

TUTORIAL DO PROGRAM ADINA 9.2

PROBLEMA: CHAPA BIAPOIADA SUJEITA A CARREGAMENTO DISTRIBUÍDO CONSTANTE

Considerações iniciais

O programa empregado neste tutorial é o **ADINA 9.2** para até 900 nós, disponível para *download*.em:

<http://www.adina.com/adinadownloads/900-2700nodes/ADINA900V922.exe>

As instruções para instalação estão em arquivo disponível no Moodle.

Informações gerais sobre o programa e suas ferramentas podem ser encontrados no Help como mostrado abaixo. Exemplos resolvido podem ser encontradas no documento **ADINA Primer**.

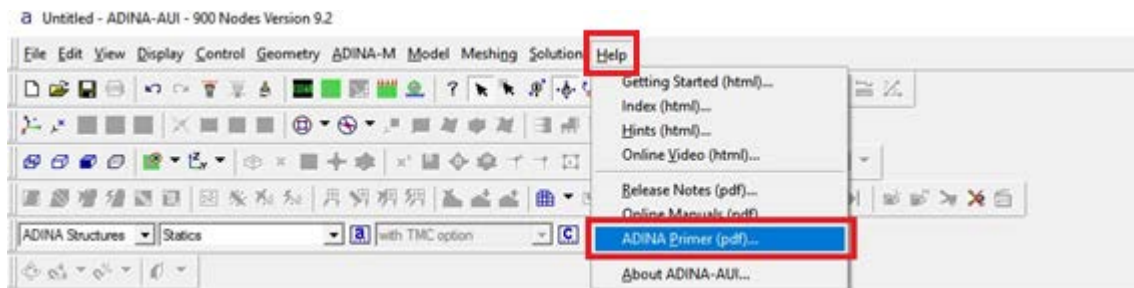


Figura 1: Acesso ao ADINA Primer (pdf)

Características do problema

Seja a estrutura a seguir:

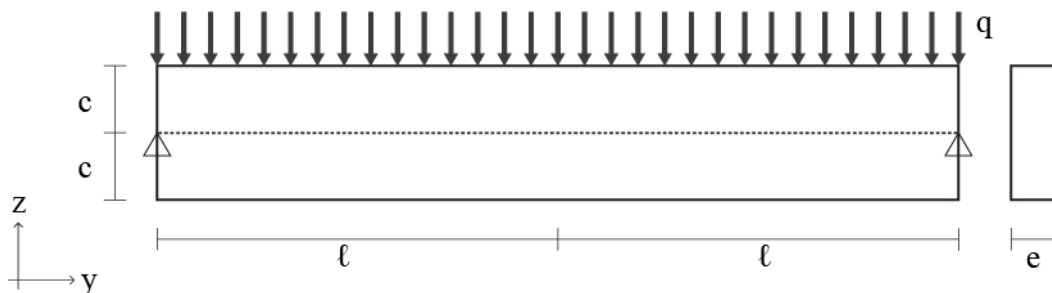


Figura 2: Chapa biapoada sujeita a carregamento distribuído constante

Sendo as propriedades geométricas: $c = 0,40 \text{ m}$, $\ell = 2 \text{ m}$, $e = 0,001 \text{ m}$. E as propriedades materiais: $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0,3$. O carregamento é dado por $q = 36 \text{ kN/m}$.

Elaboração do modelo

1. Definição dos graus de liberdade do problema:

Devem-se definir os graus de liberdade do modelo. A modelagem da chapa será realizada com o modelo de estado plano de tensão. Como por convenção do programa deve-se usar o plano YZ, os graus de liberdade são os deslocamentos segundo Y e Z apenas. Os graus de liberdade assim definidos denominam-se **Master DOF**.

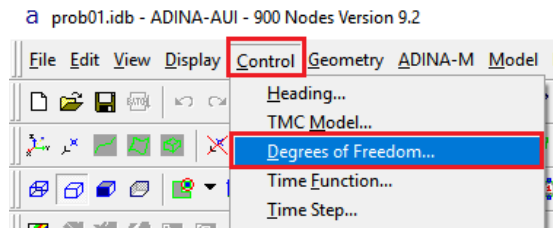


Figura 3: Definição dos Master DOF

O problema a ser definido neste tutorial pode ser estudado a partir de um plano YZ. Sendo assim, mantêm-se apenas os graus de liberdade **Y-Translation** e **Z-Translation**.

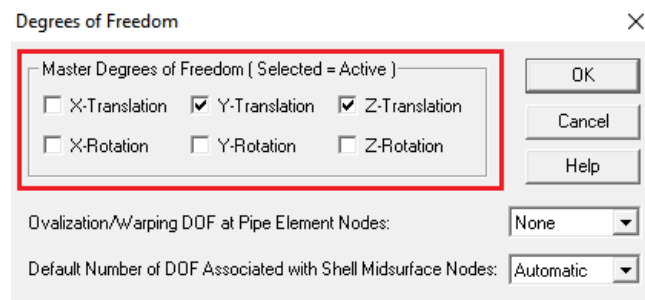


Figura 4: Master DOF para um problema no plano YZ

2. Seleção da vista:

Por padrão, o ADINA inicia-se com uma vista XY. Como o plano médio do sólido está no plano YZ, convém alterar a vista do programa para YZ.

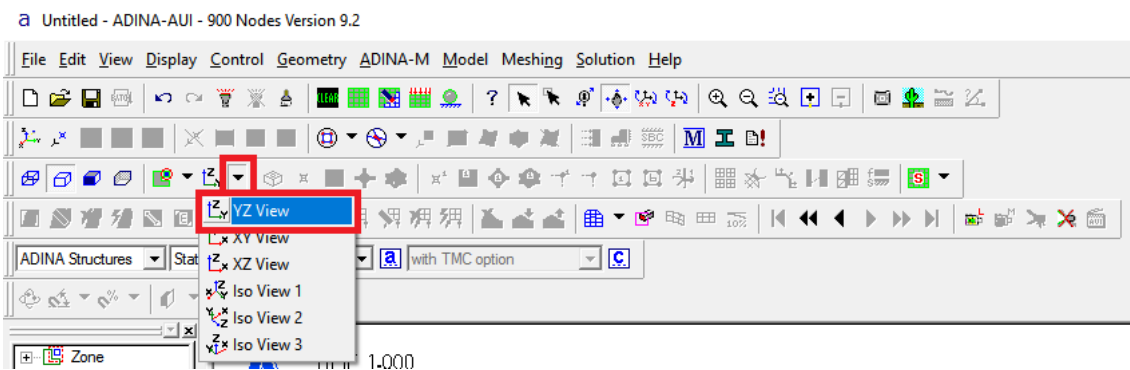


Figura 5: Vista YZ

3. Definição de pontos:

Definem-se os pontos que delimitam o sólido em **Define Points**. Como a estrutura neste problema se caracteriza por simetria geométrica e de carregamentos, pode-se modelar apenas metade do domínio.

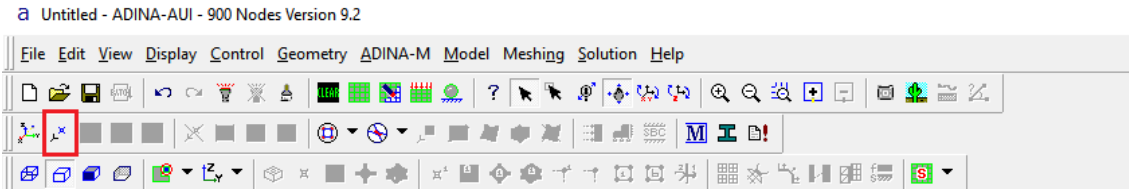


Figura 6: Definição de pontos

Ao selecionar o ícone **Define Points**, abre-se a janela **Geometry Points**, onde serão dadas as coordenadas dos pontos. As coordenadas em X1 e o sistema de coordenadas podem ser deixados em branco, sendo então automaticamente preenchidos por zeros. Vale ressaltar que o sistema de coordenadas 0 corresponde a coordenadas cartesianas.

