

AVALIAÇÃO DE MÓDULO

Claiton S. Mattos - Pós Graduação em Simulação Computacional - Análise Numérica Estrutural pelo Método dos Elementos Finitos

Disciplina de Análise Não-Linear: Contatos, materiais e geométricas.

Professor Germano G. de Freitas

1 Resumo

Visando a aplicação dos conceitos expostos durante a disciplina de Análise Não-Linear, foi proposto um exercício como avaliação do módulo.

O exercício consiste na proposição de um modelo (de livre escolha do aluno) a ser trabalhado no software ANSYS Workbench, no qual sejam aplicadas algumas das não-linearidades ensinadas em aula.

2 Exercícios

2.1 Modelo simplificado de conformação de chapa de aço

O modelo escolhido para a realização do exercício é uma simplificação bidimensional de um mecanismo de estampagem (conformação) de chapa metálica. A geometria foi descrita em termos de uma chapa, um punção, uma matriz e dois suportes (sujeitadores), conforme apresentado na figura 1.

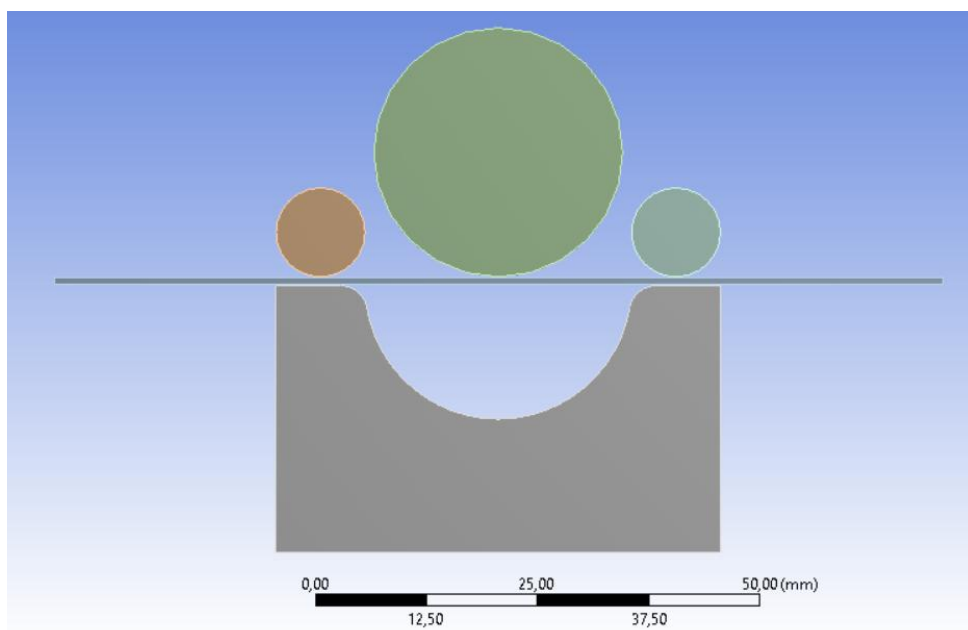


Figura 1 – Geometria modelada para o caso

Todos os corpos foram tratados como tendo comportamento flexível, ou seja, não foi utilizada nenhuma simplificação de corpo rígido.

As malhas priorizaram as regiões de contatos, bem como a chapa (corpo de interesse, a ser monitorado). Para estes corpos, foram realizados refinamentos. As configurações das malhas, antes da simulação, assumiram a configuração mostrada na figura 2.

