

---

# *Método dos Elementos Finitos 2D*

## *Tutorial da Interface dos Programas GiD e xFram*

---

Prof. Dr. Edgard S Almeida Neto, 23/09/2018  
Escola Politécnica da USP

### Índice

---

1	Instalação dos Programas .....	1
2	Modelo Físico .....	2
3	Construção do Modelo Sólido no programa GiD .....	3
3.1	Criação de pontos .....	3
3.2	Traçado das linhas do contorno externo .....	4
3.3	Traçado dos arcos formando o buraco circular .....	4
3.4	Definição da superfície NURBS .....	5
4	Geração de Dados para o Programa xFram .....	5
4.1	Deslocamentos impostos aos pontos ou às linhas do modelo .....	7
4.2	Forças concentradas aplicadas nos pontos.....	7
4.3	Forças uniformemente distribuídas aplicadas nas linhas do modelo.....	8
4.4	Propriedades do material e espessura no caso de estado plano de tensão .....	8
4.5	Título, tipo de análise, flag para peso-próprio e unidades .....	8
4.6	Tamanho da malha de elementos finitos .....	9
4.7	Gravação do arquivo de dados .....	9
5	Pós-Processamento.....	10

## 1 Instalação dos Programas

---

Este tutorial requer a instalação dos seguintes programas e arquivos:

- Microsoft Visual C++ 2017 redistributable package (os arquivos 'vc\_redist.x86.exe' ou 'vc\_redist.x64.exe' podem ser encontrados no site do STOA ou no endereço <https://www.visualstudio.com/downloads/>);

- GiD (versão 14.0.1 do programa de pré- e pós-processamento disponível no endereço <http://www.gidhome.com/download/official-versions>);
- xFram-FEM\_2D\_v64.gid (pasta que deve ser adicionada à pasta *problemtypes* do programa GiD localizada em C:\Program Files\GiD\GiD 14.0.1) contém os arquivos da interface GiD-xFram;
- xFramVSC2017\_v64\_Win64.exe (arquivo que também deve ser colocado na pasta *problemtypes* para que possa ser executado de dentro do GiD) versão 6.4 do programa de elementos finitos compilada para Windows 64 bits.

O programa *xFram* foi escrito em C++ e compilado no Microsoft Visual Studio 2017. A sua execução no sistema Windows requer a instalação do pacote de redistribuição do Visual C++ 2017 da Microsoft em micros sem o Visual Studio 2017 instalado.

Os arquivos da interface devem estar na pasta *problemtypes* criada pelo programa GiD para que este reconheça os arquivos e disponibilize a interface no menu *Data > Problem type > xFram-FEM\_2D\_v64*.

O programa *xFram* pode ser executado de dentro do programa GiD. Contudo, **para visualizar as mensagens de erro** emitidas pelo programa, ele pode ser executado de fora do GiD bastando copiar o executável para a mesma pasta contendo o arquivo de dados do modelo com extensão *.dat* que foi gerado pelo GiD.

A interface para o GiD foi elaborada a partir da interface do programa MAT-fem, de autoria de Zárate e Onãte, disponibilizada no site do GiD.

## 2 Modelo Físico

A título de exemplo, analisaremos a chapa da Fig. 1 submetida a uma força uniformemente distribuída  $q = -20 \text{ kN/m}$  aplicada na metade da aresta superior, e a uma força de volume  $\mathbf{b} = -9,8 \times 7,96 = -78 \text{ kN/m}^3$ , ambas na direção vertical. A chapa tem 5m de comprimento, 2m de altura e 0,01m de espessura. Evitaremos cargas concentradas, inclusive vínculos pontuais, visando minimizar concentrações fictícias de tensão que atrapalhariam a convergência dos resultados.