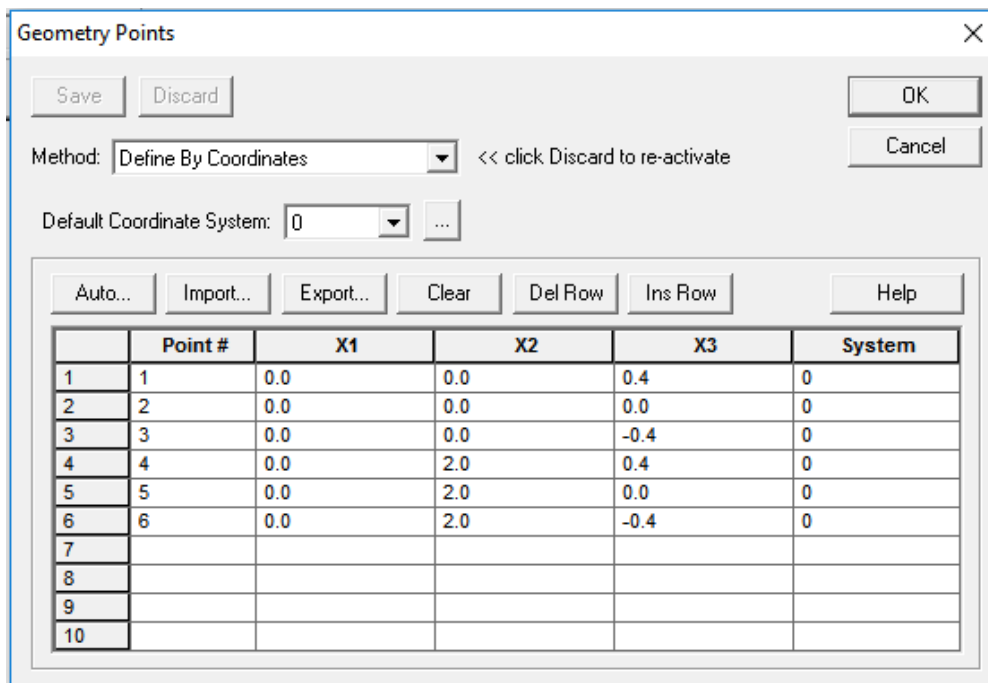


Figura 7: Coordenadas dos pontos

Preenchidos os pontos e suas coordenadas, pressiona-se **OK** para encerrar a janela.

4. Definição de superfícies:

Definidos os pontos que delimitem o sólido, definem-se duas superfícies em **Define Surfaces**.

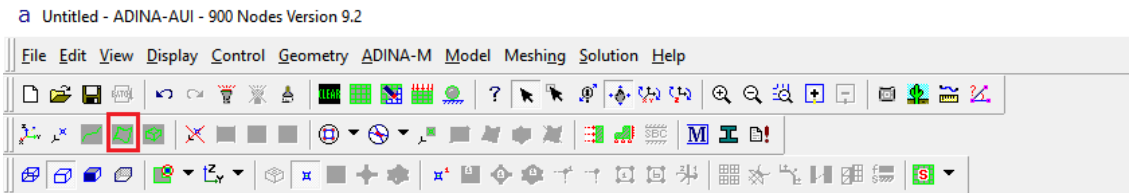


Figura 8: Definição de superfícies

Uma superfície do tipo **Vertex** pode ser definida inserindo-se os pontos referentes aos vértices ou selecionando-se ponto por ponto com o auxílio do *mouse*. Ao selecionar o ícone **Define Surfaces**, abre-se a janela **Define Surface**. Selecionando-se **Add**, gera-se uma nova superfície. A primeira superfície compõe-se dos **pontos 1, 2, 5, 4**, nesta ordem. A segunda superfície, dos **pontos 2, 3, 6, 5**. Outra opção é selecionar o ícone **P** e pressionar ponto a ponto manualmente.

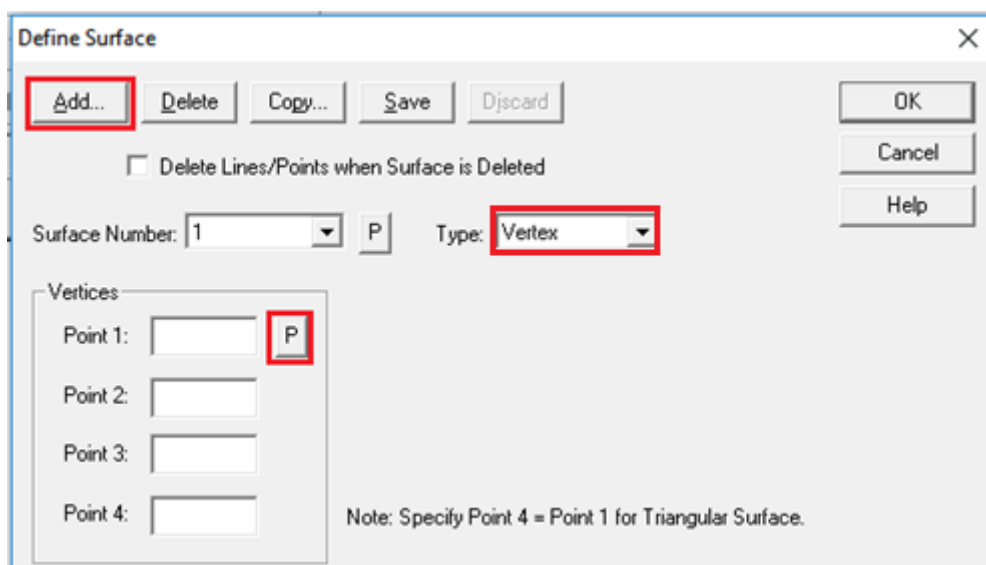


Figura 9: Pontos de cada superfície

Pode-se verificar a numeração de pontos, linhas e superfícies, além da orientação de cada linha, por meio dos ícones **Point Labels**, **Line/Edge labels** e **Surface/Face Labels**.

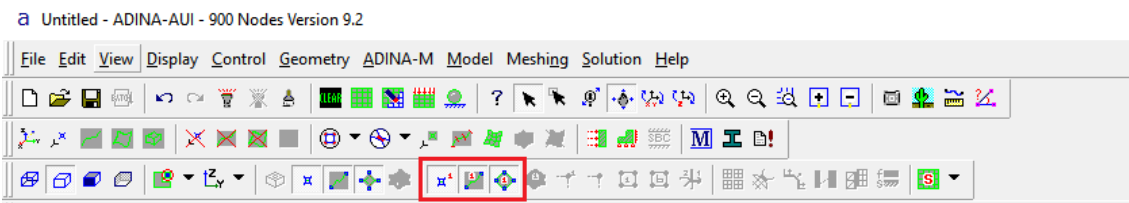


Figura 10: Visualização da numeração de pontos, linhas e superfícies, além da orientação das linhas

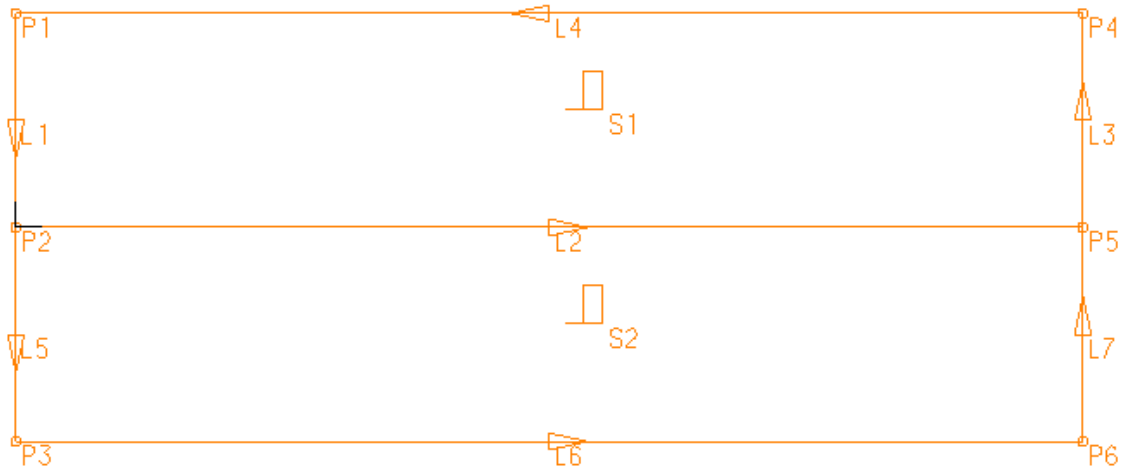


Figura 11: Pontos, linhas e superfícies gerados

Ressalta-se aqui que se optou por gerar duas superfícies a fim de que se possam determinar condições de contorno no ponto 2 mais a frente. Por fim, define-se a espessura da chapa de acordo com cada superfície:

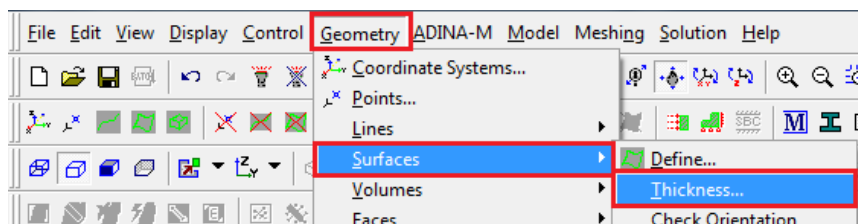


Figura 12: Definição da espessura da chapa

A tela de diálogo mostra uma tabela com os seguintes dados:

Surface #	Thickness	Deviation 1	Deviation 2	Deviation 3	Deviation 4
1	0.001	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.001	0.0	0.0	0.0	0.0

Os campos 'Surface #' e 'Thickness' para ambas as superfícies estão destacados em verde na imagem original.

