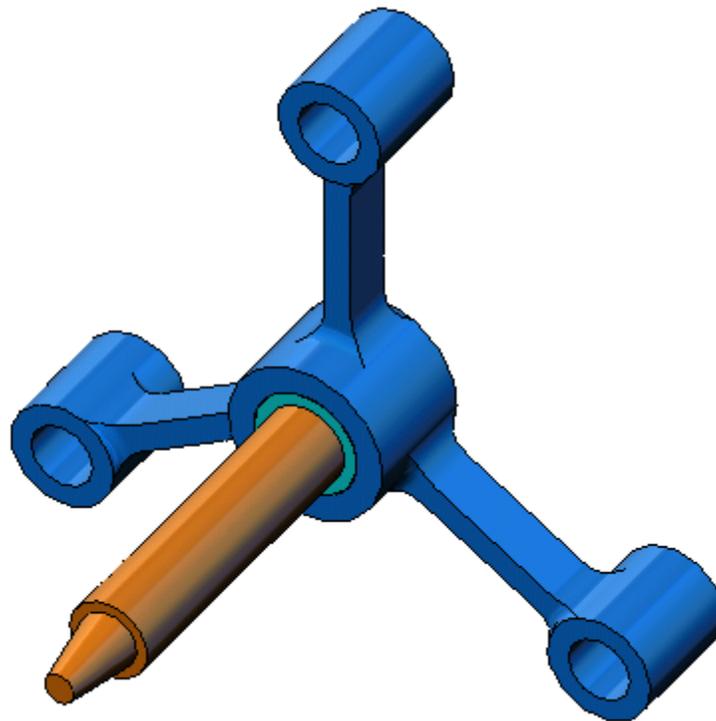




Uma introdução a aplicações de análise de tensão com o SolidWorks Simulation, Manual do Instrutor



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, uma empresa da Dassault Systèmes S.A.
300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 EUA.

Todos os direitos reservados.

As informações e o software discutidos neste documento estão sujeitos a modificações sem aviso e não constituem compromissos da Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

Nenhum material pode ser reproduzido ou transmitido sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, para qualquer finalidade, sem a expressa permissão por escrito da DS SolidWorks.

O software abordado neste documento é fornecido sob licença e poderá ser utilizado ou copiado apenas de acordo com os termos desta licença. Todas as garantias fornecidas pela DS SolidWorks referentes a software e documentação estão estabelecidas no Contrato de Licença e Serviço de Assinatura da SolidWorks Corporation, e nada que estiver declarado ou implícito neste documento ou seu conteúdo deve ser considerado ou julgado como modificações ou alterações dessas garantias.

Comunicados de patentes para os produtos SolidWorks Standard, Premium e Professional

Patentes nos EUA 5.815.154; 6.219.049; 6.219.055; 6.603.486; 6.611.725; 6.844.877; 6.898.560, 6.906.712; 7.079.990; 7.184.044; 7.477.262; 7.502.027; 7.558.705; 7.571.079; 7.643.027 e patentes no exterior (p.ex., EP 1.116.190 e JP 3.517.643).

Patentes pendentes nos EUA e no exterior.

Marcas comerciais e outros comunicados para todos os produtos da SolidWorks.

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, PDMWorks, eDrawings e o logotipo eDrawings são marcas registradas, e FeatureManager é uma marca registrada de co-propriedade da DS SolidWorks.

SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation e SolidWorks 2010 são nomes de produtos da DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst e XchangeWorks são marcas comerciais da DS SolidWorks.

FeatureWorks é uma marca registrada da Geometric Ltd.

Outras marcas ou nomes de produtos são marcas comerciais ou registradas de seus respectivos proprietários.

SOFTWARE COMERCIAL PARA COMPUTADORES SOFTWARE - EXCLUSIVO

Direitos restritos do Governo dos Estados Unidos. O uso, duplicação ou divulgação pelo governo estão sujeitos às restrições estabelecidas em FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation) e no acordo de licença, conforme aplicável.

Contratante/Fabricante:

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation,
300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 EUA

Comunicados de direitos autorais para os produtos SolidWorks Standard, Premium e Professional

Partes deste software © 1990-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd.

Partes deste software © 1998-2010 Geometric Ltd.

Partes deste software © 1986-2010 mental images GmbH & Co. KG.

Partes deste software © 1996-2010 Microsoft Corporation.
Todos os direitos reservados.

Partes deste software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Partes deste software © 1998-2010 3Dconnexion.

Este software é baseado em parte no trabalho do Independent JPEG Group. Todos os direitos reservados.

Partes deste software incorporam o PhysX™ da NVIDIA 2006-2010.

Partes deste software são protegidas por copyright e são propriedade da UGS Corp. © 2010.

Partes deste software © 2001-2010 Luxology, Inc.
Todos os direitos reservados. Patentes pendentes.

Partes deste software © 2007-2010 DriveWorks Ltd

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. e seus licenciados. Todos os direitos reservados. Protegidos pelas patentes nos EUA 5.929.866; 5.943.063; 6.289.364; 6.563.502; 6.639.593; 6.754.382; patentes pendentes.

Adobe, o logotipo Adobe, Acrobat, o logotipo Adobe PDF, Distiller e Reader são marcas registradas ou marcas comerciais da Adobe Systems Inc. nos EUA e em outros países.

Para obter mais informações a respeito de direitos autorais, consulte na Ajuda > Sobre o SolidWorks.

Outras partes do SolidWorks 2010 são concedidas por licenciados da DS SolidWorks.

Comunicados de direitos autorais para o SolidWorks Simulation

Partes deste software © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Todos os direitos reservados.

Partes deste produto são distribuídas sob licença da DC Micro Development, Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. Todos os direitos reservados.

Ao instrutor:

Este documento apresenta aos usuários do SolidWorks o pacote de software SolidWorks Simulation. As metas específicas desta lição são:

- 1 apresentar os conceitos básicos da análise estática estrutural e seus benefícios.
- 2 demonstrar a facilidade de uso e o processo conciso para realização dessas análises.
- 3 apresentar as regras básicas da análise estática e como obter resultados confiáveis e exatos.

Este documento é estruturado de maneira semelhante às lições do Manual do Instrutor do SolidWorks. Esta lição possui páginas correspondentes no *Livro de Exercícios do SolidWorks Simulation*.

Nota: Esta lição não pretende ensinar todos os recursos do SolidWorks Simulation. Ela se destina a apresentar os conceitos básicos e as regras para realização de análise estática linear e mostrar a facilidade de uso e a concisão do processo envolvido.

DVD com Currículo e Software de Ensino do Curso da Edição Educacional

Este curso fornece um DVD com *Currículo e Software de Ensino da Edição Educacional*.

A instalação do DVD cria uma pasta denominada SolidWorks Curriculum_and_Courseware_2010. Esta pasta contém diretórios do curso e vários outros.

Materiais do curso para os alunos também podem ser obtidos por download na SolidWorks. Clique na guia Recursos do SolidWorks no Painel de tarefas e selecione Currículo do Aluno.



Clique duas vezes no curso de que deseja fazer download. Pressione a tecla Control e selecione o curso para fazer download do respectivo arquivo ZIP. O arquivo Lessons contém as partes necessárias para concluir as lições. O Student Guide contém o arquivo PDF do curso.

Materiais do curso para os professores também podem ser obtidos por download no site da SolidWorks. Clique na guia Recursos do SolidWorks no Painel de tarefas e selecione Currículos dos Instrutores. Isso permitirá que acesse a página Recursos do educador mostrada a seguir.

Home > Training & Support > Technical Support > Learning Resources > Educator Resources*

Educator Resources*

Educator references including lesson plans, PowerPoint presentations, student goals, vocabulary, and student assessments. These materials are provided in a combination of project-based and topic-based formats.

Note: These educator resources are for SolidWorks 2008. For SolidWorks 2007 resources, [click here](#).

EDU Curriculum Introduction (2008)
Overview of the guides and resources listed below.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Curriculum introduction		X	X	X	X	X	X	-	-	-	-

SolidWorks Teacher Guide (2008)
Includes lesson plans, presentations, student goals, vocabulary, and assessments.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Student SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teacher SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

COSMOSWorks Educator Guide (2008)
An introduction to the principles of analysis using COSMOSWorks.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	X	X	X	X	X	-

COSMOSFloWorks Educator Guide (2008)
An introduction to the principles of fluid flow analysis using COSMOSFloWorks.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	-	-	-	-	X	-	-	-	-

COSMOSMotion Educator Guide (2008)
From dynamics to kinematics, incorporate theory through virtual simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Student workbook		X	X	X	X	-	X	X	-	-	-
Examples		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instructor guide		X	X	X	X	-	X	X	-	-	-

Bridge Design Project (2008)
Use COSMOSWorks to analyze different loading conditions of the bridge.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	X	-	X	X	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CO2 Car Design Project (2008)
Design and analyze a CO2 powered car. Make design changes to reduce drag.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook and SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

F1 in Schools Design Project (2008)
Design a model Formula 1 car then optimize it using SolidWorks Simulation.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	X	-	X	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Mountain Board Design Project (2008)
Design, analyze, and create photorealistic rendering of a mountain board.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Seabotx ROV Design Project (2008)
These 5-minute-long tutorials teach the fundamentals of DimXpert.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Hands-On Test Drive		X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks template files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Trebuchet Design Project (2008)
Construct a trebuchet and analyze to determine material and thickness.

Description	Type	ENG	FRA	DEU	ITA	ESP	JPN	CHS	CHT	PBT	SVE
Project workbook		X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
SolidWorks files		X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Back to top

Print | Email

Linha de produtos do SolidWorks Simulation

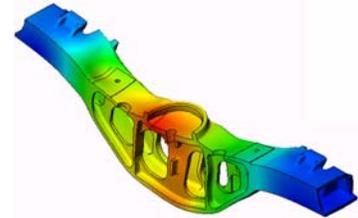
Embora este curso focalize a introdução à simulação estática linear de corpos estáticos usando o SolidWorks Simulation, a linha de produtos completa abrange uma ampla faixa de áreas de análise a considerar. O parágrafo a seguir lista toda a linha de pacote e módulos do SolidWorks Simulation.

Estudos estáticos oferecem ferramentas para análise de tensão linear de peças e montagens submetidas a cargas estáticas. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A peça irá quebrar sob cargas normais de operação?

O modelo está superdimensionado?

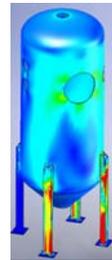
O projeto pode ser modificado para aumentar o fator de segurança?



Estudos de flambagem analisam o desempenho de peças finas sob cargas de compressão. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

As pernas de meu vaso são fortes o suficiente para não apresentarem falha por escoamento, mas serão resistentes para não cederem devido à perda de estabilidade?

O projeto pode ser modificado para assegurar a estabilidade dos componentes finos na montagem?

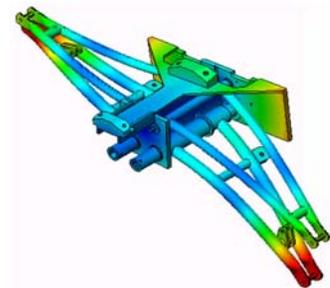


Estudos de frequência oferecem ferramentas para análise de modos e frequências naturais. Isso é essencial no projeto de muitos componentes carregados de maneira estática e dinâmica. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A peça irá entrar em ressonância sob cargas normais de operação?

As características de frequência dos componentes é adequada para a aplicação pretendida?

O projeto pode ser modificado para melhorar as características de frequência?



Estudos térmicos oferecem ferramentas para análise da transferência de calor por meio de condução, convecção e radiação. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

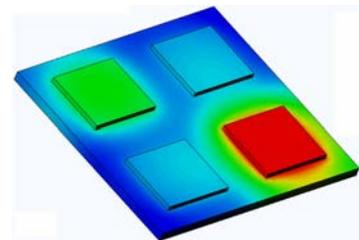
Mudanças de temperatura afetarão o modelo?

Como o modelo opera em um ambiente com flutuação de temperatura?

Quanto tempo demora em o modelo resfriar ou superaquecer?

A alteração de temperatura provoca expansão do modelo?

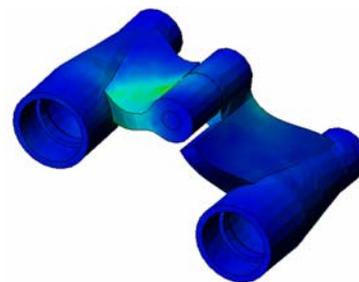
As tensões provocadas pela mudança de temperatura provocam a falha do produto (estudos estáticos e térmicos são usados para responder a esta pergunta)?



Estudos de teste de queda são usados para analisar a tensão em peças ou montagens móveis chocando-se contra um obstáculo. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

O que acontece se o produto for manuseado incorretamente durante o transporte ou sofrer uma queda?

Como o produto se comporta quando sofre uma queda em piso de madeira rígida, carpete ou concreto?



Estudos de otimização são aplicados para melhorar (otimizar) o projeto inicial com base em um conjunto de critérios selecionados como tensão máxima, peso, frequência ideal etc. Perguntas típicas que serão respondidas usando este tipo de estudo incluem:

A forma do modelo pode ser alterada mantendo a intenção do projeto?

O projeto pode ser modificado para se tornar mais leve, menor e mais econômico sem comprometer a resistência e o desempenho?



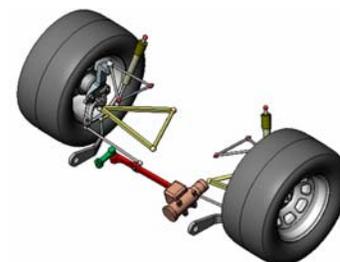
Estudos de fadiga analisam a resistência de peças e montagens submetidas a cargas repetitivas por longo tempo. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

A vida útil do produto pode ser estimada com exatidão?

A modificação do projeto atual ajuda a prolongar a vida do produto?

O modelo está seguro quando exposto a forças variáveis ou a cargas de temperatura por longos períodos?

Reprojetar o modelo ajuda a minimizar os danos causados por forças ou temperaturas variáveis?



Estudos não lineares oferecem ferramentas para análise de tensão em peças e montagens que sofrem cargas intensas e/ou grandes deformações. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

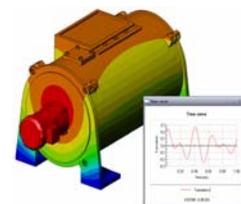
Peças fabricadas em borracha (o-rings, por exemplo) ou espuma apresentam bom desempenho sob determinada carga?

O modelo sofre dobramento excessivo sob condições normais de operação?



Estudos dinâmicos analisam objetos submetidos a cargas que variam com o tempo. Exemplos típicos poderiam ser cargas de choque em componentes montados em veículos, turbinas submetidas a cargas de forças oscilatórias, componentes de aeronaves sob cargas aleatórias etc. Estão disponíveis estudos lineares (pequenas deformações estruturais, modelos de materiais básicos) e não lineares (grandes deformações estruturais, cargas intensas e materiais avançados). Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste tipo de estudo incluem:

Os suportes submetidos a cargas de choque quando o veículo passa por buracos na estrada foram projetados de forma segura? Quanto eles se deformam sob essas circunstâncias?



O Motion Simulation permite ao usuário analisar o comportamento cinemático e a dinâmico dos mecanismos. Forças inerciais e forças que atuam nas juntas podem ser subsequentemente transferidas para os estudos do SolidWorks Simulation para continuar com a análise de tensão. Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste módulo incluem:



Qual é o tamanho correto do motor ou do atuador para o projeto?

O projeto das articulações, engrenagens ou mecanismos de travamento está otimizado?

