

## Determinação do fator de concentração de tensões em ABAQUS

André Duarte Ferreira

25 de Abril de 2013

**Resumo:** Ensaiou-se uma peça no programa ABAQUS com o intuito de determinar o fator de concentração de tensões, compará-lo com o valor teórico calculado, e observar a variação desse fator com o teórico com o uso de diferentes malhas.

### 0 – Introdução

O objectivo deste trabalho é, em primeiro lugar, através do programa ABAQUS e utilizando o método dos elementos finitos, determinar o fator de concentração de tensões,  $k$ , causado pelo entalhe na peça da Fig. 1. Daí, comparar o valor obtido com o valor teórico calculado, e verificar a sua variação, e do erro obtido, com a alteração da malha utilizada para a discretização da peça em estudo.

### 1 – Peça utilizada e fator de concentração de tensões teórico

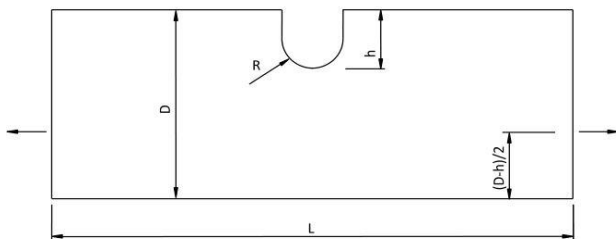


Fig. 1 - Peça em estudo

**Dimensões:**

$h = 11,1\text{mm}$   
 $D = 56,4\text{mm}$   
 $R = 11,2\text{mm}$   
 $L = 214,32\text{mm}$   
 $t = 5\text{mm}$

**Propriedades do material:**

$E = 210000\text{MPa}$   
 $\nu = 0,3$

### Determinação do coeficiente de concentração de tensões teórico:

Visto  $\frac{h}{R} = 0,991 \neq 1$ , então temos que

$$k_{\text{teórico}} = k_1 + k_2 \frac{h}{D} + k_3 \left(\frac{h}{D}\right)^2 + k_4 \left(\frac{h}{D}\right)^3 \quad (1)$$

$$k_1 = 0.721 + 2.394\sqrt{h/R} - 0.127h/R$$

$$k_2 = 2.978$$

$$k_2 = 1.978 - 11,489\sqrt{h/R} + 2.211h/R$$

$$k_2 = -7.268$$

$$k_3 = -4.413 + 18,751\sqrt{h/R} - 4.596h/R$$

$$k_3 = 9.699$$

$$k_4 = 2.714 - 9.655\sqrt{h/R} + 2.512h/R$$

$$k_4 = -4.408$$

Substituindo em (1) obtemos  $k_{\text{teórico}} = \mathbf{1,890}$

### 2 – Condições de fronteira, carga e determinação do fator concentração de tensões a partir do ABAQUS

Visto existir um plano de simetria vertical, pode-se simplificar todo o trabalho usando apenas metade da peça, tendo o cuidado de aplicar as condições fronteira no local onde se corta corretos.