Figura 13: Espessura da chapa para cada superfície

5. *Definição de condições de contorno:*

As condições de contorno são definidas em **Apply Fixity**, após o qual é aberta janela homônima.

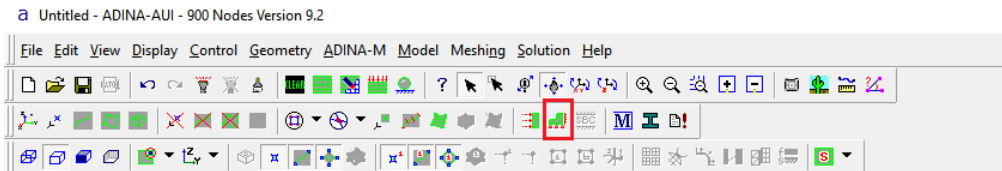


Figura 14: Definição de condições de contorno

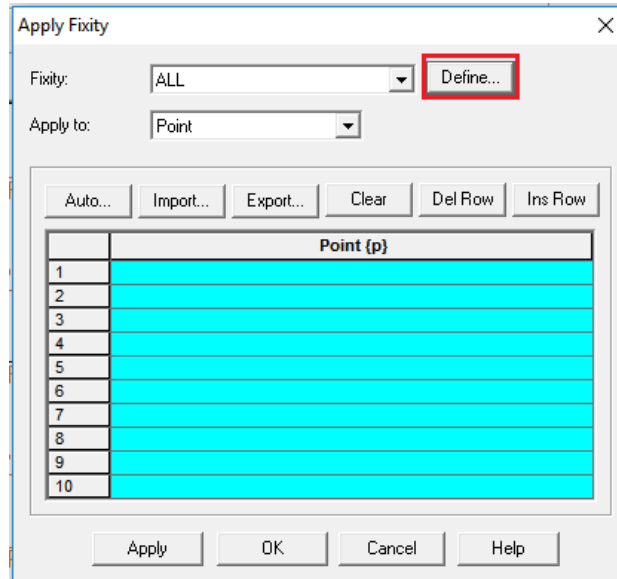


Figura 15: Definição de condições de contorno

Após selecionar **Define**, abre-se uma nova janela, denominada **Define Fixity**.

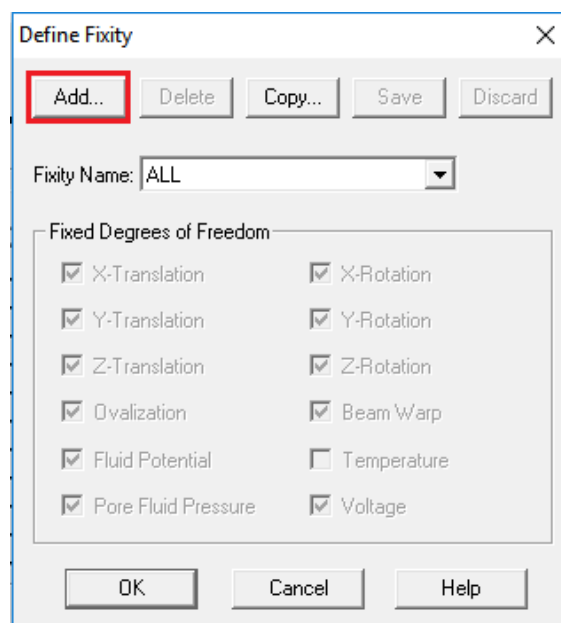


Figura 16: Determinação dos graus de liberdade fixos

Seleciona-se **Add** e nomeia-se **YT**. Fixa-se, então, o grau de liberdade **Y-Translation**. Pressionado **OK**, aplica-se esta condição de contorno às **linhas 3 e 7**.

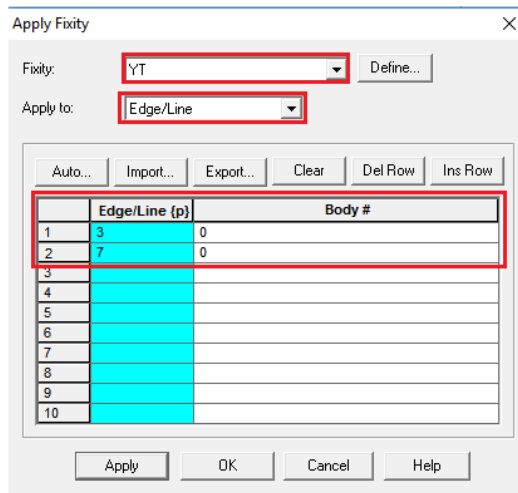


Figura 17: Aplicação da condição de contorno YT

O nome da condição de contorno pode ser escolhido livremente pelo usuário. Neste caso, optou-se por YT porque as condições de simetria e o estado plano de tensões do problema permitem assumir que, no meio do vão da viga, haverá apenas deslocamentos em Z. Assim, o grau de liberdade Y-Translation é fixo.

Repetindo-se o procedimento anterior, elege-se a condição de contorno **ALL**, onde **Y-Translation** e **Z-Translation** são fixos, a qual é aplicada ao **ponto 2**. Seleciona-se o ícone **Boundary Plot**, a fim de que se visualizem as condições de contorno e os respectivos locais de aplicação.

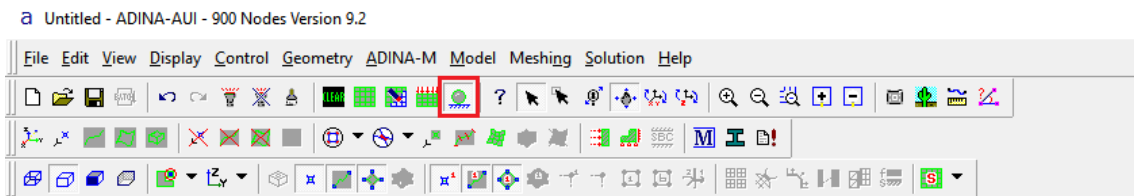


Figura 18: Visualização das condições de contorno e dos locais de aplicação

Espera-se que se tenha a aparência a seguir:

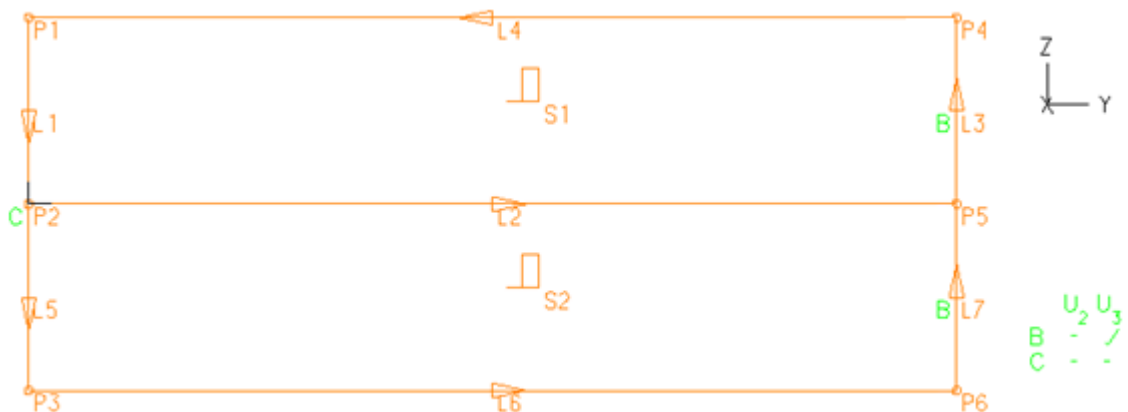


Figura 19: Condições de contorno geradas

6. *Definição de carregamentos:*

Selecionando-se **Apply Load**, abre-se janela homônima.

