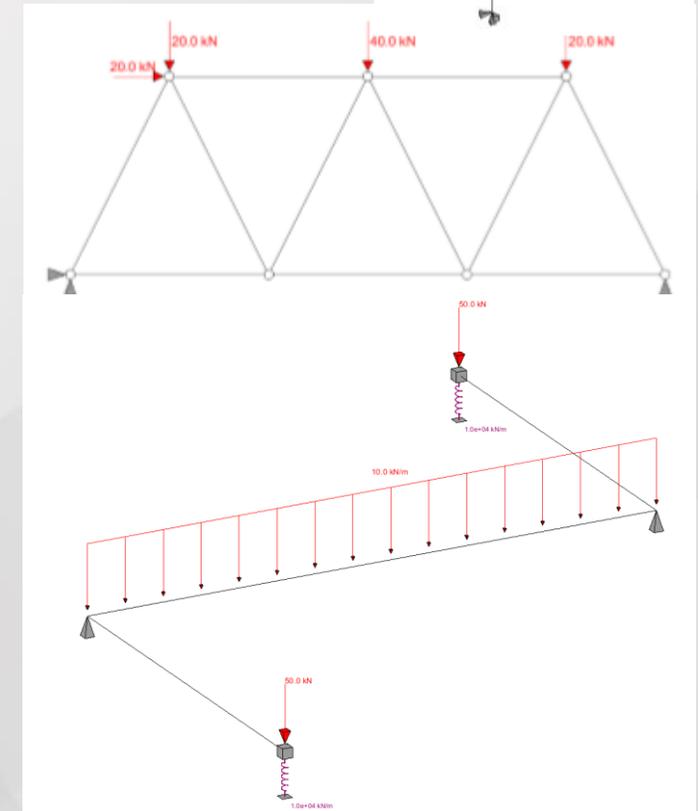
- A linguagem de programação MATLAB é interpretada
- Nível de abstração elevado, longe do código de máquina e próximo à linguagem humana
- Ampla biblioteca de funções pré definidas
- Editor de texto próprio com opções execução do código e *debug*
- Variáveis matriciais

Desvantagem: Maior tempo de processamento.



Opções de modelagem com o LESM

- Cinco tipos de modelos de análise: treliça plana e espacial, pórtico plano e espacial, grelha.
- Duas formas de consideração do comportamento de flexão de elementos unidimensionais: Teorias de Euler-Bernoulli e de Timoshenko.
- Quatro tipos de carregamento: forças e momentos concentrados em nós, carga uniformemente distribuída, carga linearmente distribuída, e efeitos de variação de temperatura.
- Dois tipos de restrição de movimento: apoios fixos e molas elásticas.
- Criação de casos de carga e suas combinações.