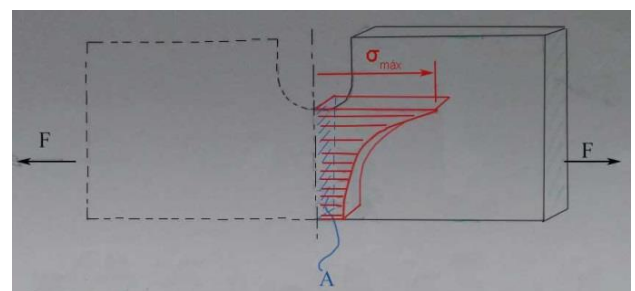


Fig. 2 - Esquema representativo das tensões presentes no plano do entalhe

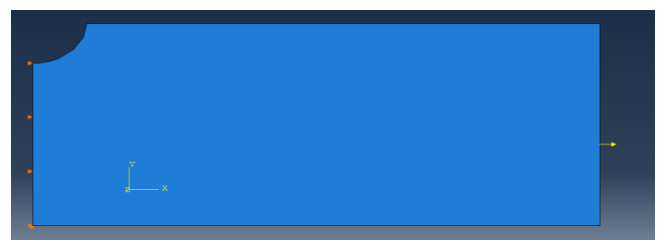


Fig. 3 - Peça com as condições fronteira e carga aplicadas

Como condições fronteira foi impedida a deslocação em x da aresta esquerda e em y do ponto no canto inferior esquerdo da metade da peça, como representado na Fig. 3.

Em termos de forças, aplicou-se uma carga concentrada de 250N do lado direito da peça a  $(D - h)/2$  da base.

Sabemos que

$$\sigma_{m\acute{a}x} = k \cdot \sigma_N$$

Pelo que

$$k = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_N}$$

Onde

$$\sigma_N = \frac{F}{A}$$

e

$$A = (D - h) \cdot t$$

$\sigma_{m\acute{a}x}$  é dado pelo ABAQUS no nó superior da aresta reta do lado esquerdo da metade da peça em estudo.

Então,

$$Erro (\%) = \left(1 - \frac{k}{k_{te\acute{o}rico}}\right) \cdot 100$$

### 3 – Análise dos ensaios

Ensaio	Nº elementos	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	K	Erro (%)
1	112	1,5871	1,437913	23,92118
2	294	1,7336	1,570642	16,8986
3	449	1,8843	1,707194	9,673721
4	838	1,8783	1,70174	9,962295
5	821	1,9593	1,775099	6,080937
6	910	1,9502	1,766872	6,516194
7	879	1,9591	1,774981	6,087169

Nos ensaios de 1-4 foi utilizada uma malha de dimensões uniformes por toda a peça, enquanto que no ensaio 5 se colocou um elevado número de elementos junto à aresta da peça com maiores tensões comparado com o resto da peça, e nos 6-7 se utilizou um bias para o número de elementos ir aumentando gradualmente até às zonas possivelmente mais importantes – ponto de aplicação da força e entalhe.

Como se pode observar entre 1-4 com o aumento do número de elementos da malha, o valor de **k** calculado a partir do ABAQUS aproxima-se do teórico. Além disso, com o aumento estratégico do número de elementos da malha, como se pode observar nos 3 últimos ensaios, é possível reduzir ainda mais, para sensivelmente o mesmo número de elementos, o erro obtido.

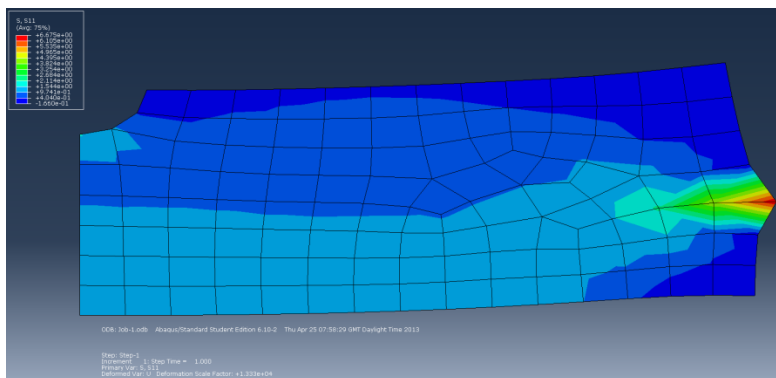


Fig. 4 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 1.

