Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia de Estruturas

CURSO DE GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA CIVIL

DISCIPLINA

EES 023 - ANÁLISE ESTRUTURAL I

APOSTILA DO PROGRAMA INSANE

Profa. Jacqueline Maria Flor

Prof. Estevão Bicalho Pinto Rodrigues

2008

Índice

1. INTRODUÇÃO 5

2. INSTALAÇÃO 5

3. INFORMAÇÕES INICIAIS 6

3.1. Nós e Barras 6

3.2. Sistema Global 6

3.3. Sistema Local 7

3.4. Propriedades Mecânicas dos Materiais 8

3.5. Propriedades Geométricas das Seções Transversais 9

3.6. Unidades 11

4. ETAPA DO PRÉ-PROCESSADOR 11

4.1. Geometria 12

4.2. Malha 12

4.3. Modelo de Análise Global 14

4.4. Lista de Materiais 14

4.5. Lista de Seções Transversais 15

4.6. Atributos Nodais 16

4.7. Atributos dos Elementos 23

5. ETAPA DO PROCESSADOR 33

6. ETAPA DO PÓS-PROCESSADOR 35

6.1. Reações 35

6.2. Diagramas 36

6.3. Deformada 38

6.4. Relatório 39

7. EXEMPLOS 40

7.1. Pórtico Plano 40

7.2. Treliça Plana 45

7.3. Grelha 50

8. BIBLIOGRAFIA 54

Lista de Figuras

FIGURA 1 – JANELA INICIAL DO INSANE 5

FIGURA 2 – SISTEMA GLOBAL PARA ESTRUTURAS PLANAS COM CARREGAMENTO NO SEU PLANO 7

FIGURA 3 – SISTEMA GLOBAL PARA ESTRUTURAS PLANAS COM CARREGAMENTO PERPENDICULAR AO SEU PLANO 7

FIGURA 4 – SISTEMA LOCAL DE UMA BARRA DE UMA ESTRUTURA PLANA COM CARREGAMENTO NO SEU PLANO 8

FIGURA 5 – SISTEMA LOCAL DE UMA BARRA DE UMA ESTRUTURA PLANA COM CARREGAMENTO PERPENDICULAR AO SEU PLANO 8

FIGURA 6 – EIXOS CARTESIANOS PARA PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL 9

FIGURA 7 – MENU LATERAL DO INSANE 11

FIGURA 8 – MENU <DESENHAR> 12

FIGURA 9 – BARRAS DE FERRAMENTAS <DESENHAR> 12

FIGURA 10 – MENU <MALHA> 13

FIGURA 11 – GERAÇÃO DE MALHA: INPUT 13

FIGURA 12 – GERAÇÃO DE MALHA DE UMA ÚNICA BARRA 13

FIGURA 13 – GERAÇÃO DE MALHA DE TODAS AS BARRAS 14

FIGURA 14 – JANELA PARA DEFINIÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE GLOBAL 14

FIGURA 15 – MODELOS DE ANÁLISE GLOBAL IMPLEMENTADOS NO INSANE 1.1 14

FIGURA 16 – JANELA PARA DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS 15

FIGURA 17 – DEFINIÇÃO DE UM NOVO MATERIAL 15

FIGURA 18 – JANELA PARA DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS 16

FIGURA 19 – DEFINIÇÃO DE UMA NOVA SEÇÃO TRANSVERSAL 16

FIGURA 20 – MENU SUPERIOR PARA DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS NODAIS 17

FIGURA 21 – BARRA DE FERRAMENTAS PARA DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DOS ELEMENTOS 17

FIGURA 22 – APOIOS INCLINADOS 17

FIGURA 23 – ATRIBUTOS NODAIS: ÂNGULO 18

FIGURA 24 – ATRIBUTOS NODAIS: RESTRIÇÕES 19

FIGURA 25 – ATRIBUTOS NODAIS: FORÇAS 20

FIGURA 26 – ATRIBUTOS NODAIS: DESLOCAMENTOS PRESCRITOS 21

FIGURA 27 – REPRESENTAÇÃO DOS APOIOS ELÁSTICOS 22

FIGURA 28 – ATRIBUTOS NODAIS: MOLA 23

FIGURA 29 – MENU SUPERIOR PARA DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DOS ELEMENTOS 24

FIGURA 30 – BARRA DE FERRAMENTAS PARA DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DOS ELEMENTOS 24

FIGURA 31 – JANELA PARA DEFINIÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE DO ELEMENTO 24

FIGURA 32 – MODELOS DE ANÁLISE DE ELEMENTO IMPLEMENTADOS NO INSANE 1.1 24

FIGURA 33 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: MATERIAL 25

FIGURA 34 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: SEÇÃO TRANSVERSAL 26

FIGURA 35 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: FORÇAS CONCENTRADAS 27

FIGURA 36 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: FORÇAS DISTRIBUÍDAS 28

FIGURA 37 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: VARIAÇÃO DE TEMPERATURA 29

FIGURA 38 – SÍMBOLOS PARA LIBERAÇÕES NAS EXTREMIDADES DO ELEMENTO 30

FIGURA 39 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: LIBERAÇÃO NAS EXTREMIDADES 31

FIGURA 40 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: ESFORÇOS PRÉVIOS 32

FIGURA 41 – ATRIBUTOS DO ELEMENTO: FORÇA NODAL EQUIVALENTE INICIAL 33

FIGURA 42 – PROCESSADOR: MENU PROCESSADOR AUTOMÁTICO 34

FIGURA 43 – PROCESSADOR: BARRA DE FERRAMENTA PROCESSADOR AUTOMÁTICO 34

FIGURA 44 – RESULTADO DA VERIFICAÇÃO DE DADOS – DADOS CONSISTENTES 34

FIGURA 45 – RESULTADO DA VERIFICAÇÃO DE DADOS – DADOS INCONSISTENTES 34

FIGURA 46 – PÓS-PROCESSADOR: REAÇÕES 35

FIGURA 47 – PÓS-PROCESSADOR: BARRA DE FERRAMENTAS <DIAGRAMAS DE ESFORÇOS SOLICITANTES> 36

FIGURA 48 – PÓS-PROCESSADOR: BARRA DE FERRAMENTAS <DIAGRAMAS DE DESLOCAMENTOS> 36

FIGURA 49A – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE FORÇA NORMAL 37

FIGURA 49B – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE FORÇA CORTANTE 37

FIGURA 49C – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR 37

FIGURA 50A – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE DESLOCAMENTO DX 38

FIGURA 50B – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE DESLOCAMENTO DY 38

FIGURA 50C – PÓS-PROCESSADOR: DIAGRAMA DE DESLOCAMENTO RZ 38

FIGURA 51 – PÓS-PROCESSADOR: DEFORMADA 38

FIGURA 52 – PÓS-PROCESSADOR: MENU <RELATÓRIO> 39

FIGURA 53 – PÓS-PROCESSADOR: BARRA DE FERRAMENTAS <RELATÓRIO> 39

FIGURA 54 – PÓS-PROCESSADOR: MENU <ARQUIVO ➢ EXPORTAR> 39

FIGURA 55 – EXEMPLO: PÓRTICO PLANO 40

FIGURA 56 – EXEMPLO: TRELIÇA PLANA 45

FIGURA 57 – EXEMPLO: GRELHA 50

1. Introdução

Este documento apresenta um tutorial para a instalação e utilização do **Programa INSANE** – ***IN***nteractive ***S***tructural ***AN***alysis ***E***nvironment – desenvolvido pela equipe do **Projeto INSANE**, coordenado pelo Prof. Roque Luis da Silva Pitangueira, do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Para maiores informações sobre o Projeto INSANE, visite o site no endereço http://www.insane.dees.ufmg.br. Os tópicos referentes à utilização do programa limitam-se apenas às suas aplicações na disciplina "**Análise Estrutural I**", do 5º período do curso de graduação em Engenharia Civil da UFMG.

2. Instalação

Os procedimentos para a instalação da versão 1.1 do Programa INSANE seguem abaixo:

- Entrar na página do Projeto INSANE: http://www.insane.dees.ufmg.br.
- Clicar no botão <**Downloads**> do menu superior.
- Clicar no link <**Insane 1.1 - Instalador para Windows (Arquivo .exe)**> e seguir as instruções para baixar o arquivo de instalação. Este arquivo executável, cujo tamanho é de aproximadamente 15MB, já contém o JRE (Java Runtime Environment) 1.4.2 embutido. Desta forma, não é mais necessário baixar este aplicativo como nas versões anteriores do arquivo de instalação do Programa INSANE.
- Após baixar o arquivo de instalação, dar um clique duplo no nome do arquivo e seguir as instruções do programa de instalação.
- Após a instalação do Programa INSANE, dar um clique duplo no ícone de atalho criado no "desktop" do seu computador e o INSANE será executado. A **Figura 1** ilustra a janela inicial do INSANE.

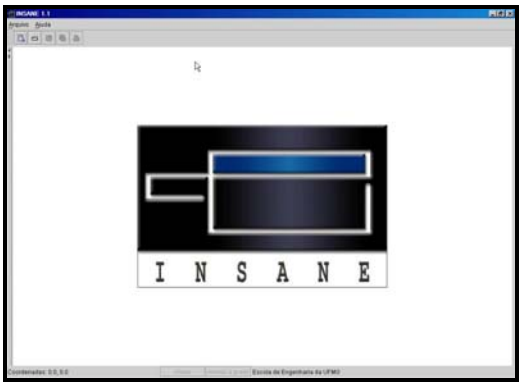


Figura 1 – Janela inicial do INSANE

3. Informações Iniciais

São apresentados, nesta seção, alguns conceitos fundamentais para a entrada de dados correta e eficaz no INSANE bem como para a interpretação dos dados de saída fornecidos no relatório final.

3.1. Nós e Barras

As estruturas lineares ou reticuladas são constituídas exclusivamente por "**barras**". Estas estruturas são representadas pela figura formada pelos eixos das suas barras. Os pontos de encontro de várias barras são denominados "**nós**". Desta forma, uma barra possui um "**nó inicial**" e um "**nó final**", definidos de acordo com a orientação estabelecida para a barra através das coordenadas das suas extremidades.

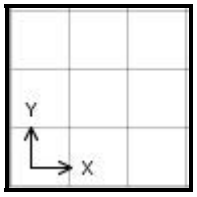
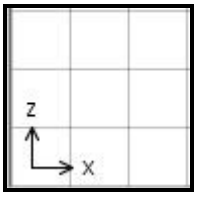
3.2. Sistema Global

O **sistema global** é um sistema de eixos cartesianos utilizado para a entrada e saída dos dados referentes aos **nós** da estrutura. O sistema global é único para toda a estrutura. Na disciplina "Análise Estrutural I" são estudados dois tipos de estruturas lineares. São elas:

- **Estruturas planas com carregamento no seu plano**: vigas, pórticos planos e treliças planas são exemplos destas estruturas. O INSANE adota o plano XY como o plano destas estruturas. Desta forma, o sistema global equivale ao sistema de eixos XYZ, onde o plano XY é o plano das barras da estrutura (i.e., plano da tela), e o eixo Z é o eixo perpendicular a este plano, cujo sentido positivo é definido pela regra da mão direita para o triedro positivo (i.e., direcionado para "fora" do plano da tela).