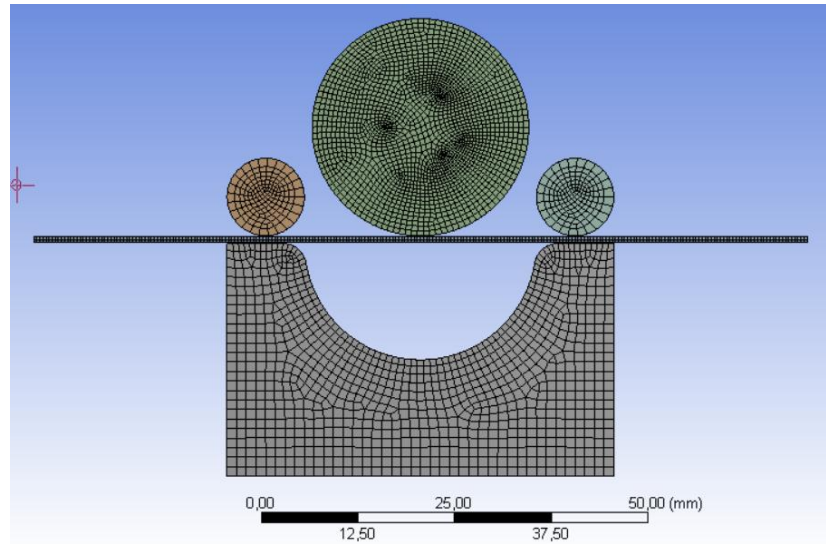


Figura 2 - Geração das malhas dos corpos

O material utilizado para o punção, a matriz e os sujeitadores foi o aço estrutural, material padrão da biblioteca do programa, com comportamento puramente linear elástico.

Para a chapa, foi criado um material com as propriedades físicas do mesmo aço, porém, acrescido de um comportamento de plasticidade, do tipo *Bilinear isotropic hardening*, de acordo com as figuras 3 e 4, mostradas a seguir.

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	source		Description
2	Material			
3	Chapa			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: Chapa

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Mod...			
8	Young's Modulus	2E+05	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+05	MPa		
11	Shear Modulus	76923	MPa		
12	Bilinear Isotropic Hardening				
13	Yield Strength	250	MPa		
14	Tangent Modulus	1600	MPa		
15	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
19	Strain-Life Parameters				
27	Tensile Yield Strength	250	MPa		
28	Compressive Yield Strength	250	MPa		
29	Tensile Ultimate Strength	460	MPa		
30	Compressive Ultimate Strength	0	MPa		

Figura 3 - Propriedades do material "Chapa"

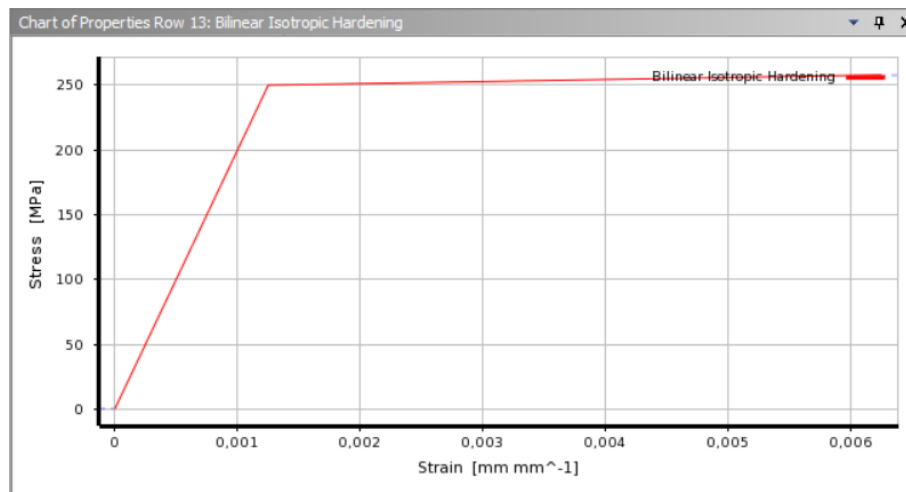


Figura 4 - Gráfico "Tensão x Deformação" do material "Chapa"

Desta forma, a primeira não-linearidade inserida no modelo foi de material. O material da chapa metálica tem um comportamento não linear de tensão em relação à deformação.