Quais são os deslocamentos, as velocidades e as acelerações dos componentes do mecanismo?

O mecanismo é eficiente? Ele pode ser aprimorado?

O módulo de compostos permite ao usuário simular estruturas fabricadas a partir de materiais laminados compostos.

Perguntas típicas que serão respondidas com o uso deste módulo incluem:

O modelo composto falha sob a carga especificada?

A estrutura pode ficar mais leve usando materiais compostos sem comprometer a resistência e a segurança?

O composto laminado vai soltar suas camadas?

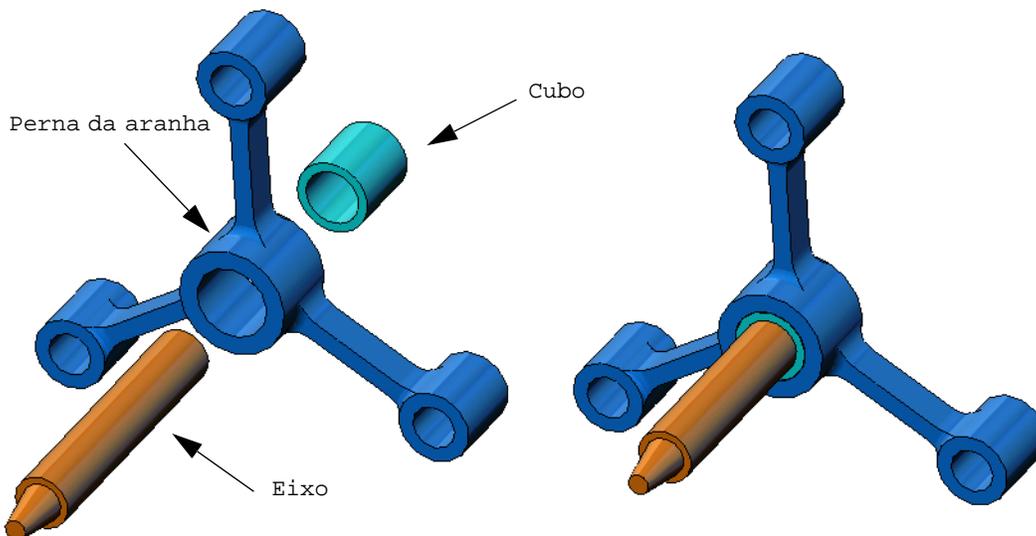


Lição 1: Funcionalidade básica do SolidWorks Simulation

Objetivos desta lição

- ❑ Apresentar a análise de projeto como uma ferramenta essencial para complementar a modelagem 3D usando o SolidWorks. Após a conclusão bem-sucedida, os participantes devem poder compreender os conceitos básicos da análise de projeto e como eles são implementados no SolidWorks Simulation. Os alunos devem ver como a análise pode poupar tempo e dinheiro ao reduzir os ciclos de projeto demorados e caros.
- ❑ Apresentar a análise de projeto usando um exercício de aprendizado ativo. O exercício de aprendizado ativo desta lição foi desenvolvido para quebrar o gelo, fazendo com que os alunos realizem algumas etapas para a conclusão de uma análise. Tendo em mente esse conceito, as etapas são realizadas com poucas descrições.
- ❑ Apresentar o conceito de geração de malha no modelo. A malha gerada depende das preferências de malha que estão ativas. Essas opções não são explicadas aqui. Esta lição ensina a definir as opções de geração de malha, para que todos os alunos obtenham uma malha similar e, conseqüentemente, resultados semelhantes. A descrição das opções pode ser obtida clicando no botão Ajuda do PropertyManager onde elas estão especificadas.

Os resultados da análise podem variar ligeiramente, dependendo da versão/compilação do SolidWorks e do SolidWorks Simulation.



Resumo

- ❑ Discussão em aula
- ❑ Exercício de aprendizado ativo – Execução da análise estática
 - Abrir o documento `spider.SLDASM`
 - Verificar o menu do SolidWorks Simulation
 - Alternar para o SolidWorks Simulation Manager
 - Definir as unidades de análise
 - Etapa 1: Criar um estudo estático
 - Etapa 2: Atribuir materiais
 - Etapa 3: Aplicar acessórios de fixação
 - Etapa 4: Aplicar cargas
 - Etapa 5: Gerar malha da montagem
 - Etapa 6: Executar a análise
 - Etapa 7: Visualizar os resultados
 - Visualizar a tensão de von Mises
 - Animar a plotagem
 - Visualizar os deslocamentos resultantes
 - O projeto é seguro?
 - Qual é o nível de segurança do projeto?
 - Gerar um relatório de estudo
 - Salvar o seu trabalho e sair do SolidWorks
- ❑ Avaliação de 5 minutos
- ❑ Discussão em aula – Alterar as atribuições de material
- ❑ Mais para explorar – Modificar a geometria
- ❑ Exercícios e projetos – Deflexão de uma viga devido a uma força na extremidade
- ❑ Resumo da lição

Discussão em aula

Peça aos alunos para identificar objetos próximos e especificar as cargas e acessórios de fixação. Por exemplo, peça a eles para estimar a tensão nas pernas das cadeiras.

Resposta

- Tensão é força por unidade de área, ou força dividida pela área. As pernas aguentam o peso do aluno mais o peso da cadeira. O projeto da cadeira e como o aluno está sentado determinam a tensão compartilhada por cada perna. A tensão média é o peso do aluno mais o peso da cadeira divididos pela área das pernas.

Mais para explorar

O propósito desta seção é incentivar os alunos a pensar nas aplicações da análise de tensão. Peça aos alunos para estimar a tensão sobre seus pés quando estão em pé. A tensão é a mesma em todos os pontos? O que acontece se o aluno se inclinar para frente, para trás ou para o lado? Qual é a tensão nas articulações do joelho e do tornozelo? Essas informações são úteis para projetar juntas artificiais?

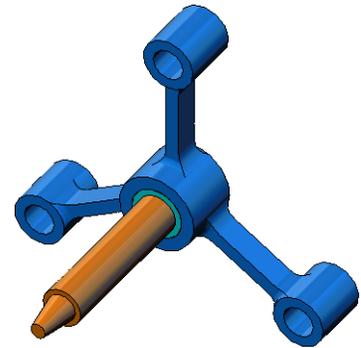
Resposta

- Tensão é força por unidade de área, ou força dividida pela área. A força é o peso do aluno. A área que suporta o peso é a dos pés em contato com os sapatos. Os sapatos redistribuem a carga e a transmitem para o chão. A força de reação do chão deve ser igual ao peso do aluno.
- Quando o aluno está em pé, cada pé aguenta aproximadamente metade do peso. Quando o aluno está caminhando, cada pé aguenta todo o peso. O aluno pode sentir que a tensão (pressão) é maior em alguns pontos. Quando estão em pé, os alunos podem mover seus dedos dos pés, o que indica que há pouca ou nenhuma tensão aplicada aos dedos. Quando os alunos se inclinam para frente, a tensão é redistribuída, concentrando-se mais nos dedos que no calcanhar. A tensão média é o peso dividido pela área dos pés em contato com os sapatos.
- Podemos calcular a tensão média nas articulações do joelho e do tornozelo se soubermos a área que suporta o peso. Resultados detalhados exigem a realização da análise de tensão. Se pudermos construir a montagem da articulação do joelho ou do tornozelo no SolidWorks com as dimensões corretas e se soubermos as propriedades elásticas das várias peças, a análise de tensão pode nos fornecer os valores de tensão em cada ponto da articulação em diferentes situações de suporte e carga. Os resultados podem ajudar a aprimorar os projetos de juntas artificiais.
- Os alunos podem perguntar se o SolidWorks Simulation é capaz de modelar ossos. A resposta é sim, e alguns desses problemas já foram resolvidos por usuários do SolidWorks Simulation e usados para projetar próteses de juntas artificiais.

Exercício de aprendizado ativo – Execução da análise estática

Use o SolidWorks Simulation para executar uma análise estática da montagem *Spider*. SLDASM mostrada à direita.

As instruções passo a passo são fornecidas abaixo.



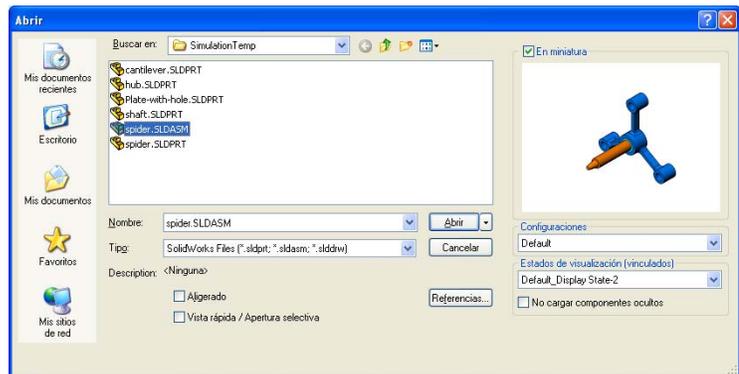
Criar um diretório SimulationTemp

Recomendamos salvar o SolidWorks Simulation Education Examples em um diretório temporário para salvar a cópia original para uso repetido.

- 1 Crie um diretório temporário denominado *SimulationTemp* na pasta *Examples* do diretório de instalação do SolidWorks Simulation.
- 2 Copie o diretório do SolidWorks Simulation Education Examples no diretório *SimulationTemp*.

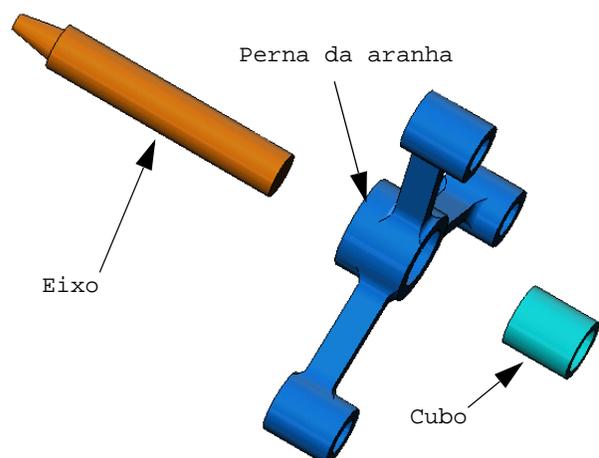
Abrir o documento *Spider*. SLDASM

- 1 Clique em **Abrir**  na barra de ferramentas Padrão. A caixa de diálogo **Abrir** é exibida.
- 2 Acesse a pasta *SimulationTemp* no diretório de instalação do SolidWorks Simulation.
- 3 Selecione *Spider*. SLDASM
- 4 Clique em **Abrir**.



A montagem *spider*. SLDASM é aberta.

A montagem *spider* possui três componentes: *shaft*, *hub* e *spider leg*. A figura abaixo mostra os componentes da montagem em vista explodida.



Verificar o menu do SolidWorks Simulation

Se o SolidWorks Simulation estiver instalado corretamente, o menu SolidWorks Simulation será exibido na barra de menus do SolidWorks.



Menu do SolidWorks Simulation

Caso contrário:

- 1 Clique em **Ferramentas, Suplementos**.

A caixa de diálogo **Suplementos** é exibida.

- 2 Marque as caixas de seleção ao lado do SolidWorks Simulation.

Se o SolidWorks Simulation não estiver na lista, será necessário instalar o SolidWorks Simulation.

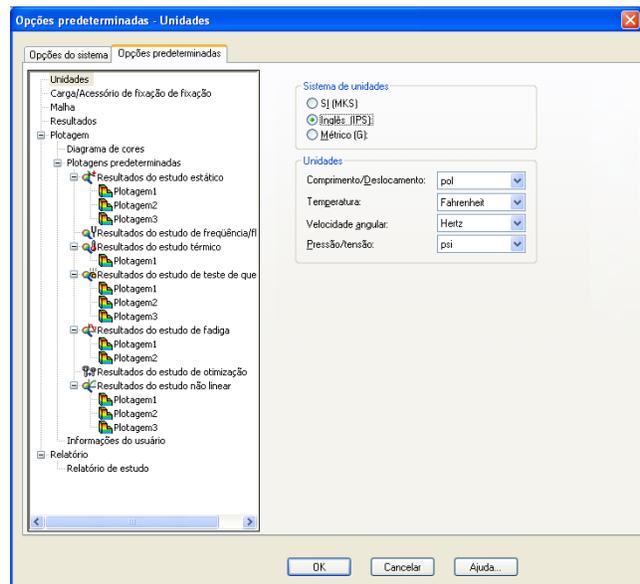
- 3 Clique em **OK**.

O menu SolidWorks Simulation é exibido na barra de menus do SolidWorks.

Definir as unidades de análise

Antes de começar esta lição, vamos definir as unidades da análise.

- 1 Na barra de menus do SolidWorks, clique em **Simulation, Opções**.
- 2 Clique na guia **Opções predeterminadas**.
- 3 Selecione **Inglês (IPS)** em **Sistema de unidades**.
- 4 Selecione **pol.** e **psi** nos campos **Comprimento/deslocamento** e **Pressão/tensão**, respectivamente.
- 5 Clique em **OK**.



Etapa 1: Criar um estudo

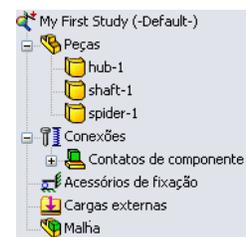
A primeira etapa da execução da análise é criar um estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

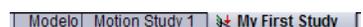
O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

- 2 Em **Nome**, digite My First Study.
- 3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.
- 4 Clique em **OK**.

O SolidWorks Simulation cria uma árvore de estudo do Simulation localizada abaixo da árvore de projeto do FeatureManager.



Também é criada uma guia na parte inferior da janela para você acessar múltiplos estudos e o seu modelo.



Etapa 2: Atribuir material

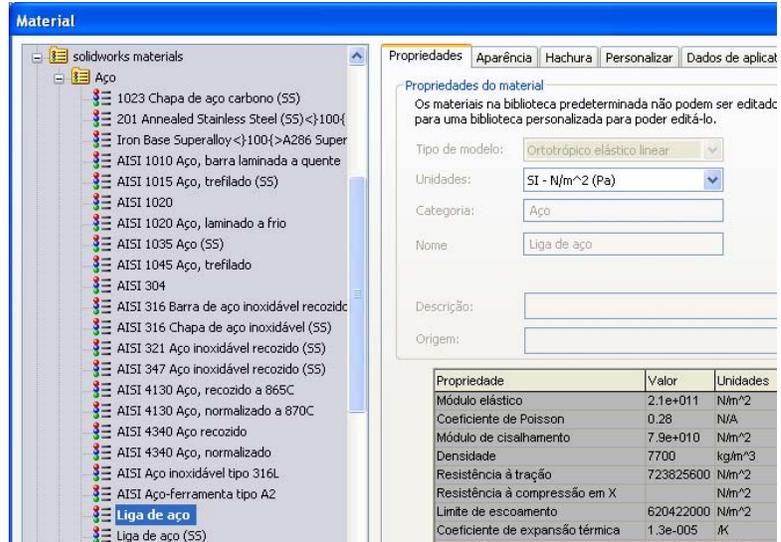
Todos os componentes da montagem são fabricados em liga de aço.

Atribuir Liga de aço para Todos os componentes

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Parts** e clique em **Aplicar material a todos**.

A caixa de diálogo **Material** é exibida.

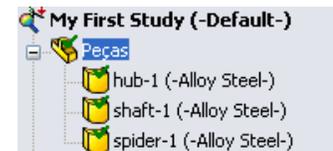
- 2 Faça o seguinte:
 - a) Expanda pasta de biblioteca SolidWorks Materials.
 - b) Expanda a categoria Steel.
 - c) Selecione **Liga de aço**.