Modelagem com o LESM

Definir tipo de modelo de análise

Definir geometria do modelo

Definir propriedades físicas e condições de contorno

Rodar análise e avaliar resultados

LESM - Linear Elements Structure Model

File View

LESM LINEAR ELEMENTS STRUCTURE MODEL

Modeling

Analysis Model: Frame 2D

Load Case: CASE 01 Edit

Materials Sections

Nodes Elements

Nodal Loads Element Loads

Supports Model Information

Process Data

Results

Display: Model Txt

Element: All Reactions

Scale

Information

Materials	1
Cross-Sections	1
Nodes	0
Elements	0
DOFs	0
Free DOFs	0
Fixed DOFs	0

Edit

Apply

Toolbar

CANVAS

Painel de modelagem

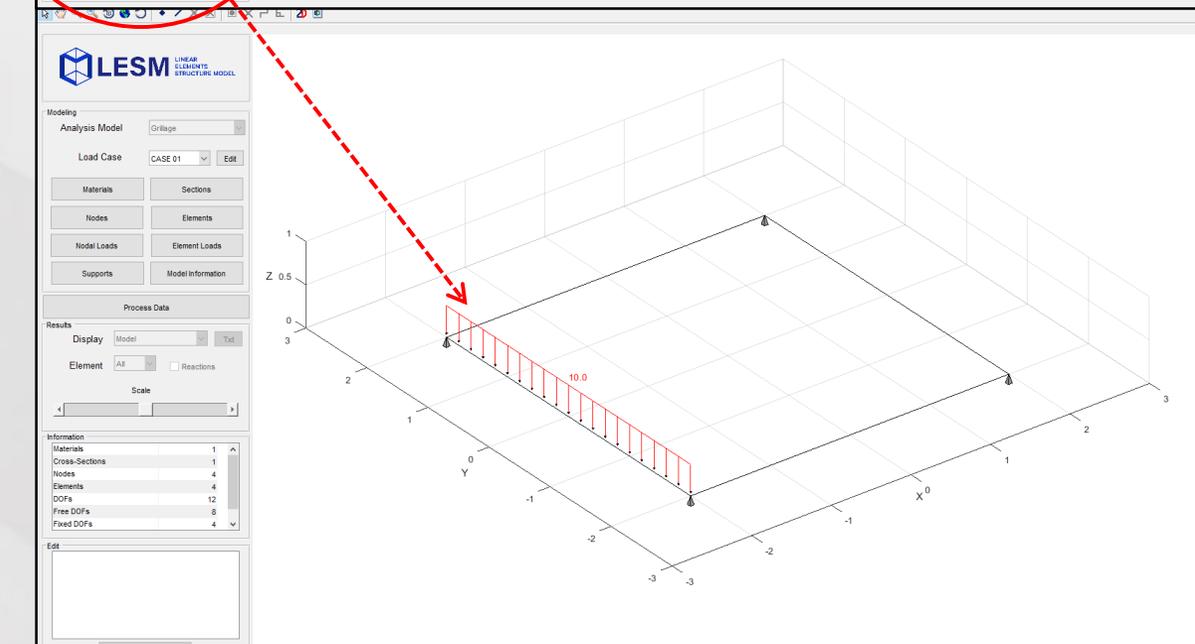
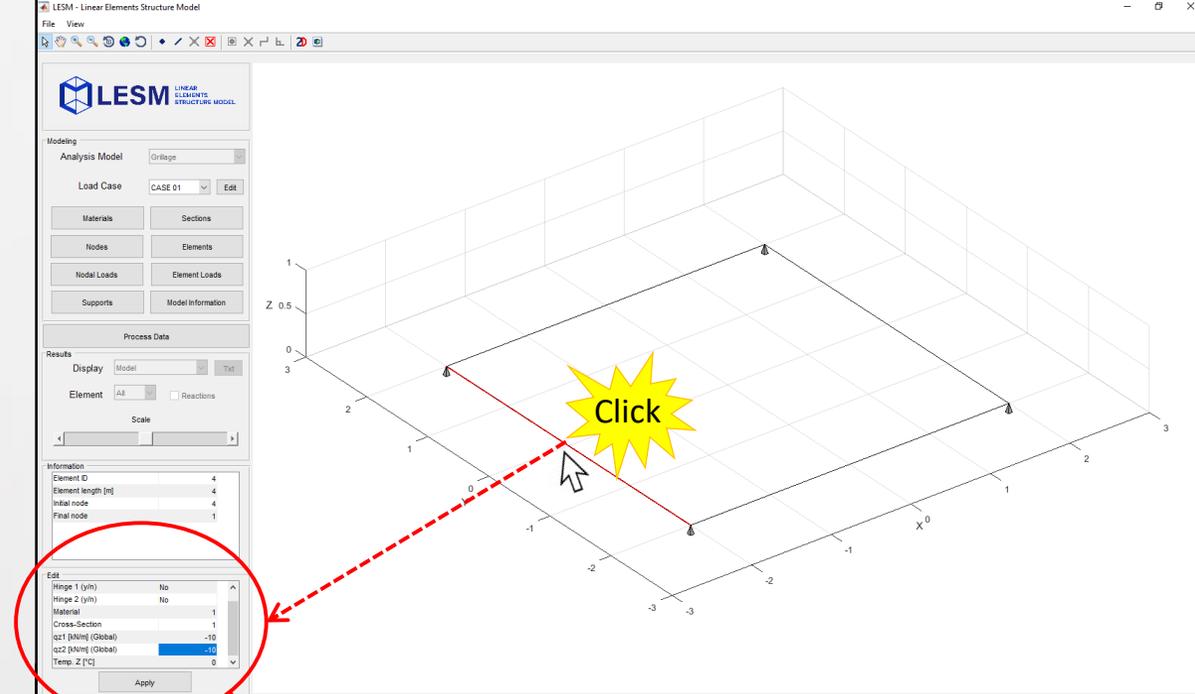
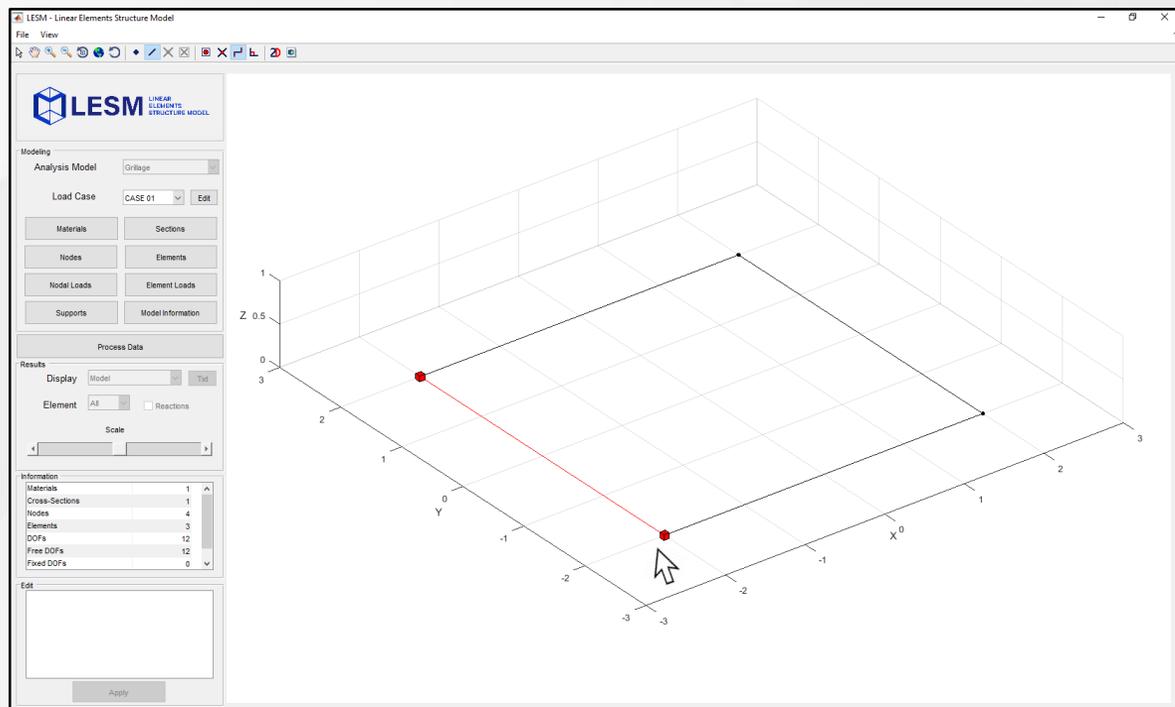
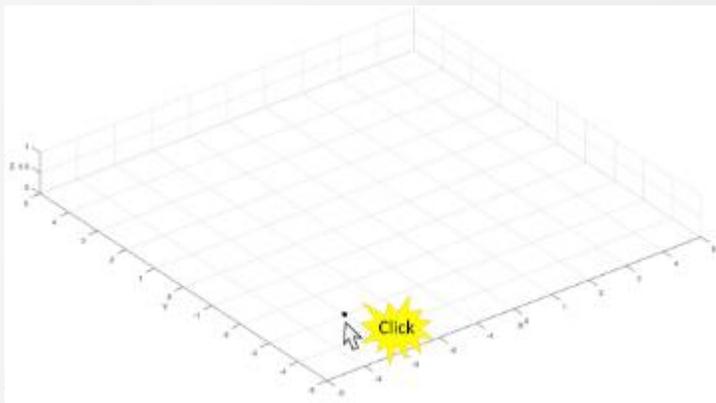
Process data Pushbutton