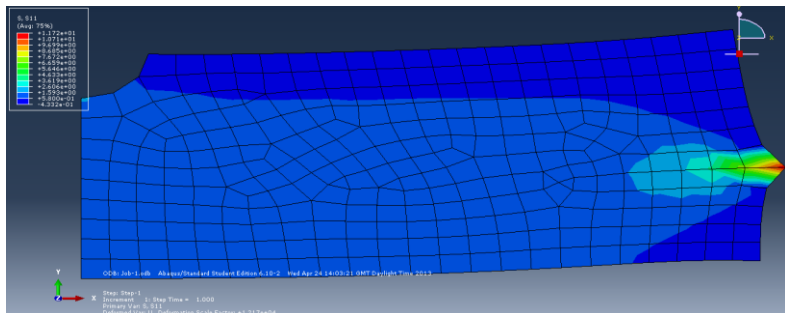


Fig. 5 - Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 2.

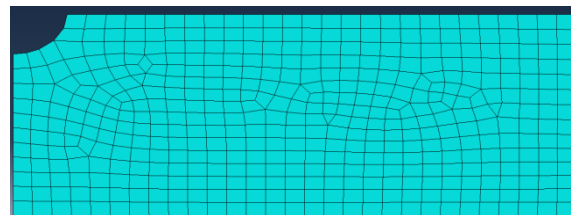
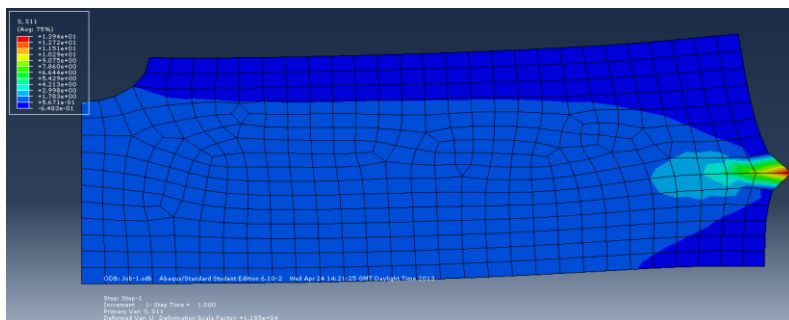


Fig. 6 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 3.

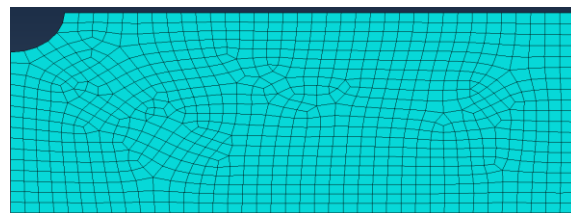
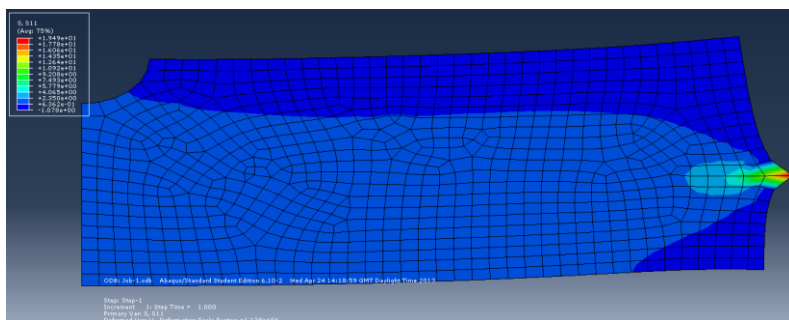


Fig. 7 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 4.

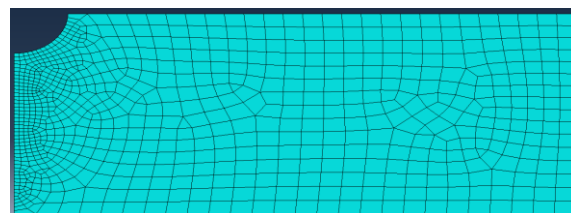
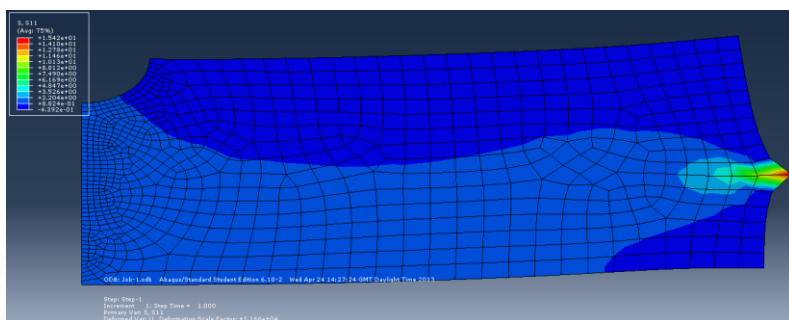