- **Estruturas planas com carregamento perpendicular ao seu plano**: grelhas são exemplos destas estruturas. O INSANE adota o plano XZ como o plano destas estruturas. Desta forma, o sistema global equivale ao sistema de eixos XYZ, onde o plano XZ é o plano das barras da estrutura (i.e., plano da tela), e o eixo Y é o eixo perpendicular a este plano, cujo sentido positivo é definido pela regra da mão direita para o triedro positivo (i.e., direcionado para "dentro" do plano da tela).

No INSANE, o sistema global é indicado no canto inferior esquerdo da tela quadriculada. As **Figuras 2 e 3** mostram o sistema global para os dois tipos de estruturas lineares mencionados acima.

 **Figura 2 – Sistema global para estruturas planas com carregamento no seu plano**	 **Figura 3 – Sistema global para estruturas planas com carregamento perpendicular ao seu plano**

3.3. Sistema Local

O **sistema local** é um sistema de eixos cartesianos utilizado para a entrada e saída dos dados referentes às **barras** da estrutura. Ele é sempre definido no nó inicial da barra e, uma vez associado a uma barra, deve permanecer inalterado durante toda a análise.

Para as estruturas lineares planas, o sistema local é definido da seguinte maneira:

- **Estruturas planas com carregamento no seu plano**: o eixo X será sempre coincidente com o eixo da barra e o seu sentido positivo é orientado do nó inicial para o nó final; o eixo Y é orientado de forma tal que o eixo Z tenha a mesma direção e mesmo sentido do eixo Z global (regra da mão direita para o triedro positivo).

- **Estruturas planas com carregamento perpendicular ao seu plano**: o eixo X será sempre coincidente com o eixo da barra e o seu sentido positivo é orientado do nó inicial para o nó final; o eixo Z é orientado de forma tal que o eixo Y tenha a mesma direção e mesmo sentido do eixo Y global (regra da mão direita para o triedro positivo).

As **Figuras 4 e 5** mostram o sistema local de uma barra para os dois tipos de estruturas lineares mencionados anteriormente.

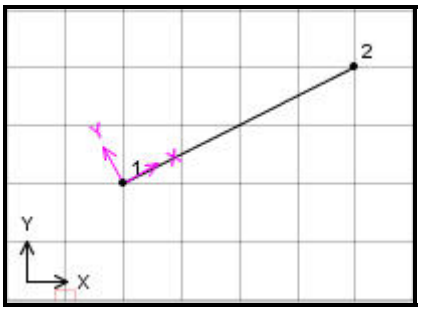


Figura 4 – Sistema local de uma barra de uma estrutura plana com carregamento no seu plano

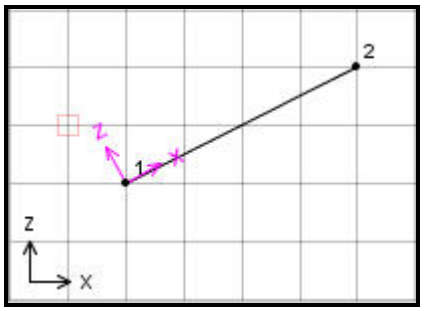


Figura 5 – Sistema local de uma barra de uma estrutura plana com carregamento perpendicular ao seu plano

3.4. Propriedades Mecânicas dos Materiais

O INSANE calcula os deslocamentos devidos à deformações das estruturas. Portanto, para o cálculo destes deslocamentos, é necessário fornecer algumas propriedades mecânicas dos materiais definidos para a estrutura. Estas propriedades são as seguintes:

- **Módulo de elasticidade longitudinal (*E*)**: o módulo de elasticidade longitudinal (também conhecido como módulo de Young) é definido como a constante de proporcionalidade entre as tensões e as suas respectivas deformações na região de regime linear-elástico dos diagramas tensão-deformação dos materiais quando submetidos a um ensaio de tração ou compressão.

- **Módulo de elasticidade transversal (*G*)**: o módulo de elasticidade transversal (também conhecido como módulo de elasticidade ao cisalhamento) é definido como a constante de proporcionalidade entre as tensões e as suas respectivas deformações na região de regime linear-elástico dos diagramas tensão-deformação dos materiais quando submetidos a um ensaio de cisalhamento puro.

- **Coeficiente de Poisson (ν)**: o coeficiente de Poisson é definido como a constante de proporcionalidade entre as deformações longitudinais (ou axiais) e as deformações transversais (ou laterais) na região de regime linear-elástico dos diagramas tensão-deformação dos materiais quando submetidos a um ensaio de tração ou compressão.

As três propriedades dos materiais acima descritas são relacionadas pela expressão:

$$\boxed{G = \frac{E}{2\left(1-\nu\right)}}$$

- **Coeficiente de dilatação térmica (α)**: o coeficiente de dilatação térmica é definido como a constante de proporcionalidade entre a variação de comprimento e o comprimento inicial (original) e a variação de temperatura à qual um objeto, fabricado com um determinado material, é submetido.

3.5. Propriedades Geométricas das Seções Transversais

Para o cálculo dos deslocamentos devido às deformações, é necessário fornecer também dados relativos às propriedades geométricas das seções transversais definidas para as barras da estrutura.

Para uma barra de uma estrutura, cuja orientação dos eixos cartesianos centroidais XYZ numa seção transversal qualquer está indicada na **Figura 6** (i.e, o plano YZ coincidente com o plano da seção transversal, e o eixo X perpendicular a este plano), estas propriedades são as seguintes:

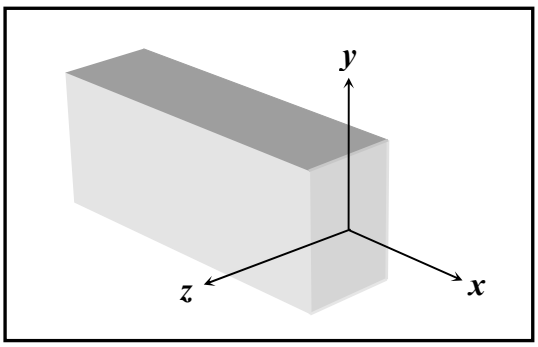


Figura 6 – Eixos cartesianos para propriedades geométricas da seção transversal

- **Momento polar de inércia em relação ao eixo X (*I_x*)**: o momento polar de inércia (ou constante de torção) em relação ao eixo X local é definido pela expressão

$$\boxed{I_x = \int_A r^2 \, dA = \int_A \left(y^2 + z^2\right) dA}$$

- **Momento de inércia em relação ao eixo Y (*I_y*)**: o momento de inércia (ou momento de segunda ordem) em relação ao eixo Y local é definido pela expressão

$$\boxed{I_y = \int_A z^2 \, dA}$$

- **Momento de inércia em relação ao eixo Z (*I_z*)**: o momento de inércia (ou momento de segunda ordem) em relação ao eixo Z é definido pela expressão

$$\boxed{I_z = \int_A y^2 \, dA}$$

- **Área da seção transversal (*A*)**: a área da seção transversal (ou seção reta, perpendicular ao eixo longitudinal da barra, i.e., o eixo X) é definida pela expressão

$$\boxed{A = \int_A dA}$$

- **Altura da seção transversal (*h*)**: a altura da seção transversal é a dimensão da seção transversal medida ao longo do eixo Y.

3.6. Unidades

As **unidades** das diversas grandezas envolvidas na análise de uma estrutura no INSANE não são explicitamente especificadas. Cabe ao usuário ser consistente com as unidades utilizadas para as grandezas “força” e “comprimento”.

Por exemplo, uma força concentrada pode ser especificada em *N* (Newtons) e as coordenadas dos nós podem ser especificadas em *m* (metros). Sendo assim, o módulo de elasticidade deverá ser especificado em N/m^2, a área em m^2, o momento de inércia em m^4, a força distribuída em *N/m*, o momento concentrado em *N.m*, etc. Consequemente, os valores das reações serão medidos em *N* (unidade de força) ou *N.m* (unidade de momento), os valores das ações nas extremidades das barras serão medidas em *N* (unidade de força) ou *N.m* (unidade de momento), os valores dos deslocamentos nodais serão medidos em *m* (unidade de comprimento), etc.

4. Etapa do Pré-Processador

A análise de uma estrutura no INSANE envolve três etapas: o pré-processamento, o processamento propriamente dito, e o pós-processamento. O menu lateral da janela do INSANE, ilustrado na **Figura 7** abaixo, lista estas etapas e suas respectivas sub-etapas. Cada uma das etapas para a análise estrutural são detalhadas a seguir.

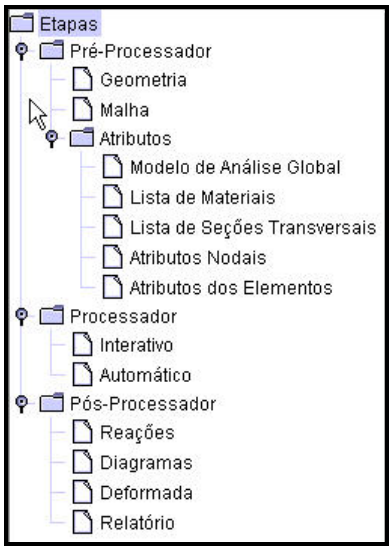


Figura 7 – Menu lateral do INSANE

A etapa do pré-processamento, realizada pelo **Pré-Processador**, consiste na definição de todos os parâmetros necessários para a análise estrutural incluindo a geometria da estrutura, o modelo para a análise estrutural, os materiais a serem empregados, as seções transversais das barras que compõem a estrutura, os atributos dos nós, e os atributos das barras.

4.1. Geometria

A geometria refere-se à definição das coordenadas dos nós e, consequentemente, à definição dos comprimentos das barras que compõem a estrutura. A interface gráfica do INSANE permite o "desenho" da geometria da estrutura na janela quadriculada central, utilizando-se o menu superior <**Desenhar**>, também acessível pela barra de ferramentas correspondente. As **Figuras 8 e 9** ilustram, respectivamente, o menu e a barra de ferramentas <**Desenhar**>.

Figura 8 – Menu <Desenhar>

Figura 9 – Barras de ferramentas <Desenhar>

4.2. Malha

A geração de **malhas** de elementos finitos consiste, de uma forma geral, em dividir um determinado domínio de interesse em sub-domínios.

Para se dividir uma única barra em *n* barras (ou elementos), proceda da seguinte maneira:

- Selecione a opção <**Malha**> do menu lateral.
- Selecione a barra que será dividida em *n* elementos.

- Selecione a opção <**Malha ➢ Dividir**> do menu superior (ver **Figura 10**). A caixa de diálogo "**Input**" aparecerá (ver **Figura 11**).
- Especifique o número de divisões desejado.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

Para se dividir todas as barras da estrutura em um mesmo número de elementos *n*, proceda de forma análoga selecionando, entretanto, a opção <**Malha ➢ Dividir Todos**> do menu superior.

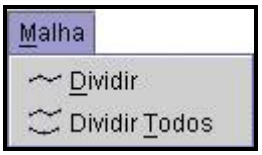


Figura 10 – Menu <Malha>

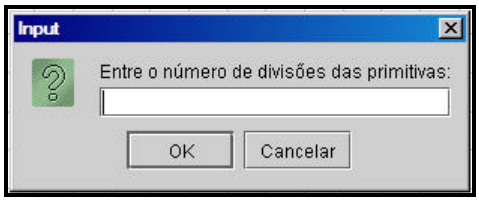
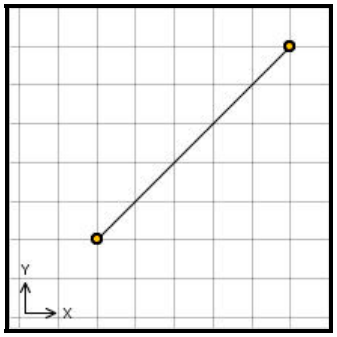


Figura 11 – Geração de malha: input

A **Figura 12** ilustra o processo de geração de malha de uma única barra de uma estrutura.