Nota: As propriedades mecânicas e físicas da liga de aço são exibidas na tabela da direita.

- 3 Clique em **Aplicar**.
- 4 Feche a janela **Materiais**.

A liga de aço é atribuída a todos os componentes e uma marca de seleção é exibida no ícone de cada componente. Observe que o nome do material atribuído é exibido ao lado do nome do componente.



Etapa 3: Aplicar acessórios de fixação

Vamos fixar os três furos.

- 1 Use as teclas de **seta** para girar a montagem, conforme mostrado na figura.
- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e selecione **Geometria fixa**.
O PropertyManager **Acessório de fixação** é exibido.
- 3 Certifique-se de que **Tipo** esteja configurado como **Geometria fixa**.
- 4 Na área de gráficos, selecione as faces dos três furos, como mostra a figura.

Face<1>, Face<2> e Face<3> são exibidas na caixa **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**.

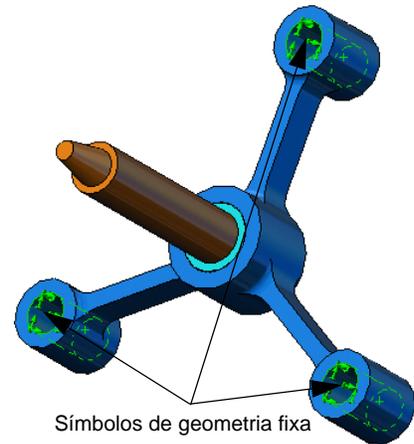


- 5 Clique em .

O acessório de fixação Fixed é aplicado, e seus símbolos são exibidos nas faces selecionadas.

O item Fixed-1 também aparece na pasta Fixtures na árvore de estudo do Simulation.

O nome do acessório de fixação pode ser alterado a qualquer momento.



Etapa 4: Aplicar cargas

Vamos aplicar uma força de 500 lb. normal à face mostrada na figura.

- 1 Clique no ícone **Zoom na área**  na parte superior da área de gráficos e aplique zoom à parte afilada do eixo.

- 2 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta External Loads e selecione **Força**.

O PropertyManager de **Força/Torque** é exibido.

- 3 Na área de gráficos, clique na face mostrada na figura.

Face<1> é exibida na caixa de listagem **Faces e arestas de casca para força normal**.

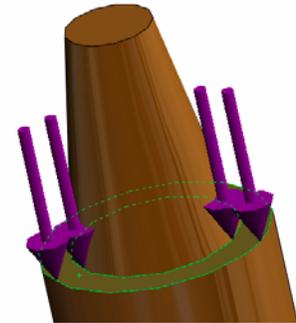
- 4 Certifique-se de que a direção **Normal** esteja selecionada.

- 5 Certifique-se de que **Unidades** esteja definida como **Inglês (IPS)**.

- 6 Na caixa **Valor da força** , digite **500**.

- 7 Clique em .

O SolidWorks Simulation aplica a força à face selecionada, e o item Force-1 é exibido na pasta External Loads.



Para ocultar símbolos de acessórios de fixação e cargas

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta Fixtures ou External Loads e clique em **Ocultar todos**.

Etapa 5: Gerar malha da montagem

A geração de malha divide o modelo em partes menores chamadas elementos. Com base nas dimensões geométricas do modelo, o SolidWorks Simulation sugere um tamanho predeterminado de elemento (neste caso, 0,179707 pol.) que pode ser alterado conforme necessário.

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone Malha e selecione **Criar malha**.

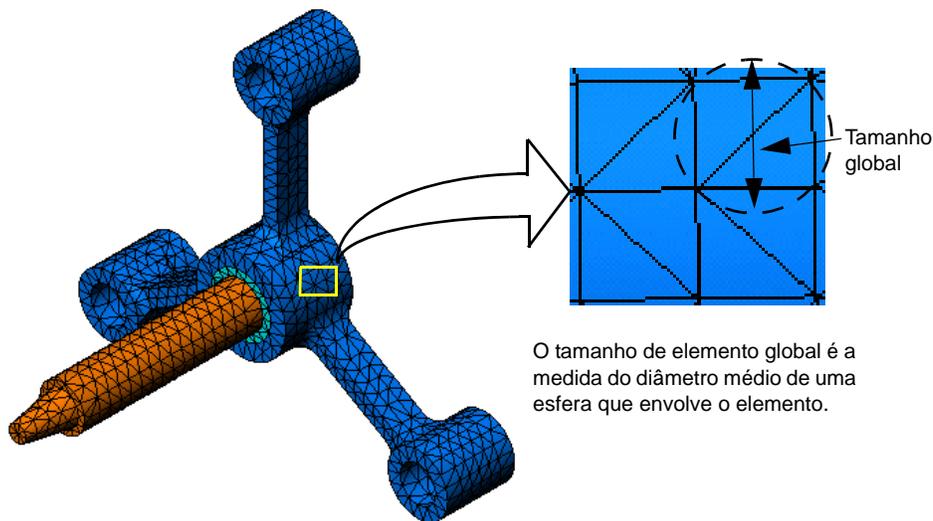
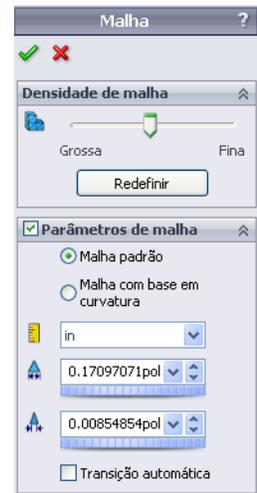
O PropertyManager de **Malha** é exibido.

- 2 Expanda **Parâmetros de malha** marcando a caixa de seleção.

Certifique-se de que **Malha padrão** esteja selecionado e **Transição automática** não esteja marcada.

Mantenha o **Tamanho global**  predeterminado e a **Tolerância**  sugerida pelo programa.

- 3 Clique em **OK** para começar a gerar a malha.



O tamanho de elemento global é a medida do diâmetro médio de uma esfera que envolve o elemento.

Etapa 6: Executar a análise

Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone My First Study (Meu primeiro estudo) e clique em **Executar** para iniciar a análise.

Quando a análise é concluída, o SolidWorks Simulation cria automaticamente a plotagem predeterminada dos resultados armazenados na pasta Results.

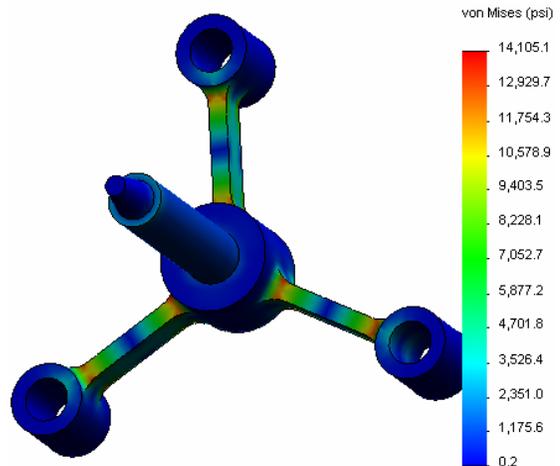
Etapa 7: Visualizar os resultados

Tensão de von Mises

- 1 Clique no sinal de mais  ao lado da pasta Results.

Todos os ícones de plotagem padrão são exibidos.

Nota: Se as plotagens predeterminadas não forem exibidas, clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Definir plotagem de tensão**. Defina as outras opções no PropertyManager e clique em .



- 2 Clique duas vezes em Stress1 (-vonMises-) para exibir a plotagem dos resultados.

Nota: Para exibir a anotação indicando os valores máximo e mínimo na plotagem, clique duas vezes na legenda e marque as caixas de seleção **Exibir anotação mín.** e **Exibir anotação máx.**. Em seguida, clique em .

Animar a plotagem

- 1 Clique com o botão direito do mouse em Stress1 (-vonMises-) e clique em **Animar**.

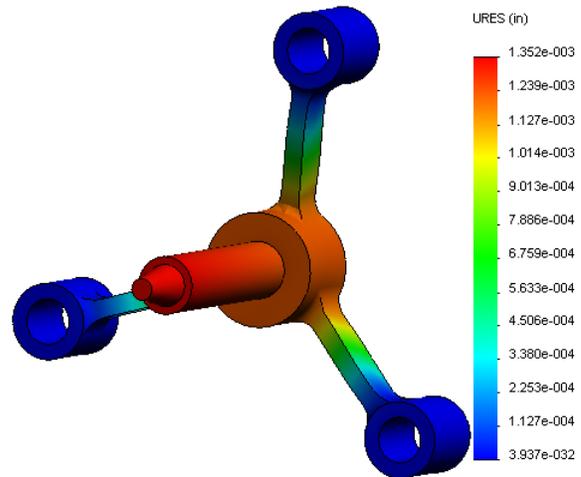
O PropertyManager de **Animação** é exibido e a animação inicia automaticamente.

- 2 Interrompa a animação clicando no botão **Parar** . A animação deve ser interrompida para salvar o arquivo AVI em disco.
- 3 Marque **Salvar como arquivo AVI**, em seguida clique em  para procurar e selecione uma pasta de destino para salvar o arquivo AVI.
- 4 Clique em  para **Reproduzir** a animação. A animação é reproduzida na área de gráficos.
- 5 Clique em  para **Parar** a animação.
- 6 Clique em  para fechar o PropertyManager de **Animação**.



Visualizar os deslocamentos resultantes

- 1 Clique duas vezes no ícone Displacement1 (-Res disp-) para exibir a plotagem do deslocamento resultante.



O projeto é seguro?

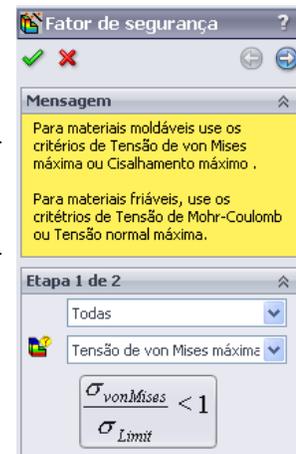
O assistente de **Fator de segurança** pode ajudar a responder a essa pergunta. Vamos usar o assistente para estimar o fator de segurança em cada ponto do modelo. No processo, é preciso selecionar um critério de falha de escoamento.

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Definir Plotagem de Fator de Segurança**.

O PropertyManager do assistente de **Fator de segurança** **Etapa 1 de 3** aparece.

- 2 Em **Critério** , clique em **Tensão de Max von Mises**.

Nota: Vários critérios de escoamento estão disponíveis. O critério de von Mises geralmente é usado para verificar a falha de escoamento em materiais maleáveis.



- 3 Clique em **Avançar**.

O **PropertyManager do assistente de Fator de segurança Etapa 2 de 3** aparece.

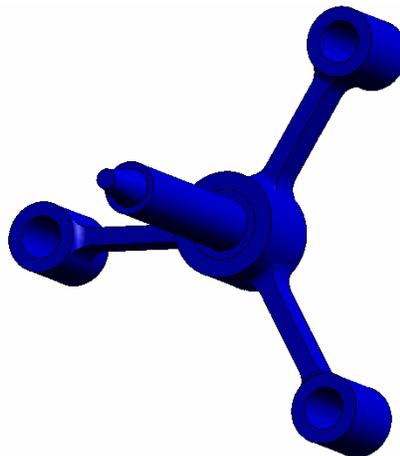
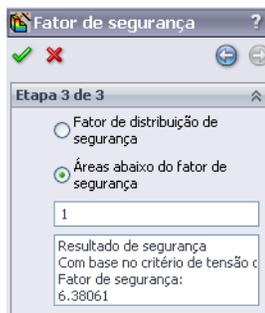
- 4 Defina **Unidades** como **psi**.
 5 Em **Definir limite de tensão em**, selecione **Limite de escoamento**.

Nota: Quando escoar, o material continua a se deformar plasticamente a uma razão mais rápida. No caso extremo, ele continua a se deformar mesmo quando a carga não é aumentada.

- 6 Clique em **Avançar**.

O **PropertyManager do assistente de Fator de segurança Etapa 3 de 3** aparece.

- 7 Selecione **Áreas abaixo do fator de segurança** e digite **1**.
 8 Clique em para gerar a plotagem.



Inspeccione o modelo e verifique se há áreas inseguras mostradas em vermelho. Podemos observar que a plotagem não apresenta a cor vermelha, o que indica que todos os locais são seguros.

Qual é o nível de segurança do projeto?

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta **Results** e selecione **Definir Plotagem de Fator de Segurança**.

O PropertyManager do assistente de **Fator de segurança**wizard **Etapa 1 de 3** aparece.

- 2 Na lista **Critério**, selecione **Tensão de Max von Mises**.

- 3 Clique em **Avançar**.

O PropertyManager do assistente de **Fator de segurança**wizard **Etapa 2 de 3** aparece.

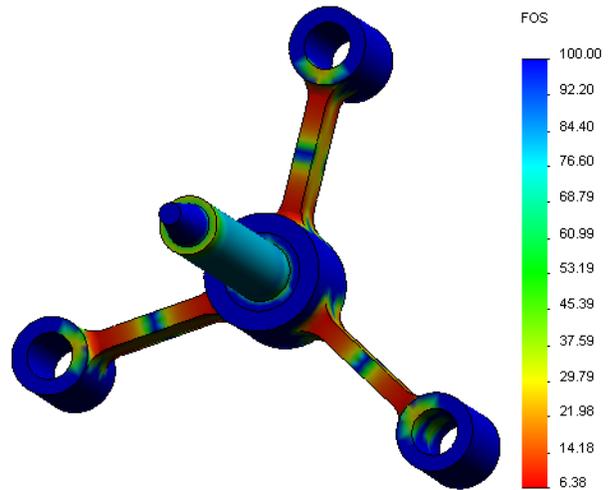
- 4 Clique em **Avançar**.

O PropertyManager do assistente de **Fator de segurança**wizard **Etapa 3 de 3** aparece.

- 5 Em **Resultados da plotagem**, clique em **Distribuição de fator de segurança**.

- 6 Clique em .

A plotagem gerada mostra a distribuição do fator de segurança. O menor fator de segurança é de aproximadamente 6,4.



Nota: O fator de segurança 1,0 em um local significa que o material está começando a escoar. O fator de segurança 2,0, por exemplo, significa que o projeto é seguro no local e que o material começará a escoar se você dobrar as cargas.

Salvar todas as plotagens geradas

- 1 Clique com o botão direito do mouse no ícone **My First Study** e clique em **Salvar todas as plotagens como arquivos JPEG**.

A janela **Procurar pasta** é exibida.

- 2 Acesse o diretório onde deseja salvar todas as plotagens de resultado.
- 3 Clique em **OK**.

Gerar um relatório de estudo

O utilitário **Relatório** ajuda a documentar seu trabalho de maneira rápida e sistemática para cada estudo. O programa gera relatórios estruturais prontos para a Internet (arquivos HTML) e documentos do Word que descrevem todos os aspectos relacionados ao estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Relatório** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

A caixa de diálogo **Opções de relatório** é exibida.

A seção **Configurações de formato de relatório** permite selecionar um estilo de relatório e escolher as seções que serão incluídas nele. Você pode excluir algumas seções movendo-as do campo **Seções incluídas** para o campo **Seções disponíveis**.