Na sequência, foram estabelecidas as relações de contatos entre os corpos do modelo. Os contatos entre a chapa e a matriz, e entre a chapa e os sujeitadores foi do tipo *Frictionless* (sem atrito), que é um contato não-linear. Trata-se de um tipo de contato que aceita grandes deslocamentos relativos entre as superfícies. Já o contato estabelecido entre o punção e a chapa foi do tipo *Frictional* (com atrito), com coeficiente de atrito estático de 0,2, e formulação do tipo *Pure Penalty*, que permite um certo grau de penetração entre as superfícies, e facilita a convergência do modelo.

O contato *Frictional* e seus parâmetros são mostrados nas figuras 5 e 6.

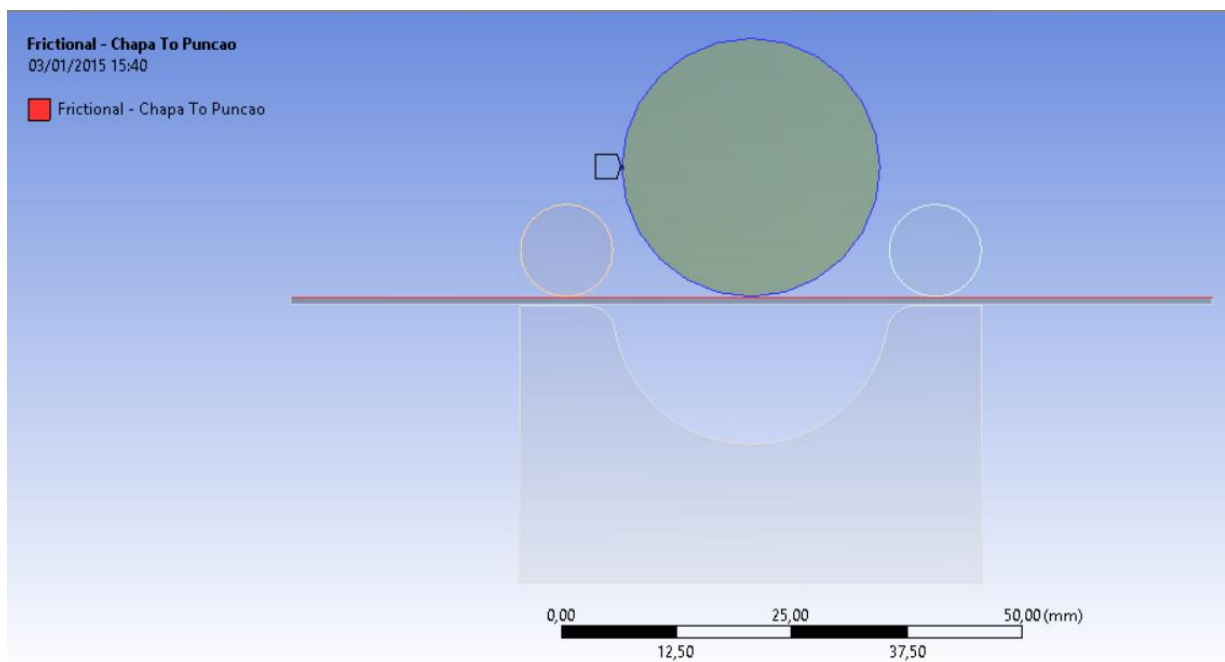
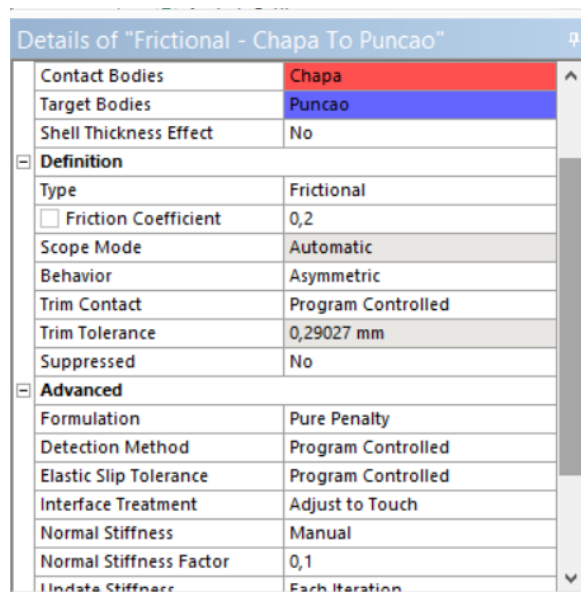