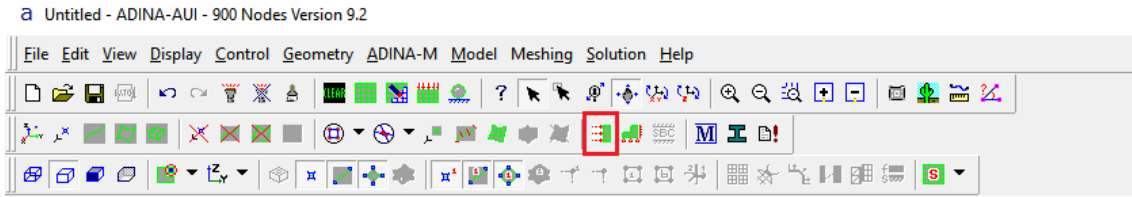


Figura 20: Definição de carregamentos

Na janela aberta, seleciona-se carregamento do tipo **Pressure**, aplicado a **Line**. Então, pressiona-se **Define**.

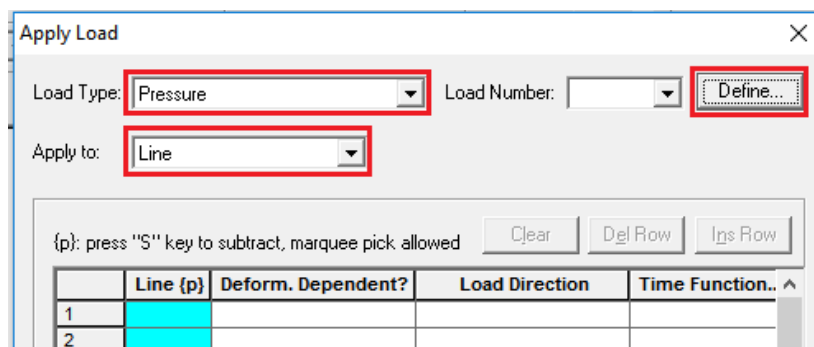


Figura 21: Definição de carregamentos

Na nova janela aberta, pressiona-se **Add** e preenchem-se os espaços com os dados ilustrados.

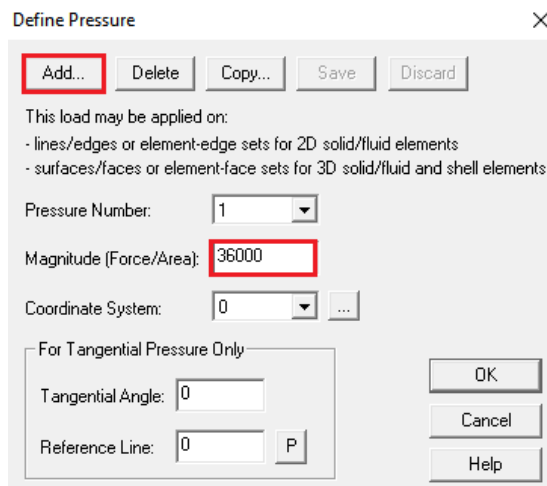


Figura 22: Determinação das características do carregamento

Note-se que o valor $q = 36 \text{ kN/m}$, sendo $e = 0,001 \text{ m}$, equivale a $F = 36\,000 \text{ kN/m}^2$. Selecionando-se o ícone **Load Plot**, pode-se visualizar o carregamento.

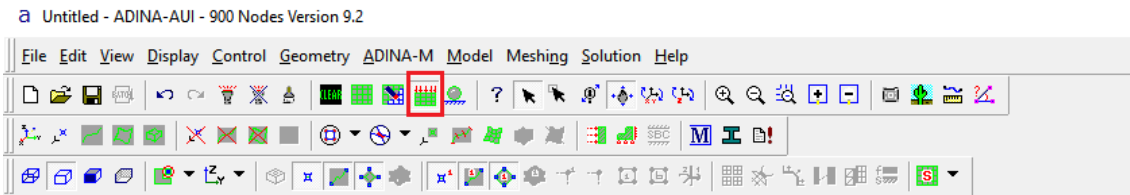


Figura 23: Visualização dos carregamentos

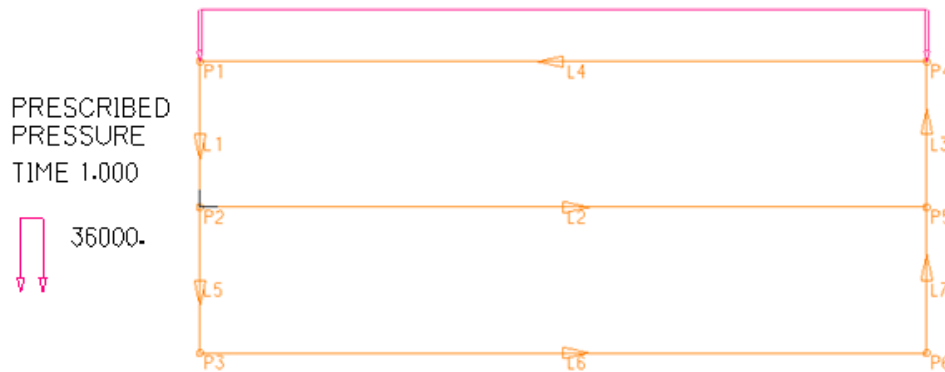


Figura 24: Carregamentos gerados

7. *Definição de materiais:*

Em **Manage Materials**, definem-se as características dos materiais.

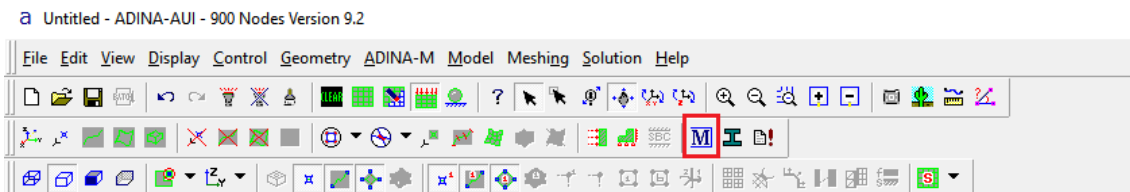


Figura 25: Definição de materiais

Na janela **Manage Material Definitions**, escolhe-se material elástico isotrópico. Então, na nova janela aberta, seleciona-se **Add** e escrevem-se os dados do material ilustrados.

Figura 26: Determinação das características do material elástico isotrópico

Encerram-se, então, as duas janelas.

8. *Definição do tipo de elemento:*

Selecionando-se o ícone **Element groups**, abre-se a janela **Define Element Group**. Pressiona-se **Add** e marcam-se as opções grifadas a seguir. As demais opções são deixadas como estão.

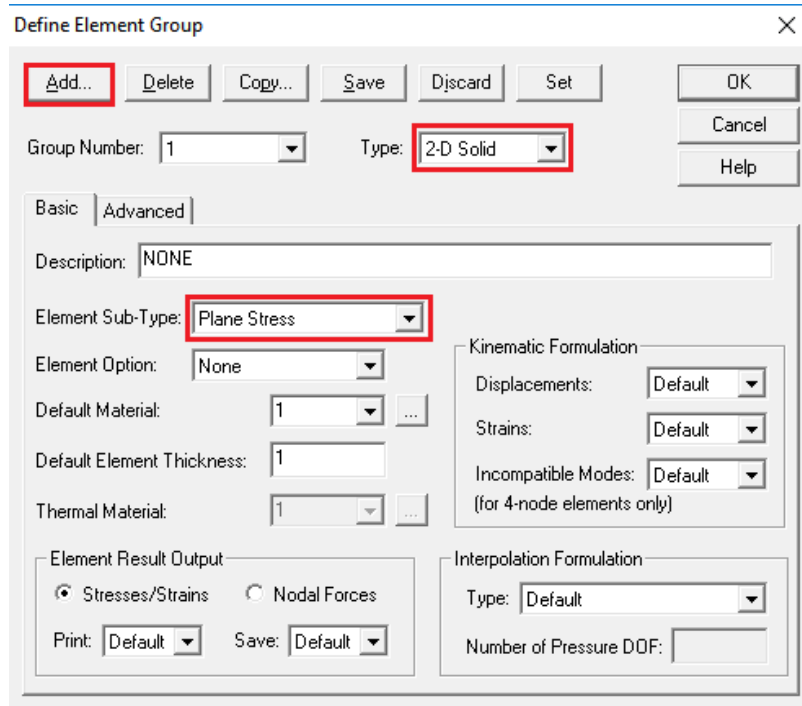


Figura 27: Características do elemento

9. *Definição da densidade da malha:*

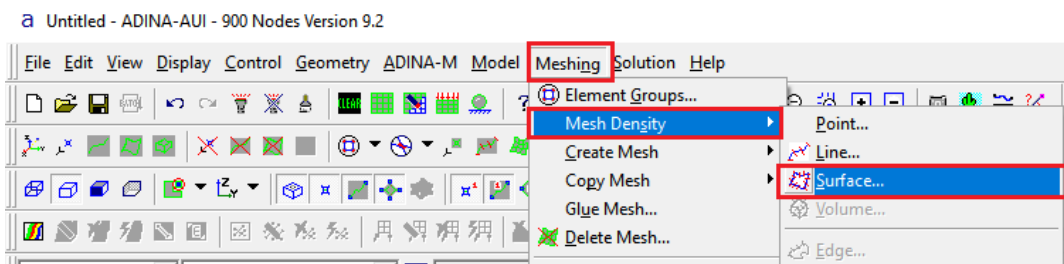


Figura 28: Definição da densidade da malha

Na janela aberta, determina-se que cada superfície terá uma subdivisão na vertical e seis na horizontal, totalizando 12 elementos na metade discretizada do sólido:

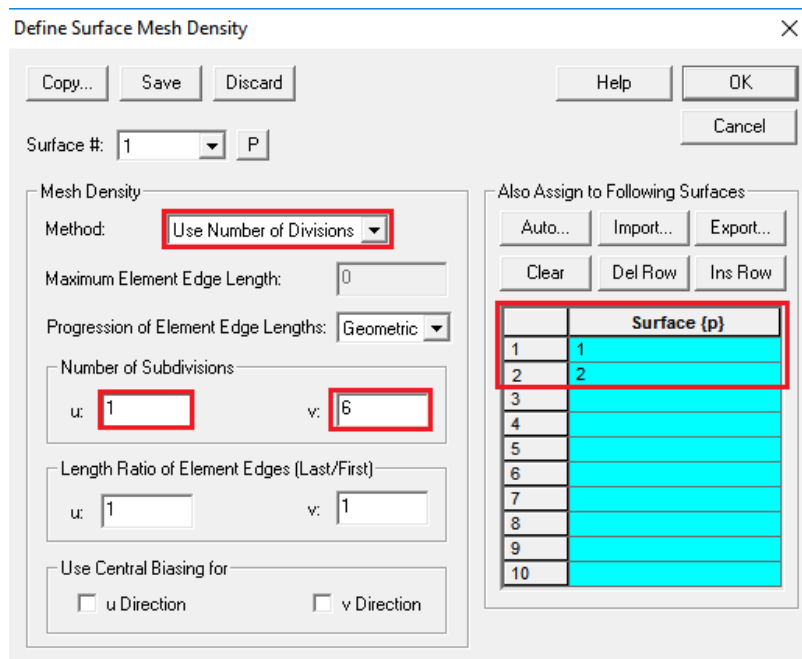


Figura 29: Determinação das divisões na malha

10. Definição da malha:

Selecionando-se o ícone **Mesh Surfaces**, abre-se janela homônima.

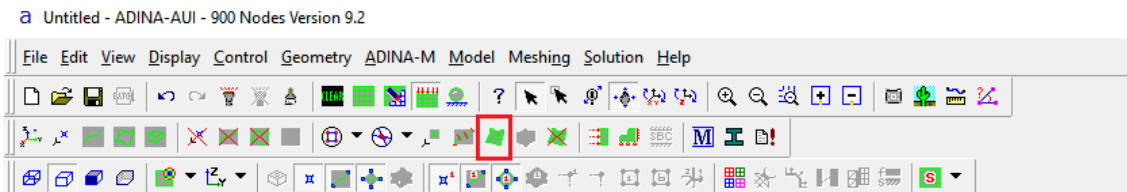


Figura 30: Definição da malha

Na janela aberta, atenta-se para o tipo de elemento, **2-D Solid**, e para o número de nós por elemento. Neste caso, adotam-se **9 nós**, de modo a garantir uma interpolação quadrática e resultados mais precisos para um número menor de elementos. Adicionam-se também as superfícies, **1 e 2**, nas quais será gerada a malha.

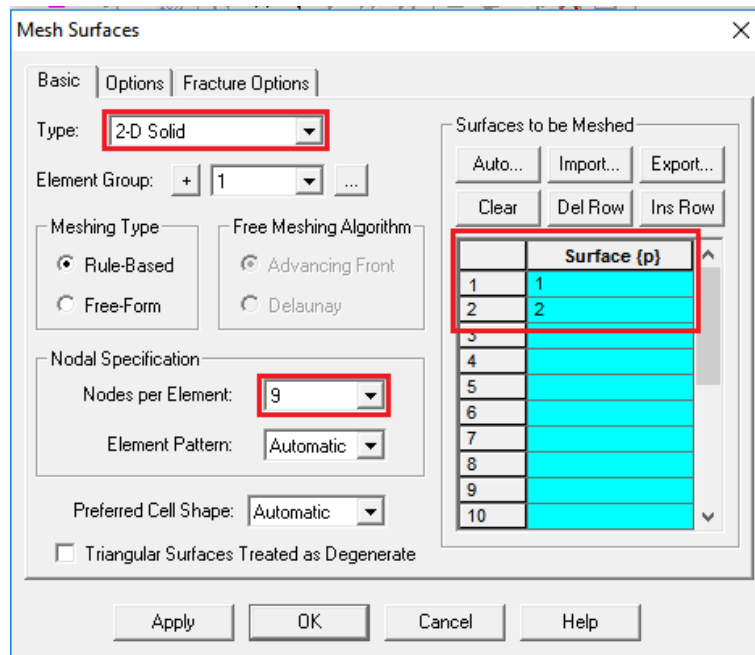


Figura 31: Definição das características da malha

Ao final, espera-se que o modelo tenha a seguinte aparência:

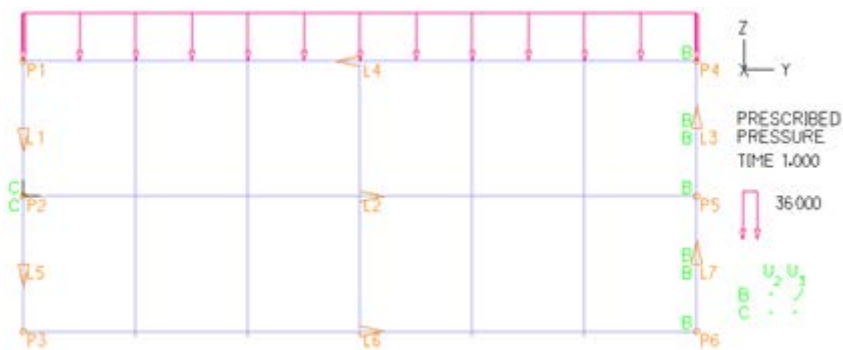


Figura 32: Modelo gerado

Processamento

Finalizado o modelo, recomenda-se salvar um arquivo no formato idb, que conterá o modelo antes de processamento. Sugere-se o nome “prob01.idb”.

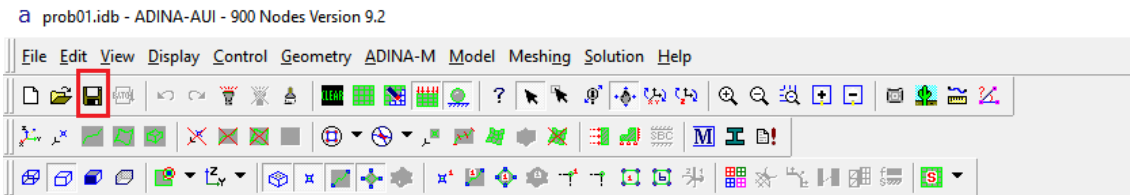


Figura 33: Salvamento do arquivo prob01.idb

Feito isso, executa-se a solução para o modelo, em **Data File/Solution**. Sugere-se o nome “prob01.dat”.

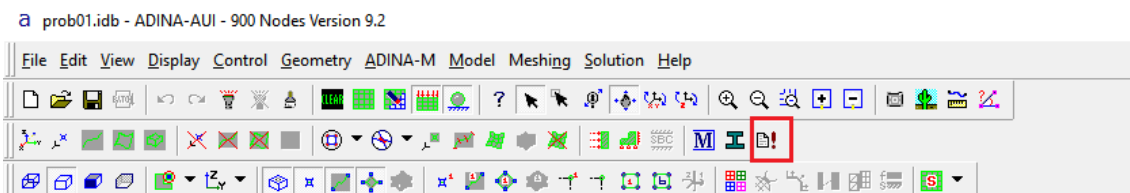


Figura 34: Processamento

Após processamento que pode levar alguns segundos, encerram-se as duas janelas abertas e entra-se no modo **Post-Processing**.