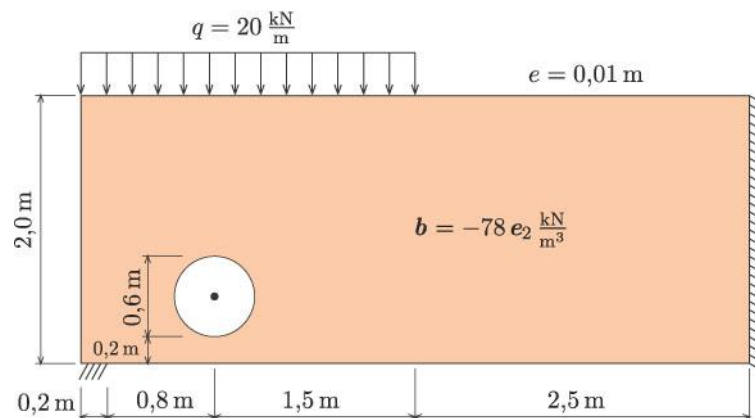


Fig. 1 Chapa retangular furada: geometria, vinculação e carregamento.

Na próxima seção, construiremos o modelo sólido a partir dos pontos e segmentos indicados na Fig. 2, os quais serão usados para descrever a geometria e as condições de contorno.

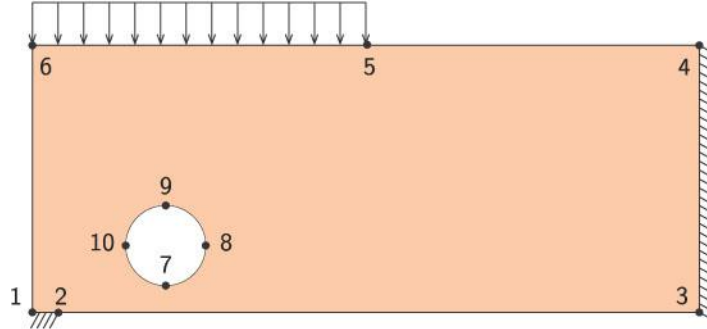


Fig. 2 Pontos usados na definição da geometria.

### 3 Construção do Modelo Sólido no programa GiD


---

O usuário deve iniciar o programa GiD e escolher um nome para o modelo e salvá-lo (*Files > Save*)<sup>1</sup>; no tutorial foi adotado o nome 'Wall'. A extensão '.gid' é acrescentada automaticamente quando o programa cria a pasta em que são armazenados os arquivos do modelo. O mesmo nome é usado nos arquivos de entrada de dados, *Wall.dat*, e de pós-processamento dos resultados da análise, *Wall.post.res*.

#### 3.1 Criação de pontos

---

A geração dos pontos a partir das coordenadas é uma forma de garantir a precisão do modelo sólido e facilitar o traçado das linhas de contorno e a aplicação posterior das cargas. Para entrar com as coordenadas da Tab. 1, use o comando *Geometry > Create > Point* a partir do menu, conforme mostrado na Fig. 3. Para cada nó, digite apenas as coordenadas separadas por um espaço ou uma vírgula na linha de comando localizada na parte inferior da janela. Use a tecla ESC para interromper a entrada das coordenadas. Caso a tecla ESC esteja desativada, use o botão direito do mouse para acessá-la no menu contextual.

Use o comando *View > Zoom > Frame* ou o botão  para ajustar automaticamente a escala do desenho.

---

<sup>1</sup> Não esqueça de salvar o modelo periodicamente.

Ponto	X	Y
1	0.0	0.0
2	0.2	0.0
3	5.0	0.0
4	5.0	2.0
5	2.5	2.0
6	0.0	2.0
7	1.0	0.2
8	1.3	0.5
9	1.0	0.8
10	0.7	0.5

Tab. 1 Tabela das coordenadas dos pontos.

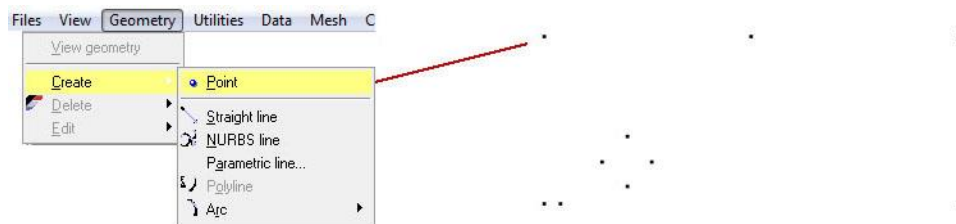



Fig. 3 Criação de pontos.