Figura 5 - Contato Punção - Chapa



Details of "Frictional - Chapa To Puncao"	
Contact Bodies	Chapa
Target Bodies	Puncao
Shell Thickness Effect	No
Definition	
Type	Frictional
<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0,2
Scope Mode	Automatic
Behavior	Asymmetric
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	0,29027 mm
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Detection Method	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Interface Treatment	Adjust to Touch
Normal Stiffness	Manual
Normal Stiffness Factor	0,1
Update Stiffness	Each Iteration

Figura 6 - Parâmetros do contato Punção - Chapa

Posteriormente, foram estabelecidas as condições de contorno. A matriz foi mantida fixa, através de um suporte do tipo *Fixed Suport*. Da mesma forma, foram fixados os dois sujeitadores.

Para o punção, foi estabelecido um deslocamento ao longo do tempo, conforme mostrado na figura 7 e 8.

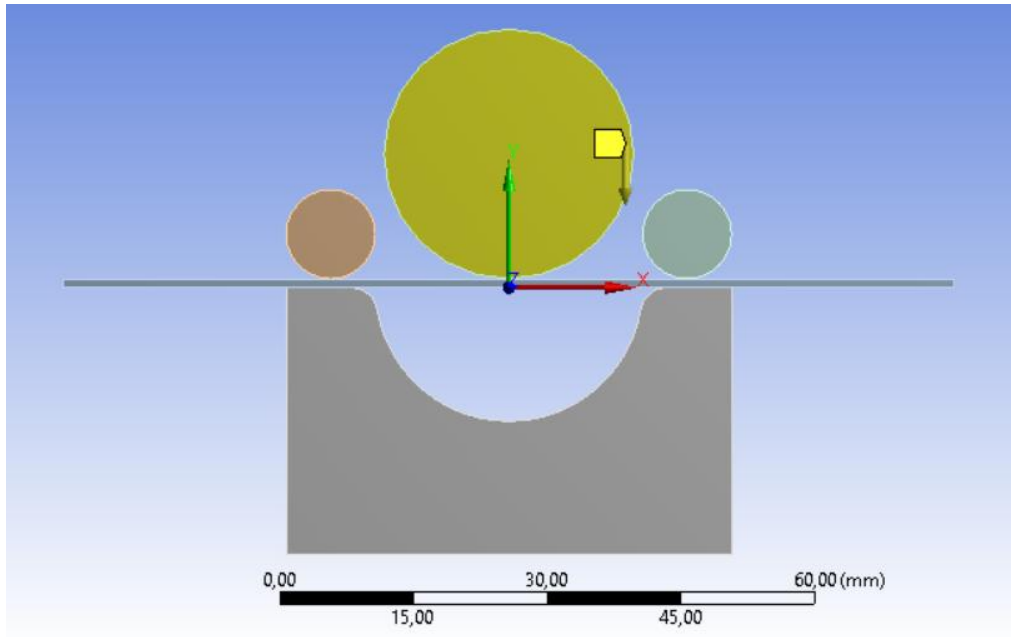


Figura 7 - Deslocamento do punção - Geometria

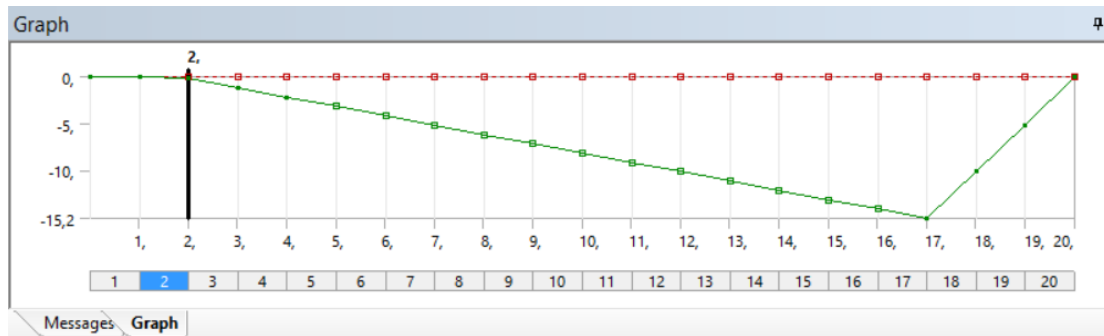


Figura 8 - Gráfico do deslocamento do punção ao longo do tempo

Finalmente, foi ativado o comportamento *Large Deflection* aos parâmetros da análise, sendo este uma não-linearidade geométrica, que prevê a existência de grandes deslocamentos durante o carregamento e possíveis alterações geométricas significativas no corpo deformado.

O modelo foi executado e levou cerca de 18 minutos até que convergisse para uma solução.

Abaixo, nas figuras 9 e 10, são mostradas duas etapas do processo de conformação da chapa em resultados de deslocamento.