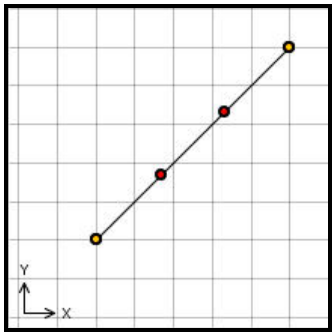


Figura 12 – Geração de malha de uma única barra

A **Figura 13** ilustra o processo de geração de malha de todas as barras de uma estrutura.

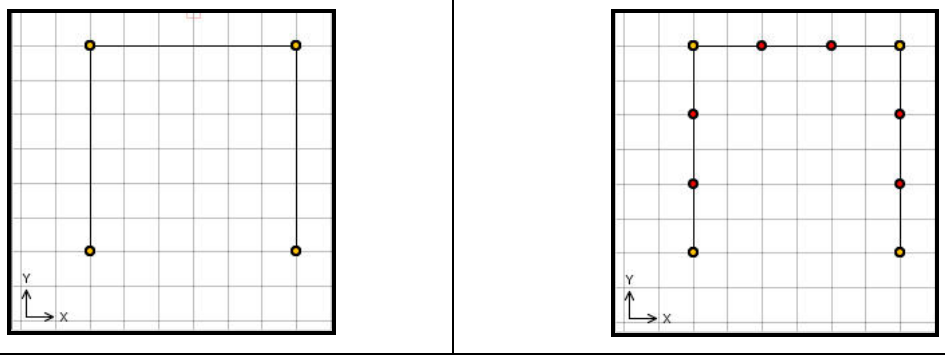


Figura 13 – Geração de malha de todas as barras

4.3. Modelo de Análise Global

O **modelo de análise global** refere-se ao tipo de modelo estrutural atribuído à estrutura real que será analisada (ou processada) estruturalmente. Estão implementados os seguintes modelos na versão 1.1 do INSANE: viga, pórtico plano, treliça plana, e grelha. Ao clicar na opção do menu lateral <**Modelo de Análise Global**> aparecerá a janela para definição do modelo (ver **Figura 14**); as opções de modelo aparecerão ao clicar no botão central da janela (ver **Figura 15**).

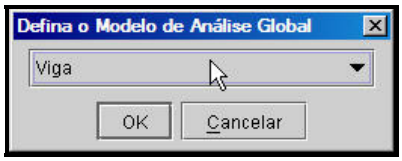


Figura 14 – Janela para definição do modelo de análise global

Figura 15 – Modelos de análise global implementados no INSANE 1.1

4.4. Lista de Materiais

A lista de materiais refere-se à definição dos materiais com os quais serão fabricados os diversos elementos (ou barras) da estrutura. Ao clicar na opção do menu lateral <**Lista de**

Materiais> aparecerá a janela para definição dos materiais (ver **Figura 16**). Através desta janela, pode-se definir um novo material ou alterar os dados de um material já existente.

- Definindo um material: para definir um material, basta clicar no botão <**Novo**> e os campos para a entrada dos dados referentes ao novo material tornam-se habilitados (ver **Figura 17**). Deve-se fornecer o nome do material e suas propriedades mecânicas, a saber: o módulo de elasticidade longitudinal (*E*), o módulo de elasticidade transversal (*G*), o coeficiente de Poisson (ν), e o coeficiente de dilatação térmica (α). Após fornecer estes dados, deve-se confirmá-los clicando no botão superior da janela <**OK**>.

- Alterando um material: para alterar os dados de um material já existente, basta selecioná-lo através de seu nome e clicar no botão <**Alterar**>. Os campos referentes aos dados do material tornam-se habilitados para edição. Após a alteração dos dados, deve-se confirmá-los clicando no botão superior da janela <**OK**>.

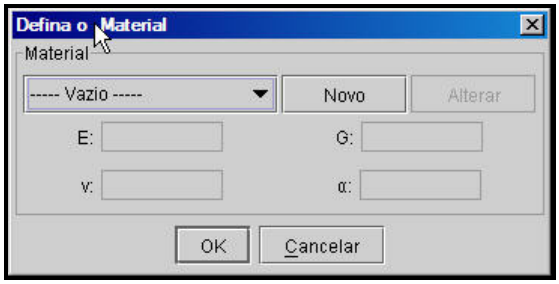


Figura 16 – Janela para definição dos materiais

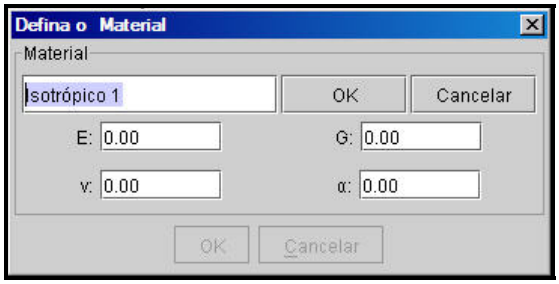


Figura 17 – Definição de um novo material

4.5. Lista de Seções Transversais

A lista de seções transversais refere-se à definição das seções transversais dos diversos elementos (ou barras) da estrutura. Ao clicar na opção do menu lateral <**Lista de Seções Transversais**> aparecerá a janela para definição das seções (ver **Figura 18**). Através desta janela,

pode-se definir uma nova seção transversal ou alterar os dados de uma seção transversal já existente.

- Definindo uma nova seção transversal: para definir uma nova seção transversal, basta clicar no botão <**Novo**> e os campos para a entrada dos dados referentes à nova seção tornam-se habilitados (ver **Figura 19**). Deve-se fornecer o nome da seção e suas propriedades geométricas, a saber: o momento polar de inércia (I_x), os momentos de inércia (I_y e I_z), a área da seção transversal (A), e a altura da seção transversal (h). Após fornecer estes dados, deve-se confirmá-los clicando no botão superior da janela <**OK**>.

- Alterando uma seção transversal: para alterar os dados de uma seção transversal já existente, basta selecioná-la através de seu nome e clicar no botão <**Alterar**>. Os campos referentes aos dados da seção tornam-se habilitados para edição. Após a alteração dos dados, deve-se confirmá-los clicando no botão superior da janela <**OK**>.

Figura 18 – Janela para definição das seções transversais

Figura 19 – Definição de uma nova seção transversal

4.6. Atributos Nodais

Os **atributos nodais** referem-se à definição das características dos nós da estrutura. Esta definição faz-se através da opção do menu lateral <**Atributos Nodais**>. Uma vez selecionada esta opção, deve-se selecionar o nó para o qual deseja-se definir os atributos. Deve-se ressaltar que, caso nenhum nó seja selecionado, o INSANE automaticamente seleciona todos os nós da

estrutura; consequentemente, todos os nós terão os mesmos atributos! Portanto, este “recurso” deve ser usado com bastante cautela.

A atribuição das características nodais pode ser feita através do menu superior <**Atributos ➢ Atributos Nodais**> (ver **Figura 20**) ou através da barra de ferramentas correspondente (ver **Figura 21**). Cada atributo nodal é descrito a seguir.

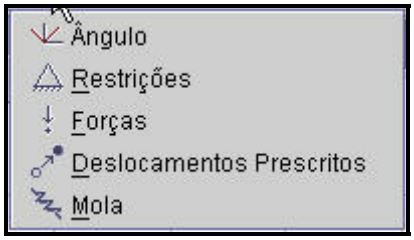


Figura 20 – Menu superior para definição dos atributos nodais

Figura 21 – Barra de ferramentas para definição dos atributos dos elementos

4.6.1. Ângulo

Normalmente, as restrições ou as liberações nos diversos apoios de uma estrutura ocorrem nas direções paralelas aos eixos X, Y e Z do sistema global da estrutura. Na ocorrência de **apoios inclinados**, isto é, apoios em direções inclinadas aos eixos da estrutura, como os ilustrados na **Figura 22**, o ângulo que define a orientação do apoio em relação aos eixos da estrutura deverá ser fornecido através do atributo nodal “**ângulo**”, da seguinte maneira:

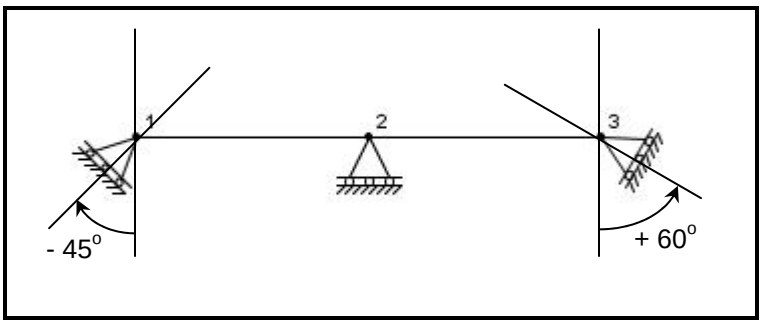


Figura 22 – Apoios inclinados

- Selecione o nó representado pelo apoio inclinado.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos Nodais ➢ Ângulo**>. A caixa de diálogo "**Defina o Ângulo do Nó**" aparecerá (ver **Figura 23**).
- Especifique o valor do ângulo (medido em graus) que define a orientação do apoio inclinado em relação aos eixos globais. Rotações de eixos no sentido anti-horário são positivas, rotações de eixos no sentido horário são negativas.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

Figura 23 – Atributos nodais: ângulo

4.6.2. Restrições

Restrições ou **sujeições** impostas pelo meio exterior à liberdade de deslocamento de pontos de uma estrutura são características dos nós que representam os apoios da estrutura. Cada apoio impõe à estrutura um certo número de vínculos ou restrições e o conjunto destes vínculos deve impedir que a estrutura sofra quaisquer deslocamentos de corpo rígido. Em outras palavras, o conjunto de restrições nodais deve ser tal que garanta a vinculação total (ou sujeição completa) da estrutura, podendo esta tornar-se isostática ou hiperstática. Cabe ressaltar que estruturas hipostáticas (com sujeição parcial ou incompleta) devem ser rigorosamente evitadas e portanto, não são analisadas pelo INSANE.