- 2 Cada seção do relatório pode ser personalizada. Por exemplo, selecione a seção **Página de capa** em **Seções incluídas** e preencha os campos **Nome**, **Logotipo**, **Autor** e **Empresa**. Observe que os formatos aceitáveis de logotipo são **Arquivos JPEG (*.jpg)**, **Arquivos GIF (*.gif)** ou **Arquivos Bitmap (*.bmp)**.

- 3 Realce **Conclusão** na lista **Seções incluídas** e digite a conclusão do seu estudo na caixa **Comentários**.

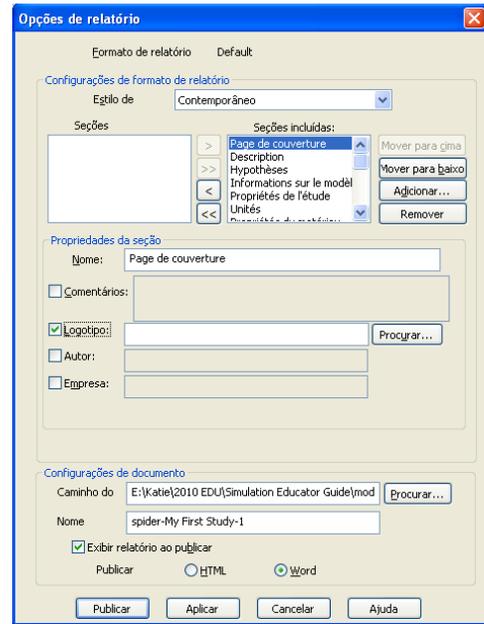
- 4 Marque a caixa de seleção **Exibir relatório ao publicar** e a opção **Word**.

- 5 Clique em **Publicar**.

O relatório é aberto como um documento do Word.

Além disso, o programa cria um ícone  na pasta Report na árvore do SolidWorks Simulation Manager.

Para editar qualquer seção do relatório, clique com o botão direito do mouse no ícone do relatório e clique em **Editar definição**. Modifique a seção e clique em **OK** para substituir o relatório existente.



Etapa 8: Salvar o seu trabalho e sair do SolidWorks

- 1 Clique em  na barra de ferramentas **Padrão** ou em **Arquivo, Salvar**.
- 2 Clique em **Arquivo, Sair** no menu principal.

Avaliação de 5 minutos – Gabarito

- 1 Como você inicia uma sessão do SolidWorks?
Resposta: Na barra de tarefas do Windows, clique em **Iniciar, Programas, SolidWorks, Aplicativo SolidWorks**. O aplicativo SolidWorks é iniciado.
- 2 O que você deve fazer se o menu do SolidWorks Simulation não estiver na barra de menus do SolidWorks quando um arquivo for aberto?
Resposta: Clique em **Ferramentas, Suplementos**, marque as caixas de seleção ao lado do SolidWorks Simulation e clique em **OK**.
- 3 Que tipos de documentos o SolidWorks Simulation pode analisar?
Resposta: O SolidWorks Simulation pode analisar peças e montagens.
- 4 O que é análise?
Resposta: Análise é um processo para simular o desempenho do seu projeto em campo.
- 5 Por que a análise é importante?
Resposta: A análise pode ajudar você a projetar produtos melhores, mais seguros e mais econômicos. Ela poupa tempo e dinheiro reduzindo os ciclos de projeto tradicionais e caros.
- 6 O que é estudo de análise?
Resposta: O estudo de análise representa uma situação hipotética de tipo de análise, materiais, cargas e acessórios de fixação.
- 7 Que tipos de análise o SolidWorks Simulation pode realizar?
Resposta: O SolidWorks Simulation pode realizar análise estática, de frequência, flambagem, térmica, teste de queda, fadiga, otimização, vaso de pressão, estática não linear e dinâmica linear e não linear.
- 8 O que a análise estática calcula?
Resposta: A análise estática calcula as tensões, os esforços, os deslocamentos e as forças de reação que atuam no modelo.
- 9 O que é tensão?
Resposta: Tensão é a intensidade da força, ou força dividida pela área.
- 10 Quais são as principais etapas da execução de uma análise?
Resposta: As principais etapas são: criar um estudo, atribuir materiais, aplicar acessórios de fixação, aplicar cargas, gerar a malha do modelo, executar a análise e visualizar os resultados.
- 11 Como é possível alterar o material de uma peça?
Resposta: Na pasta **Parts** de seu estudo, clique com o botão direito do mouse no ícone da peça e clique em **Aplicar material a todos**; em seguida, selecione o novo material e clique em **OK**.
- 12 O assistente Verificação de projeto mostra um fator de segurança de 0,8 em alguns locais. O projeto é seguro?
Resposta: Não. O fator de segurança mínimo não deve ser inferior a 1,0 para um projeto seguro.

Discussão em aula — Alterar as atribuições de material

Peça aos alunos para atribuir diferentes materiais aos componentes da montagem de acordo com a tabela a seguir e executar a análise.

Componente	Nome do material
Eixo	Liga de aço
Cubo	Ferro fundido cinza
Cruzeta	Liga de alumínio 6061

Resposta

Para atribuir diferentes materiais aos componentes da montagem, faça o seguinte:

Atribua ferro fundido cinza ao cubo

1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone `hub-1` na pasta `Parts` e clique em **Aplicar/editar material**.

A caixa de diálogo **Material** é exibida.

2 Em SolidWorks Materials, na categoria Iron, selecione **Ferro fundido cinza**.

3 Clique em **Aplicar** e em **Fechar**.

Atribua Liga de alumínio 6061 à perna da aranha

1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone `spider-1` na pasta `Parts` e clique em **Aplicar/editar material**.

A caixa de diálogo **Material** é exibida.

2 Em SolidWorks Materials, na categoria Ligas de alumínio, selecione **Liga 6061**.

3 Clique em **Aplicar** e em **Fechar**.

Execute o estudo novamente e visualize os resultados

Se as plotagens predeterminadas não forem exibidas, clique com o botão direito do mouse na pasta `Results` e selecione **Definir plotagem de tensão**. Defina as outras opções no PropertyManager e clique em .

1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone `Study` e clique em **Executar**.

Nota: Para obter os novos resultados, não é necessário refazer a malha do modelo.

2 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique no sinal de mais  ao lado da pasta `Results`.

Os ícones de plotagem predeterminados são exibidos.

Nota: Se as plotagens predeterminadas não forem exibidas, clique com o botão direito do mouse na pasta `Results` e selecione **Definir plotagem de tensão**. Defina as outras opções no PropertyManager e clique em .

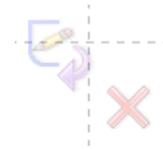
3 Clique duas vezes no ícone `Stress1 (-vonMises-)` para plotar o gráfico de tensão de von Mises.

Mais para explorar — Modificar a geometria

Após visualizar os resultados, você pode querer alterar o seu projeto. Peça aos alunos para alterar a geometria e recalcular os resultados. É importante enfatizar que eles devem refazer a malha do modelo e executar novamente o estudo após qualquer alteração na geometria. Os procedimentos a seguir descrevem como alterar os diâmetros dos três furos e reavaliar os resultados.

Resposta

- Clique na guia do FeatureManager .
- Clique no sinal de mais (+) ao lado de (-) spider<1>.
- Clique no sinal de mais (+) ao lado de Cut-Extrude2. O ícone Sketch7 aparece.
- Clique com o botão direito do mouse em Sketch7 e selecione **Editar esboço** . O esboço é aberto.
- Pressione a barra de espaço e selecione ***Frontal** no menu **Orientação**.
- Clique duas vezes na dimensão **0,60**. A caixa de diálogo **Modificar** é aberta.
- Digite **0,65** na caixa de diálogo **Modificar** e clique em .
- Clique em **OK** no canto de confirmação.



- Clique no ícone **Editar componente**  para sair do modo de edição.

- Um ícone de aviso  aparece ao lado de My First Study e ao lado de Mesh. Um ícone de aviso  também aparece ao lado da pasta Results, indicando que os resultados são inválidos.

- Para refazer a malha do modelo, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e clique em **Criar malha**. Uma mensagem de aviso é exibida, informando que gerar a malha novamente excluirá todos os resultados atuais. Clique em **OK**.

- Use os valores de **Tamanho global**  e **Tolerância**  predeterminados. Observe que esses valores são diferentes dos de antes.

- Marque **Executar (solucionar) a análise** e clique em .

- Quando a análise estiver concluída, visualize a tensão de von Mises predeterminada, o deslocamento, a deformação e outros resultados conforme descrito anteriormente.



Exercícios e projetos — Deflexão de uma viga devido a uma força na extremidade

Alguns problemas simples têm respostas exatas. Um desses problemas é uma viga com a carga de uma força em sua extremidade, conforme mostrado na figura. Vamos usar o SolidWorks Simulation para solucionar esse problema e comparar seus resultados com a solução exata.

Tarefas

1 Abra o arquivo `Front_Cantilever.sldprt` na pasta `Examples` do diretório de instalação do SolidWorks Simulation.

2 Meça a largura, a altura e o comprimento da viga engastada (use a ferramenta **Medir** ) .

Resposta: A largura e a altura são 1 polegada, e o comprimento, 10 polegadas.

3 Salve a peça com outro nome.

4 Crie um estudo **Estático**.

Resposta: Faça o seguinte:

- Clique em **Simulation, Estudo**.
- Digite um nome para o estudo.
- Defina **Tipo de análise** como **Estático**.
- Clique em **OK**.

5 Atribua Alloy Steel (Liga de aço) à peça. Qual é o valor do módulo elástico em psi?

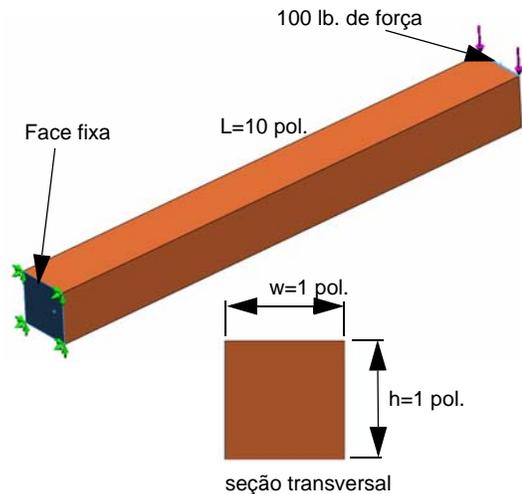
Resposta: Faça o seguinte:

- Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone `Front_Cantilever` e selecione **Aplicar/editar material**. A caixa de diálogo **Material** é exibida.
- Expanda biblioteca `SolidWorks Materials`.
- Expanda a categoria `Steel` e selecione **Liga de aço**.
- No menu **Unidades**, selecione **Inglês (IPS)**. Observe que o valor do **Módulo elástico em x** é **30.457.919 psi**.
- Clique em **Aplicar** e em **Fechar**.

6 Fixe uma das faces da extremidade da viga engastada.

Resposta: Faça o seguinte:

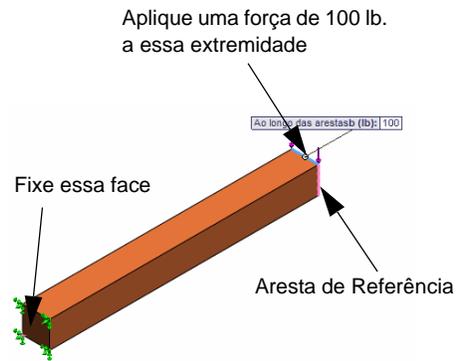
- Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta `Fixtures` (Acessórios de fixação) e clique em **Geometria fixa**. O PropertyManager **Acessório de fixação** é exibido.
- Em **Tipo**, selecione **Geometria fixa**.
- Clique na face da extremidade da barra mostrada na figura.
- Clique em .



- 7 Aplique uma força para baixo, com magnitude de 100 lb., à borda superior da face da outra extremidade.

Resposta: Faça o seguinte:

- Clique com o botão direito do mouse na pasta External Loads e clique em **Força**. O PropertyManager de **Força/Torque** é exibido.
- Em **Tipo**, clique em **Força**.
- Clique na aresta mostrada na figura.
- Assegure-se de que Edge<1> apareça na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**.
- Clique em **Direção selecionada** e escolha a aresta lateral da viga como **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**.
- Selecione **Inglês (IPS)** no menu **Unidades**.
- Em **Força**, digite **100** na caixa de valor. Marque a caixa **Inverter direção**. Essa força é vertical e aplicada para baixo.
- Clique em .



- 8 Gere a malha para a peça e execute a análise.

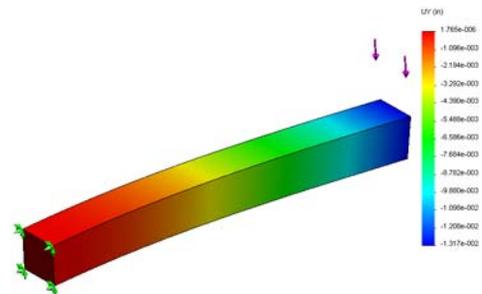
Resposta: Faça o seguinte:

- Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh.
- Use o **Tamanho global**  e a **Tolerância**  predeterminados.
- Marque **Executar (solucionar) a análise**.
- Clique em .

- 9 Quando a análise estiver concluída, faça a plotagem do deslocamento na direção Y. A direção Y é a mesma que a dir 2 do Plane1. Qual é o deslocamento Y máximo na extremidade livre da viga engastada?

Resposta: Faça o seguinte:

- Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Definir plotagem de deslocamento**. O PropertyManager de **Plotagem de deslocamento** é exibido.
- Selecione **pol.** para **Unidades** .
- Selecione **UY: Deslocamento Y** para **Componente** .
- Clique em .
- O deslocamento vertical na extremidade livre é **- 0,01317** pol.



- 10 Calcule o deslocamento vertical teórico na extremidade livre usando a seguinte equação:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

Resposta: Neste problema, temos:

F = a carga na extremidade = -100 lb.,

L = o comprimento da viga = 10 pol.,

E = o módulo elástico = 30.457.919 psi,

w = largura da barra = 1 pol.,

h = altura da barra = 1 pol.

Quando substituimos os valores numéricos na equação anterior, temos:

$UY_{Teoria} = -0,01313$ polegada.

- 11 Calcule o erro no deslocamento vertical usando a seguinte equação:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

Resposta: O percentual de erro no deslocamento máximo vertical é 0,3%.

Na maioria das aplicações de análise de projeto, um erro de aproximadamente 5% é aceitável.

Folha de trabalho do vocabulário da Lição 1 – Gabarito

Nome: _____ Turma: _____ Data: _____

Preencha as lacunas com as palavras apropriadas.

- 1 A sequência de criação de um modelo no SolidWorks, fabricação e teste de um protótipo: **ciclo tradicional do projeto**
- 2 Uma situação *hipotética* de tipo de análise, materiais, acessórios de fixação e cargas: **estudo**
- 3 O método usado pelo SolidWorks Simulation para realizar uma análise: **método de elementos finitos**
- 4 O tipo de estudo que calcula deslocamentos, deformações e tensões: **estudo estático**
- 5 O processo de subdivisão do modelo em pequenas partes: **geração de malha**
- 6 Pequenas partes com formas simples criadas durante a geração da malha: **elementos**
- 7 Os elementos compartilham pontos em comum chamados: **nós**
- 8 A força que atua na área dividida pela área: **tensão média**
- 9 O colapso súbito de projetos delgados devido a cargas de compressão axial: **flambagem**
- 10 Um estudo que calcula a temperatura máxima de um projeto: **estudo térmico**
- 11 O número que fornece uma descrição geral do estado de tensão: **Tensão de von Mises**
- 12 Tensões normais em planos onde as tensões de cisalhamento desaparecem: **tensões principais**
- 13 Frequências nas quais um corpo tende a vibrar: **frequências naturais**
- 14 O tipo de análise que pode ajudar a evitar a ressonância: **análise de frequência**

Teste da Lição 1 — Gabarito

Nome: _____ Turma: _____ Data: _____

Instruções: Responda às perguntas digitando as respostas corretas no espaço fornecido.