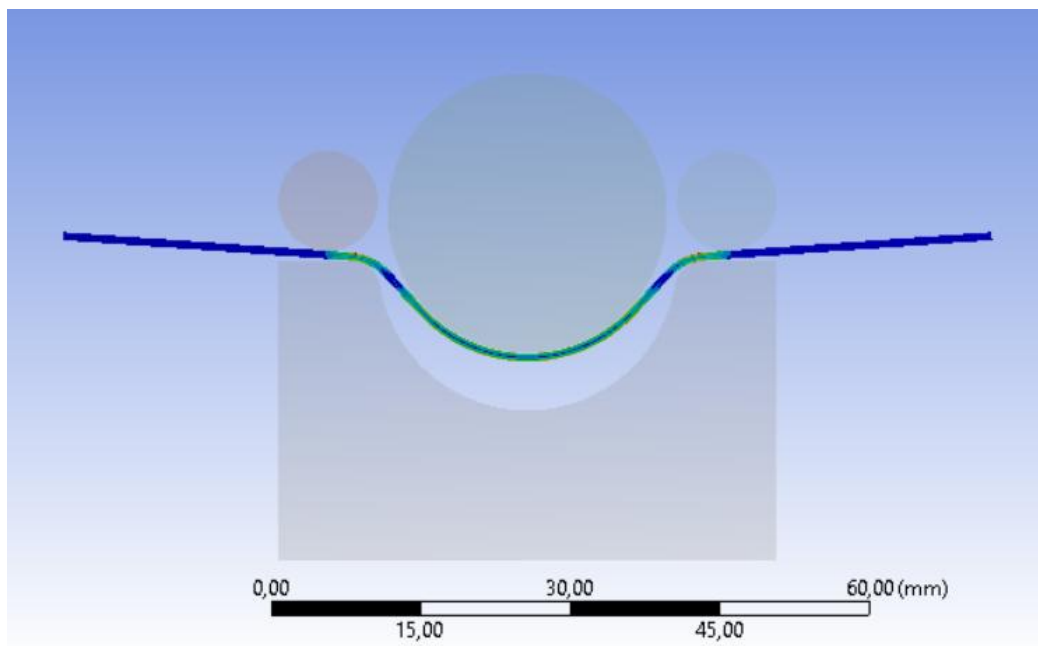


Figura 9 - instante de tempo intermediário de deformação

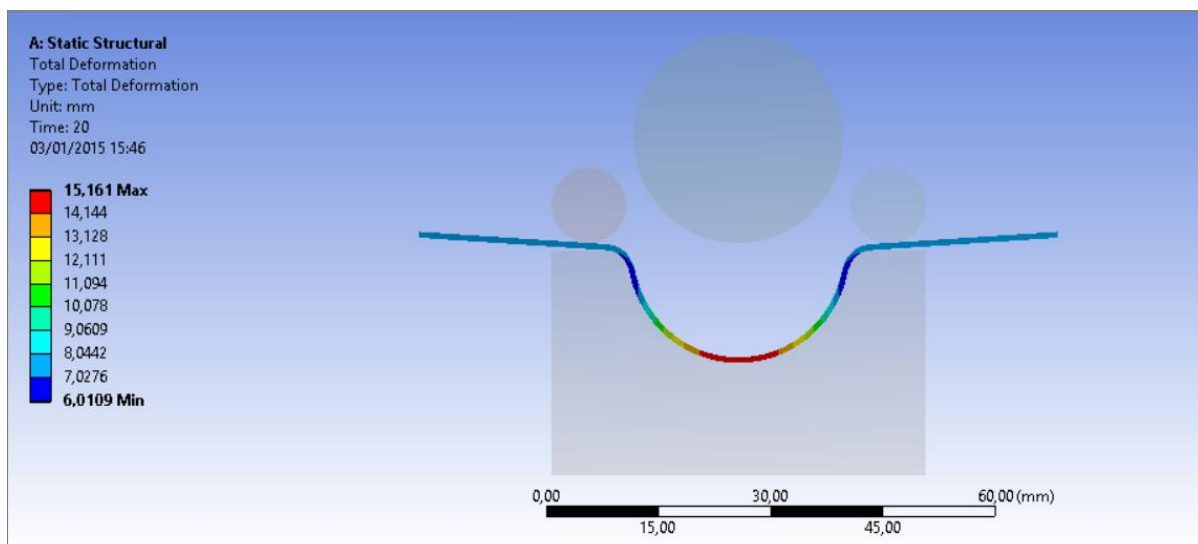


Figura 10 - Tempo final de deformação - chapa conformada

A seguir, nas figuras 11 e 12 são apresentados os resultados de deformação equivalente elástica e plástica, respectivamente.