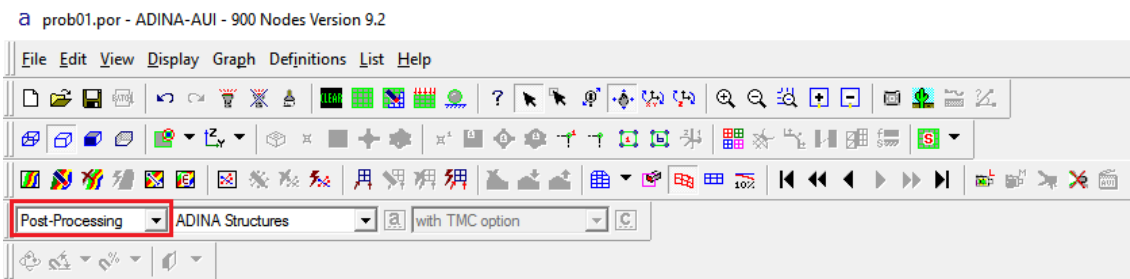


Figura 35: Modo pós-processamento

Como o arquivo idb acabou de ser salvo, podem ser descartadas as alterações, pressionando-se **Yes**. Abre-se, então, o arquivo recém-gerado “prob01.por”.

Análise de resultados

11. Magnificação da configuração deformada:

Ao abrir-se o arquivo “prob01.por”, vê-se a malha na configuração deformada. Esta se assemelha bastante à malha original visto que os deslocamentos são pequenos. Para visualizar melhor a configuração deformada, pode-se magnificar os deslocamentos.

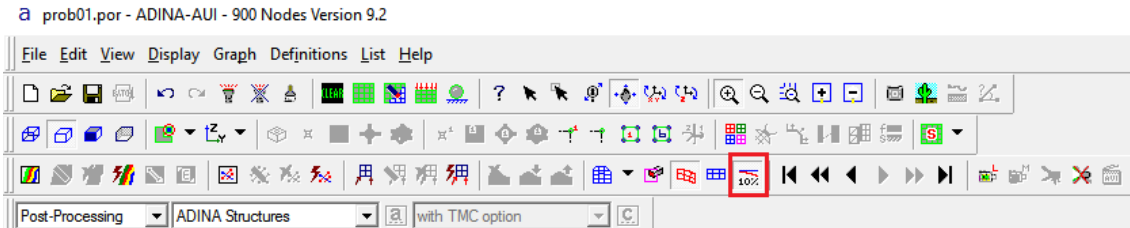


Figura 36: Magnificação dos deslocamentos

12. Visualização da distribuição de tensões ao longo do domínio:

Para visualizar a distribuição de tensões em cada ponto do domínio, deve-se empregar a ferramenta **Create Band Plot**.

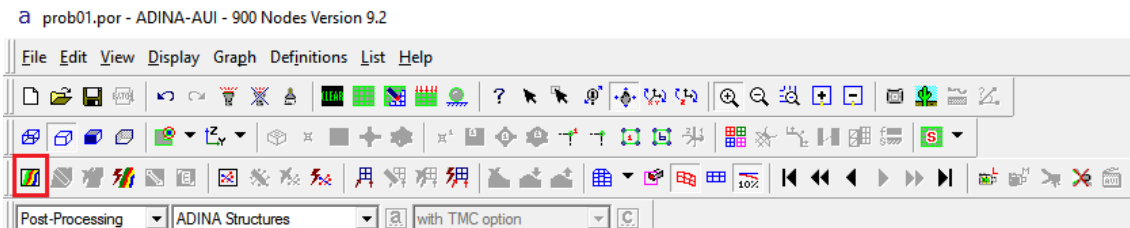


Figura 37: Geração de gráfico de distribuição de tensões

Primeiramente, elege-se a distribuição de tensões σ_{yy} .

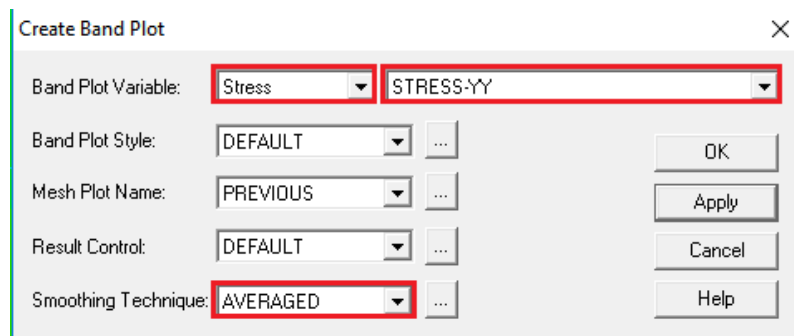


Figura 38: Definição da distribuição de tensões σ_{yy}

Obtêm-se o resultado a seguir:

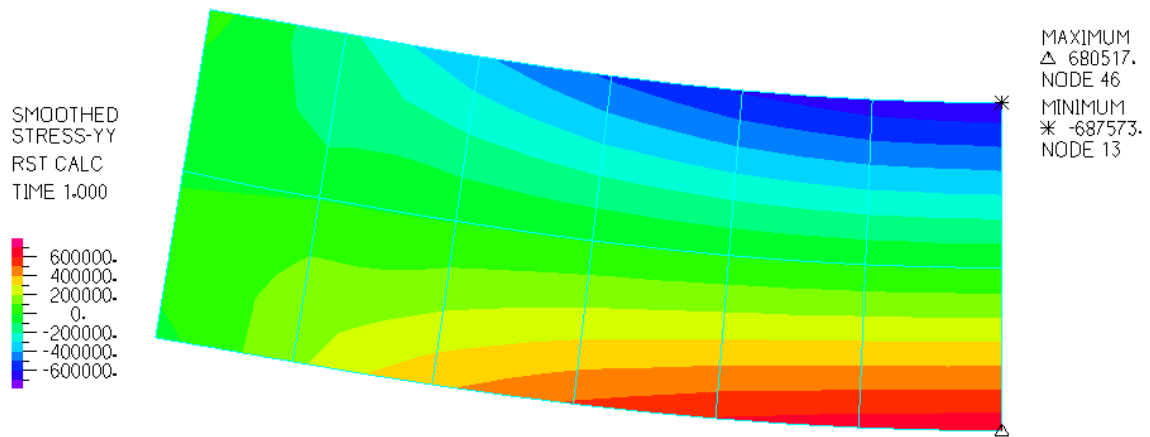


Figura 39: Distribuição de tensões σ_{yy}

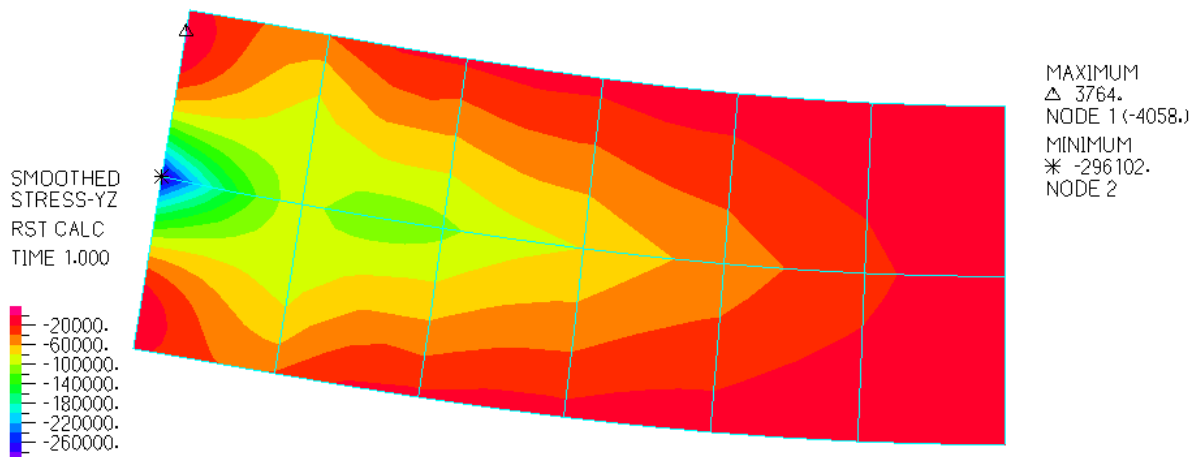


Figura 40: Distribuição de tensões τ_{yz}

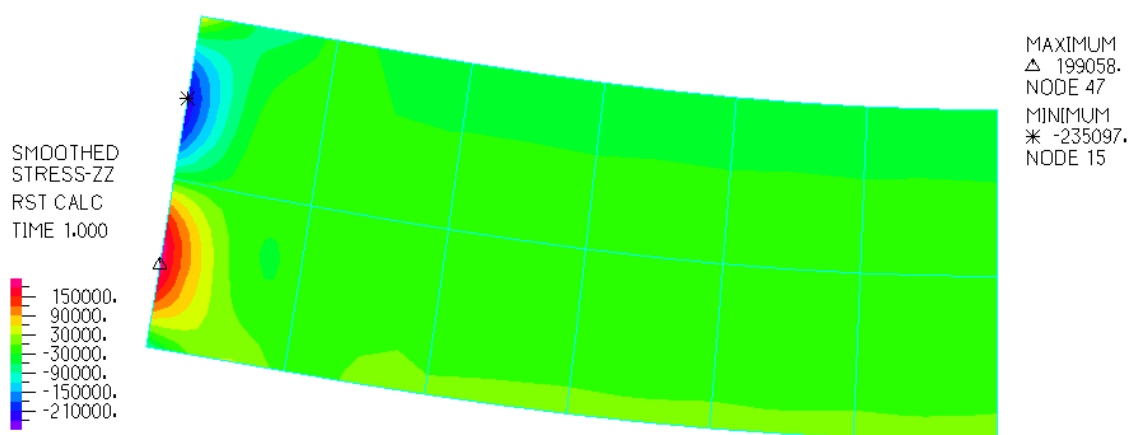


Figura 41: Definição da distribuição de tensões σ_{zz}

Observe-se que as tensões ao longo do domínio apresentam poucas discontinuidades, apesar de pequena discretização da malha. Tal se deve à técnica de suavização adotada (**Smoothing Technique**), a saber, **Averaged**. Recomenda-se

cautela, todavia, ao adotar-se esta técnica, visto que ela pode mascarar descontinuidades no modelo.

13. *Elaboração de gráficos de curvas de resposta por Model Point:*

Primeiramente, convém exibir a numeração dos nós, em **Node Labels**:

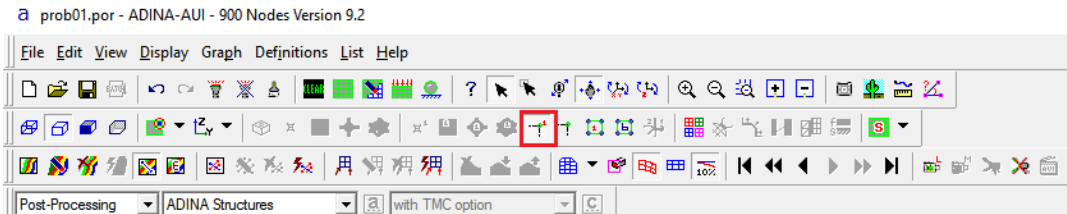


Figura 42: Exibição da numeração de nós

Então, gera-se um **Model Point** a partir de um nó, ou um **Node Point**:

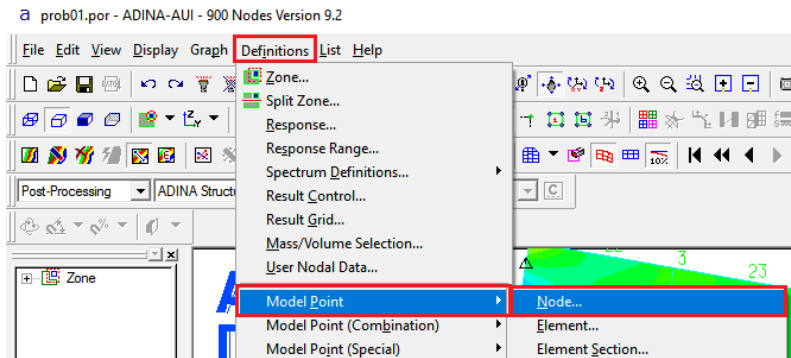


Figura 43: Geração de Model Point a partir de nó

O **Node Point** pode ser escolhido manualmente ou digitando-se o seu número.

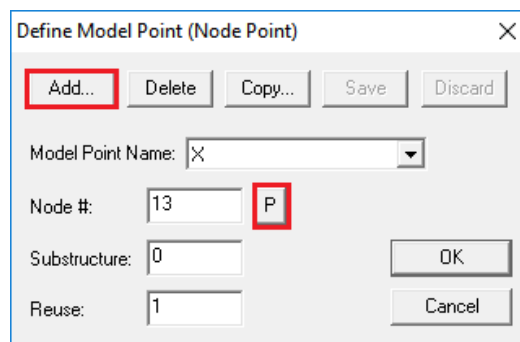


Figura 44: Definição de Node Point

Pressiona-se **OK** para encerrar a janela e então **F9** para limpar da tela de fundo.

14. *Elaboração de listas de valores por Model Point:*

Na aba **List**, podem-se obter os valores, tais como tensões e deslocamentos, para **Model Points** gerados anteriormente.

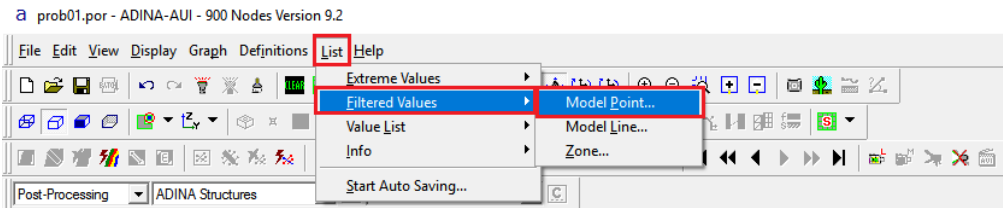


Figura 45: Criação de lista de valores por Model Point

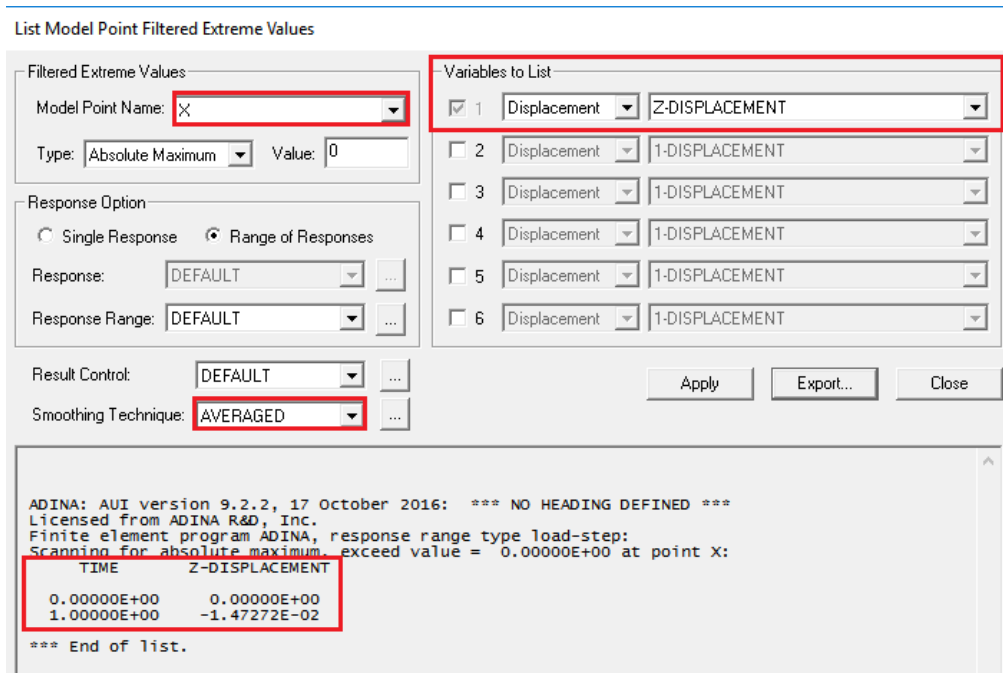


Figura 46: Lista com deslocamento em Z do Model Point

Note-se que em **Variables to list** é possível listas diversas variáveis simultaneamente. Essa ferramenta é bastante útil para a elaboração de estudos de convergência, a partir da obtenção de listas malhas progressivamente refinadas.

15. *Elaboração de gráficos de curva de resposta por Model Line:*

Primeiro, gera-se um **Model Line**:

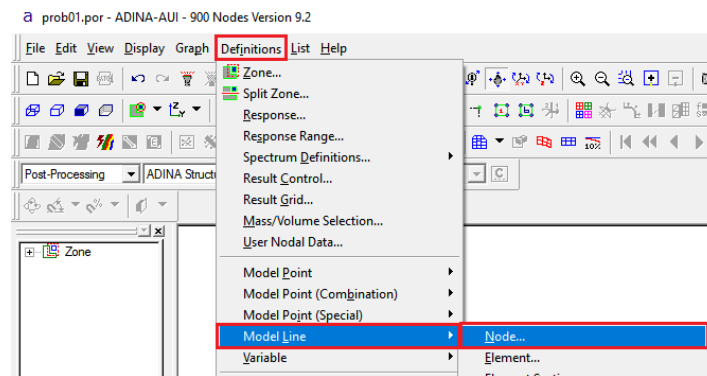


Figura 47: Gráfico de curva de resposta por Model Line

Selecionam-se os nós da seção transversal no meio do vão, a saber, **nós 13, 14, 21, 46 e 53**. Como a malha deste exemplo é pouco refinada, convém simplesmente

digitar os nós na janela. Todavia, para malhas com muitos nós, recomenda-se selecionar nó a nó com o auxílio do *mouse*, após pressionar duas vezes sobre qualquer ponto da coluna em azul.

