CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES AO REDOR DE ORIFÍCIOS USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION

1. INTRODUÇÃO

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA:

Quando um corpo elástico que está submetido a um regime de tensões possuir em sua geometria um ponto de irregularidade ou uma mudança brusca, como, por exemplo, um orifício ou um entalhe, aparecerá em sua vizinhança uma variação localizada do regime de tensões. Os níveis das tensões de pico podem ser diversas vezes maiores do que a tensão nominal que ocorreria no corpo caso não houvesse esta irregularidade. A este aumento das tensões causado pela irregularidade da geometria denomina-se concentração de tensões. Podem-se citar algumas referências clássicas de tal assunto é discutido:

- Peterson, R. E. Stress Concentration Factors in Design, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1953;
- Savin, G. N. Stress Concentration Around Holes, Pergamon Press, New York, 1961;

Conta-se hoje com uma ferramenta de otimização da forma para minimizar estes picos de tensões. O uso desta ferramenta não é o objetivo deste curso introdutório.



Figura 1 – Esquema das placas a serem analisadas.

É importante se discutir também a estimativa da precisão das soluções aproximadas obtidas numericamente via MEF. Na utilização de cada elemento na Biblioteca de Elementos resulta extremamente importante conhecer o grau de precisão alcançada pela solução, em problemas com resultado conhecido, realizando-se também um estudo da convergência, utilizando-se diversas malhas e subdivisões. Visando a discussão destes dois assuntos propostos, inicia-se o estudo pela análise de uma placa esbelta, quadrada, submetida a um regime de tensões uniformes em uma das direções. A seguir, simular-se-á uma pequena fissura central perpendicular à direção das tensões uniformes, percebendo-se assim a perturbação que ocorre. O estudo da evolução das fissuras pode ser realizado com o auxílio da Mecânica da Fratura, não sendo o seu uso, objetivo de um curso introdutório. Na sequência estudam-se diversas formas de orifícios, analisando-se em especial a perturbação introduzida no regime de tensões da placa, ou seja, a concentração de tensões em torno dos diversos orifícios. Por se conhecer a solução exata de algumas destas soluções, pode-se discutir a convergência das soluções para o estudo de diversas malhas e elementos. A figura 1 mostra um esquema de diversas placas a serem analisadas.

A) Placa submetida a um regime uniforme de tensões:

Se a solução exata é um campo de tensões uniforme, a solução obtida por Elementos Finitos coincidirá com a solução exata, qualquer que seja a malha. No caso da placa esquematizada na figura 1 (a), ou seja, uma placa fina quadrada e de espessura constante, composta por um material cujo Módulo de Elasticidade E = 3E10 Pa, Coeficiente de Poisson v = 0.3, submetida a um carregamento uniforme em um dos bordos, porém sem considerar a fissura na região central, a solução é um regime uniforme de tensões.

σx = 2000 Pa;

σy = 0;

тху = 0.

B) Placa submetida ao caso do furo em elipse:



Figura 2 – Esquema de ¼ da placa com a fissura.

Ao se introduzir uma pequena fissura ou furo na placa, como descrita no item anterior, uma grande perturbação aparecerá no campo de tensões e na região próxima a fissura ou furo aparecerá uma concentração de tensões. Visando avaliála, gera-se um modelo de elementos finitos, que devido à consideração de simetria, poderá conter apenas um quarto da placa, conforme o esquema apresentado na figura 2, desde que se apliquem as condições cinemáticas de contorno apropriadas nesta simulação.

1.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS E DO MATERIAL

Modelo bidimensional utilizando o estado plano de tensões Módulo de Elasticidade longitudinal ou de Young: Ex = 3E10 Pa. Coeficiente de Poisson = 0.3 Espessura: 0.5 m

1.3. CARGA

Pressão P = -2000 Pa

2. RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma (a ordem pode eventualmente ser quebrada em pontos específicos por conveniência):



2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

- Se você ainda não iniciou o programa Abaqus/CAE, digite cmd no
 Menu Iniciar para abrir o Prompt de Comando e nele digite abq6122se cae para executar o Abaqus.
- ✓ Em Create Model Database na caixa Start Session que aparece, selecione With Standard/Explicit Model.