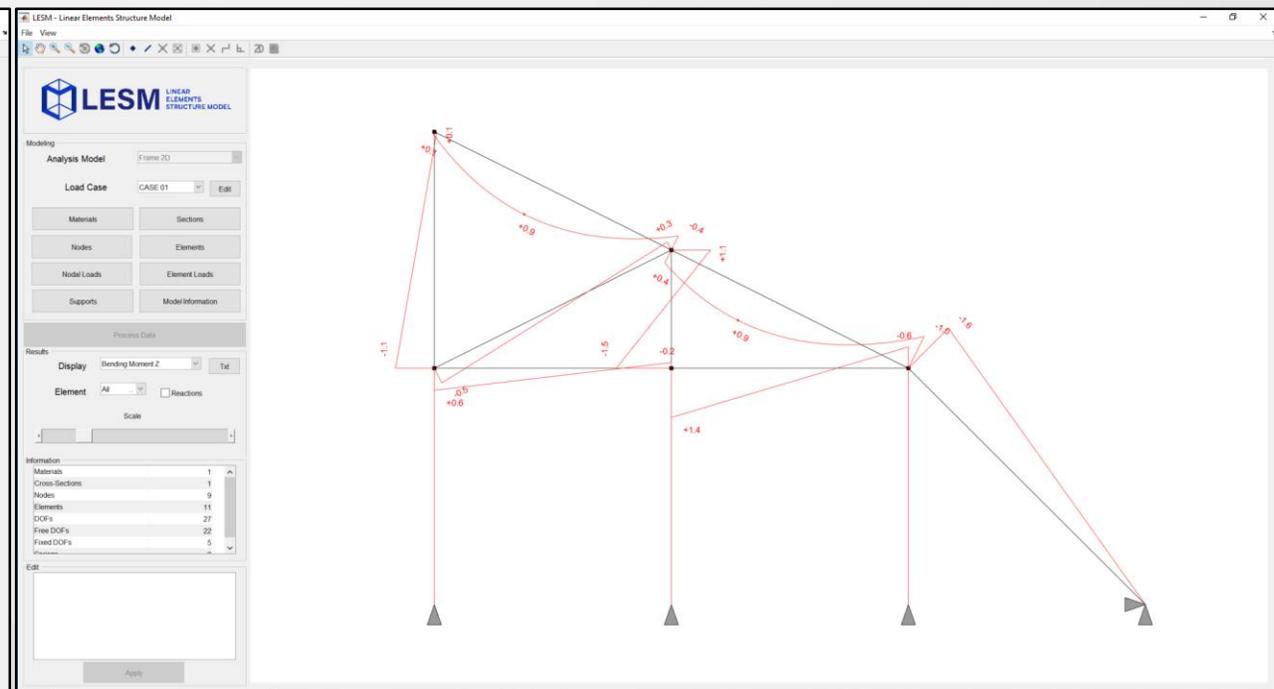
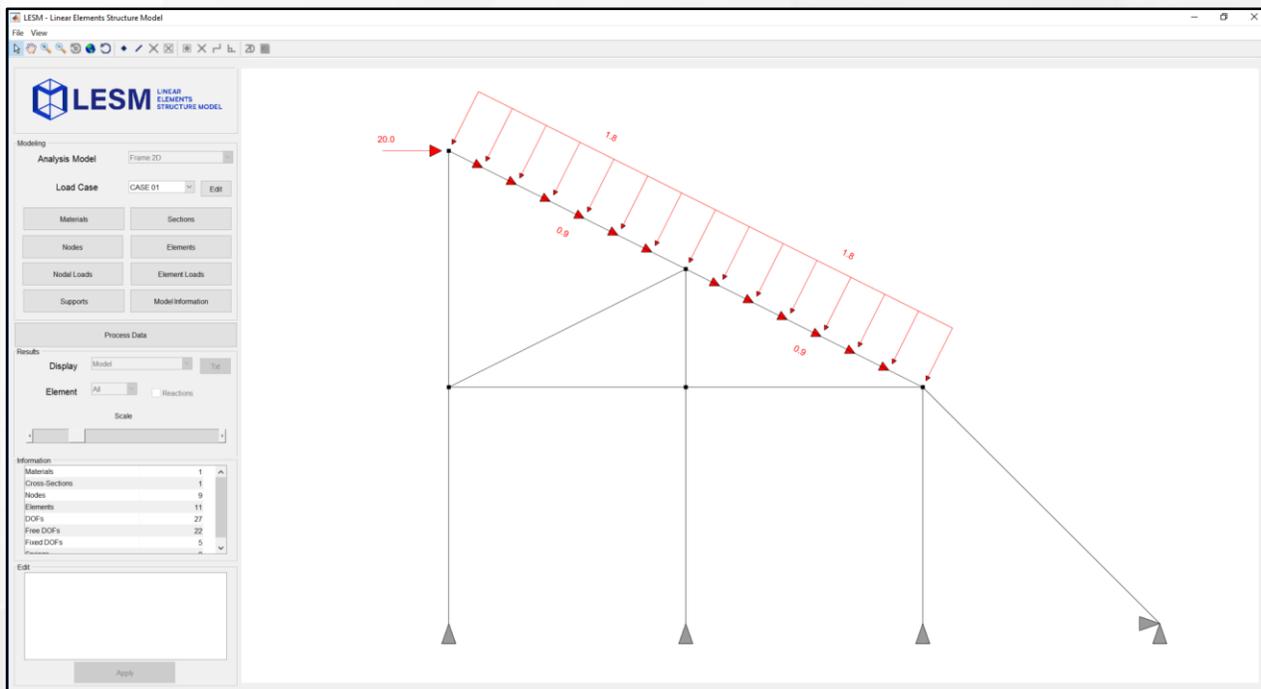
Painel de visualização de resultados