Fig. 8 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 5.

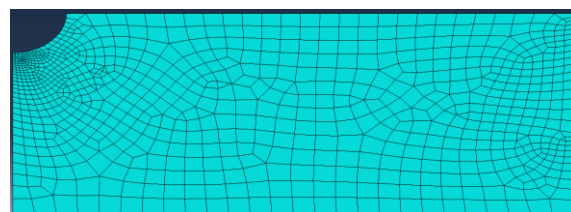
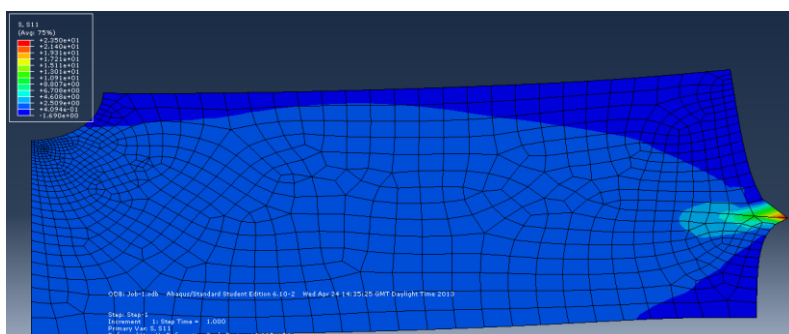


Fig. 9 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 6.

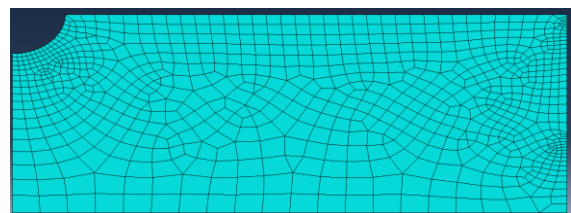
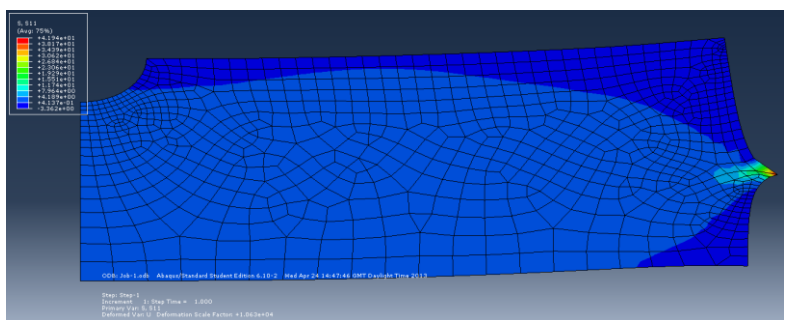


Fig. 10 – Estado de tensão  $\sigma_x$  (esq.) e malha (dta.) referentes ao ensaio 7.

#### **4 – Conclusões**

Do trabalho efetuado pode-se então concluir que, regra geral, do aumento do número de elementos da malha, resultarão resultados mais próximos dos reais. Além disso, o aumento do número de elementos da malha especifica-

mente em zonas críticas da peça é igualmente importante na obtenção de valores corretos, uma vez que é do comportamento da peça nesses locais, que esses valores dependem essencialmente.

#### **Outras informações:**

Software utilizado: ABAQUS, Student version v.6.10