Para se especificar as restrições nodais em um determinado apoio, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o nó representado pelo apoio.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos Nodais ➢ Restrições**>. A caixa de diálogo "**Defina as Restrições Nodais**" aparecerá (ver **Figura 24**). Observe a notação usada para as restrições aos deslocamentos lineares (ou translações) nas direções dos eixos X, Y,e Z do sistema global (D_x, D_y, e D_z, respectivamente) e para as restrições aos deslocamentos angulares (ou rotações) em torno dos eixos X, Y, e Z do sistema global (R_x, R_y, e R_z, respectivamente).
- Marque a(s) restrição(ões) imposta(s) pelo apoio.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

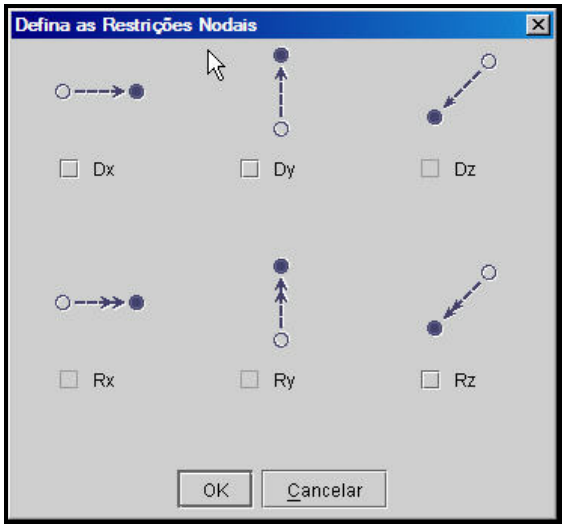


Figura 24 – Atributos nodais: restrições

4.6.3. Forças

Forças são características específicas dos nós que possuem esforços externos ativos diretamente aplicados a eles. Desta forma, o termo genérico "força" refere-se não somente a forças concentradas, mas também a momentos concentrados aplicados diretamente no nós da estrutura. Para se especificar as forças atuantes em um determinado nó, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o nó a ser carregado.

- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos Nodais ➢ Forças**>. A caixa de diálogo "**Defina as Forças Nodais**" aparecerá (ver **Figura 25**). Observe a notação usada para as forças concentradas nas direções dos eixos X, Y,e Z do sistema global (F_x, F_y, e F_z, respectivamente) e para os momentos concentrados em torno dos eixos X, Y, e Z do sistema global (M_x, M_y, e M_z, respectivamente).

- Especifique os valores da(s) força(s) e/ou do(s) momento(s) aplicado(a) diretamente no nó. Cabe ressaltar que estes valores devem ser especificados com os seus respectivos sinais, ou seja, sinal positivo quando a força ou o momento estiverem no sentido positivo do eixo global, e sinal negativo quando a força ou o momento estiverem no sentido negativo do eixo global.

- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

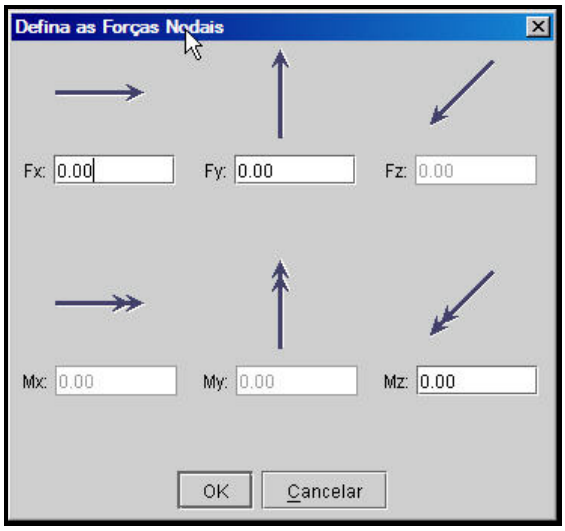


Figura 25 – Atributos nodais: forças

4.6.4. Deslocamentos Prescritos

Deslocamentos prescritos são deslocamentos conhecidos *a priori* nos apoios de uma estrutura. São também comumente chamados de **recalques de apoios**. Normalmente, os apoios de uma estrutura são supostos infinitamente rígidos e os seus deslocamentos são considerados nulos. Na realidade, nenhum apoio é totalmente rígido. Consequentemente, os apoios se deslocam quando solicitados e estes deslocamentos causam esforços adicionais na estrutura.

Os efeitos de deslocamentos prescritos dos apoios podem ser levados em consideração no INSANE fornecendo-se os seus valores através do atributo nodal "**deslocamentos prescritos**" da seguinte maneira:

- Selecione o nó representado pelo apoio com deslocamento prescrito.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos Nodais ➢ Deslocamentos Prescritos**>. A caixa de diálogo "**Defina os Deslocamentos Nodais Prescritos**" aparecerá (ver **Figura 26**). Observe a notação usada para os deslocamentos prescritos lineares (ou translações prescritas) nas direções dos eixos X, Y,e Z do sistema global (D_x, D_y, e D_z, respectivamente) e para os deslocamentos prescritos angulares (ou rotações prescritas) em torno dos eixos X, Y, e Z do sistema global (R_x, R_y, e R_z, respectivamente).
- Forneça o(s) valor(es) do(s) deslocamento(s) prescrito(s) do apoio.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

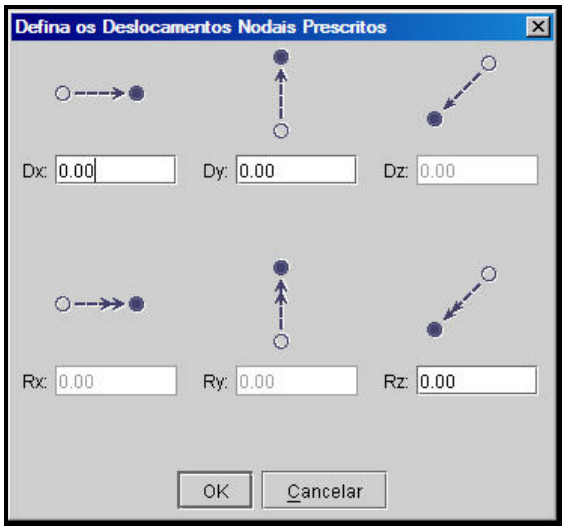


Figura 26 – Atributos nodais: deslocamentos prescritos

4.6.5. Mola

Uma estrutura pode apoiar-se em apoios rígidos ou elásticos. Os **apoios elásticos** são apoios que se deslocam quando solicitados. Conforme mencionado anteriormente, nenhum apoio é totalmente rígido. Entretanto, esta hipótese simplificadora é satisfatória na maioria das vezes e

apenas em casos especiais os apoios são considerados elásticos. Os apoios elásticos são representados por **molas**, conforme ilustrado na **Figura 27** (os nós 1 e 4 deste pórtico plano são engastes elásticos). Adicionalmente, considera-se que os apoios são linearmente elásticos, isto é, os deslocamentos nestes apoios são linearmente proporcionais aos esforços neles aplicados.

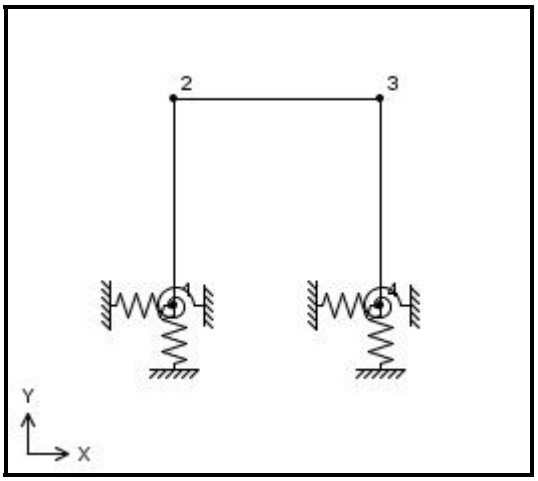


Figura 27 – Representação dos apoios elásticos

Para a análise de estruturas com apoios elásticos no INSANE deve-se fornecer as constantes de proporcionalidade características de cada apoio, normalmente referidas como **constantes das molas**, procedendo-se da seguinte maneira:

- Selecione o nó representado pelo apoio elástico.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos Nodais ➢ Molas**>. A caixa de diálogo "**Defina a Mola Nodal**" aparecerá (ver **Figura 28**). Observe a notação usada para as constantes de mola para deslocamentos lineares (ou translações) nas direções dos eixos X, Y,e Z do sistema global (K_x, K_y, e K_z, respectivamente) e para as constantes de mola para deslocamentos angulares (ou rotações) em torno dos eixos X, Y, e Z do sistema global (K_{rx}, K_{ry}, e K_{rz}, respectivamente).
- Forneça o(s) valor(es) da(s) constante(s) da(s) mola(s) no apoio.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

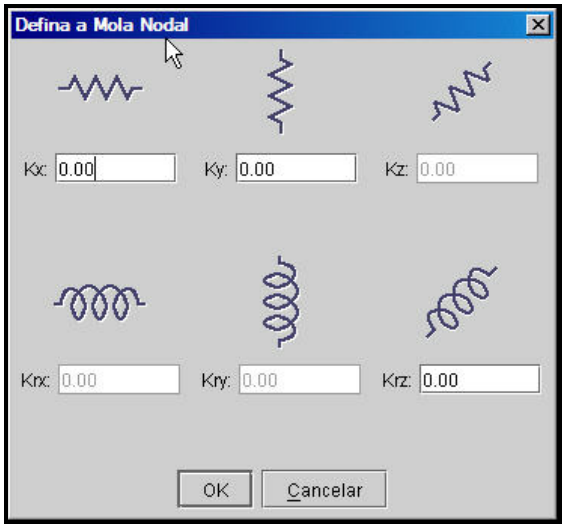


Figura 28 – Atributos nodais: mola

4.7. Atributos dos Elementos

Os **atributos dos elementos** referem-se à definição das características dos elementos da estrutura. Esta definição faz-se através da opção do menu lateral <**Atributos dos Elementos**>. Uma vez selecionada esta opção, deve-se selecionar o elemento para o qual deseja-se definir os atributos. Deve-se ressaltar que, caso nenhum elemento seja selecionado, o INSANE automaticamente seleciona todos os elementos da estrutura; consequentemente, todos os elementos terão os mesmos atributos! Portanto, este "recurso" deve ser usado com bastante cautela.

A atribuição das características dos elementos pode ser feita através do menu superior <**Atributos ➢ Atributos dos Elementos**> (ver **Figura 29**) ou através da barra de ferramentas correspondente (ver **Figura 30**). Cada atributo de elemento é descrito a seguir.

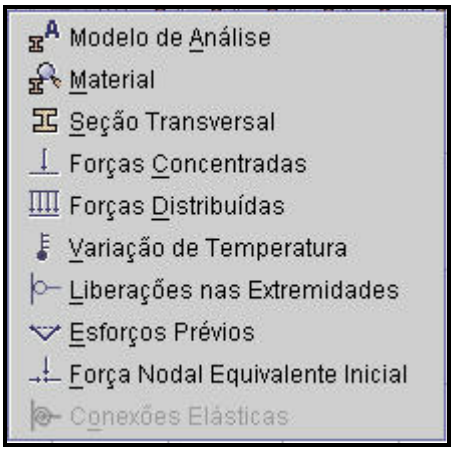


Figura 29 – Menu superior para definição dos atributos dos elementos

Figura 30 – Barra de ferramentas para definição dos atributos dos elementos

4.7.1. Modelo de Análise

O modelo de análise refere-se ao tipo de modelo estrutural atribuído ao elemento. Conforme já mencionado, estão implementados os seguintes modelos na versão 1.1 do INSANE: viga, pórtico plano, treliça plana, e grelha.