### 3.2 Traçado das linhas do contorno externo

As linhas retas são traçadas unindo-se os pontos criados. O acesso ao comando pode ser feito pelo menu, *Geometry > Create > Straight line*, conforme a Fig. 4, ou diretamente pelo atalho  na barra vertical de ferramentas. O comando Ctrl-A alterna os modos de criação e seleção de pontos — com o mouse indicado por uma cruz ou uma caixa, respectivamente; ele facilita a seleção dos pontos existentes e evita a duplicação destes. Use a tecla ESC para interromper o traçado das linhas.

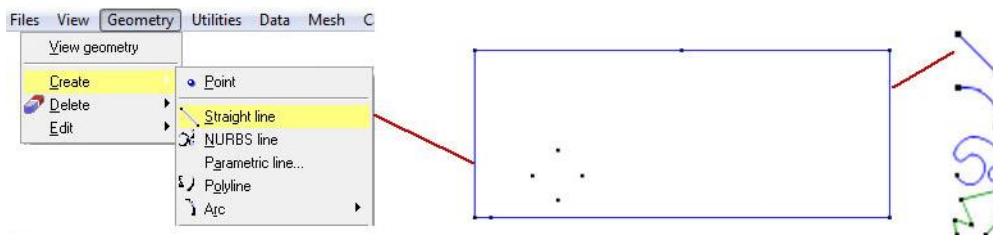


Fig. 4 Criação de segmentos de reta.

### 3.3 Traçado dos arcos formando o buraco circular

Dois arcos foram usados para definir o buraco na parede. O comando *Geometry > Create > Arc > By 3 points* solicita três pontos quaisquer do arco em sequência. Use a tecla ESC para interromper a definição dos arcos.

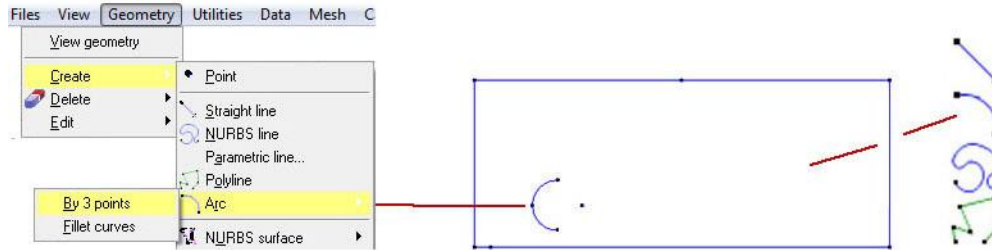


Fig. 5 Criação de segmentos de arco.

### 3.4 Definição da superfície NURBS

Como a geometria do modelo é bem simples, o comando *Geometry > Create > NURBS surface > Automatic*, cujo atalho está indicado à direita na Fig. 6, é capaz de simultaneamente gerar a superfície e extrair o furo.

Com o mouse, delimite um retângulo que inclua todas as linhas do modelo e use a tecla ESC para interromper a seleção. As superfícies são indicadas por linhas rosa em escala reduzida para evitar superposição com as linhas originais. Na definição de geometrias mais complexas, é possível somar e subtrair superfícies durante a construção do modelo. Use a tecla ESC novamente para interromper a definição das superfícies e não esqueça de salvar o modelo.

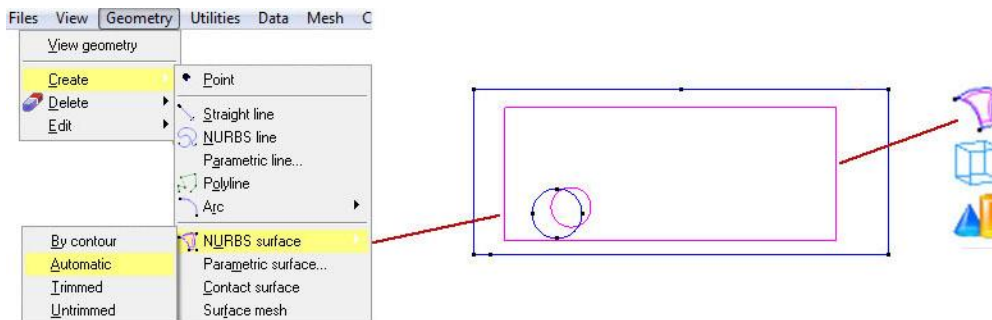


Fig. 6 Criação das superfícies.