1 Você testa seu projeto criando um estudo. O que é estudo?

Resposta: Estudo é uma situação *hipotética* que define o tipo de análise, materiais, acessórios de fixação e cargas.

2 Que tipos de análise o SolidWorks Simulation pode realizar?

Resposta: Estática, de frequência, flambagem, térmica, teste de queda, fadiga, otimização, vaso de pressão, estática não linear e dinâmica linear e não linear.

3 Após obter os resultados de um estudo, você muda o material, as cargas e/ou os acessórios de fixação. É preciso gerar a malha novamente?

Resposta: Não. Só é preciso executar o estudo novamente.

4 Após gerar a malha de um estudo, você alterou a geometria. É preciso gerar a malha do modelo novamente?

Resposta: Sim. É preciso gerar a malha do modelo após alterar a geometria.

5 Como criar um novo estudo estático?

Resposta: Para criar um novo estudo estático:

- Clique em **Simulation, Estudo**. A caixa de diálogo **Estudo** é exibida.
- Em **Nome do estudo**, digite o nome do estudo. Use um nome significativo!
- Em **Tipo de estudo**, selecione **Estático**.
- Clique em .

6 O que é malha?

Resposta: Malha é o conjunto de elementos e nós criados na geração da malha do modelo.

7 Em uma montagem, quantos ícones você espera ver na pasta **Parts**?

Resposta: Haverá um ícone para cada corpo. Um componente pode ter múltiplos corpos.

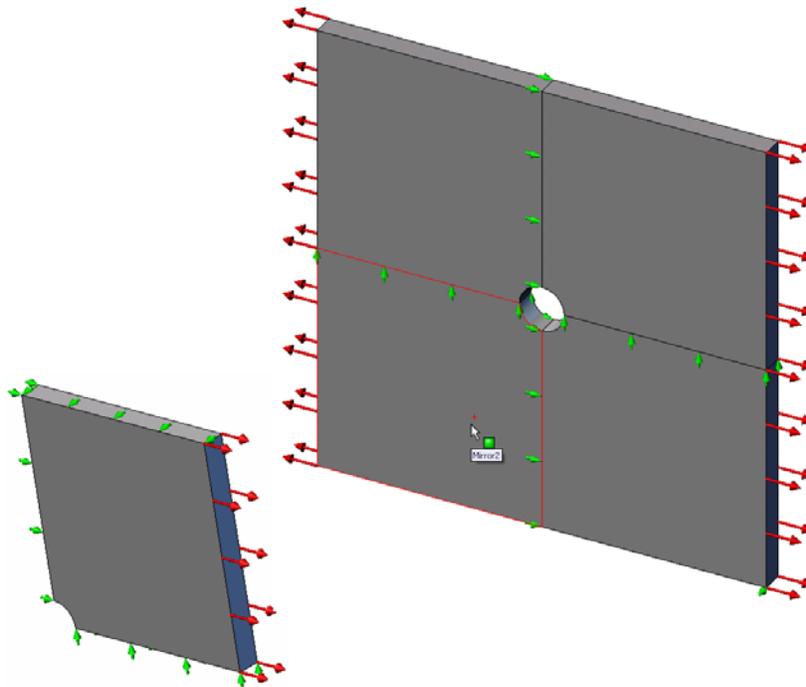
Resumo da lição

- ❑ O SolidWorks Simulation é um software para análise de projetos totalmente integrado ao SolidWorks.
- ❑ A análise de projeto pode ajudar a projetar produtos melhores, mais seguros e mais econômicos.
- ❑ A análise calcula os deslocamentos, as deformações, as tensões e as forças de reação.
- ❑ A análise de frequência calcula as frequências naturais e suas formas modais associadas.
- ❑ A análise de flambagem calcula as cargas de flambagem em peças sob compressão.
- ❑ A análise de teste de queda calcula as cargas de impacto em objetos que caem sobre uma superfície rígida ou flexível.
- ❑ A análise térmica calcula a distribuição de temperatura sob cargas térmicas e nas condições de limite térmico.
- ❑ A análise de otimização aprimora o modelo com base em funções objetivas (por ex., minimizando o volume ou a massa).
- ❑ Os materiais começam a falhar quando as tensões atingem certo limite.
- ❑ A tensão de von Mises é um número que fornece uma ideia geral do estado das tensões em um local.
- ❑ O assistente de Fator de segurança ajuda a avaliar a segurança de seu projeto.
- ❑ Para simular o modelo, o SolidWorks Simulation subdivide esse modelo em inúmeras pequenas partes de formas simples, chamadas elementos. Esse processo é denominado *geração de malha*.
- ❑ As etapas para a realização de análises no SolidWorks Simulation são:
 - Crie um estudo.
 - Atribua o material.
 - Aplique restrições para impedir movimentos do corpo rígido.
 - Aplique cargas.
 - Crie a malha do modelo.
 - Executar a análise, e
 - Visualizar os resultados.

Lição 2: Métodos adaptativos no SolidWorks Simulation

Objetivos desta lição

- ❑ Apresentar o conceito de métodos adaptativos em estudos estáticos. Após a conclusão bem-sucedida desta lição, os alunos poderão compreender os conceitos básicos dos métodos adaptativos e como eles são implementados no SolidWorks Simulation.
- ❑ Analisar parte do modelo em vez de o modelo todo. Na segunda parte desta lição, os alunos analisarão um quarto do modelo original usando acessórios de fixação de simetria. Eles devem ser capazes de reconhecer em que condições é possível aplicar acessórios de fixação de simetria sem comprometer a exatidão dos resultados.
- ❑ Apresentar o conceito de geração de malha de casca. As diferenças entre malhas de casca e de sólidos são destacadas na discussão do projeto. Os alunos devem ser capazes de reconhecer quais modelos são mais adequados para a geração de malhas de casca.
- ❑ Comparar os resultados do SolidWorks Simulation com soluções teóricas conhecidas. Existe uma solução teórica para o problema descrito nesta lição. Para a classe de problemas que apresentam soluções analíticas, os alunos devem poder deduzir as porcentagens de erro e decidir se os resultados são aceitáveis ou não.



Resumo

- ❑ Exercício de aprendizado ativo — Métodos adaptativos no SolidWorks Simulation
 - **Peça 1**
 - Abrir o documento `Plate-with-hole.SLDPRT`
 - Verificar o menu do SolidWorks Simulation
 - Salvar o modelo em um diretório temporário
 - Definir as unidades de análise
 - Etapa 1: Criar um estudo estático
 - Etapa 2: Atribuir materiais
 - Etapa 3: Aplicar acessórios de fixação
 - Etapa 4: Aplicar pressão
 - Etapa 5: Gerar malha para o modelo e executar a análise
 - Etapa 6: Visualizar os resultados
 - Etapa 7: Verificar os resultados
 - **Peça 2**
 - Modelar um quarto da placa aplicando acessórios de fixação de simetria
 - **Peça 3**
 - Aplicar o método adaptativo h
- ❑ Avaliação de 5 minutos
- ❑ Discussão em aula – Criar um estudo de frequência
- ❑ Exercícios e projetos – Modelagem de um quarto da placa com malha de casca
- ❑ Resumo da lição

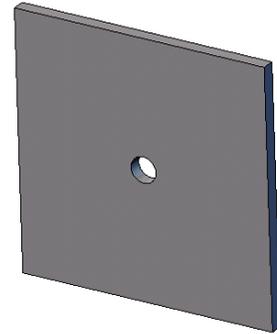
Exercício de aprendizado ativo — Parte 1

Use o SolidWorks Simulation para executar uma análise estática da peça `Plate-with-hole.SLDPRT` mostrada à direita.

Você vai calcular as tensões em uma placa quadrada de 20 pol. x 20 pol. x 1 pol. com um furo de 1 pol. de raio no centro. A placa está sujeita a uma pressão de tração de 100 psi.

Você vai comparar a concentração de tensão no furo com resultados teóricos conhecidos.

As instruções passo a passo são fornecidas abaixo.



Criar um diretório `Simulationtemp`

Recomendamos salvar o `SolidWorks Simulation Education Examples` em um diretório temporário para salvar a cópia original para uso repetido.

- 1 Crie um diretório temporário denominado `Simulationtemp` na pasta `Examples` do diretório de instalação do `SolidWorks Simulation`.
- 2 Copie o diretório do `SolidWorks Simulation Education Examples` no diretório `Simulationtemp`.

Abrir o documento `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Clique em **Abrir**  na barra de ferramentas Padrão. A caixa de diálogo **Abrir** é exibida.
- 2 Acesse a pasta `Simulationtemp` no diretório de instalação do `SolidWorks Simulation`.
- 3 Selecione `Plate-with-hole.SLDPRT`.
- 4 Clique em **Abrir**.

A peça `Plate-with-hole.SLDPRT` é aberta.

Observe que a peça tem duas configurações: (a) `Quarter plate` (Quarto de placa) e (b) `Whole plate` (Placa inteira). Certifique-se de que a configuração da `Whole plate` esteja ativa.

Nota: As configurações do documento estão listadas na guia do `ConfigurationManager`  na parte superior do painel esquerdo.

Verificar o menu do SolidWorks Simulation

Se o SolidWorks Simulation estiver instalado como suplemento, o menu SolidWorks Simulation será exibido na barra de menus do SolidWorks.



Menu do SolidWorks

Caso contrário:

- 1 Clique em **Ferramentas, Suplementos**.

A caixa de diálogo **Suplementos** é exibida.

- 2 Marque as caixas de seleção ao lado de SolidWorks Simulation.

Se o SolidWorks Simulation não estiver na lista, será necessário instalar o SolidWorks Simulation.

- 3 Clique em **OK**.

O menu SolidWorks Simulation é exibido na barra de menus do SolidWorks.

Definir as unidades de análise

Antes de começar esta lição, vamos definir as unidades da análise.

- 1 Clique em **Simulação, Opções**.

- 2 Clique na guia **Opções predeterminadas**.

- 3 Selecione **Inglês (IPS)** em **Sistema de unidades** e **pol.** e **psi** como as unidades de comprimento e tensão, respectivamente.

- 4 Clique em .

Etapa 1: Criar um estudo

A primeira etapa da execução da análise é criar um estudo.

- 1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

- 2 Em **Nome**, digite Whole plate (Placa inteira).

- 3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.

- 4 Clique em .

O SolidWorks Simulation cria uma árvore de estudo do Simulation localizada abaixo da árvore de projeto do FeatureManager.

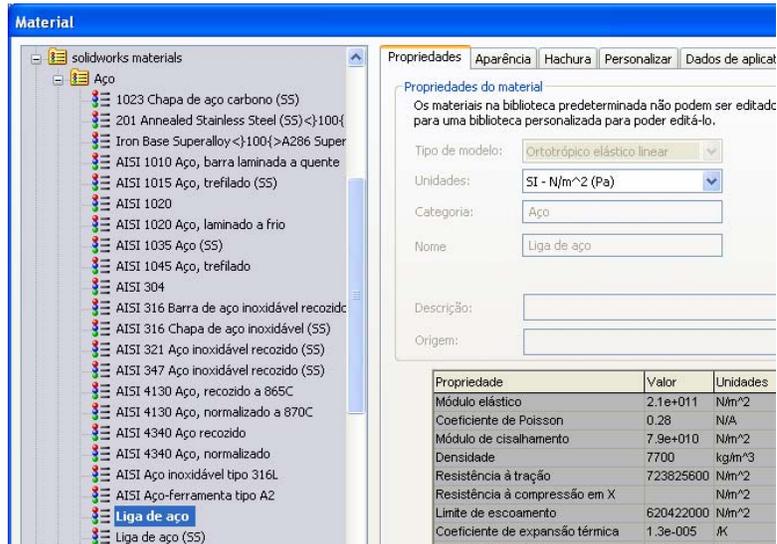
Etapa 2: Atribuir material

Atribuir Liga de aço

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta `Plate-with-hole` e clique em **Aplicar material a todos os corpos**.

A caixa de diálogo **Material** é exibida.

- 2 Faça o seguinte:
 - a) Expanda pasta de biblioteca SolidWorks Materials.
 - b) Expanda a categoria Steel.
 - c) Selecione **Liga de aço**.



Nota: As propriedades mecânicas e físicas da liga de aço são exibidas na tabela da direita.

- 3 Clique em **OK**.

Etapa 3: Aplicar acessórios de fixação

Você aplica acessórios de fixação para evitar rotações para fora do plano e movimentos livres do corpo.

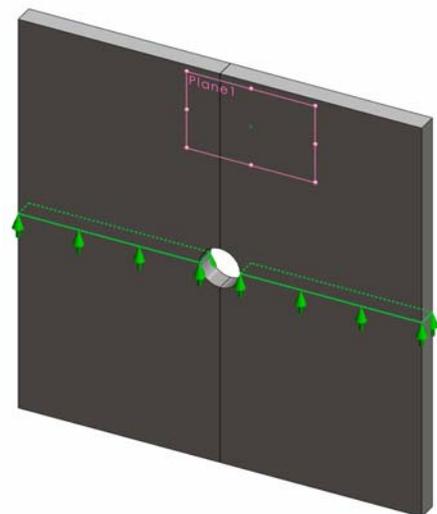
- 1 Pressione a barra de espaço e selecione ***Trimétrica** no menu **Orientação**.
A orientação do modelo é mostrada na figura.
- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e clique em **Acessórios de fixação avançados**.

O PropertyManager **Acessório de fixação** é exibido.

- 3 Certifique-se de que **Tipo** está configurado como **Usar geometria de referência**.

- 4 Na área de gráficos, selecione as 8 arestas mostradas na figura.

Edge<1> a Edge<8> são exibidas na caixa **Faces, Arestas, Vértices** para acessórios de fixação.

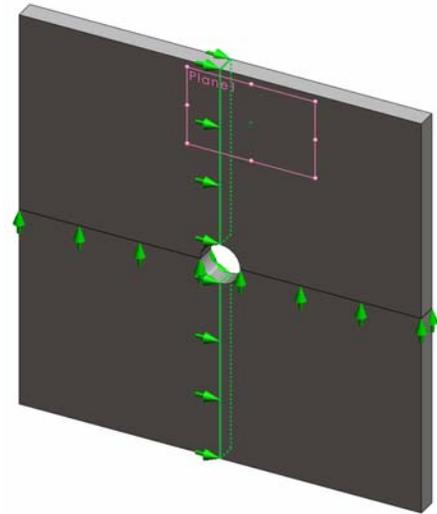


- 5 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione Plane1 na árvore flyout do FeatureManager.
- 6 Em **Translações**, selecione **Ao longo do plano Dir 2** .
- 7 Clique em .

Os acessórios de fixação são aplicados e seus símbolos aparecem nas arestas selecionadas.

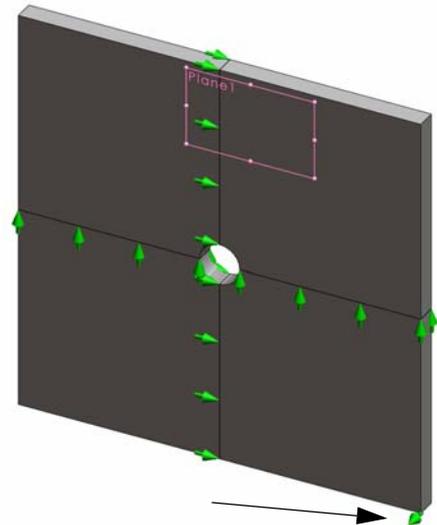
Além disso, um ícone de restrição  (Fixed-1) é exibido na pasta Fixtures.