2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

- No menu Model à esquerda, clique com o botão direito em Model-1 e selecione Rename. Digite Concentraçãodetensões.
- No menu Model à esquerda, dê duplo clique em Parts, no campo Name digite PlacaFina, e selecione as opções: 2D, Deformable, Shell, Planar. Em approximate size digite 20. Clique em Continue...



 Clique em Create Lines: Rectangle (4 lines) na caixa de ferramentas e insira as seguintes coordenadas 0,0 – 6,6. Em seguida, desative a função Create Lines: Rectangle (4 lines) e clique em Done.



 No menu Model à esquerda, dê duplo clique em Materials. Na janela Edit Material Renomeie o material para MaterialdaPlaca, selecione Mechanical>Elasticity>Elastic e digite 3E10 em Young's Modulus e 0.3 em Poisson's Ratio. Clique em OK.

- AbayurCAE Student Edition 612/2 [Viewport 1]	
Bij fee Model Vergoot Yeew Matgui Sector Profite Composite Straps Special Feature Tools Plagmins Hep VT	La. (2) (8)
Model Results Material Library Models Property V Models Concentraçãodetensões V Part PlacaFina V	
🗮 Model Database 🔄 🗘 🕆 😵 💯 💯	6
Concentralizationality 24	*
Sections to Section 2	
Profiles Material Behaviors Material Advancement	
It is a Assembly Tester (I) Brain (I	
See Frield Output Requests	
Be History Output Requests 🧔 📆	
The Funds	
Linteractions General Mechanical Ihermal Detrical/Magnetic Other	
Be Interaction Properties	
i Contact Stabilizations	
Constraints	
12 Consector Sections	
Ro Amplitudes	
Bi Loads The Compression	
The BCS 2-40 T	
The Remeshing Rules Viewon's Polymon's	
Coptimization Tesks Modulus Ratio	
1 3E0 03	
© 🗱 Analysis	
Z kobs	
Vg Adaptivity Processs	
I opinization Processes	
••• x	
	2
	pS simulia
The model statebase has been created.	
Application restarted after 507 minutes of idle time; the license will be checked within the next 3 minutes.	

✓ No menu Model à esquerda, dê duplo clique em Sections. No campo Name: digite SeçãoPlaca, em Category selecione Solid, e em Type selecione Homogeneous. Clique em Continue... Na janela Edit Section, Marque Plane Stress/strain thickness: e digite 0.5. Certifique-se que MaterialdaPlaca está selecionado em Material: e clique em OK.

Abaqus/CAE Student Edition 6.12-2 [Viewp	ort 1]			
Eile Model Viewport View Matgri	ial Section Profile	omposite Assign Special Feature Iools Plug-ins Help X ?		
	1+ C Q Q E		🕐 🕐 🧶 🐂 🥂 🚡 🧊 🌮 Property defaults 🔹 🎒 🔹	
Model Results Material Library	Module: Property	🕶 Model: Concentraçãodetensões 👻 Part: PlacaFina 👻		
Add Database A	2 金融画画を画画画 風 / / 画画 見 / / 画画 見 / / 画画 見 / / 一 画画 人 人	Image: set in the set in th		
x	. + ×			35 SIMULIA
A new nodel database has b The nodel "Model-1" has be Application restarted after	meen created. men created. mr 507 minutes of	idle time; the license will be checked within the next 3 minutes.		

 No menu Model à esquerda, abra Parts>PlacaFina e dê duplo clique em Section Assignments. Selecione a placa e clique em Done. Selecione SeçãoPlaca e clique em OK.

del Results Material Library	Module: Pro	perty 🛉 Model: Concentraçãodetensões 👻 Part: Pl	lecafina 🔹	
Model Database 💽 🗘 🗄 👌	8 26 00			1
Ideating () Construction () Cons	▲田田田牧田田田田山 / 山谷大人	I fat Section Ansignment Rapin Rapin Section Section <		-
Annotations 2 Analysis	*	the Left Section Arrighment dialog		20
	Fill Out	nie con section wasgiment using		pS simu

 ✓ No menu Model à esquerda, abra Assembly, dê duplo clique em Instances e clique em OK na janela Create Instance.