**Nota:** Também é possível acrescentar um furo a uma superfície de geometria mais complexa. Defina antes a superfície e a linha de contorno do furo; depois empregue o comando *Geometry > Edit > Hole NURBS surface* para extrair o furo da superfície.

## 4 Geração de Dados para o Programa xFram

A interface do GiD com o programa xFram é ativada através do menu: *Data > Problem type > xFram-FEM\_2D\_v64*. Em resposta, GiD mostra a janela de identificação da interface e disponibiliza os botões de atalho resumidos na Fig. 7. Os arquivos de interface devem permanecer na pasta *problemtypes\xFram-FEM\_2D\_v64.gid*, localizada na pasta principal do GiD, para que a opção *xFram-FEM\_2D\_v64* apareça no menu.

A ordem em que as cinco primeiras janelas da Fig. 7 são percorridas não tem importância, mas todas elas devem ser preenchidas antes da geração da malha de elementos finitos e da criação do arquivo de dados.

Todas as grandezas físicas devem ter unidades consistentes com as unidades fornecidas na janela *Problem types* (associada ao botão Prob. Type): força em KN, comprimento em m, tempo em s e temperatura em °C. Assim, a unidade de força distribuída no contorno para o estado plano de tensão é kN/m e a densidade de massa, ton/m<sup>3</sup>.