De maneira similar, execute as Etapas 2 a 7 para aplicar acessórios de fixação aos conjuntos de arestas verticais, como mostrado na figura, para restringir as 8 arestas **Ao longo do plano Dir 1**  do Plane1.



Para impedir o deslocamento do modelo na direção global Z, deve-se definir um acessório de fixação no vértice mostrado na figura abaixo.

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta Fixtures e clique em **Acessórios de fixação avançados**. O PropertyManager **Acessório de fixação** é exibido.
- 2 Certifique-se de que **Tipo** está configurado como **Usar geometria de referência**.
- 3 Na área de gráficos, clique no vértice mostrado na figura.
Vertex<1> aparece na caixa **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**.
- 4 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione Plane1 na árvore flyout do FeatureManager.
- 5 Em **Translações**, selecione **Normal ao plano** .
- 6 Clique em .



Etapa 4: Aplicar pressão

Você aplica uma pressão de 100 psi normal às faces, como mostra a figura.

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta External Loads e clique em **Pressão**.

O PropertyManager de **Pressão** é exibido.

- 2 Em **Tipo**, selecione **Normal à face selecionada**.

- 3 Na área de gráficos, selecione as quatro faces mostradas na figura. Face<1> a Face<4> aparecem na caixa de lista **Faces para pressão**.

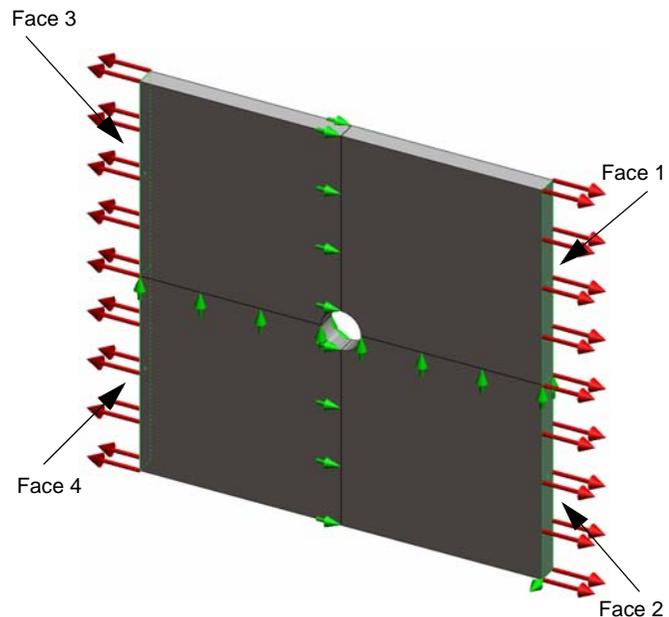
- 4 Certifique-se de que **Unidades** esteja definida como **Inglês (psi)**.

- 5 Na caixa **Valor da pressão** , digite **100**.

- 6 Marque a caixa **Inverter direção**.

- 7 Clique em .

O SolidWorks Simulation aplica a pressão normal às faces selecionadas, e o ícone Pressure-1  é exibido na pasta External Loads.



Para ocultar símbolos de acessórios de fixação e cargas

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta Fixtures ou External Loads e clique em **Ocultar todos**.

Etapa 5: Geração da malha do modelo e execução do estudo

A geração de malha divide o modelo em partes menores chamadas elementos. Com base nas dimensões geométricas do modelo, o SolidWorks Simulation sugere um tamanho predeterminado de elemento que pode ser alterado conforme necessário.

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.

O PropertyManager de **Malha** é exibido.

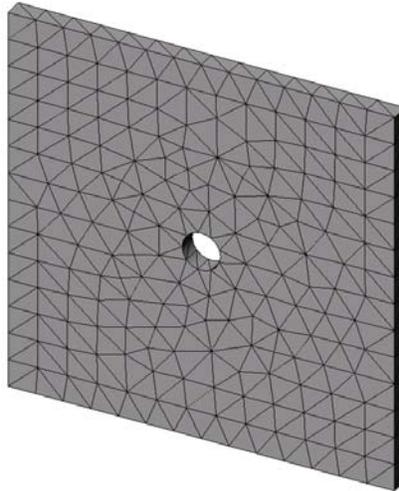
- 2 Expanda **Parâmetros de malha** marcando a caixa de seleção.

Certifique-se de que **Malha padrão** esteja selecionado e **Transição automática** não esteja marcada.

- 3 Digite **1,5** (polegadas) para o **Tamanho global**  e aceite a **Tolerância**  sugerida pelo programa.

- 4 Marque **Executar (solucionar) a análise** em **Opções** e clique em .

Nota: Para visualizar a plotagem da malha, clique com o botão direito do mouse na pasta Mesh e selecione **Exibir malha**.



Etapa 6: Visualizar os resultados

Tensão normal na direção global X.

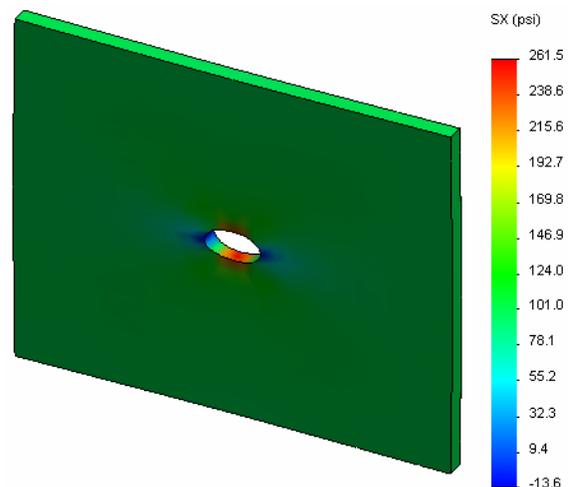
- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta Results  e selecione **Definir plotagem de tensão**.

O PropertyManager de **Plotagem de tensão** é exibido.

- 2 Em **Exibir**
 - a) Selecione **SX: Tensão normal em X** no campo **Componente**.
 - b) Selecione **psi** para **Unidades**.
- 3 Clique em .

A tensão normal na plotagem da direção X é exibida.

Observe a concentração de tensões na área em torno do furo.



Etapa 7: Verificar os resultados

A tensão normal máxima $\sigma_{\text{máx.}}$ para uma placa com seção transversal retangular e furo central circular é obtida por:

$$\sigma_{max} = k \cdot \left(\frac{P}{t(D-2r)} \right) \qquad k = 3.0 - 3.13 \left(\frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left(\frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left(\frac{2r}{D} \right)^3$$

onde:

D = largura da placa = 20 pol.

r = raio do furo = 1 pol.

t = espessura da placa = 1 pol.

P = Força de tração axial = Pressão * (D * t)

O valor analítico para a tensão máxima normal é $\sigma_{\text{máx.}} = 302,452$ psi

O resultado do SolidWorks Simulation, sem usar métodos adaptativos, é SX = 253,6 psi.

Esse resultado varia cerca de 16,1% em relação à solução teórica. Em breve, você verá que esse desvio significativo pode ser atribuído ao espaçamento da malha.

Exercício de aprendizado ativo — Parte 2

Na segunda parte do exercício, você vai modelar um quarto da placa com a ajuda dos acessórios de fixação de simetria.

Nota: Os acessórios de fixação de simetria podem ser usadas para analisar apenas uma parte do modelo. Essa abordagem pode poupar um tempo considerável de análise, particularmente se você estiver trabalhando com grandes modelos.

As condições de simetria exigem que a geometria, as cargas, as propriedades do material e os acessórios de fixação sejam iguais em todo o plano de simetria.

Etapa 1: Ativar a nova configuração

- 1 Clique na guia do ConfigurationManager .
- 2 Na árvore do **Configuration Manager**, clique duas vezes no ícone do Quarter plate.

A configuração do Quarter plate será ativada.

O modelo do quarto da placa aparece na área de gráficos.



Nota: Para acessar um estudo associado a uma configuração inativa, clique com o botão direito do mouse no seu ícone e selecione **Ativar configuração do SW**.



Etapa 2: Criar um estudo

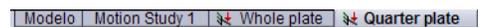
O novo estudo criado se baseia na configuração ativa do Quarter plate.

- 1 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.

O PropertyManager de **Estudo** é exibido.

- 2 Em **Nome**, digite Quarter plate.
- 3 Em **Tipo**, selecione **Estático**.
- 4 Clique em .

O SolidWorks Simulation cria uma árvore representativa do estudo em uma guia na parte inferior da tela.



Etapa 3: Atribuir material

Execute o procedimento descrito na Etapa 2 da Parte 1 para atribuir o material **Liga de aço**.

Etapa 4: Aplicar acessórios de fixação

Você aplica acessórios de fixação nas faces da simetria.

- 1 Use as teclas de **setas** para girar o modelo, conforme mostrado na figura.
- 2 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em **Fixtures** (Acessórios de fixação) e selecione **Acessórios de fixação avançados**.

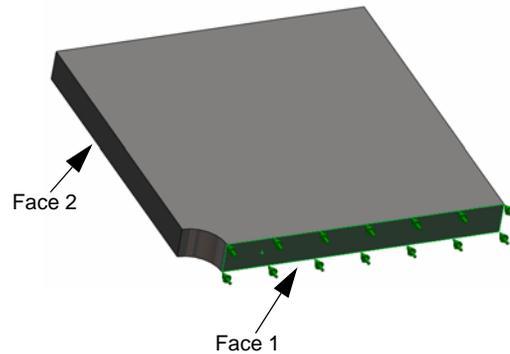
O PropertyManager de **Acessórios de fixação** é exibido.

- 3 Configure **Tipo** como **Simetria**.
- 4 Na área de gráficos, clique na Face 1 e na Face 2 mostradas na figura.

Face<1> e Face<2> são exibidas na caixa **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**.

- 5 Clique em .

A seguir, fixe a aresta superior da placa para impedir o deslocamento na direção global Z.



Para restringir a aresta superior:

- 1 Na árvore de estudo do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta **Fixtures** e clique em **Acessórios de fixação avançados**.

Defina o **Tipo** como **Usar geometria de referência**.

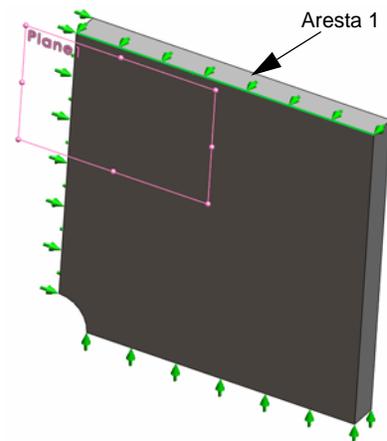
- 2 Na área de gráficos, clique na aresta superior da placa, como mostra a figura.

Edge<1> aparece na caixa **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**.

- 3 Clique na caixa **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção** e selecione **Plane1** na árvore flyout do FeatureManager.

- 4 Em **Translações**, selecione **Normal ao plano** . Certifique-se de que os outros dois componentes estejam desativados.

- 5 Clique em .



Após aplicar todos os acessórios de fixação, três itens: (Symmetry-1) e (Reference Geometry-1) aparecem na pasta **Fixtures**.

Etapa 5 Aplicar pressão

Você aplica uma pressão de 100 psi como mostrado na figura abaixo:

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse em **External Loads** e selecione **Pressão**.

O PropertyManager de **Pressão** é exibido.

- 2 Em **Tipo**, selecione **Normal à face selecionada**.
- 3 Na área de gráficos, selecione a face mostrada na figura.

- 1 Face<1> é exibida na caixa de listagem **Faces para pressão**.

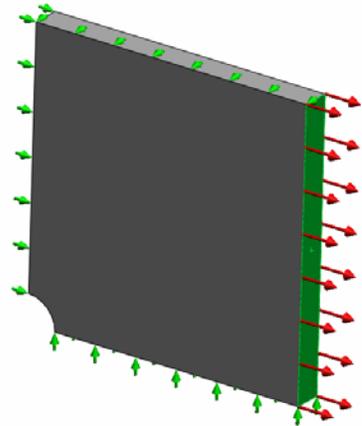
- 2 Defina **Unidades**  como **psi**.

- 3 Na caixa **Valor da pressão** , digite **100**.

- 4 Marque a caixa **Inverter direção**.

- 5 Clique em .

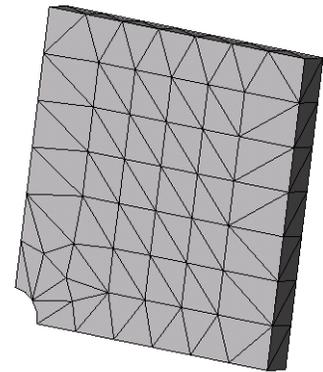
O SolidWorks Simulation aplica a pressão normal à face selecionada, e o ícone Pressure-1  é exibido na pasta External Loads.



Etapa 6 Gerar malha para o modelo e executar a análise

Aplique as mesmas configurações de malha após o procedimento descrito na Etapa 5 da Parte 1, Geração da malha do modelo e execução do estudo, na página 2-7. Em seguida, **execute** a análise.

A plotagem da malha é mostrada na figura.



Etapa 7 Exibição das tensões normais na direção global X

- 1 Na árvore do estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta **Results**  e selecione **Definir plotagem de tensão**.

- 2 No PropertyManager de **Plotagem de tensão**, em **Exibir**:

- a) Selecione **SX: Tensão normal em X**.
- b) Selecione **psi** em **Unidades**.

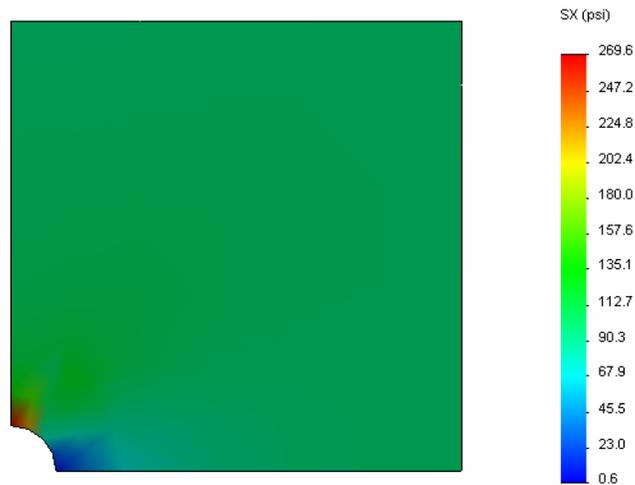
- 3 Em **Forma deformada**, selecione **Escala real**.

- 4 Em **Propriedade**:

- a) Selecione **Associar plotagem com orientação de vista nomeada**.
- b) Selecione ***Frontal** no menu.

5 Clique em .

A tensão normal na direção X é exibida na forma deformada real da placa.



Etapa 8 Verificar os resultados

Para o modelo do quarto, a tensão máxima normal SX é de 269,6 psi. Esse resultado se compara aos da placa inteira.

Esse resultado varia cerca de 10,8% em relação à solução teórica. Como foi mencionado na conclusão da Parte 1 desta lição, você verá que esse desvio pode ser atribuído ao espaçamento da malha computacional. É possível aprimorar a exatidão usando um tamanho de elemento menor manualmente ou usando métodos adaptativos automáticos.

Na Parte 3, você vai utilizar o método adaptativo h para melhorar a exatidão.