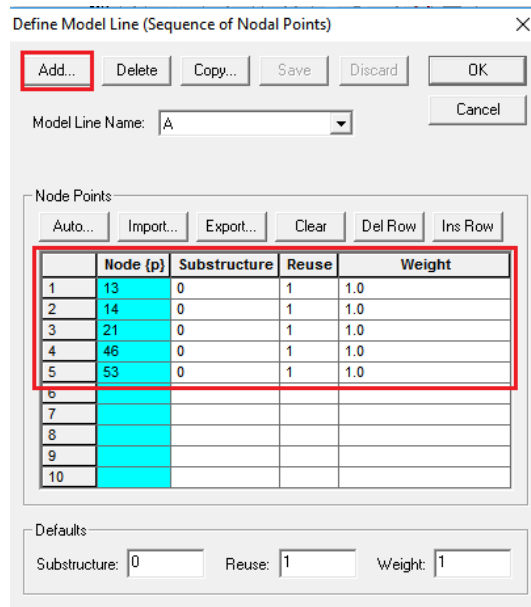


Figura 48: Definição de sequência de Nodal Points

Gerado o **Model Line**, deve-se abrir a janela de elaboração do gráfico:

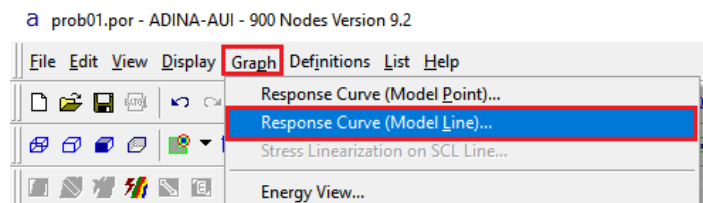


Figura 49: Gráfico de curva de resposta por Model Line

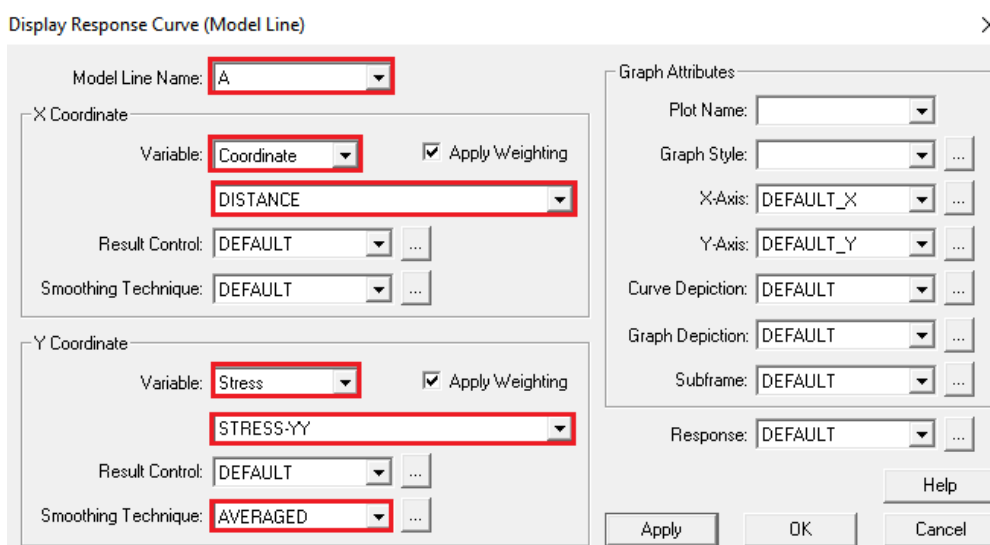


Figura 50: Geração do gráfico de resposta por Model Line

Ressalta-se a importância de impor **Averaged** como técnica de suavização, a fim de que o gráfico seja efetivamente gerado.

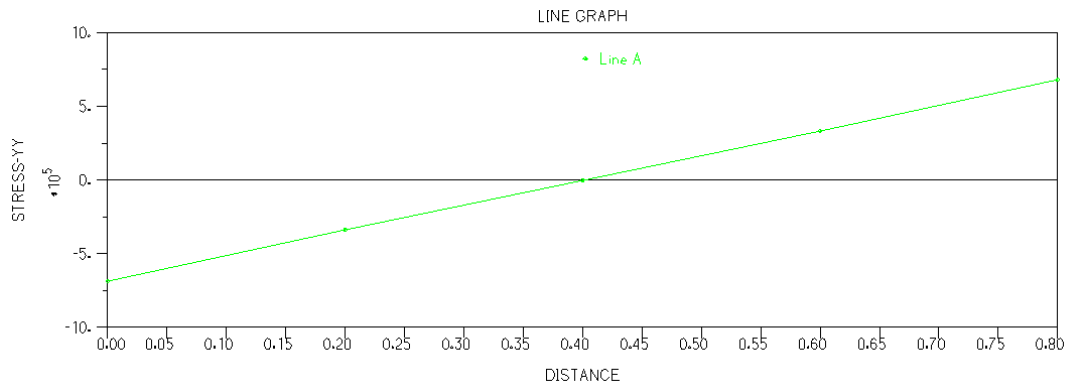


Figura 51: Gráfico de curva de resposta para tensão σ_{yy}

Observa-se da imagem anterior que o que se está a representar é a tensão normal ao longo da seção transversal no meio do vão.

16. *Elaboração de lista de valores por Model Line:*

O passo adiante é muito semelhante ao procedimento de listagem outrora feito:

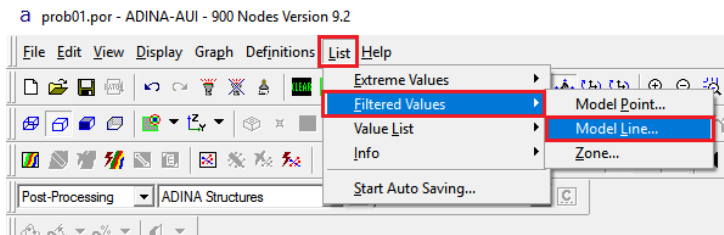


Figura 52: Criação de lista de valores por Model Line

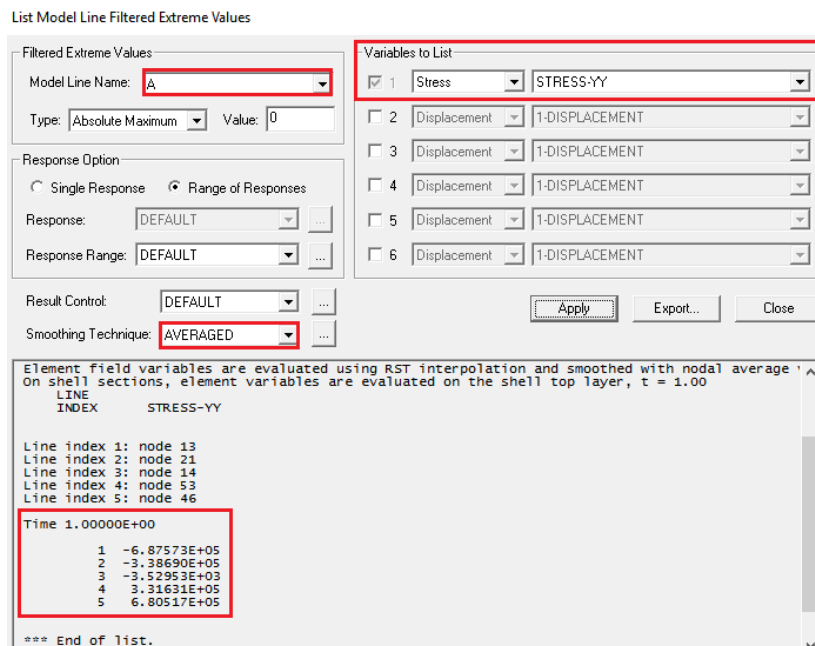


Figura 53: Lista com deslocamentos em Z do Model Line