 No menu model à esquerda, dê duplo clique em Steps. Digite Carregamento no campo Name: e Clique em Continue... Então clique OK na nova janela que se abre.

Abaquaruae student Edition 6.12-2 [Views				
Ele Model Viewport View Step	stput Other Tools Plug-ins Help 1?			2 Ø X
			🚺 🕐 🖤 🗢 💌 🐂 🥂 👔 📰 🏇 Assembly defaults 🔄 🎒 👻	
Model Results	Module: Step Model: Concentraçaodetensoes	Step: E Initial		
👹 Model Database 🛛 🛊 🗘 🗈 🗞 A	•••			
Construction (1) Construction (2) Cons	Image: Section of the section of th			
Ω‡Σ Δnalusis				25 SIMULIE
A new model database has The model "Model-1" has b Application restarted after	n created. created. 507 minutes of idle time; the license will be of	necked within the next 3 minutes.		

✓ No menu model à esquerda, dê duplo clique em Loads. Na janela Create Load, no campo Name digite CargaP, troque o Step para Carregamento, em Types for Selected Step selecione Pressure e clique em Continue....

Abaquic CAE Student Edition 612/2 (Vereport 1)	- 0 - X
Eie Model Viewport View Lood BC Predefined Field Lood Case Feature Icolo Plug-ins Help N?	
D 🗃 🖩 👼 🛔 🗑 🛱 🖉 🕂 🗲 🔍 🔍 🖸 1↓ A S M =	
Model Results Modele Concentraçãodetendes Step Concentraçãodetendes Step Concentraçãodetendes	
Control Interes Image: Control Intere	
The second secon	35 SIMULIA
Image: State and the base created attraction restarted after 507 minutes of idle time; the license will be checked within the next 3 minutes.	

 Selecione a aresta direita da placa e clique em Done. Na janela Edit Load, digite -2000 no campo Magnitude: e clique em OK.

Abaqus/CAE Student Edition 6.12-2 [Viewpo	ort 1)					
Eile Model Viewport View Load	BC Predefined Field	Lgad Case Feature Tools Plug-ins	Help N?			a d x
🗋 🗃 🖬 🖶 🛔 🗐 🎒 🗊	🕂 🕐 🔍 🔩 🖸		¶ @ ⊒ # A 4 ≣ Ø Ø Ø	i 🚺 👁 👁 🖱 🏹 🔿 🥂 🛄 🎲 🗛	sembly defaults 💿 💋 🕶	
Model Results	Module: 🗘 Load	Model: Concentraçãodetensõ	s 💌 Step: 🗄 Carregamento 💌			
Constantion Constanti		Interne Corp.0 Type Pressure Type Corp.orente Type Corp.orente				
Optimization Processes	Fill out the E	dit Load dialog				2S SIMULIA
A new nodel database has h The nodel "Model-1" has be Application restarted after	men created. een created. er 507 minutes of	idle time; the license will 1	e checked within the next 3 minutes.			

- Foi criada a placa usada na resolução dos itens a, b, c e d como um caso geral. Agora é preciso criar os concentradores de tensão. Comece pelo caso a, da fissura.
- Na barra de contexto, em Module, selecione Part. Na caixa de ferramentas, clique e segure o botão esquerdo em Partition Edge:
 Specify Parameter by Location, e escolha a opção Partition Edge:

Enter Parameter. Selecione a aresta esquerda e clique em Done. Digite 0.083333 e clique em Create Partition.