Para se definir o **modelo de análise** do elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Modelo de Análise**>. A caixa de diálogo "**Defina o Modelo de Análise**" aparecerá (ver **Figura 31**).
- Especifique o modelo de análise selecionando o modelo na caixa de opções (ver **Figura 32**).
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

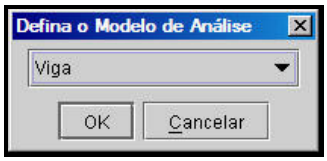


Figura 31 – Janela para definição do modelo de análise do elemento

Figura 32 – Modelos de análise de elemento implementados no INSANE 1.1

4.7.2. Material

Para se definir o **material** do elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Material**>. A caixa de diálogo "**Defina o Material**" aparecerá (ver **Figura 33**).
- Especifique o material selecionando o material na caixa de opções.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

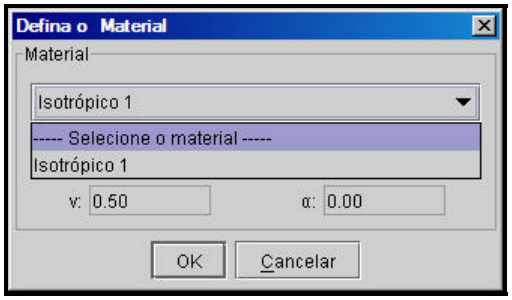


Figura 33 – Atributos do elemento: material

4.7.3. Seção Transversal

Para se definir a **seção transversal** do elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Seção Transversal**>. A caixa de diálogo "**Defina a Seção Transversal**" aparecerá (ver **Figura 34**).
- Especifique a seção transversal selecionando a seção na caixa de opções.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

Figura 34 – Atributos do elemento: seção transversal

4.7.4. Forças Concentradas

O termo "força" é empregado aqui como "força generalizada", isto é, uma **força concentrada** pode ser tanto uma força propriamente dita quanto um momento (ou binário) aplicados diretamente num determinado ponto do elemento.

Para se definir forças concentradas num elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Forças Concentradas**>. A caixa de diálogo "**Defina as Forças Concentradas**" aparecerá (ver **Figura 35**).
- Selecione o botão <**Novo**> para se criar uma nova força concentrada.
- Especifique a distância <**A**> do nó inicial da barra ao ponto de aplicação da força concentrada. Observe que o comprimento do elemento é apresentado ao lado do campo para especificação da distância <**A**>.
- Especifique as componentes da força e/ou do momento concentrados neste ponto. Lembre-se que os sinais destas componentes são relativos ao sistema local do elemento em questão.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.
- Repita este procedimento para quaisquer outros pontos do elemento que possuam forças concentradas diretamente aplicadas a eles.

Figura 35 – Atributos do elemento: forças concentradas

4.7.5. Forças Distribuídas

O termo "força" é empregado aqui como "força generalizada", isto é, uma força distribuída pode ser tanto uma força distribuída propriamente dita quanto um momento (ou binário) distribuído ao longo de um trecho de um determinado elemento. Para se definir forças concentradas num elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Forças Distribuídas**>. A caixa de diálogo "**Defina as Forças Distribuídas**" aparecerá (ver **Figura 36**).
- Selecione o botão <**Novo**> para se criar uma nova força distribuída.
- Especifique a distância <**A**> do nó inicial da barra ao ponto inicial do trecho da força distribuída e a distância <**B**> do nó inicial da barra ao ponto final do trecho da força distribuída. Observe que o INSANE assume inicialmente que o trecho da força distribuída corresponde ao comprimento total do elemento.
- Especifique as componentes da força e/ou do momento distribuído no ponto A e no ponto B. Observe que, dependendo do modelo de análise, alguns campos não são habilitados para edição. Lembre-se também que os sinais destas componentes são relativos ao sistema local do elemento em questão.

- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.
- Repita este procedimento para quaisquer outros trechos do elemento que possuam forças distribuídas ao longo de seu comprimento.

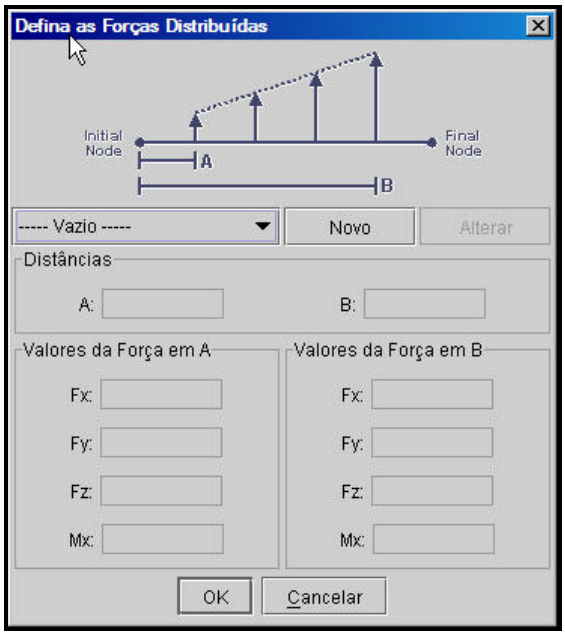


Figura 36 – Atributos do elemento: forças distribuídas

4.7.6. Variação de Temperatura

Variação de temperatura é uma importante ação que costuma ocorrer nas estruturas. Estruturas isostáticas não oferecem restrições aos efeitos de uma variação de temperatura (seja uma expansão, seja uma contração térmica). Consequentemente, os deslocamentos devidos a deformações causadas pela variação de temperatura não estão impedidos e esta ação não provoca esforços internos nas estruturas isostáticas. Por outro lado, esforços solicitantes surgem em estruturas hiperstáticas por apresentarem vínculos superabundantes capazes de restringir deslocamentos devido a deformações, incluindo deformações oriundas de uma variação de temperatura na estrutura.

Dependendo de como a variação de temperatura ocorre ao longo da altura da seção transversal do elemento, pode-se considerar dois tipos de variação de temperatura, a saber:

- **Variação uniforme de temperatura**: ocorre quando a variação de temperatura é constante ao longo da altura da seção transversal. Neste caso, as temperaturas na face superior (**T_s**), na face inferior (**T_i**), e na linha neutra (**T_n**) são iguais.

- **Variação linear de temperatura**: ocorre quando a variação de temperatura segue uma lei linear ao longo da altura da seção transversal. Neste caso, as temperaturas na face superior (**T_s**), na face inferior (**T_i**), e na linha neutra (**T_n**) são diferentes porém, seguem uma lei linear. Ressalta-se que podem ocorrer casos onde a variação de temperatura na linha neutra é nula.

Para se definir uma variação de temperatura num elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Variação de Temperatura**>. A caixa de diálogo "**Defina a Variação de Temperatura**" aparecerá (ver **Figura 37**).
- Especifique a variação de temperatura na face superior da seção transversal <**T_s**>.
- Especifique a variação de temperatura linha neutra da seção transversal <**T_n**>.
- Especifique a variação de temperatura na face inferior da seção transversal <**T_i**>.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

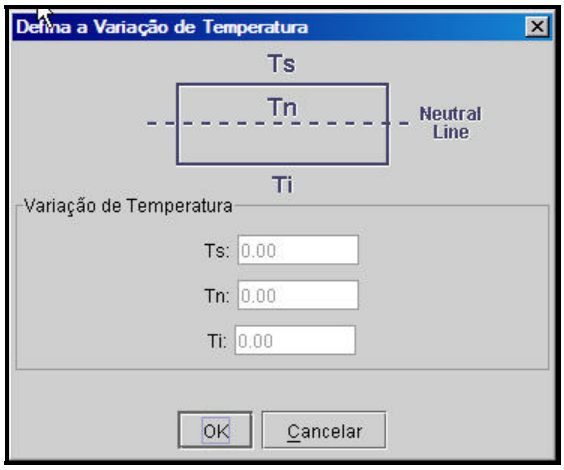


Figura 37 – Atributos do elemento: variação de temperatura

4.7.7. Liberação nas Extremidades

Liberação nas extremidades de um elemento diz respeito à "incapacidade de uma barra em transmitir, seja para um apoio ou um nó, um ou mais tipos de esforços. Esta incapacidade indica, obviamente, a inexistência de vínculos correspondentes aos esforços não transmitidos; é usual dizer-se que a barra está, no ponto considerado, liberada de um ou mais vínculos ou, o que é a mesma coisa, liberada "da obrigação" de transmitir certos tipos de esforços (Filho, 1986, p.3)."

A **Figura 38** ilustra os símbolos que são empregados para se representar as liberações nas extremidades de um elemento no INSANE:

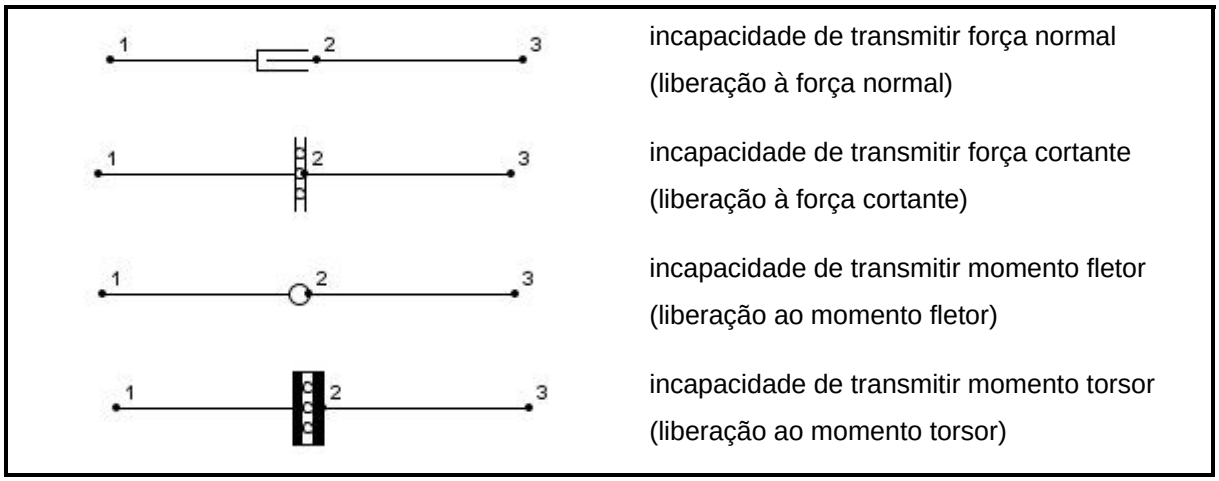


Figura 38 – Símbolos para liberações nas extremidades do elemento

Para se definir liberações nas extremidades de um elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Liberação nas Extremidades**>. A caixa de diálogo "**Defina as Liberações nas Extremidades**" aparecerá (ver **Figura 39**).
- Selecione as liberações existentes no nó inicial da barra, clicando na "caixa" correspondente.
- Selecione as liberações existentes no nó final da barra, clicando na "caixa" correspondente.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

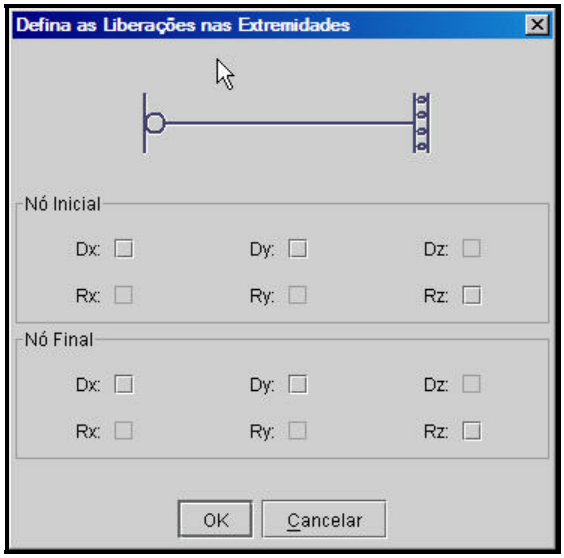


Figura 39 – Atributos do elemento: liberação nas extremidades

4.7.8. Esforços Prévios

Em determinadas circunstâncias, algumas barras de uma estrutura, no momento da sua montagem, podem ser submetidas a **esforços prévios** (também conhecidos como **pré-esforços**) necessários, seja para corrigir um erro de fabricação (por exemplo, uma barra fabricada com um comprimento ligeiramente maior que o especificado em projeto), seja para atender a um interesse estrutural específico (por exemplo, aplicar uma contra-flecha à barra).