Painel de informações do modelo

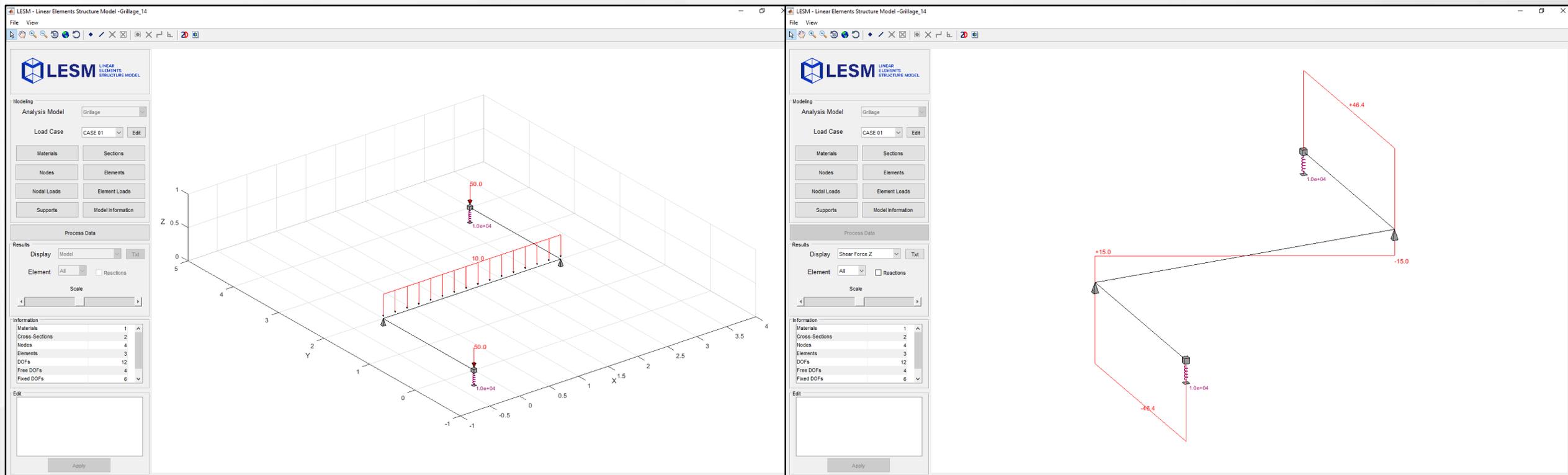
Painel de informações editáveis do modelo