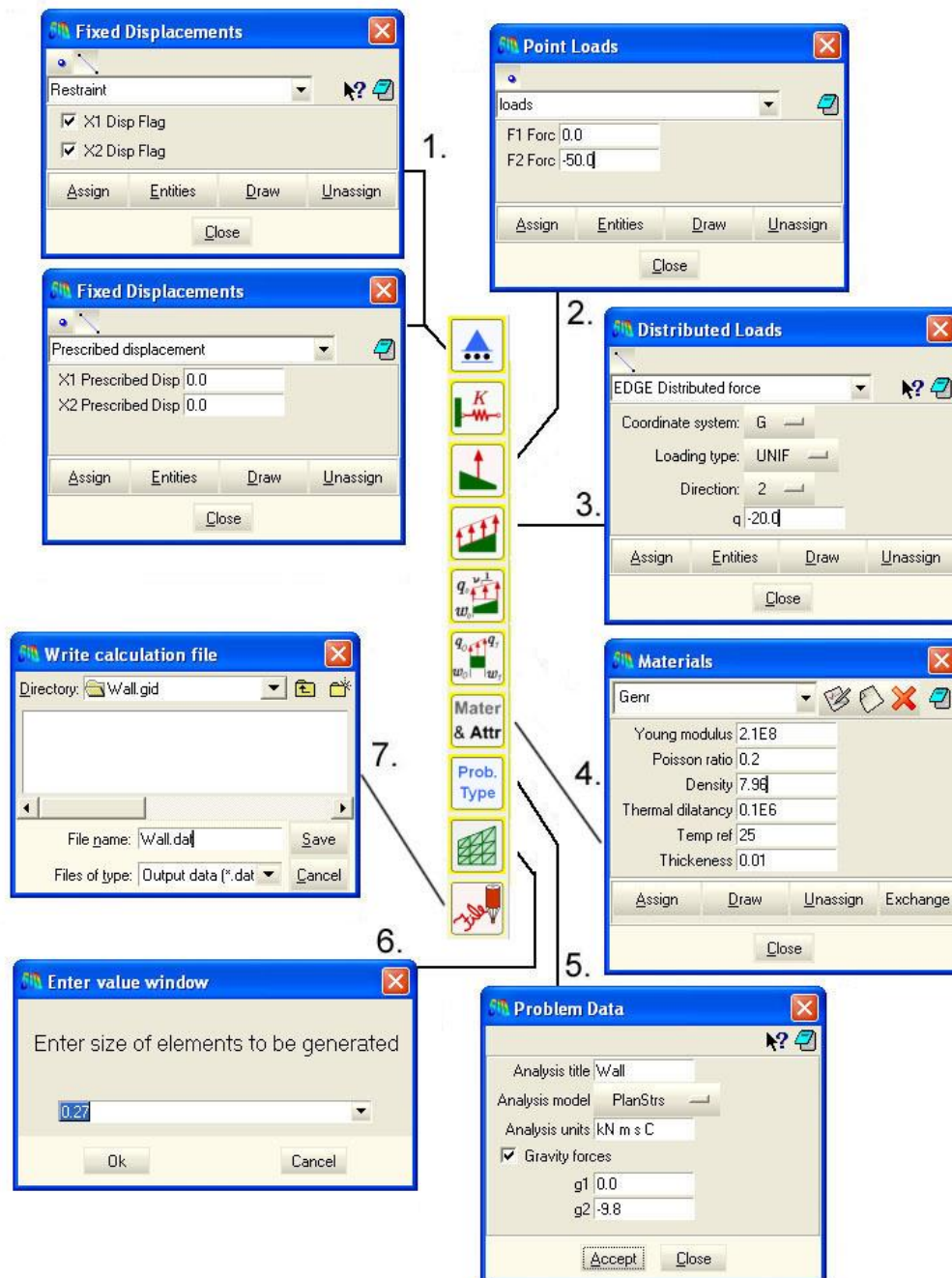



Fig. 7 Botões de atalho e as respectivas janelas.

## 4.1 Deslocamentos impostos aos pontos ou às linhas do modelo

---

Deslocamentos podem ser bloqueados ou ter valores impostos a pontos ou linhas do modelo. Vamos restringir os deslocamentos das linhas 1-2 e 3-4 da Fig. 2 nas duas direções; isto implica em bloquear todos os nós da malha gerados sobre essas linhas:

- abra a janela *Fixed Displacements* clicando o botão ;
- selecione a opção *Restraint* na parte superior e depois clique no botão com um segmento, localizado no canto superior esquerdo da janela;
- marque as caixas associadas aos deslocamentos que devem ser bloqueados;
- aplique, por meio do botão 'Assign' na parte inferior, as vinculações às linhas 1-2 e 3-4 da Fig. 2;
- clique o botão 'Draw' para visualizar as condições impostas e o 'Unassign' para desfazer aplicações incorretas;
- e, para encerrar, pressione o botão 'Finish' e depois 'Close.'

Existe também a opção *Prescribed displacement*, junto à opção default *Restraint*, que permite fornecer deslocamentos não nulos.

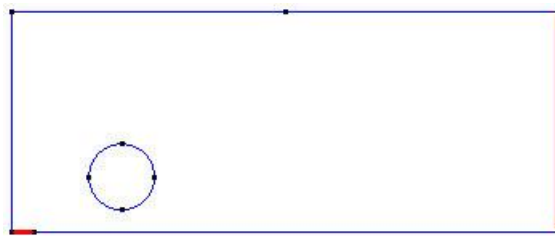


Fig. 8 Linhas vinculadas.

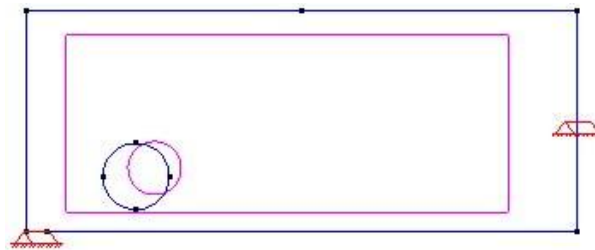



Fig. 9 Representação da vinculação (Draw).


## 4.2 Forças concentradas aplicadas nos pontos

---

O botão  abre a janela para a entrada de forças concentradas em pontos do modelo. Repare que o botão contendo um ponto, localizado no canto superior esquerdo da janela, já está selecionado e não existe outra opção.

Se existissem forças concentradas na chapa, bastaria fornecer as componentes nas duas direções e aplicá-las aos pontos correspondentes no modelo. Verifique sempre a aplicação das forças concentradas no modelo e na malha gerada, pois nem sempre o programa GiD gera nós nos pontos criados pelo usuário, principalmente se eles forem pontos intermediários.