Para se definir os esforços prévios nas extremidades de um elemento, proceda da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Esforços Prévios**>. A caixa de diálogo "**Defina os Esforços Prévios**" aparecerá (ver **Figura 40**).
- Especifique os esforços prévios no nó inicial e no nó final. Observe que, dependendo do modelo de análise, alguns campos não são habilitados para edição. Lembre-se também que os sinais destes esforços são relativos ao sistema local do elemento em questão.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

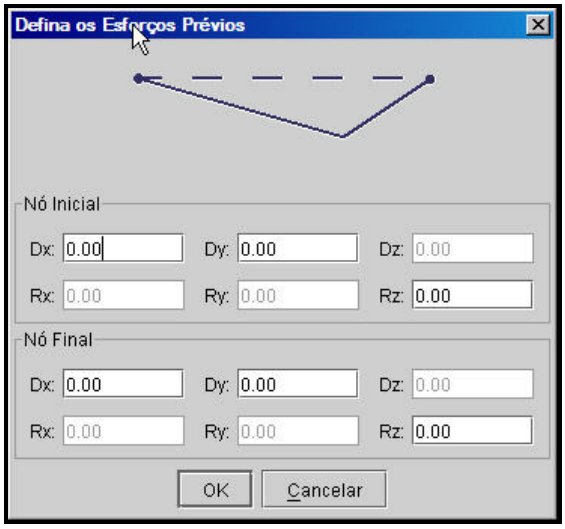


Figura 40 – Atributos do elemento: esforços prévios

4.7.9. Força Nodal Equivalente Inicial

Na eventual ocorrência de algum atributo de elemento que não esteja previsto nos casos anteriormente descritos, pode-se calcular manualmente as **forças nodais equivalentes** nos nós inicial e final, e especificá-los da seguinte maneira:

- Selecione o elemento.
- Selecione a opção <**Atributos ➢ Atributos do Elemento ➢ Força Nodal Equivalente Inicial**>. A caixa de diálogo "**Defina as Forças Nodais Equivalentes Iniciais**" aparecerá (ver **Figura 41**).
- Especifique as forças nodais equivalentes no nó inicial e no nó final. Observe que, dependendo do modelo de análise, alguns campos não são habilitados para edição. Lembre-se também que os sinais destas forças são relativos ao sistema local do elemento em questão.
- Clique no botão <**OK**> para confirmar os dados fornecidos.

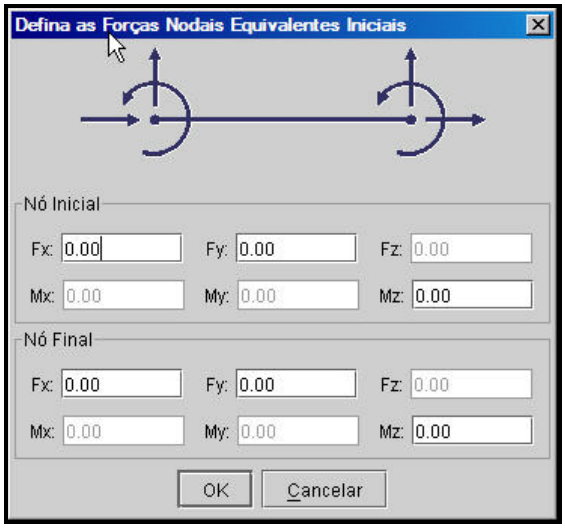


Figura 41 – Atributos do elemento: força nodal equivalente inicial

4.7.10. Conexões Elásticas

Este atributo de elemento não se encontra implementado na versão 1.1 do INSANE.

5. Etapa do Processador

A etapa do processamento, realizada pelo **Processador**, consiste na análise propriamente dita da estrutura, ou seja, o cálculo das reações de apoio, a determinação dos esforços nas extremidades de cada elemento, a determinação dos esforços solicitantes e seus respectivos diagramas para a estrutura completa, o cálculo dos deslocamentos nodais, etc..

O INSANE prevê o processamento interativo ou automático da estrutura. O **processamento interativo** permite que o usuário acompanhe cada fase da análise. Em outras palavras, os cálculos das diversas fases da análise são transparentes ao usuário, permitindo a ele a visualização dos resultados parciais da análise. O modo interativo não se encontra disponível na versão 1.1 do INSANE. O **processamento automático** não é transparente ao usuário. Desta forma, ele apresenta somente os resultados finais da análise.

O processamento automático da estrutura pode ser feito através do menu superior <**Processador** ➢ **Automático**> (ver **Figura 42**) ou através da barra de ferramentas correspondente (ver **Figura 43**).

Figura 42 – Processador: menu processador automático

Figura 43 – Processador: barra de ferramenta processador automático

O processamento automático consiste de duas etapas:

- **Verificar Dados**: nesta etapa, o INSANE verifica a consistência da entrada dos dados e o resultado desta verificação é apresentado na janela <**Resultado da Verificação de Dados**>. Se os dados estiverem consistentes (o que não quer dizer corretos), o INSANE apresenta a mensagem mostrada na **Figura 44**. Caso contrário, o INSANE lista os erros encontrados conforme ilustrado na **Figura 45**. Neste último caso, caberá ao usuário proceder à correção destes erros manualmente.

Figura 44 – Resultado da verificação de dados – dados consistentes

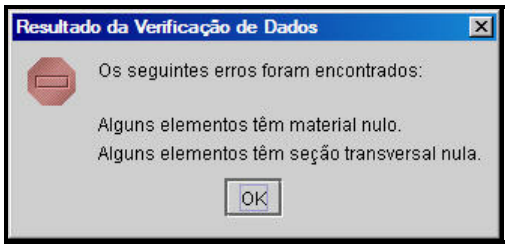


Figura 45 – Resultado da verificação de dados – dados inconsistentes

- **Analisar Modelo**: nesta etapa, o INSANE realiza a análise completa da estrutura, baseando-se no modelo de análise global especificado na etapa do pré-processamento. O INSANE informa ainda, no lado inferior da sua janela, acima da sua linha de comando, que o modelo foi analisado com sucesso, e apresenta o tempo total gasto para esta análise.

6. Etapa do Pós-Processador

A etapa do pós-processamento, realizada pelo **Pós-Processador**, consiste na apresentação dos resultados da análise da estrutura. Estes resultados podem ser visualizados na tela do INSANE ou impressos, através de um relatório no formato PDF. As opções de resultados são descritas a seguir.

6.1. Reações

Para visualizar as **reações de apoio** na tela do INSANE, selecione a opção <**Reações**> no menu lateral do pós-processador. Os vetores representativos das reações de apoio aparecerão na estrutura, destacados em vermelho, indicando a direção e o sentido de cada reação. O valor numérico da intensidade destas reações não é apresentado. A **Figura 46** ilustra esta visualização para as reações de apoio de um pórtico plano triarticulado.

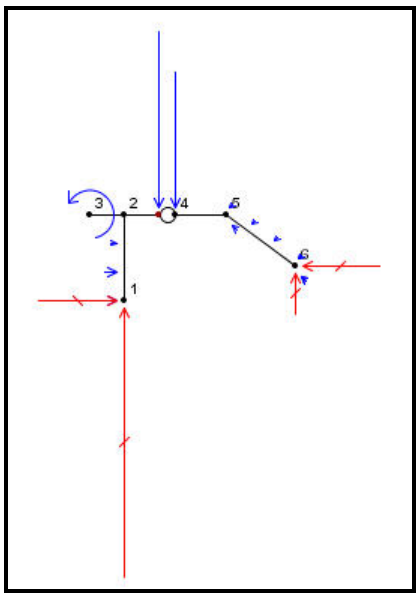


Figura 46 – Pós-processador: reações

6.2. Diagramas

O INSANE apresenta tanto os **diagramas de esforços solicitantes** quanto os **diagramas de deslocamento**s correspondentes para cada modelo de análise da estrutura. Para visualizar os diagramas na tela do INSANE, selecione a opção <**Diagramas**> no menu lateral do pós-processador. A barra de ferramentas para os diagramas de esforços solicitantes (ver **Figura 47**) e a barra de ferramentas para os diagramas de deslocamentos (ver **Figura 48**) aparecerão junto ao menu superior. Observe que as opções habilitadas nestas barras são consistentes com o modelo de análise especificado para a estrutura.

Figura 47 – Pós-processador: barra de ferramentas <diagramas de esforços solicitantes>	**Figura 48 – Pós-processador: barra de ferramentas <diagramas de deslocamentos>**

- **Diagramas de Esforços Solicitantes**:

Para visualizar o diagrama de um determinado esforço solicitante, basta clicar no botão correspondente da barra de ferramentas. Para cancelar a visualização deste diagrama, clique novamente neste botão. A seguinte notação para os esforços solicitantes é usada pelo INSANE:

- **F_x**: diagrama de força normal na direção do eixo X local do elemento
- **F_y**: diagrama de força cortante na direção do eixo Y local do elemento
- **F_z**: diagrama de força cortante na direção do eixo Z local do elemento
- **M_x**: diagrama de momento torsor na direção do eixo X local do elemento
- **M_y**: diagrama de momento fletor na direção do eixo Y local do elemento
- **M_z**: diagrama de momento fletor na direção do eixo Z local do elemento

As **Figuras 49a, 49b e 49c** ilustram os diagramas dos esforços solicitantes de um pórtico triarticulado.

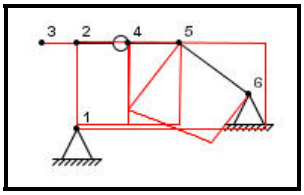


Figura 49a – Pós-processador: diagrama de força normal

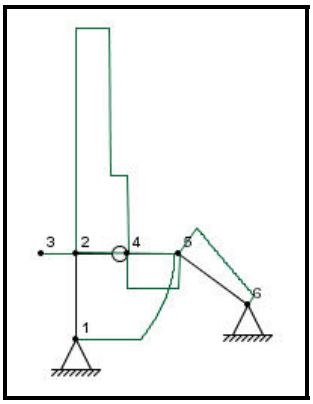


Figura 49b – Pós-processador: diagrama de força cortante

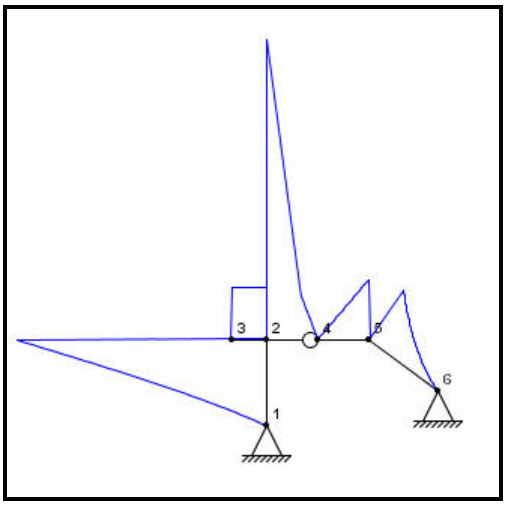


Figura 49c – Pós-processador: diagrama de momento fletor

- **Diagramas de Deslocamentos**:

Para visualizar o diagrama de um determinado deslocamento, basta clicar no botão correspondente da barra de ferramentas. Para cancelar a visualização deste diagrama, clique novamente neste botão. A seguinte notação para os deslocamentos é usada pelo INSANE:

- **D_x**: diagrama de deslocamento linear na direção do eixo X global da estrutura
- **D_y**: diagrama de deslocamento linear na direção do eixo Y global da estrutura
- **D_z**: diagrama de deslocamento linear na direção do eixo Z global da estrutura
- **R_x**: diagrama de deslocamento angular em torno do eixo X global da estrutura
- **R_y**: diagrama de deslocamento angular em torno do eixo Y global da estrutura
- **R_z**: diagrama de deslocamento angular em torno do eixo Z global da estrutura

As **Figuras 50a, 50b e 50c** ilustram os diagramas dos deslocamentos de um pórtico triarticulado.