Modelagem interativa

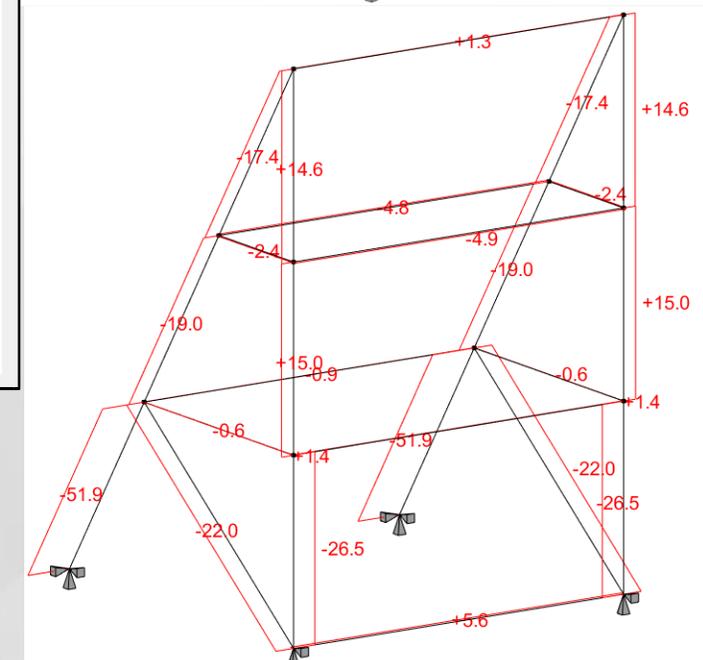
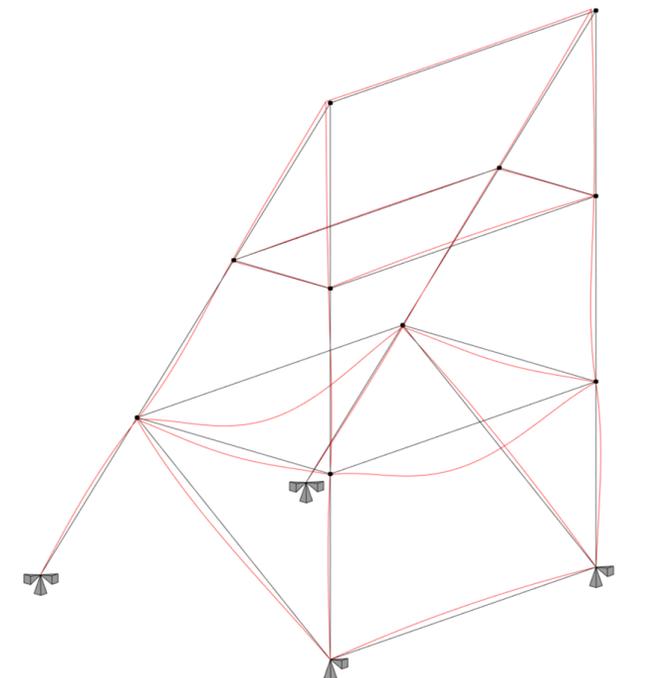
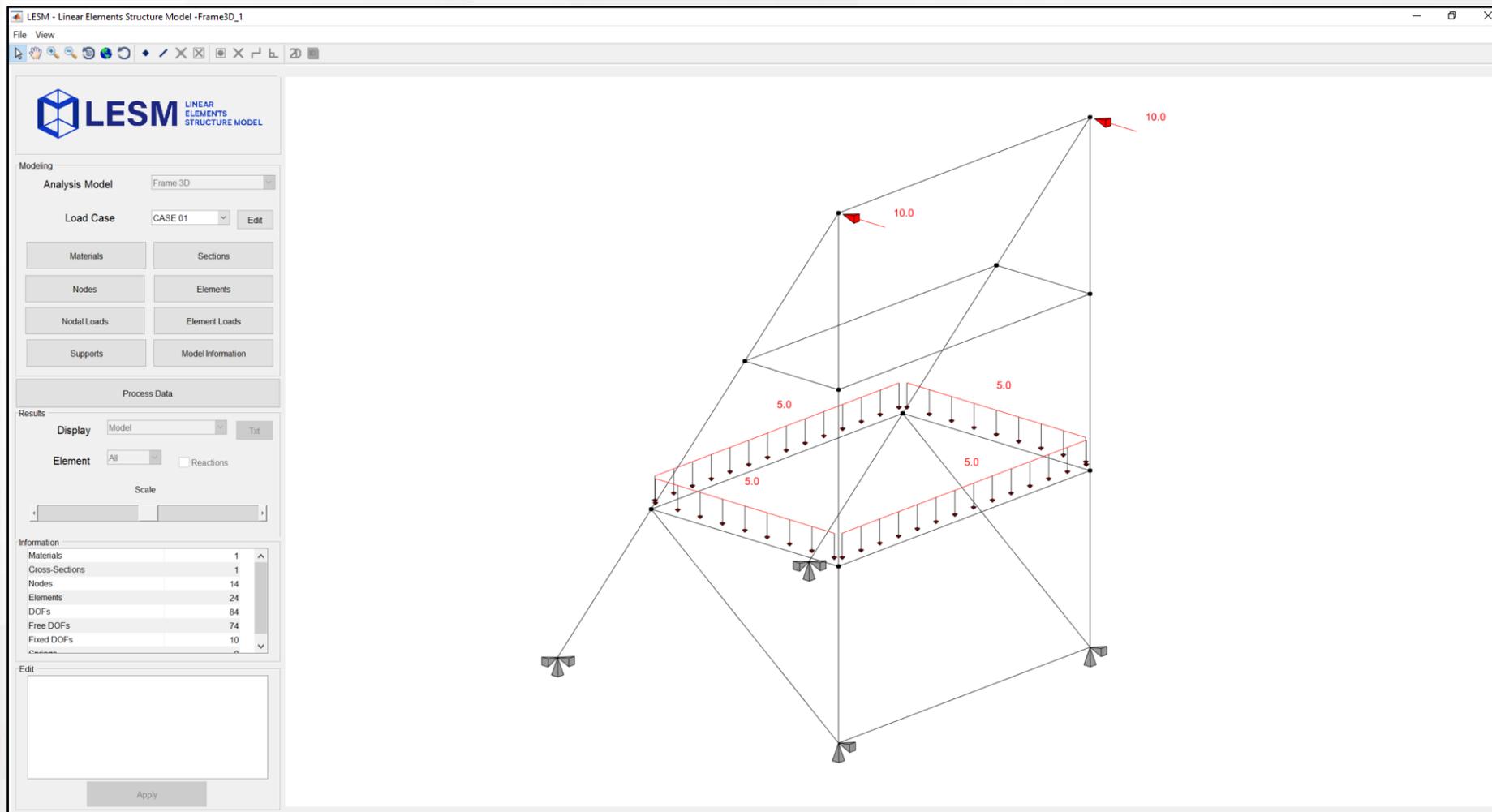