### 4.3 Forças uniformemente distribuídas aplicadas nas linhas do modelo

O botão  abre a janela para a entrada de forças distribuídas aplicadas a linhas do modelo. Na janela, o botão contendo um segmento já está pré-selecionado. Para estado plano de tensão, o programa xFram considera a aplicação de uma força distribuída por unidade de comprimento,  $\bar{q} = e\bar{t}$ , e não do vetor tensão  $\bar{t}$  aplicado. Para estado plano de deformação, ele considera uma carga distribuída por unidade de superfície, ou seja, o próprio vetor tensão  $\bar{t}$  aplicado.

Na janela aberta, selecione *EDGE distributed force*, o sistema global G de coordenadas, o tipo UNIF, a direção 2 correspondendo ao eixo global Y, e entre o valor -20.0 para a magnitude de  $\bar{q}$ . A janela 3. da Fig. 7 mostra a janela preenchida. Aplique, por meio do botão 'Assign,' a força distribuída à linha 6-5 da Fig. 2.

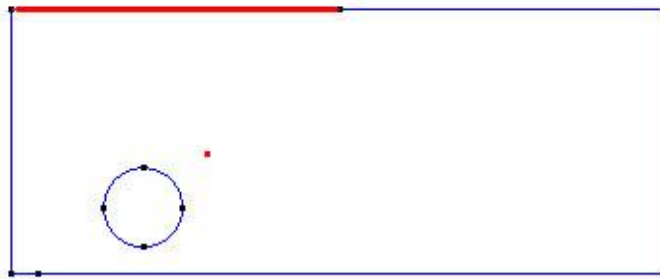





Fig. 10 Linha carregada.

### 4.4 Propriedades do material e espessura no caso de estado plano de tensão

Acesse a janela de materiais através do botão  **Mater & Attr**. O botão superior com a folha de papel, , permite criar um novo material isotrópico elástico-linear; escolha um nome e preencha os campos das propriedades do material e da espessura. Adote as seguintes propriedades:  $E = 2.1 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ ;  $\nu = 0.2$ ;  $\rho = 7.96 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$  e uma espessura de  $t = 0.01\text{m}$ ; caso queira comparar os resultados com os do tutorial.

Aplique o material criado à superfície NURBS do modelo pressionando o botão 'Assign', escolhendo 'Surfaces' e depois selecionando a linha rosa. Verifique se a aplicação está correta pressionando o botão 'Draw' e o nome do material antes de fechar a janela.

### 4.5 Título, tipo de análise, flag para peso-próprio e unidades

Acesse a janela dos parâmetros da análise através do botão  **Prob. Type** e forneça todas as informações pedidas. Forneça unidades consistentes com básicas em todo o arquivo de dados, pois o programa não faz conversão de unidade.



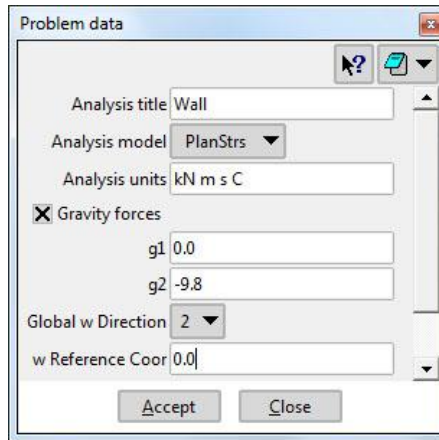



Fig. 11 Parâmetros da análise.

#### 4.6 Tamanho da malha de elementos finitos

A malha não-estruturada com elementos triangulares de três nós é a malha *Default* no programa GiD. Para selecionar elementos triangulares quadráticos de 6 nós configure as seguintes opções no menu 'Mesh':

- [Mesh > Unstructured > Assign Entities > Surfaces](#) (selecionar superfície);
- [Mesh > Element type > Triangle](#) (selecionar superfície);
- [Mesh > Quadratic type > Quadratic](#)

A geração da malha pode ser acessada por meio do botão . Forneça o tamanho máximo dos elementos e deixe o programa gerar a malha. Varie o tamanho do elemento e gere outras malhas até ficar satisfeito com o resultado. No menu 'Mesh' existem vários recursos para controlar a geração da malha e verificar sua qualidade.