Exercício de aprendizado ativo — Parte 3

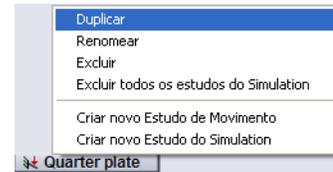
Na terceira parte do exercício, você aplicará o método adaptativo h para solucionar o mesmo problema da configuração do Quarter plate.

Para demonstrar a capacidade do método adaptativo h, primeiro vamos aplicar ao modelo uma malha com elementos de grande tamanho; em seguida, você vai observar como o método h altera o tamanho da malha para melhorar a exatidão dos resultados.

Etapa 1 Definir um novo estudo

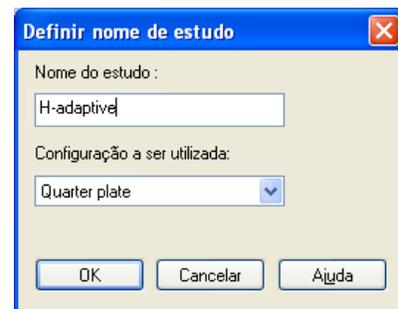
Você criará um novo estudo duplicando o estudo anterior.

- 1 Clique com o botão direito do mouse no estudo Quarter plate na parte inferior da tela e selecione **Duplicar**.



A caixa de diálogo **Definir nome do estudo** é exibida.

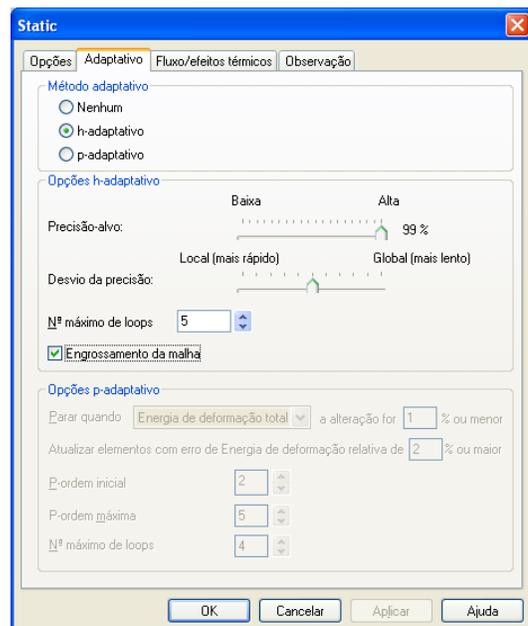
- 2 Na caixa **Nome do estudo**, digite H-adaptive (Adaptativo h).
- 3 Em **Configuração a ser utilizada**: selecione **Quarter plate**.
- 4 Clique em **OK**.



Etapa 2 Definir os parâmetros adaptativos h

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse em H-adaptive e selecione **Propriedades**.
- 2 Na caixa de diálogo, na guia **Opções**, selecione **FFEPlus** em **Solver**.
- 3 Na guia **Adaptativo**, em **Método adaptativo**, selecione **adaptativo h**.
- 4 Em **Opções adaptativo h**, faça o seguinte:
 - a) Mova o controle deslizante de **Precisão alvo** até **99%**.
 - b) Defina o **Nº máximo de loops** como **5**.
 - c) Marque **Malha sem refinamento**.
- 5 Clique em **OK**.

Nota: Ao duplicar o estudo, todas as pastas do estudo original são copiadas para o novo. Desde que as propriedades do novo estudo permaneçam as mesmas, não é preciso redefinir propriedades de material, cargas, acessórios de fixação etc.



Etapa 3: Gerar novamente a malha para o modelo e executar o estudo

- 1 Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.

Aparece uma mensagem advertindo que refazer a geração de malha vai excluir os resultados do estudo.

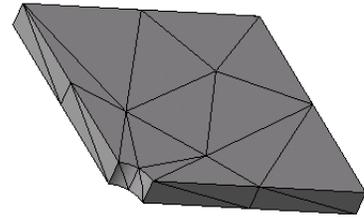
- 2 Clique em **OK**.

O PropertyManager de **Malha** é exibido

- 3 Digite **5,0** (polegadas) para o **Tamanho global**  e aceite a **Tolerância**  sugerida pelo programa.

Esse valor grande do tamanho global do elemento é usado para demonstrar como o método adaptativo h refina a malha para oferecer resultados exatos.

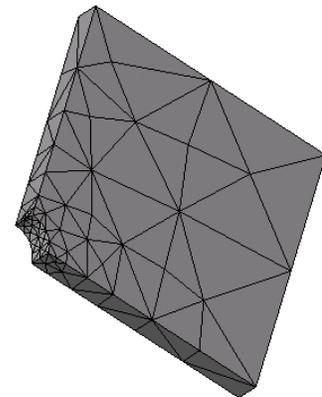
- 4 Clique em . A imagem acima mostra a malha larga inicial.
- 5 Clique com o botão direito do mouse no ícone **Adaptativo h** e selecione **Executar**.



Etapa 4: Exibir resultados

A aplicação do método adaptativo h reduz o tamanho da malha original. Observe a transição do tamanho da malha, do tamanho grande (limites da placa) até o tamanho menor, na posição do furo central.

Para visualizar a malha convertida, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Exibir malha**.



Visualizar tensão normal na direção global X

Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique duas vezes na plotagem **Stress2 (X-normal)** na pasta Results .



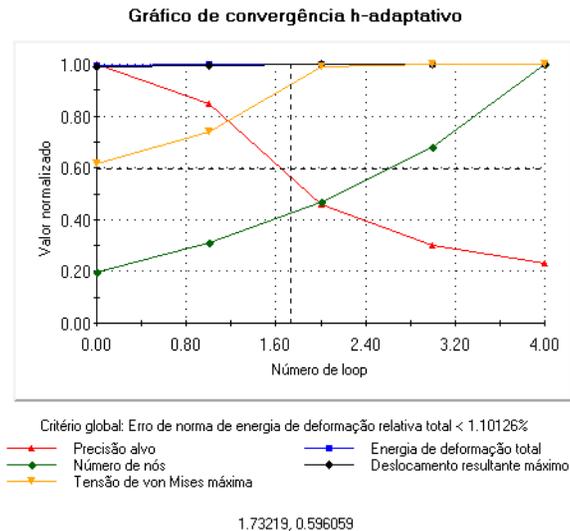
O valor analítico para a tensão máxima normal é $\sigma_{\text{máx.}} = 302,452$ psi.

No resultado do SolidWorks Simulation, com a aplicação do método adaptativo h, SX = 312,4 psi, que está mais próximo da solução analítica (erro aproximado: 3,2%).

Nota: A exatidão desejada, estabelecida nas propriedades do estudo (no caso 99%), não significa que as tensões resultantes estejam dentro do erro máximo de 1%. No método de elementos finitos, medições de outros fatores que não sejam tensão são usadas para avaliar a exatidão da solução. Entretanto, podemos concluir que o refinamento da malha pelo método adaptativo aumenta a exatidão da solução.

Etapa 9 Exibição de gráficos de convergência

- 1 Na árvore de estudo do Simulation, clique com o botão direito do mouse na pasta Results  e selecione **Definir gráfico de convergência adaptativa**.
 - 2 No PropertyManager, marque todas as opções e clique em .
- O gráfico de convergência de todas as quantidades selecionadas será exibido.



Nota: Para aprimorar ainda mais a exatidão da solução, é possível continuar com as iterações adaptativas h executando estudos subsequentes. Cada estudo subsequente usa a malha final da última iteração realizada na execução anterior como malha inicial da nova execução. Para tentar isso, **Execute** o estudo H-adaptive novamente.

Avaliação de 5 minutos – Gabarito

- 1 Se você modificar o material, as cargas ou os acessórios de fixação, os resultados se tornam inválidos, mas por que a malha não?

Resposta: O material, as cargas e os acessórios de fixação se aplicam à geometria. A malha permanece válida enquanto seus parâmetros e a geometria permanecerem inalterados. Os resultados se tornam inválidos quando ocorrem mudanças em material, cargas ou acessórios de fixação.

- 2 Alterar uma dimensão invalida a malha atual?

Resposta: Sim. A malha se aproxima da geometria, portanto qualquer alteração de geometria exige que a malha seja gerada novamente.

- 3 Como se ativa uma configuração?

Resposta: Clique na guia do ConfigurationManager  e clique duas vezes na configuração desejada na lista. Você também pode ativar a configuração associada com um estudo clicando duas vezes no respectivo ícone e selecionando **Ativar configuração do SW**.

- 4 O que é movimento de corpo rígido?

Resposta: O modo de corpo rígido se refere ao corpo como um todo, sem deformação. A distância entre dois pontos quaisquer no corpo permanece sempre constante. O movimento não induz deformações ou tensões.

- 5 O que é método adaptativo h e quando ele é usado?

Resposta: O método adaptativo h tenta aprimorar automaticamente os resultados de estudos estáticos através da estimativa de erros no campo das tensões, refinando progressivamente a malha nas regiões com grandes erros até alcançar um nível estimado de exatidão.

- 6 Qual é a vantagem de usar o método adaptativo h para aprimorar a exatidão em vez do método do controle de malha?

Resposta: No controle de malha, você deve especificar o tamanho da malha e as regiões onde é necessário aprimorar os resultados manualmente. O método adaptativo h identifica automaticamente as regiões com grandes erros e continua a refiná-las até alcançar o nível especificado de exatidão ou o número máximo permitido de iterações.

- 7 O número de elementos muda nas iterações do método adaptativo p?

Resposta: Não. O método adaptativo p aumenta a ordem do polinômio para aprimorar os resultados nas áreas com grandes erros de tensão.

Discussão em aula — Criar um estudo de frequência

Peça aos alunos para criar estudos de frequência para o modelo da placa com furo para as configurações `Whole plate` e `Quarter plate`. Para extrair frequências naturais da placa, nenhum acessório de fixação será aplicado (exceto aqueles que controlam a simetria do modelo de um quarto de placa).

Explique que devem ser evitados acessórios de fixação de simetria em estudos de frequência e flambagem, pois apenas modos simétricos são extraídos. Vão faltar todos os modos anti-simétricos. Explique também a presença dos modos de corpo rígido devido a falta de acessórios de fixação.

Criar um estudo de frequência com base na configuração `Whole plate`

- 1 Ative a configuração `Whole plate`.
- 2 Clique em **Simulation, Estudo** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.
O PropertyManager de **Estudo** é exibido.
- 3 Em **Nome**, digite `Freq-Whole`.
- 4 Em **Tipo**, selecione **Frequência**.
- 5 Clique em .

Definir as propriedades do estudo de frequência

- 1 Clique com o botão direito do mouse no ícone `Freq-Whole` no SolidWorks Simulation Manager e clique em **Propriedades**.
A caixa de diálogo **Frequência** é exibida.
- 2 Defina **Número de frequências** como **15**.
- 3 Em **Solver**, selecione **FFEPlus**.
- 4 Clique em **OK**.

Aplicar material

Arraste e solte a pasta `Plate-with-hole` no estudo `Whole plate` até o estudo `Freq-Whole`.

As propriedades de material do estudo `Whole plate` são copiadas para o novo estudo.

Aplicar acessórios de fixação e cargas

Nota: Os acessórios de fixação e a pressão não serão considerados na análise de frequência. Estamos interessados nas frequências naturais da placa sem restrições e sem carga.

Modelos sem nenhum acessório de fixação aplicado são permitidos apenas em estudos de frequência e flambagem. Os acessórios de fixação adequados devem ser aplicados a todos os outros tipos de estudo.

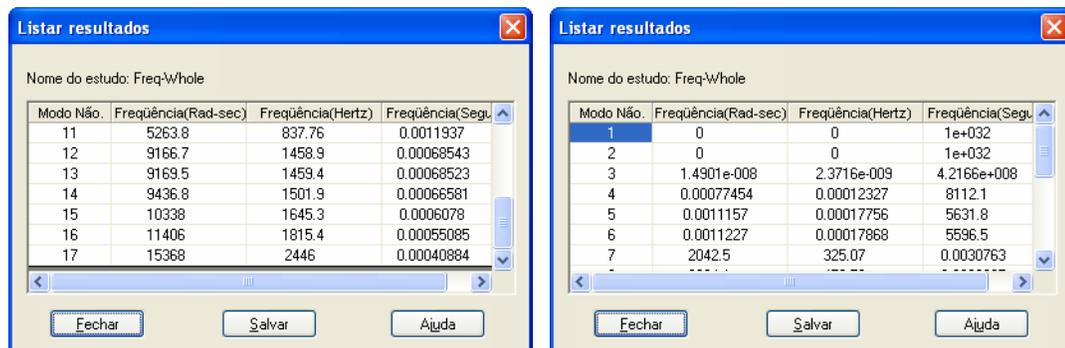
Gerar a malha do modelo e executar o estudo

- 1 Clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.
- 2 Expanda **Opções**.
- 3 Marque **Executar (solucionar) a análise**.
- 4 Expanda **Parâmetros de malha**
- 5 Certifique-se de que **Transição automática** não esteja marcada.
- 6 Clique em  para aceitar o **Tamanho global**  e a **Tolerância**  predeterminados.

Listar frequências de ressonância e exibir formas modais

- 1 Clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Listar frequências ressonantes**.

A tabela **Listar modos** lista as primeiras quinze cinco frequências diferentes de zero.



Modo Não.	Frequência(Rad-sec)	Frequência(Hertz)	Frequência(Segu)
11	5263.8	837.76	0.0011937
12	9166.7	1458.9	0.00068543
13	9169.5	1459.4	0.00068523
14	9436.8	1501.9	0.00066581
15	10338	1645.3	0.0006078
16	11406	1815.4	0.00055085
17	15368	2446	0.00040884

Modo Não.	Frequência(Rad-sec)	Frequência(Hertz)	Frequência(Segu)
1	0	0	1e+032
2	0	0	1e+032
3	1.4901e-008	2.3716e-009	4.2166e+008
4	0.00077454	0.00012327	8112.1
5	0.0011157	0.00017756	5631.8
6	0.0011227	0.00017868	5596.5
7	2042.5	325.07	0.0030763

Nota: As primeiras frequências possuem valor zero ou próximo de zero. Esse resultado indica que foram detectados modos de corpo rígido e atribuídos valores muito pequenos (ou zero). Como o modelo está totalmente restrito, são encontrados seis modos de corpos rígidos.

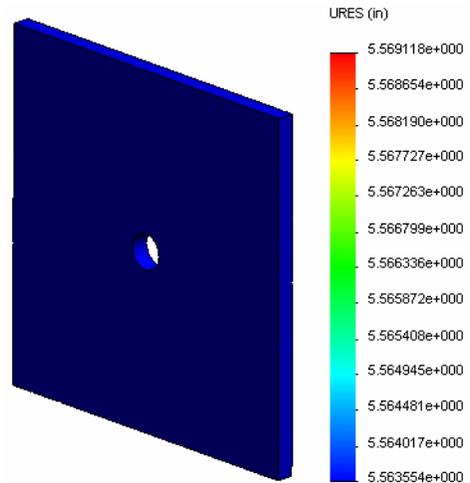
O primeiro valor diferente de zero corresponde à frequência no.7 e tem magnitude de 2.042,5 Hz. Esta é a primeira frequência natural da placa irrestrita.

Feche a janela Listar modos.

- 2 Expanda **Results** e clique duas vezes na plotagem **Displacement1**.

A primeira forma de modo de corpo rígido é exibida na área de gráficos.