Modelo de pórtico plano e diagrama de momento fletor



Modelo de grelha e diagrama de esforço cortante



Modelo de pórtico espacial, configuração deformada e diagrama de esforço normal

Documentação

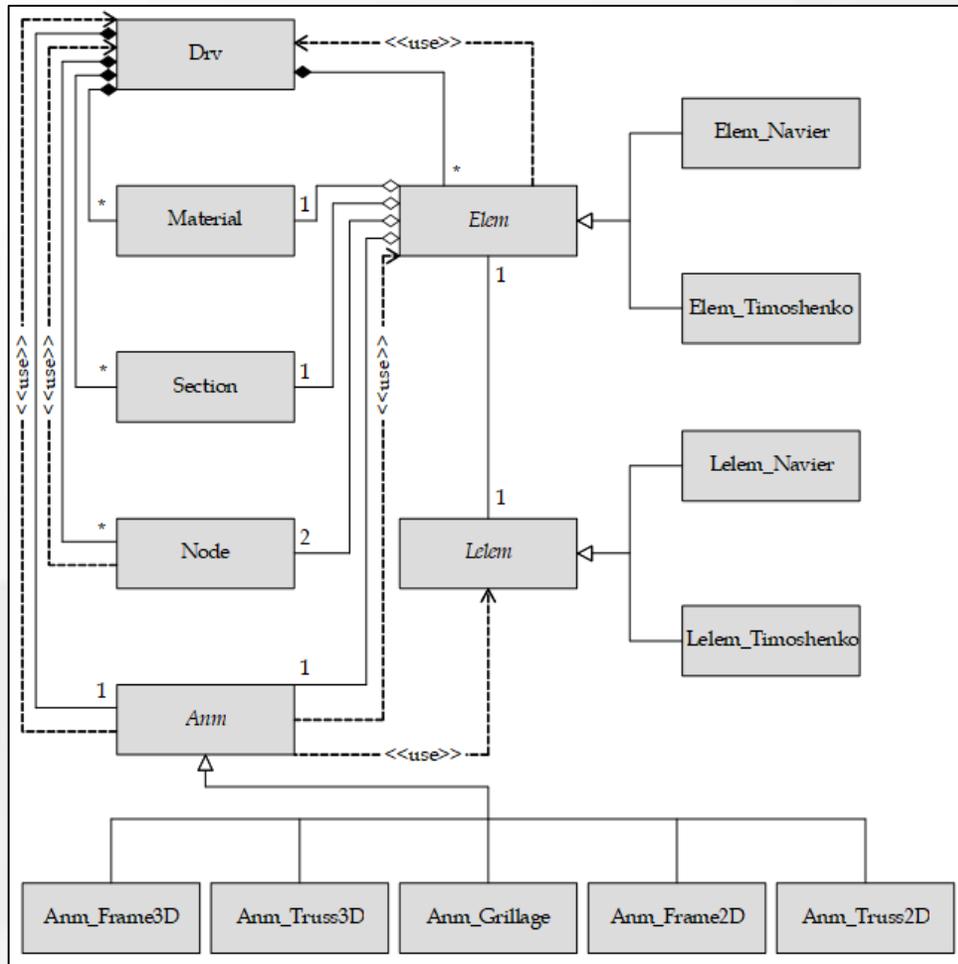


Diagrama de Classes

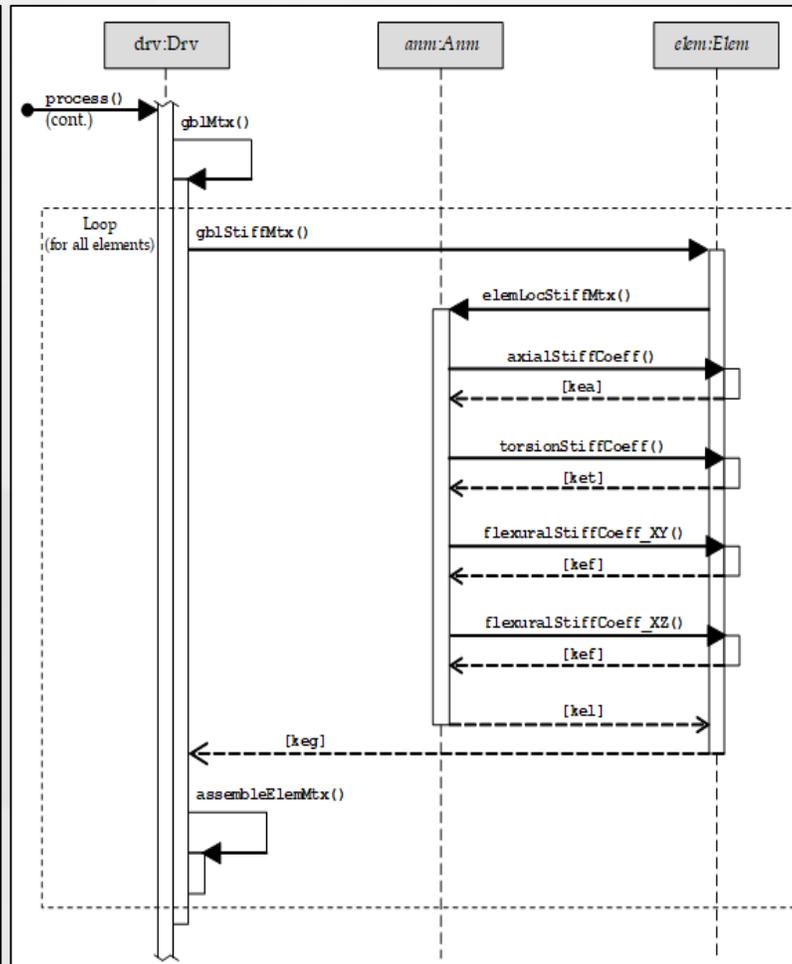


Diagrama de Sequência

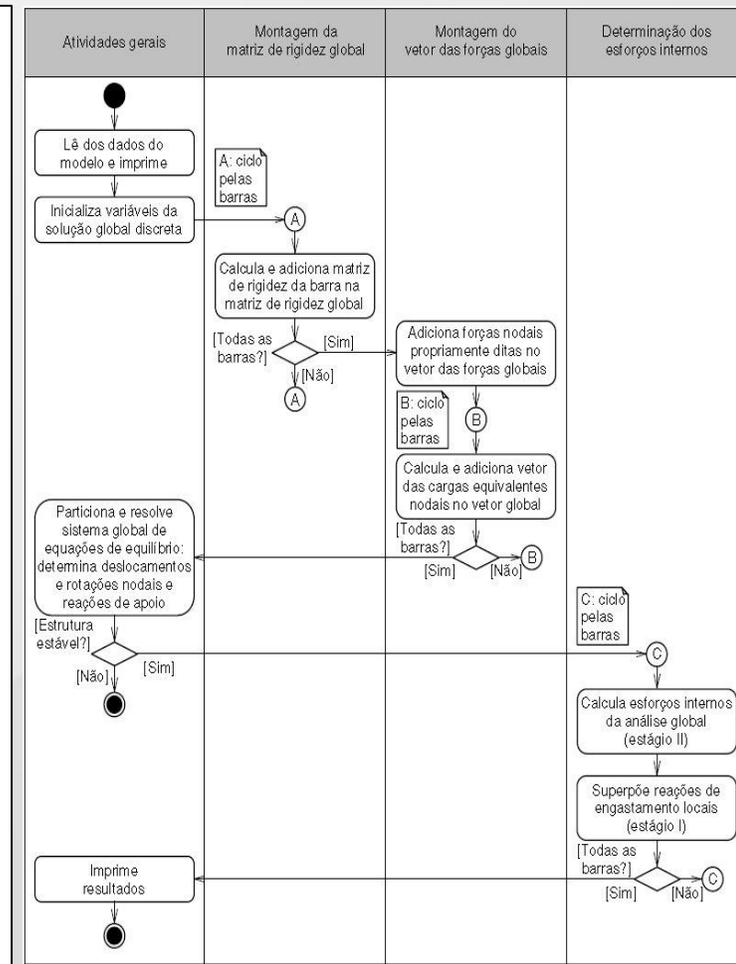
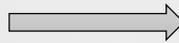


Diagrama de Atividade

Documentação

```
lesm.m
1 %% LESM - Linear Elements Structure Model
2 %
3 % This is the main driver file of LESM. This is a MATLAB program for
4 % linear-elastic, displacement-based, static analysis of bi-dimensional
5 % and tri-dimensional linear elements structure models, using the direct
6 % stiffness method. For each structural analysis, the program assembles a
7 % system of equilibrium equations, solves the system and displays the
8 % analysis results.
9 %
10 % The program handles some reticulated structure analysis models:
11 % 2D and 3D trusses, 2D and 3D frames, and grillages. In addition, two
12 % types of flexural behavior for linear elements are considered:
13 % Euler-Bernoulli (Navier theory) elements and Timoshenko elements.
14 %
15 % The program may be used in a non-graphical version or in a GUI
16 % (Graphical User Interface) version.
17 % The non-graphical version reads a structural model from a neutral
18 % format file and prints model information and analysis results in the
19 % the default output (MATLAB command window).
20 % In the GUI version, a user may create a structural model with