A versão de avaliação do GiD permite gerar malhas com até 1000 nós.

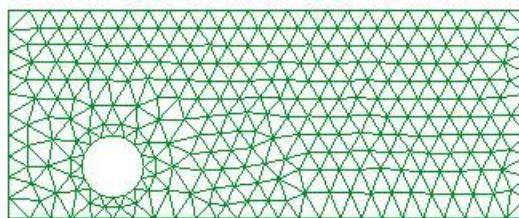



Fig. 12 Malha de elementos finitos (pouco refinada no furo).

#### 4.7 Gravação do arquivo de dados

Com a malha gerada, pressione o botão  para gravar o arquivo de entrada de dados. A interface GiD-xFram se encarrega de gerar o arquivo no formato correto. Grave na pasta Wall.gid e mantenha o nome 'Wall' com a extensão '.dat' para que o programa xFram gere um arquivo de saída 'Wall.post.res' reconhecível pelo programa GiD.


Examine o arquivo de entrada usando um editor de texto para verificar se os dados estão de acordo com o modelo. Em particular, verifique as propriedades dos materiais no bloco ':MATE', as forças

concentradas no bloco `:NATR' de `:NODE', e as forças distribuídas no bloco `:DSTR'. Os números dos nós e elementos da malha podem ser visualizados com o comando *View > Label > All* quando a malha é apresentada no GiD.

É possível executar o programa xFram na versão 64 bits de dentro do GiD por meio do comando *Calculate > Calculate*. O programa GiD alerta quando termina a execução e pergunta se o usuário quer passar para a fase de pós-processamento.

Para executar a análise externamente ao GiD usando a versão 32 bits do programa xFram, transfira o arquivo *Wall.dat* para a pasta com o programa xFramVC2015\_v60d\_Win32.exe, execute o programa, forneça o nome do arquivo de dados sem a extensão *dat*, e depois copie o arquivo *Wall.post.res* criado de volta para a pasta *Wall.gid*.

## 5 Pós-Processamento

Clique em um dos botões  para alternar entre os modos de pré- e pós-processamento; a disponibilidade dos botões logo abaixo do menu à direita depende do modo. Repare que as colunas de comando à esquerda da janela mudam completamente.

Curvas e faixas de isovalores podem ser visualizadas tanto na geometria indeformada como na deformada, assim como vetores de deslocamento e outras grandezas, conforme indicam as sequências de comandos nas Figs. 13 a 15.

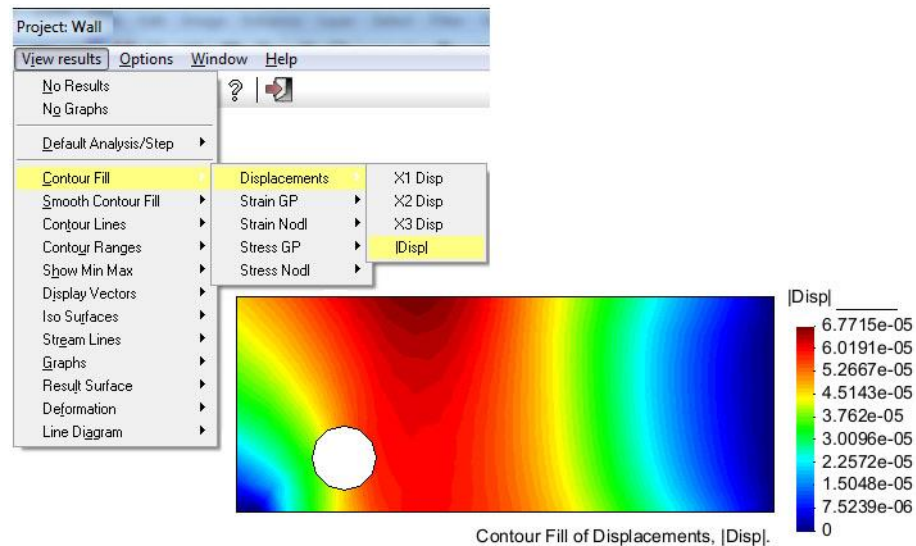


Fig. 13 Amplitudes de deslocamento.