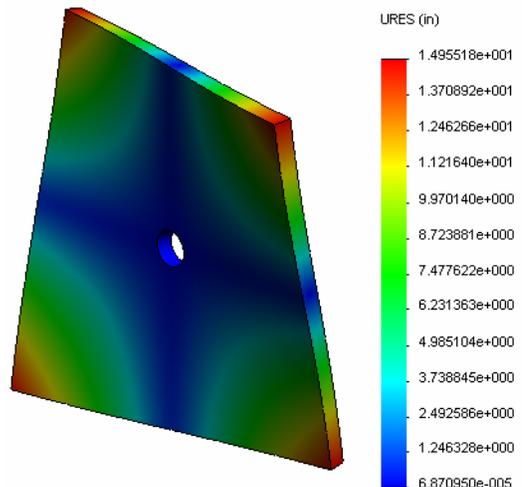
Nota: A frequência no.1 corresponde ao modo de corpo rígido onde a placa translada ao longo da direção global X como um corpo rígido. Assim, nenhuma deformação é mostrada.



Visualizar a primeira frequência natural real da placa

- 1 Clique com o botão direito do mouse em **Results** e selecione **Definir forma modal/Plotagem de deslocamento**.
- 2 Em **Etapas de plotagem**, digite **7** para **Forma modal**.
- 3 Clique em **OK**.

Nota: A frequência no.7 corresponde à primeira frequência natural real da placa.



Animar as plotagens de forma modal

- 1 Clique duas vezes no ícone da forma modal (por exemplo, **Displacement6**) para ativá-lo e, em seguida, clique com o botão direito do mouse no ícone e selecione **Animar**.

O PropertyManager de **Animação** é exibido.

- 2 Clique em .
- 3 Clique em  para parar a animação.
- 4 Clique em  para sair do modo de animação.

Animar outras plotagens de forma modal

- 1 Clique duas vezes no ícone da forma modal (ou defina novas plotagens de forma modal para modos mais elevados) e, em seguida, clique com o botão direito do mouse no ícone e selecione **Animar**.
- 2 Analise também as animações de modo de corpo rígido para as frequências no.1 até 6.

Criar um estudo de frequência com base na configuração Quarter plate

- 1 Ative a configuração Quarter plate.
- 2 Execute as etapas descritas acima para criar um estudo de frequência denominado Freq-quarter.

Nota: Arraste e solte a pasta Fixtures do estudo Quarter plate no estudo Freq-quarter e suprima o acessório de fixação Reference Geometry-1.

Listar frequências ressonantes

As cinco primeiras frequências ressonantes são agora listadas como mostrado.

Anime as plotagens de forma modal para o estudo Freq-quarter e compare-as com as do estudo Freq-Whole.

Modo Não.	Frequência(Rad-sec)	Frequência(Hertz)	Frequência(Segund)
1	0	0	1e+032
2	2998.6	477.24	0.0020954
3	3637.8	578.97	0.0017272
4	9433.8	1501.4	0.0006603
5	17158	2730.8	0.0003662
6	17964	2859.1	0.00034977

Nota: Como analisamos apenas um quarto do modelo, os modos anti-simétricos não são capturados no estudo Freq-quarter. Por esta razão, é recomendável realizar análises de frequência do modelo completo.

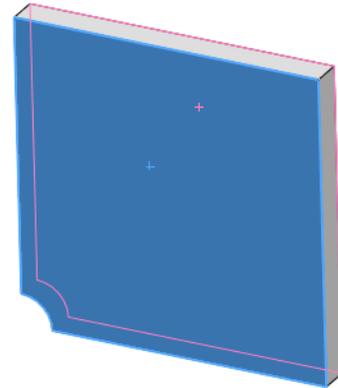
Como o acessório de fixação Symmetry-1 restringe o modelo em determinadas direções, apenas um modo de corpo rígido (modo de frequência zero) é detectado.

Projetos — Modelagem de um quarto de placa com malha de casca

Use a malha de casca para resolver o modelo de um quarto de placa. Você vai aplicar controle de malha para aprimorar a exatidão dos resultados.

Tarefas

- 1 Clique em **Inserir, Superfície, Superfície média** no menu principal do SolidWorks na parte superior da tela.
- 2 Selecione as superfícies frontal e traseira da placa, como mostrado.
- 3 Clique em **OK**.
- 4 Crie um estudo **estático** denominado Shells-quarter.
- 5 Expanda a pasta Plate-with-hole, clique com o botão direito do mouse em SolidBody e selecione **Excluir da análise**.
- 6 Na árvore de projeto do FeatureManager, expanda a pasta Solid Bodies e **oculte** o corpo sólido existente.
- 7 Defina casca de **1 pol.** (formulação **Fina**). Para fazer isso:
 - a) Clique com o botão direito do mouse em SurfaceBody na pasta Plate-with-hole da árvore de estudo do Simulation e selecione **Editar definição**.
 - b) No PropertyManager de **Definição de casca**, selecione **pol.** e digite **1 pol.** como **Espessura de casca**.
 - c) Clique em .
- 8 Atribua **Liga de aço** à casca. Para fazer isso:
 - a) Clique com o botão direito do mouse na pasta Plate-with-hole e selecione **Aplicar material a todos os corpos**.
 - b) Expanda a biblioteca SolidWorks Materials e selecione **Liga de aço** na categoria Steel.
 - c) Clique em **Aplicar** e em **Fechar**.
- 9 Aplique acessórios de fixação de simetria às duas arestas mostradas na figura.

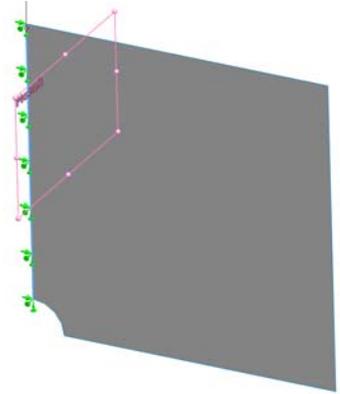


Nota: Para uma malha de casca, é suficiente restringir uma aresta em vez da face.

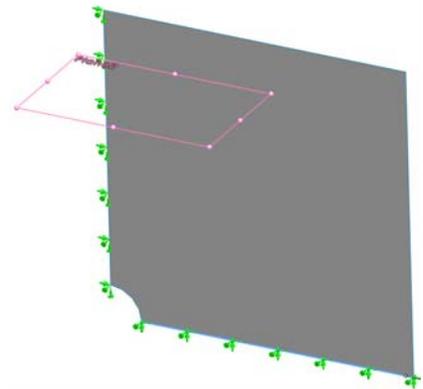
Resposta: Faça o seguinte:

- a) Clique com o botão direito do mouse em Fixtures e selecione **Acessórios de fixação avançados**.

- b) No campo **Faces, Arestas, Vértices para acessório de fixação**, selecione a aresta indicada na figura.
- c) No campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**, selecione Plane3.
- d) Restrinja a translação **Normal ao plano** e as rotações **Ao longo do plano Dir 1** e **Ao longo do plano Dir 2**.
- e) Clique em .



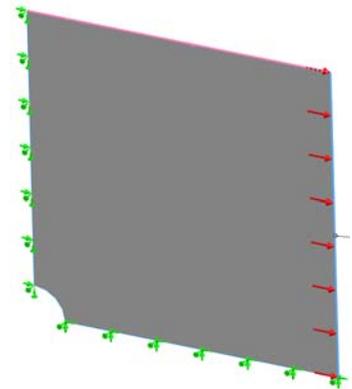
- 10 Usando procedimento idêntico, aplique um acessório de fixação de simetria à outra aresta mostrada na figura. Desta vez, use o recurso Plane2 para o campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**.



- 11 Aplique **100 psi** de **Pressão** à aresta mostrada na figura.

Resposta: Faça o seguinte:

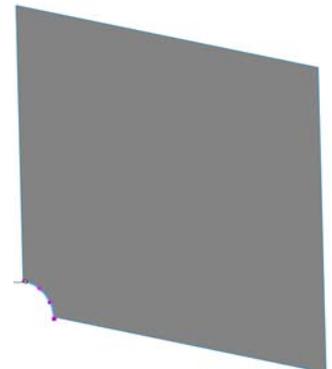
- a) Clique com o botão direito do mouse na pasta **External Loads** e selecione **Pressão**.
- b) Em **Tipo**, selecione **Usar geometria de referência**.
- c) No campo **Faces, Arestas para pressão**, selecione a aresta vertical mostrada na figura.
- d) No campo **Face, Aresta, Plano, Eixo para direção**, selecione a aresta indicada na figura.
- e) Especifique **100 psi** no diálogo **Valor da pressão** e marque a caixa de seleção **Inverter direção**.
- f) Clique em .



- 12 Aplique controle de malha à aresta mostrada na figura.

Resposta: Faça o seguinte:

- a) Na árvore de estudos do Simulation, clique com o botão direito no ícone **Mesh** e selecione **Aplicar controle de malha**. O PropertyManager de **Controle de malha** é exibido.
- b) Selecione a aresta do furo, como mostrado na figura.
- c) Clique em .



13 Gere a malha para a peça e execute a análise.

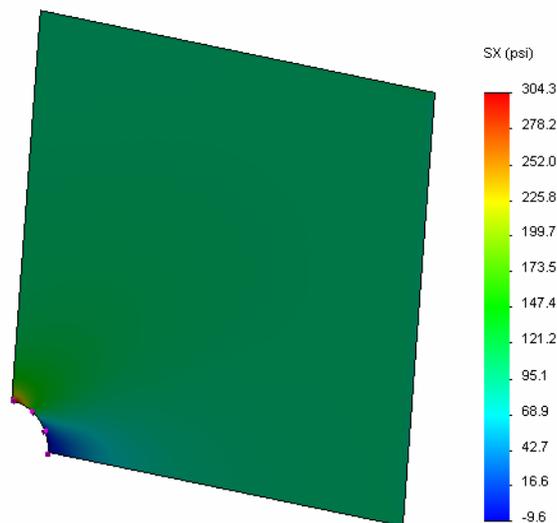
Resposta: Faça o seguinte:

- Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse no ícone Mesh e selecione **Criar malha**.
- Use o **Tamanho global**  e a **Tolerância**  predeterminados.
- Marque **Executar (solucionar) a análise**.
- Clique em .

14 Faça a plotagem da tensão na direção X. Qual é a tensão SX máxima?

Resposta: Faça o seguinte:

- Na árvore do SolidWorks Simulation Manager, clique com o botão direito do mouse na pasta Results e selecione **Definir plotagem de tensão**. A caixa de diálogo de **Plotagem de tensão** é exibida.
- Selecione **SX: Tensão normal em X** no campo **Componente**.
- Selecione **psi** em **Unidades**.
- Clique em .
- A tensão normal máxima SX é de **304,3 psi**.



15 Calcule o erro na tensão normal SX usando a seguinte relação:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{SX_{Theory} - SX_{COSMOS}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

Resposta:

A solução teórica para a tensão máxima SX é: $SX_{max} = 302,452$ psi

O percentual de erro na tensão normal máxima SX é 0,6%.

Na maioria das aplicações de análise de projeto, um erro de aproximadamente 5% é aceitável.

Folha de trabalho do vocabulário da Lição 2 – Gabarito

Nome: _____ Turma: _____ Data: _____

Preencha as lacunas com as palavras apropriadas.

- 1 Método que aprimora os resultados de tensões através do refinamento automático da malha em regiões de concentração de tensões: **h-adaptativo**
- 2 Método que aprimora os resultados de tensões através do aumento da ordem polinomial: **p-adaptativo**
- 3 O tipo de grau de liberdade que possui o nó de um elemento tetraédrico: **translacional**
- 4 Os tipos de grau de liberdade que possuem o nó de um elemento de casca: **translacional e rotacional**
- 5 Material com propriedades elásticas iguais em todas as direções: **isotrópico**
- 6 Tipo de malha apropriado para modelos volumosos: **Malha sólida**
- 7 Tipo de malha apropriado para modelos finos: **Malha de casca**
- 8 Tipo de malha apropriado para modelos com peças finas e peças volumosas: **Malha mista**

Teste da Lição 2 — Gabarito

Nome: _____ Turma: _____ Data: _____

Instruções: Responda às perguntas digitando as respostas corretas no espaço fornecido.

1 Quantos nós existem em elementos de casca com alta qualidade e qualidade de rascunho?

Resposta: 3 para rascunho e 6 para alta qualidade

2 Alterar a espessura de uma casca exige que a malha seja refeita?

Resposta: Não.

3 O que são métodos adaptativos e qual é a ideia básica de sua formulação?

Resposta: Métodos adaptativos são métodos iterativos que procuram aprimorar automaticamente a exatidão de estudos estáticos. Baseiam-se na estimativa do perfil de erro em um campo de tensão. Se um nó é comum a vários elementos, o solver fornece diversas respostas no mesmo nó para cada elemento. A variação desses resultados fornece uma estimativa do erro. Quanto mais próximos esses valores estiverem entre si, maior a exatidão dos resultados no nó.

4 Qual é a vantagem de usar múltiplas configurações no seu estudo?

Resposta: Você pode fazer experiências com a geometria do seu modelo em um documento. Cada estudo é associado a uma configuração. Alterar a geometria de uma configuração afeta apenas os estudos associados a ela.

5 Como você pode criar rapidamente um novo estudo com pequenas diferenças em relação a um estudo existente?

Resposta: Arraste e solte o ícone de um estudo existente no ícone superior da árvore do SolidWorks Simulation Manager e, em seguida, edite, adicione ou exclua recursos para definir o estudo.

6 Quando não há métodos adaptativos disponíveis, como você pode ter confiança nos resultados?

Resposta: Gere novamente a malha do modelo usando um tamanho de elemento menor e execute o estudo novamente. Se as alterações nos resultados ainda forem significativas, repita o processo até que haja convergência de resultados.

7 Em que ordem o programa calcula as tensões, os deslocamentos e as deformações?

Resposta: O programa calcula os deslocamentos, as deformações e as tensões.

8 Em uma solução adaptativa, qual quantidade converge mais rápido: deslocamento ou tensão?

Resposta: O deslocamento converge mais rápido que a tensão. Isso se deve ao fato de a tensão ser a derivada segunda do deslocamento.

Resumo da lição

- ❑ A aplicação de métodos adaptativos se baseia na estimativa dos erros de continuidade de um campo de tensão. Os métodos adaptativos só estão disponíveis em estudos estáticos.
- ❑ Os métodos adaptativos melhoram a exatidão sem a interferência do usuário.
- ❑ A tensão teórica no ponto de aplicação de uma carga concentrada é infinita. As tensões continuam a aumentar à medida que você usa uma malha menor em torno da singularidade ou usa o método adaptativo h.
- ❑ A aplicação do controle de malha exige a identificação das regiões críticas antes da execução do estudo. Os métodos adaptativos não exigem a identificação das regiões críticas.
- ❑ Simetria pode ser usada, quando apropriado, para reduzir o tamanho do problema. O modelo deve ser simétrico em relação a geometria, acessórios de fixação, cargas e propriedades do material em todo o plano de simetria.
- ❑ Nenhum acessório de fixação é permitido na análise de frequência e são manifestados pela presença de modos de corpo rígido (frequências zero ou próximas de zero).
- ❑ Acessórios de fixação de simetria devem ser evitados em estudos de frequência e de flambagem, pois só é possível extrair modos simétricos.
- ❑ Peças finas são modeladas melhor com elementos de casca. Os elementos de casca resistem a forças de membrana e de curvatura.
- ❑ Modelos volumosos devem ter a geração de malha com elementos sólidos.
- ❑ Você deve usar malha mista quando tiver peças volumosas e finas no mesmo modelo.