21 % attributes through the program graphical interface. The program can
22 % save and read a structural model data stored in a neutral format file.
23 % The standalone executable of the GUI version can be downloaded from the
24 % LESM website: <https://web.tecgraf.puc-rio.br/lesm/>
25 %
26 %% Authors
27 %%%
28 % * Luiz Fernando Martha (lfm@tecgraf.puc-rio.br)
29 %%%
30 % * Rafael Lopez Rangel (rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)
31 %%%
32 % * Pedro Cortez Lopes (cortezpedro@tecgraf.puc-rio.br)
33 %%%
34 % Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro - PUC-Rio
35 %
36 % Department of Civil and Environmental Engineering and Tecgraf Institute
37 % of Technical-Scientific Software Development of PUC-Rio (Tecgraf/PUC-Rio)
```



Web Browser - LESM - Linear Elements Structure Model

LESM - Linear Elements Structure Model

Location: file:///C:/Users/rafaelrangel/Desktop/html/lesm.html

LESM - Linear Elements Structure Model

This is the main driver file of LESM. This is a MATLAB program for linear-elastic, displacement-based, static analysis of bi-dimensional and tri-dimensional linear elements structure models, using the direct stiffness method. For each structural analysis, the program assembles a system of equilibrium equations, solves the system and displays the analysis results.

The program handles some reticulated structure analysis models: 2D and 3D trusses, 2D and 3D frames, and grillages. In addition, two types of flexural behavior for linear elements are considered: Euler-Bernoulli (Navier theory) elements and Timoshenko elements.