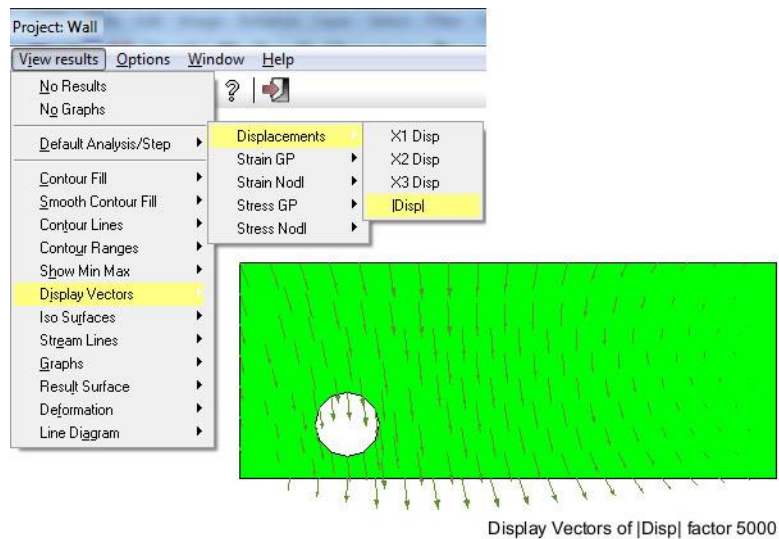


Fig. 14 Vetores de deslocamento mostrados na malha indeformada.

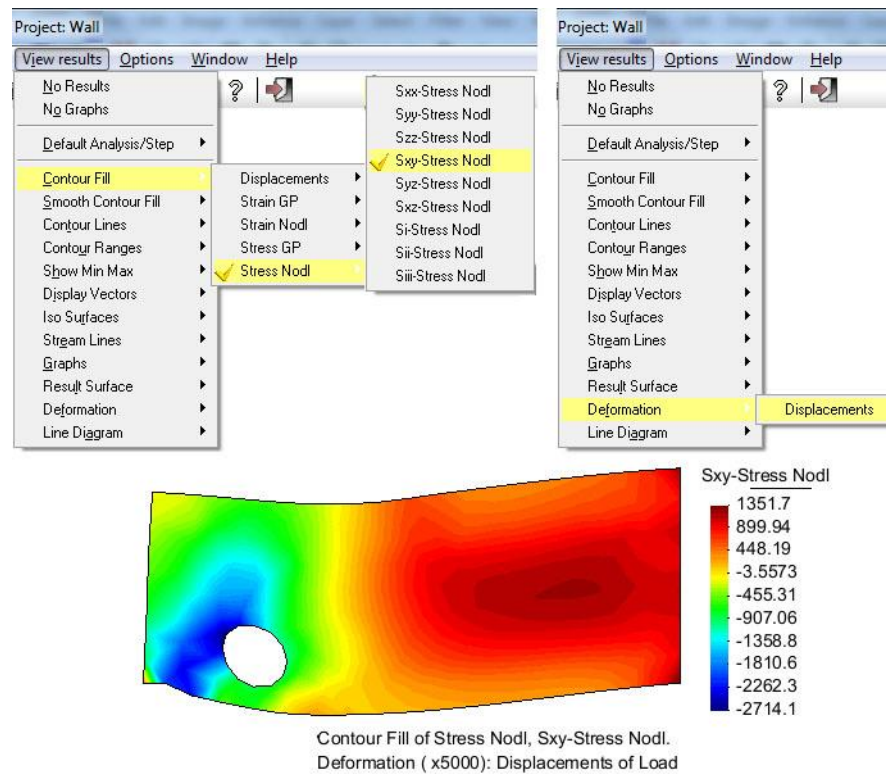


Fig. 15 Tensões tangenciais mostradas na malha deformada.