Ele Model Viewport View Part	Shape Feature Tools Plug-in	s Help N?	in contraction of a party	And a contract of the	above at			
	🕂 e 🔍 🔍 🔯 11 🗍		「日間」で	4 8 8 6 6	00000	🗅 🛅 🎲 Part defaults	- 💋 -	
Model Results	Module: Part	Model: Concentraçãode	ensões 👻 Part: 🗐 PlacaFin					
👹 Model Database 🛛 🛊 🗘 🖄 🍋	· • ·		3					Ť
	Image: Second	Č.,						
Continuization Tasks	• • ×							35 5100111
A new model database has h The model "Model-1" has be Application restorted afte	meen created. een created. er 507 minutes of idle t en saved to "C:\Users\Gu	ime; the license wi staveN\Dropbom\MÉT(11 be checked within DO DOS ELEMENTOS FIN	the next 3 minutes. ITOS-AULA 9 - parte	1∖aula 9 - fissura 2.0.	566°.		μ3 3HULF

No menu model à esquerda, dê duplo clique em BCs. Na janela Create Boundary Condition, altere o campo Name para ApoiodeSimetria1, Step para Initial e Types for Selected Step para Symetry/ antisymmetry/Encastre. Clique em Continue... Selecione a maior parte da aresta esquerda da placa e clique em Done. Marque XSYMM(U1 = UR2 = UR3 = 0) na janela Edit Boundary Condition e clique em OK.



Repita o procedimento para criar o ApoiodeSimetria2, selecionando a aresta de baixo, e selecionando em Edit Boundary Condition YSYMM(U2 = UR1 = UR3 = 0).

ad RC Predefined Field Load Case Senture Tools Plan-ins Help N?	
Module 🗄 Load 🐂 Model: 🗮 Concentração detensões 👻 Step: 📄 Initial	
No Vester Noted Concentragilization Step Image: Step<	.
R R Fill out the Edit Boundary Condition dialog	js simulia
[a] Galadon	<i>ps</i> simuli
ad ad	<pre>BC Predending Land Car Lange Jush Papers Lange V Constructed and Car Lange V Constructed Car Lange V Constructed and Car Lange V Constructed and Car Lange V Constructed and Car Lange V Constructed Car Lange V Constructed</pre>

✓ Na barra de contexto, em Module, selecione Mesh, e em Object, selecione Part. Na barra do menu principal, clique em Mesh>Element Type e selecione a placa. Clique em Done, abrirá a janela Element Type. Em Family, selecione Plane Stress, em Geometric Order, selecione Quadratic e desmarque a opção Reduced Integration Clique em OK.



✓ Na barra do menu principal, clique em Seed>Part e clique em OK.
 Clique em Done.

Abaqua/CAE Student Edition 6.12-2 - Mode	odel Database: C/User/Guttavo/NDropbon/METODO DOS ELEMENTOS PMITOS AULA 9 - parte Tvaula 9 - Essure 2.0 cae (Viewport: 1)	
Eile Model Viewport View Seed	nd Migh Adaptivity Feature Iools Plug-ins Holp 💔	e e s
🗋 🗃 🖶 🛔 👘 🎒 🗊	▶ 🕂 🕂 🔍 💭 11 🗄 🗛 👘 🖓 🔤 🚱 三 融 (公) 単 🏛 (日) 🗇 (日) 🌑 (○) 💌 💭 (日) 🖓 (Mach defaults - 日) (日) (日) (日) (日) (日) (日) (日) (日) (日)	
Model Results	Module 🗄 Mesh 👻 Model: 🖟 Concentraçãodetensões 👻 Object: 🔿 Assembly 🛎 Part: 🗎 PlaceFina 👻	
Concerts de tratifica Concerts Concerts de tratifica Concerts Concerts	Image: Control of the sector of the secto	
x	👔 🐏 📉 Set the data using the Global Seeds dialog	\$S SIMULIA
A new model database has be here model "Kodel-1" has be Application restarted after The model database has been	i bem created Dem created Tem 597 ministed of idle time; the license will be checked within the next 3 minutes; new seved to "C'."Here"Ountwork"Drophox-METROD 1055 FLERENTS FILTERS-Walla 9 - finsura 2.0 cae";	

Na barra do menu principal, clique em Mesh>Part. Aparecerá a pergunta "OK to mesh the part?", clique Yes. Perceba que a placa fica na cor azul.