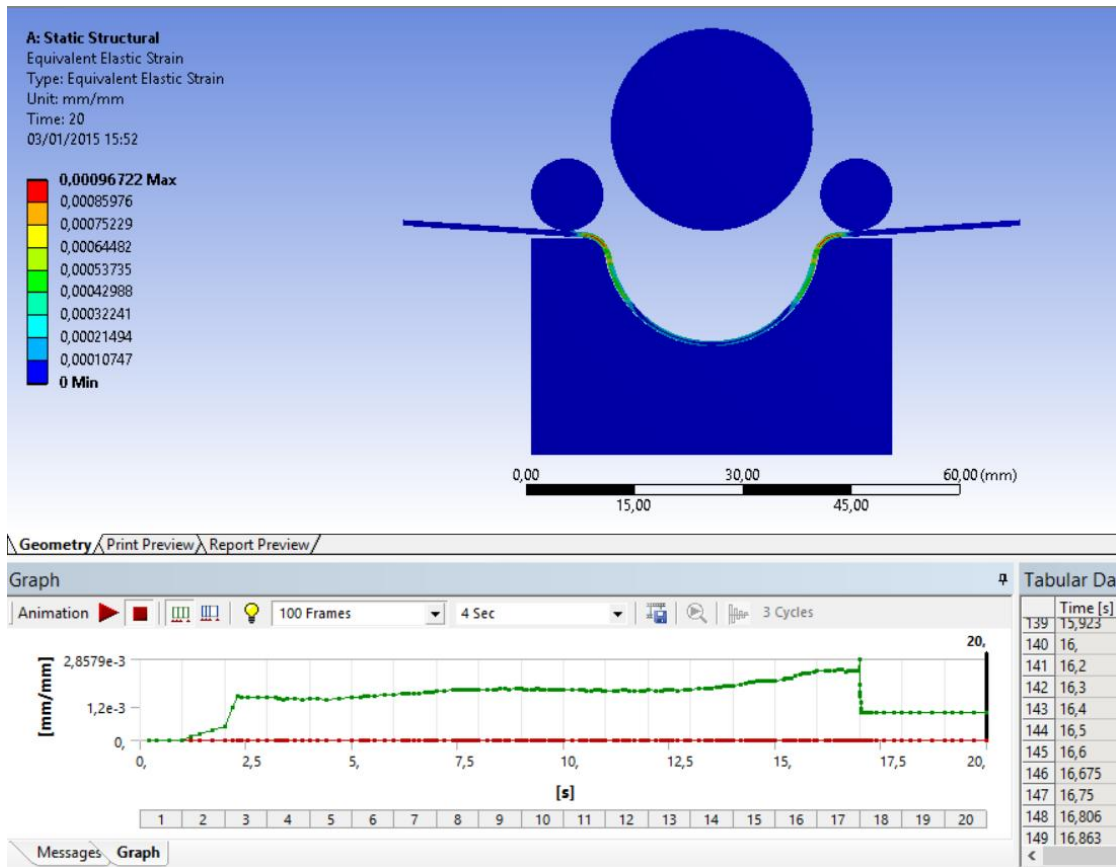


Figura 11 - Deformação equivalente elástica

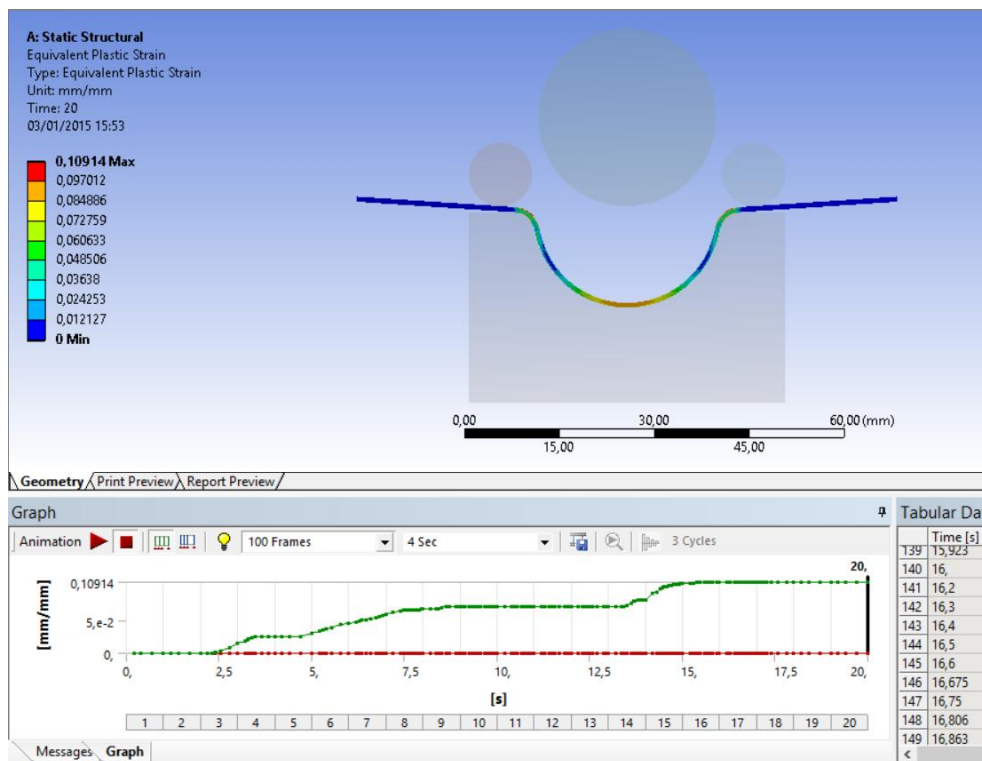


Figura 12 - Deformação equivalente plástica

Finalmente, na figura 13, os resultados de tensão equivalente de von Mises.