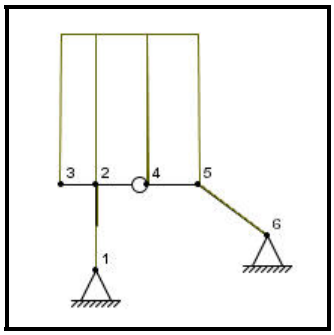


Figura 50a – Pós-processador: diagrama de deslocamento Dx

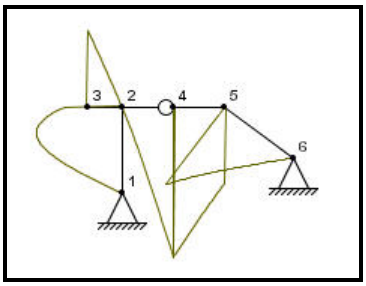


Figura 50b – Pós-processador: diagrama de deslocamento Dy

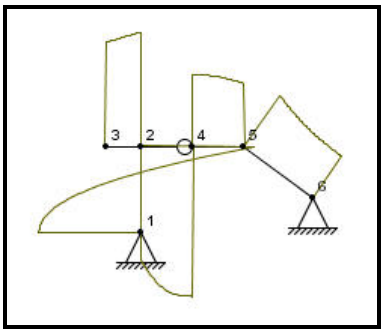


Figura 50c – Pós-processador: diagrama de deslocamento Rz

6.3. Deformada

Para visualizar a estrutura deformada na tela do INSANE, selecione a opção <**Deformada**> no menu lateral do pós-processador. As linhas representativas dos elementos no estado deformado aparecerão em verde. A **Figura 51** ilustra esta visualização para a deformada de um pórtico triarticulado.

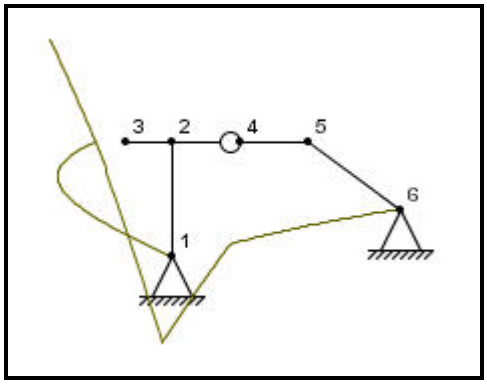


Figura 51 – Pós-processador: deformada

6.4. Relatório

O INSANE emite um relatório no qual são apresentados os dados de entrada e os dados de saída, isto é, os resultados do processamento da estrutura. Os **dados de entrada** incluem os atributos do modelo (número de nós, número de elementos, número de materiais, número de seções transversais, modelo de análise global, número de equações e número de restrições), a lista de materiais, a lista de seções transversais, as coordenadas nodais e ângulo nodal, os atributos dos elementos, as restrições nodais, as cargas nodais, as cargas concentradas nos elementos, as cargas distribuídas nos elementos, entre outros. Os **dados de saída** incluem os deslocamentos nodais, as reações dos apoios e as ações nas extremidades dos elementos.

Para visualizar o relatório na tela do INSANE, selecione a opção <**Relatório**> no menu laterial do pós-processador. Em seguida, selecione a opção <**Relatório ➢ Exibir Relatório**> do menu superior (ver **Figura 52**) ou clique na barra de ferramentas <**Exibir Relatório**> (ver **Figura 53**).

Figura 52 – Pós-processador: menu <relatório>

Figura 53 – Pós-processador: barra de ferramentas <relatório>

Alternativamente, o INSANE permite a exportação deste relatório para um arquivo no formato PDF. Para criar este arquivo, selecione a opção <**Arquivo ➢ Exportar➢ Arquivo PDF** > do menu superior (ver **Figura 54**).

Figura 54 – Pós-processador: menu <Arquivo ➢ Exportar>

7. Exemplos

Serão apresentados, a seguir, alguns exemplos estruturas planas processadas pelo INSANE.

7.1. Pórtico Plano

Processar o pórtico plano apresentado na **Figura 55**, sendo dados:

- Módulo de elasticidade do material $E = 21 \times 10^6$ kN/m^2
- Coeficiente de Poisson do material $\nu = 0,5$
- Seção transversal dos elementos
  - Barra vertical (25 x 40) cm^2 Área = 0,10 m^2
    Momento de inércia = 0,001333 m^4
  - Demais barras (25 x 60) cm^2 Área = 0,15 m^2
    Momento de inércia = 0,005 m^4

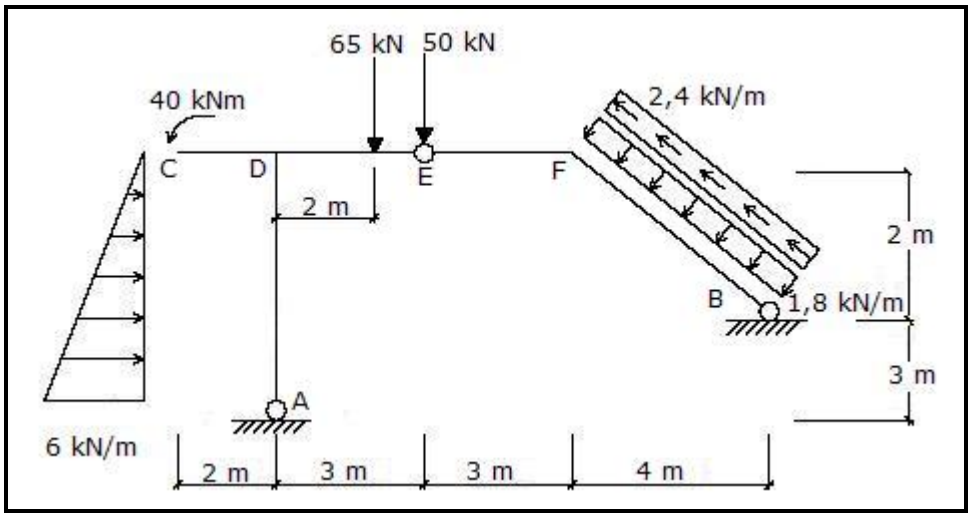


Figura 55 – Exemplo: pórtico plano

O relátorio do INSANE é apresentado a seguir.

RELATÓRIO INSANE

Arquivo: portico_aula.isn
Data: 14/09/2006
Hora: 08:30:13

Departamento de Engenharia de Estruturas

Atributos do Modelo

Número de Nós:	6
Número de Elementos:	5
Número de Materiais:	1
Número de Seções Transversais:	2
Modelo de Análise Global:	Pórtico Plano
Processado:	Sim
Número de Equações:	14
Número de Restrições:	4

Página 1 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment portico_aula.isn

Dados de Entrada

Lista de Materiais

Material	E	G	Poisson
Isotrópico 1	2.100E07	7.000E06	0.50

Lista de Seções Transversais

Seção Transversal	Iz	Área
Seção 1	1.333E-03	0.100
Seção 2	5.000E-03	0.150

Coordenadas Nodais e Ângulo Nodal

Nó	X	Y	Z	Ângulo
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	5.000	0.000	0.000
3	-2.000	5.000	0.000	0.000
4	3.000	5.000	0.000	0.000
5	6.000	5.000	0.000	0.000
6	10.000	2.000	0.000	0.000

Atributos dos Elementos

Elemento	Nó Inicial	Nó Final	Material	Seção Transversal	Modelo de Análise
1-2	1	2	Isotrópico 1	Seção 1	Pórtico Plano
2-3	2	3	Isotrópico 1	Seção 2	Pórtico Plano
2-4	2	4	Isotrópico 1	Seção 2	Pórtico Plano
4-5	4	5	Isotrópico 1	Seção 2	Pórtico Plano
5-6	5	6	Isotrópico 1	Seção 2	Pórtico Plano

Restrições Nodais

Nó	Dx	Dy	Rz
1	true	true	false
6	true	true	false

Cargas Nodais

Página 2 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment portico_aula.isn

Nó	Fx	Fy	Mz
3	0.0	0.0	40.0
4	0.0	-60.0	0.0

Cargas Concentradas nos Elementos

Elemento	A	Fx	Fy	My
2-4	2.000	0.000	-65.000	0.000

Cargas Distribuidas nos Elementos

			Força em A		Força em B	
Elemento	A	B	Fx	Fy	Fx	Fy
1-2	0.000	5.000	0.000	-8.000	0.000	0.000
5-6	0.000	5.000	-2.400	0.000	-2.400	0.000
5-6	0.000	5.000	0.000	-1.800	0.000	-1.800

Liberações nas Extremidades dos Elementos

	Nó Inicial			Nó Final		
Elemento	Dx	Dy	Rz	Dx	Dy	Rz
2-4	false	false	false	false	false	true

Dados de Saída

Deslocamentos Nodais

Nó	Dx	Dy	Rz
1	0.000E00	0.000E00	7.581E-03
2	-1.208E-02	-2.369E-04	-8.680E-03
3	-1.208E-02	1.616E-02	-7.819E-03
4	-1.213E-02	-3.182E-02	5.387E-03
5	-1.217E-02	-1.633E-02	4.722E-03
6	0.000E00	0.000E00	3.793E-03

Reações nos Apoios Inelásticos

Nó	Fx	Fy	Mz
1	28.683	98.489	0.000

Página 3 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment portico_aula.isn

Nó	Fx	Fy	Mz
6	-28.693	16.511	0.000

Ações nas Extremidades dos Elementos

	Nó Inicial			Nó Final		
Elemento	Fx	Fy	Mz	Fx	Fy	Mz
1-2	99.489	-28.693	0.000	-99.489	43.693	-193.466
2-3	-0.000	0.000	-40.000	0.000	-0.000	40.000
2-4	43.693	99.489	233.466	-43.693	-34.489	0.000
4-5	43.693	-16.511	-0.000	-43.693	16.511	-46.634
5-6	44.261	13.807	46.634	-32.261	-4.807	-0.000

Página 4 de 4

7.2. Treliça Plana

Processar a treliça plana apresentada na **Figura 56**, sendo dados:

- Módulo de elasticidade do material E = 2100 tf/cm^2
- Coeficiente de Poisson do material ν = 0,5
- Seção transversal dos elementos
  - o Todas as barras Área = 12 cm^2

    Momento de inércia = 25 m^4

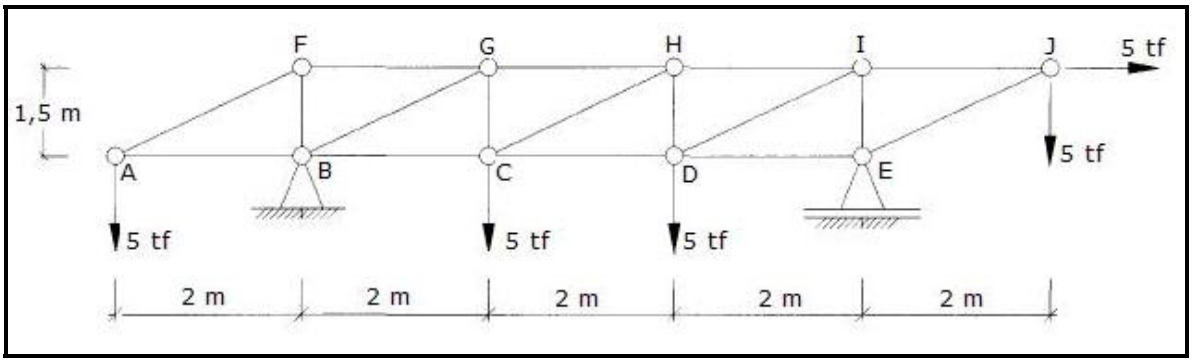


Figura 56 – Exemplo: treliça plana

O relátorio do INSANE é apresentado a seguir.

RELATÓRIO INSANE

Arquivo: TP9_Treliça Plana.lsn
Data: 09/05/2008
Hora: 12:45:50

Departamento de Engenharia de Estruturas

Atributos do Modelo

Número de Nós:	10
Número de Elementos:	17
Número de Materiais:	1
Número de Seções Transversais:	1
Modelo de Análise Global:	Treliça Plana
Processado:	Sim
Número de Equações:	17
Número de Restrições:	3

Página 1 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment TP9_Treliça Plana.isn

Dados de Entrada

Lista de Materiais

Material	E	G	Poisson
Material Qualquer	2.100E07	7.000E06	0.50

Lista de Seções Transversais

Seção Transversal	Iz	Área
Seção	2.500E-07	0.001

Coordenadas Nodais e Ângulo Nodal

Nó	X	Y	Z	Ângulo
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	2.000	0.000	0.000	0.000
3	4.000	0.000	0.000	0.000
4	6.000	0.000	0.000	0.000
5	8.000	0.000	0.000	0.000
6	2.000	1.500	0.000	0.000
7	4.000	1.500	0.000	0.000
8	6.000	1.500	0.000	0.000
9	8.000	1.500	0.000	0.000
10	10.000	1.500	0.000	0.000

Atributos dos Elementos

Elemento	Nó Inicial	Nó Final	Material	Seção Transversal	Modelo de Análise
1-2	1	2	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
2-3	2	3	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
3-4	3	4	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
4-5	4	5	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
2-6	2	6	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
3-7	3	7	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
4-8	4	8	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana

Página 2 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment TP9_Treliça Plana.isn

Elemento	Nó Inicial	Nó Final	Material	Seção Transversal	Modelo de Análise
5-9	5	9	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
1-6	1	6	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
2-7	2	7	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
3-8	3	8	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
4-9	4	9	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
9-10	9	10	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
5-10	5	10	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
8-9	8	9	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
7-8	7	8	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana
6-7	6	7	Material Qualquer	Seção	Treliça Plana

Restrições Nodais

Nó	Dx	Dy
2	true	true
6	false	true

Cargas Nodais

Nó	Fx	Fy
1	0.0	-5.0
3	0.0	-5.0
4	0.0	-5.0
10	5.0	-5.0

Dados de Saída

Deslocamentos Nodais

Nó	Dx	Dy
1	5.291E-04	-2.609E-03
2	0.000E00	0.000E00

Página 3 de 4

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment TP9_Treliça Plana.isn

Nó	Dx	Dy
3	2.648E-04	-1.734E-03
4	3.988E-04	-1.817E-03
5	-1.323E-04	0.000E00
6	-1.708E-04	-2.878E-04
7	3.582E-04	-1.611E-03
8	4.906E-04	-1.681E-03
9	7.561E-04	-3.720E-04
10	1.681E-03	-3.788E-03

Reações nos Apoios Inelásticos

Nó	Fx	Fy
2	-5.000	8.750
5	0.000	11.250

Ações nas Extremidades dos Elementos

	Nó Inicial		Nó Final	
Elemento	Fx	Fy	Fx	Fy
1-2	6.667	0.000	-6.667	0.000
2-3	-3.333	0.000	3.333	0.000
3-4	-1.667	0.000	1.667	0.000
4-5	6.667	0.000	-6.667	0.000
2-6	5.000	0.000	-5.000	0.000
3-7	-3.750	0.000	3.750	0.000
4-8	1.250	0.000	-1.250	0.000
5-9	6.250	0.000	-6.250	0.000
1-6	-8.333	0.000	8.333	0.000
2-7	6.250	0.000	-6.250	0.000
3-8	-2.083	0.000	2.083	0.000
4-9	-10.417	0.000	10.417	0.000
9-10	-11.667	0.000	11.667	0.000
5-10	8.333	0.000	-8.333	0.000
6-9	-3.333	0.000	3.333	0.000
7-8	-1.667	0.000	1.667	0.000
6-7	-6.667	0.000	6.667	0.000

Página 4 de 4

7.3. Grelha

Processar a grelha sobre três apoios apresentada na **Figura 57**, sendo dados:

- Módulo de elasticidade do material E = 210 kN/cm^2
- Coeficiente de Poisson do material ν = 0,5
- Seção transversal dos elementos
  - o Todas as barras Momento polar de inércia = 0,0020 m^4

    Momento de inércia = 0,0050 m^4

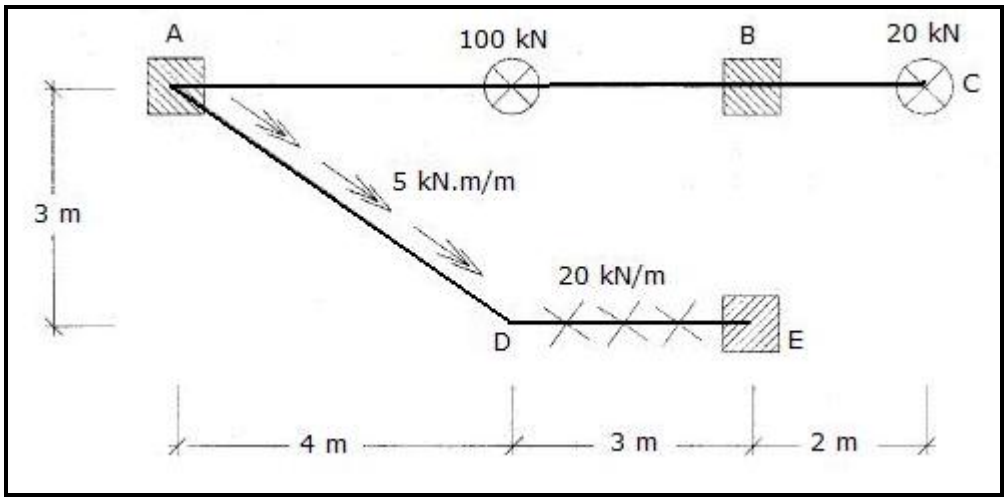


Figura 57 – Exemplo: grelha

O relátorio do INSANE é apresentado a seguir.

RELATÓRIO INSANE

Arquivo: TP9_Grelha.isn
Data: 09/05/2008
Hora: 12:25:54

Departamento de Engenharia de Estruturas

Atributos do Modelo

Número de Nós:	5
Número de Elementos:	4
Número de Materiais:	1
Número de Seções Transversais:	1
Modelo de Análise Global:	Grelha
Processado:	Sim
Número de Equações:	12
Número de Restrições:	3

Página 1 de 3

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment TP9_Grelha.isn

Dados de Entrada

Lista de Materiais

Material	E	G	Poisson
Material Qualquer	2.100E08	7.000E06	0.50

Lista de Seções Transversais

Seção Transversal	Ix	Iz
Seção	2.000E-03	6.000E-03

Coordenadas Nodais e Ângulo Nodal

Nó	X	Y	Z	Ângulo
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	4.000	0.000	-3.000	0.000
3	7.000	0.000	-3.000	0.000
4	7.000	0.000	0.000	0.000
5	8.000	0.000	0.000	0.000

Atributos dos Elementos

Elemento	Nó Inicial	Nó Final	Material	Seção Transversal	Modelo de Análise
1-2	1	2	Material Qualquer	Seção	Grelha
2-3	2	3	Material Qualquer	Seção	Grelha
1-4	1	4	Material Qualquer	Seção	Grelha
4-5	4	5	Material Qualquer	Seção	Grelha

Restrições Nodais

Nó	Dy	Rx	Rz
1	true	false	false
3	true	false	false
4	true	false	false

Cargas Nodais

Nó	Fy	Mx	Mz
5	20.0	0.0	0.0

Página 2 de 3

INSANE - Interactive Structural Analysis Environment TP9_Grelha.isn

Cargas Concentradas nos Elementos

Elemento	A	Fy	Mx	My
1-4	4.000	100.000	0.000	0.000

Cargas Distribuidas nos Elementos

			Força em A		Força em B	
Elemento	A	B	Fy	Mx	Fy	Mx
1-2	0.000	6.000	0.000	6.000	0.000	6.000
2-3	0.000	3.000	20.000	0.000	20.000	0.000

Dados de Saída

Deslocamentos Nodais

Nó	Dy	Rx	Rz
1	0.000E00	2.900E-01	-1.084E-02
2	6.948E-01	4.843E-01	-2.190E-01
3	0.000E00	4.843E-01	-2.380E-01
4	0.000E00	2.900E-01	-4.181E-03
5	-3.303E-03	2.900E-01	-3.817E-04

Reações nos Apoios Inelásticos

Nó	Fy	Mx	Mz
1	-62.143	0.000	0.000
3	-86.667	0.000	0.000
4	-81.190	0.000	0.000

Ações nas Extremidades dos Elementos

	Nó Inicial			Nó Final		
Elemento	Fy	Mx	Mz	Fy	Mx	Mz
1-2	6.667	-91.000	121.333	-6.667	66.000	-88.000
2-3	6.667	0.000	110.000	-86.667	-0.000	0.000
1-4	-68.810	-0.000	-151.667	-41.190	0.000	40.000
4-5	-20.000	0.000	-40.000	20.000	0.000	0.000

Página 3 de 3

8. Bibliografia

- Filho, A. V., Teoria das Estruturas: Método dos Deslocamentos - Processo de Cross – Tabelas, Belo Horizonte: Escola de Engenharia – UFMG, 1986
- Rodrigues, E. B. P., Notas de Aula: Aula sobre o INSANE, Belo Horizonte: Escola de Engenharia – UFMG, 2005.
- Gere, J. M., and Weaver Jr., W., Análise de Estruturas Reticuladas, Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A., 1981.