 No menu model à esquerda, dê duplo clique em Remeshing Rules e clique em Done. Na janela que se abre, mantenha as configurações padrão e clique em OK.



Adaptive remeshing pode melhorar a qualidade das simulações refinando a malha de acordo com a necessidade de cada região da peça em análise. Funciona através de iterações sucessivas, até que um determinado critério seja atendido ou o numero máximo de iterações seja alcançado.



 Ao manter a Regra de redefinição da malha em sua opção Padrão (Default sizing methods and parameters) o programa automaticamente seleciona o método melhor aplicado a redução do indicador de erro.

CRITÉRIO	VARIÁVEL	DEFAULT SIZING
CRITERIO	INDICADORA DE ERRO	METHOD

ELEMENT ENERGY		UNIFORM ERROR
DENSITY	ENDENERI	DISTRIBUTION

 1.Uniform error distribution sizing method X 2.Minimum/maximum control sizing method (exemplificado pela análise de distribuições de tensões numa placa com furo circular)



2.3. PROCESSAMENTO

- No menu model à esquerda, dê duplo clique em Adaptivity Processes e clique em OK.
- Abra Adaptivity Processes e clique com o botão direito em Adaptivity-1 e clique em Submit . Na janela que se abre, clique em OK e aguarde.



2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

- No menu model à esquerda, clique com o botão direito em Jobs(3)>Adaptivity-1-iter3(Completed)>Results. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, clique em Plot Contours on Deformed Shape.
- Na barra de ferramentas no canto superior à direita, selecione S>Max.
 In-Plane Principal. Na barra de menus principal, clique em Viewport>Viewport Annotation Options.... Na janela aberta, selecione a aba Legend. Clique em Set Font. Na nova janela, altere Size para 14. Clique OK nas duas janelas abertas.



Na barra de menu principal, clique em Report>Field Output. Na janela Report Field Output, clique em S: Stress Components > Max. In-Plane Principal, S11, S22, S12 e clique em OK. A mensagem aparecerá: "The field output report was appended to file "abaqus.rpt"." O arquivo abaqus.rpt pode ser encontrado em C:\Users\"Nome do Usuário"\abaqus.rpt. O arquivo exibirá as tensões máximas no plano.



- ✓ Para o caso da fissura foi obtido: S.Max. In-Plane = 11.2054E+03 no elemento 102, ponto de integração 7. (ponta da fissura)
- Na barra do menu principal, clique em Report Field Output. Na janela Report Field Output, desmarque Stress Components e no campo Position selecione Whole Element. Então marque ENDEN: Element energy density e ENDENERI: Element energy density error indicator e clique OK.



Abaqus/CAE Student Edition 6.12-2 - Model	E Database: C/Users/GuitavoN/Dropbox/METODD DDS ELEMENTOS FINITOS AULA 9 - parte 3/4049 - fissura 2.0 cae (Viewport 3)	- 0 - 1
Eile Model Viewport View Besult	Bot Animate Report Options Icols Plag-ins Help *?	
	+ C 🔍 🔍 🖸 1	• S • Max. In • Plan • 🥿
Model Results	Module Visualization 🖌 ODE: C:/Users/GustavoN/Adaptivity-1-Re3.odb -	ни и в ни 🗟 🕼 🕼
Sector Data Angle Charles (1)		
		35 SIMULIE
Remeshing Rule: Res	meshingRule-1 Satisfied N0	
Satisfied Unsatisfied	I Variables (None') d Variables ('RNDRNRI')	
Mantivity process Adaptiv	intel completed all iterations. Not all rules are satisfied	
The field output report was	A provided to will a faith the set of the se	(11)
Adaptivity process Adaptiv: The field output report was The field output report was	ud Textanice, 'PERCHEMP') ity completed all iterations. Not all rules are satisfied. a spended foil " shapes ref."	(R)

 Na barra do menu principal, clique em File>Save As.... Dê um nome ao arquivo e clique em OK (É possível também salvar o arquivo com os resultados já calculados - job-1.odb).