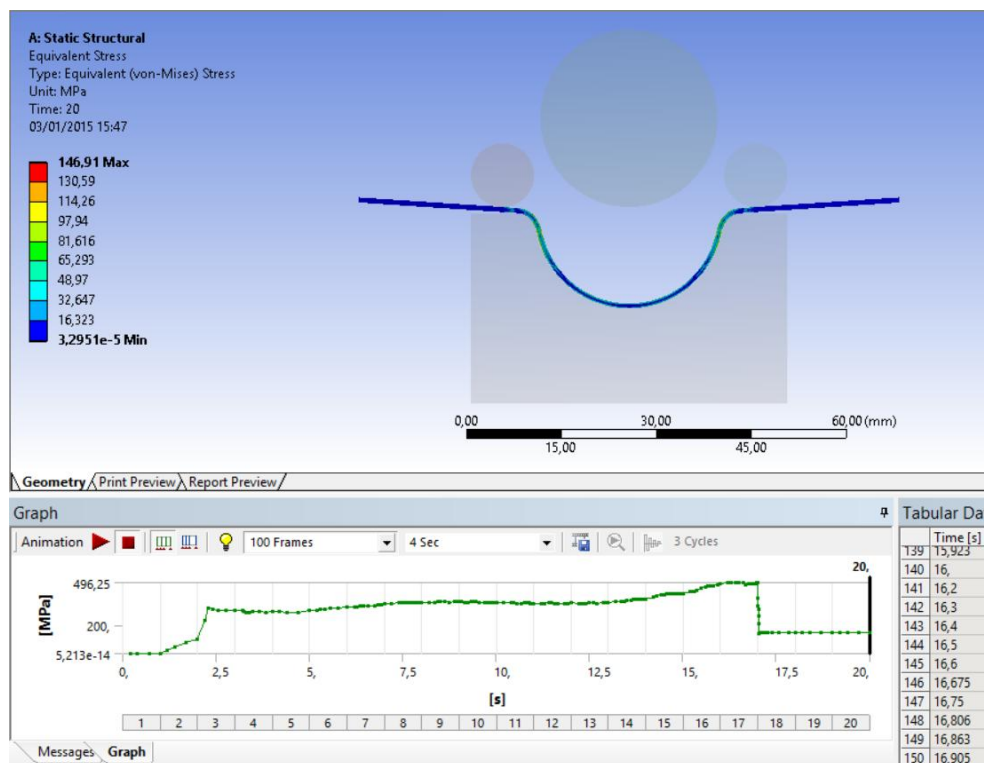


Figura 13 - Tensão equivalente de von Mises

Ao final, conclui-se que o software oferece uma série de ferramentas para a inclusão de não-linearidades ao modelo. As não-linearidades podem ser físicas, geométricas e de contato. Observa-se que as não-linearidades tornam a matemática do modelo mais complexa e, portanto, dificultam a convergência da solução, fazendo com que problemas não lineares sejam mais caros, do ponto de vista computacional (tempo).

Cabe, portanto, ao usuário avaliar as necessidades do problema, optando por considerar total ou parcialmente as não-linearidades, ou buscar simplificações, de acordo com o grau de incerteza esperado para as soluções do modelo. Em determinados casos, abre-se mão de um resultado refinado favorecendo-se o tempo de convergência. Em outros casos, a precisão é fundamental, e lança-se mão de todos os detalhes matemáticos do modelo, por maior que seja o custo das respostas.