The program may be used in a non-graphical version or in a GUI (Graphical User Interface) version. The non-graphical version reads a structural model from a neutral format file and prints model information and analysis results in the the default output (MATLAB command window). In the GUI version, a user may create a structural model with attributes through the program graphical interface. The program can save and read a structural model data stored in a neutral format file. The standalone executable of the GUI version can be downloaded from the LESM website: <https://web.tecgraf.puc-rio.br/lesm/>

Contents

- Authors
- Collaborators
- History
- Linear Elements Models
- Coordinate Systems
- Analysis Model Types
- Structural Element Types
- Local Axes of an Element
- Load Types
- Components of Concentrated Nodal Loads
- Components of Distributed Loads on Elements
- Components of Thermal Loads on Elements
- Materials
- Cross-Sections
- Object Oriented Classes
- Auxiliary Functions and Files
- User Input
- Program Initialization

Authors

- Luiz Fernando Martha (lfm@tecgraf.puc-rio.br)
- Rafael Lopez Rangel (rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)
- Pedro Cortez Lopes (cortezpedro@tecgraf.puc-rio.br)

Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro - PUC-Rio

Código Fonte Aberto

```
%% LESM - Linear Elements Structure Model
%
% This is the main driver file of LESM. This is a MATLAB program for
% linear-elastic, displacement-based, static analysis of bi-dimensional
% and tri-dimensional linear elements structure models, using the direct
% stiffness method. For each structural analysis, the program assembles a
% system of equilibrium equations, solves the system and displays the
% analysis results.
%
% The program handles some reticulated structure analysis models:
% 2D and 3D trusses, 2D and 3D frames, and grillages. In addition, two
% types of flexural behavior for linear elements are considered:
% Euler-Bernoulli (Navier theory) elements and Timoshenko elements.
%
% The program may be used in a non-graphical version or in a GUI
% (Graphical User Interface) version.
% The non-graphical version reads a structural model from a neutral
% format file and prints model information and analysis results in the
% the default output (MATLAB command window).
% In the GUI version, a user may create a structural model with
% attributes through the program graphical interface. The program can
% save and read a structural model data stored in a neutral format file.
% The standalone executable of the GUI version can be downloaded from the
% LESM website: <https://web.tecgraf.puc-rio.br/lesm/>
```

```
-----
% Generates element flexural stiffness coefficient matrix in local
% xy-plane.
% Output:
% kef: a 4x4 matrix with flexural stiffness coefficients:
%   D -> transversal displacement in local y-axis
%   R -> rotation about local z-axis
%   ini -> initial node
%   end -> end node
%   kef = [ k_Dini_Dini  k_Dini_Rini  k_Dini_Dend  k_Dini_Rend;
%           k_Rini_Dini  k_Rini_Rini  k_Rini_Dend  k_Dini_Rend;
%           k_Dend_Dini  k_Dend_Rini  k_Dend_Dend  k_Dend_Rend;
%           k_Rend_Dini  k_Rend_Rini  k_Rend_Dend  k_Rend_Rend ]
function kef = flexuralStiffCoeff_XY(elem)
    include_constants;

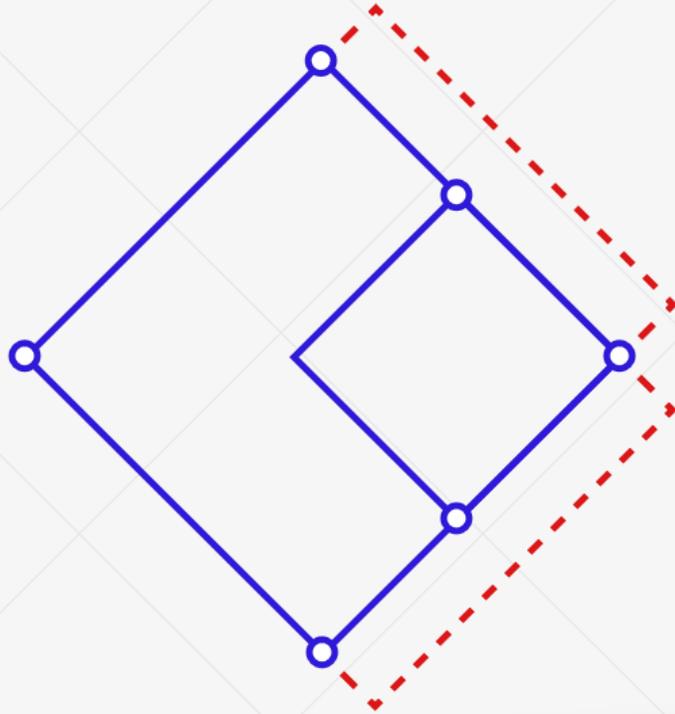
    % Basic element properties
    E = elem.material.elasticity;
    I = elem.section.inertia_z;
    L = elem.length;
    EI = E * I;

    % Timoshenko parameter
    if elem.type == 0 % Navier element
        Omega = 0;
    elseif elem.type == 1 % Timoshenko element
        G = elem.material.shear;
```

Onde encontrar o LESM

- Executável *StandAlone*
- Código fonte
- Documentação
- Modelos prontos
- Guia de uso

<https://web.tecgraf.puc-rio.br/lesm/>



LINEAR ELEMENTS STRUCTURE MODEL

LESM is a free software for static linear-elastic analysis of two-dimensional and three-dimensional linear elements structure models, such as trusses, frames, and grillages. It was written in the programming language (script language) of the MATLAB® environment using the object-oriented programming paradigm. MATLAB® is a registered trademark of The MathWorks, Inc. (www.mathworks.com).

Authors: [Luiz Fernando Martha](#) , [Rafael Lopez Rangel](#), and [Pedro Cortez Lopes](#)

DOWNLOAD OPTIONS FOR LESM VERSION 2.0

INSTALLER

Complete installation with
MATLAB runtime library.
Indicated for those who do not
have MATLAB installed.

[DOWNLOAD](#)

SOURCE CODE

Source code to run the program
in the MATLAB environment.

[DOWNLOAD](#)

MATLAB APP

Packaged application to be
installed in the MATLAB
environment

[FILE EXCHANGE](#)

Versões Futuras

- Análise dinâmica
- Análise com não linearidade geométrica
- Versão web