2.5. DEMAIS CASOS:

- Para a resolução dos outros itens, o você pode utilizar da ferramenta de corte na parte seguindo os mesmos passos desse guia até aplicação da Carga:
- ✓ Na barra de contexto, em Module, selecione Part. Na caixa de ferramentas, clique em Create Cut: Extrude. O modo sketch abrirá.



 Na caixa de ferramentas utilize a ferramenta Create Lines: Connected para criar o caso do losango, a ferramenta Create Circle: Center and Perimeter para o caso do furo circular, ou a ferramenta Create Ellipse: Center and Perimeter para criar o furo em forma de elipse. Clique em Done ao final da edição.



 Repita os procedimentos do caso A, para resolver os demais casos, colocando apoios de simetria e criando a malha. Exemplo:



2.6. RESULTADOS NA PONTA DA FISSURA:

TENSÕES					
6450 A	FISSURA		S. MAX IN-PLANE	S11	
CASO A		MAXIMO	11.2054E+03	9.9092E+03	
		ELEMENTO	102*	100*	
		PONTO DE INTEGRAÇÃO	7*	3*	
CASO B	CIRCULO		S. MAX IN-PLANE	S11	
		MAXIMO	6.0157E+03	6.01539E+03	
		ELEMENTO	112*	112*	
		PONTO DE INTEGRAÇÃO	3*	3*	
CASO C	ELIPSE		S. MAX IN-PLANE	S11	
		MAXIMO	4.00291E+03	4.00244E+03	
		ELEMENTO	57*	57*	
		PONTO DE INTEGRAÇÃO	7*	7*	
CASO D	LOSANGO		S. MAX IN-PLANE	S11	
		MAXIMO	14.5545E+03	13.0893E+03	
		ELEMENTO	103*	103*	
		PONTO DE INTEGRAÇÃO	7*	7*	

*Elementos e pontos de integração que fazem referência à ponta da fissura ou furo, onde há concentração de tensões em cada caso.

2.7. ERRO:

ERRO						
CASO A	FISSURA	ENDEN	ENDENERI	ESTIMATIVA DE ERRO		
		0,021360400	0,011939600	55,8960%		
		102	102	102		

CASO B	CIRCULO	ENDEN	ENDENERI	ESTIMATIVA DE ERRO
		0,022359500	0,000262119	1,1723%
		112	112	112
CASO C	ELIPSE	ENDEN	ENDENERI	ESTIMATIVA DE ERRO
		0,014565500	0,000133117	0,9139%
		57	57	57
CASO D	LOSANGO	ENDEN	ENDENERI	ESTIMATIVA DE ERRO
		0,033099600	0,013607700	41,1114%

- Variáveis de estimativa de erro representam o erro na solução e têm a unidade da mesma.
- Estimativas de erro são aproximações e não representam uma estimativa precisa e conservadora do erro da solução. A qualidade do indicador de erro pode ser muito ruim no caso de uma malha grosseira, entretanto ela vai melhorando à medida que a malha é refinada.
- O Abaqus/CAE fornece variáveis indicadoras de erros locais para a malha gerada

CRITÉRIO	VARIÁVEL INDICADORA	VARIAVEL DA	
CRITERIO	DE ERRO	SOLUÇÃO BASE	
ELEMENT ENERGY			
DENSITY	ENDENERI	ENDEN	

 Os Algoritmos de solução do abaqus usados na mudança da malha (Adaptive remeshing) consideram o valor do indicador de erro e a solução base simultaneamente. A estimativa do erro ultrapassando aproximadamente 10% da solução base representa: Alta probabilidade do valor da solução ser imprecisa e inapropriada na região, a malha pode ser muito grosseira para a análise ou talvez exista singularidade de tensão no elemento.

✓ ERRO [%] = (ENDENERI/ENDEN)*100