

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

JOYCE DE ALMEIDA GODINHO BOSCO

**APLICAÇÃO DA TEORIA DA DISTÂNCIA CRÍTICA PARA ESTIMAR
A VIDA DE COMPONENTES COM ENTALHE EM REGIME DE
FADIGA DE MÉDIO CICLO**

**BRASÍLIA
2016**

JOYCE DE ALMEIDA GODINHO BOSCO

APLICAÇÃO DA TEORIA DA DISTÂNCIA CRÍTICA PARA ESTIMAR A VIDA DE COMPONENTES COM ENTALHE EM REGIME DE FADIGA DE MÉDIO

Projeto de Graduação submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de pesquisa: Resistência dos Materiais

Orientador: Prof. JORGE LUIZ DE ALMEIDA FERREIRA

Brasília
2016

Faculdade de Tecnologia, Univesidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro
Departamento de Engenharia Mecânica

JOYCE DE ALMEIDA GODINHO BOSCO

Este Projeto de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, sendo aprovado pelo Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade de Tecnologia, do Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília e pela banca examinadora:

Orientador: Prof. Jorge Luiz de Almeida
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Edgar Nobuo Mamiya
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Lucival Malcher
Universidade de Brasília - UnB

Brasília, 30 de novembro de 2016

à Larissa Ormond Fraga

Agradecimentos

Agradeço, inicialmente à minha família, especialmente meu pai, pela enorme compreensão, paciência e apoio dados durante todos esses anos. Sei que sem o seu apoio, nada disso seria possível.

Agradeço ao meu namorado pelo apoio irrestrito, mesmo nos momentos de dúvida, e pela paciência e ajuda incansável para a concretude desse trabalho. Agradeço também meus muitos amigos, que se tornaram minha família em Brasília, ao eterno companherismo nessa jornada, presença nos momentos alegres e difíceis, e compreensão pelos momentos de ausência.

Finalmente, agradeço ao meu orientador Jorge Luiz de Almeida Ferreira, presença constante e dedicada à ajuda, sem o qual a execução desse trabalho não seria possível.

Resumo

Este trabalho consiste em uma revisão e análise crítica sobre as possibilidades do uso da reformulação da Teoria da Distância Crítica, aproximada pelo Método do Ponto, proposta pelos pesquisadores Susmel e Taylor (2007), para a previsão de vida, em regime de médio ciclo, de corpos enfraquecidos por qualquer tipo de entalhe sob regimes de tração e flexão para razões de carregamento de $R = 0.1$ e $R = -1$ para o primeiro e $R = 0.1$ para o segundo.

Abstract

This work consists of a review and critical analysis of the possibilities of using the reformulation of the Theory of Critical Distance, by the Point Method , proposed by Susmel and Taylor (2007) for the prediction of life in midle-cycle regime, for components weakened by any kind of notch and under both traction and flexion regimes for loading ratios of $R = 0.1$ and $R = -1$ for the first and $R = 0.1$ for the second.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Símbolos 16

Lista de Abreviações

1	Introdução	19
1.1	Motivação	19
1.2	Objetivos	19
1.3	Organização do Trabalho	20
2	Fratura e Fadiga	21
2.1	FADIGA	21
2.1.1	Processo Histórico	21
2.1.2	Conceitos Básicos	22
2.1.3	Curva S-N	23
2.1.4	Efeito da Tensão Média	24
2.1.5	Concentradores de Tensão	25
2.1.6	Fator de Redução de Resistência à Fadiga	26
2.1.7	Efeito da concentração de tensões sobre a curva σ -N	27
2.1.8	Vidas em Alto, Baixo e Médio ciclo	27
2.2	MECÂNICA DA FRATURA-Mecânica da Fratura Linear Elástica	29

2.2.1	Funções de Airy para a Tensão	29
2.2.2	Solução para Problemas com Trinca	31
2.2.3	Fator Intensidade de Tensão	33
2.2.4	Tenacidade à Fratura	33
2.2.5	Limitações Plásticas na MFLE	34
2.2.6	Propagação de Trincas por Fadiga	35
2.2.7	Diagrama de Kitagawa-Takahashi	37
2.3	MODELO DE PREVISÃO DE VIDA EM COMPONENTES ENTALHADOS - Enfoque da Distância Crítica	38
2.3.1	Método do Ponto	39
2.3.2	Método da Linha	40
2.3.3	Método da Área	40
2.3.4	TDC aplicada em regime de Médio Ciclo	40
3	Método Proposto	42
3.1	Equações governantes da metodologia	44
3.2	Levantamento das constantes materiais	44
3.3	Projeto dos Corpos de Prova	45
3.3.1	Simulação numérica	46
3.3.2	Tipos de Elementos e Convergência da Malha	48
3.4	Aplicação do Método do Ponto para levantamento da curva Distância Crítica por Vida do Material	51
3.5	Interpolação para Vida Estimada	53
4	Resultados	55
4.1	Comparação de K_{IS}	55
4.2	Gráficos da redução de tensão pela distância à raiz do entalhe	56
4.2.1	Caso 2D	56

4.2.2	Caso 3D	59
4.3	Curvas materiais L_{MP} -N e constantes de ajuste	62
4.3.1	Caso 2D	63
4.3.2	CASO 3D	64
4.4	Gráficos da interpolação de Vida Estimada por Vida Prevista	66
4.4.1	TRAÇÃO R=-1	67
4.4.2	TRAÇÃO R=0.1	70
4.4.3	FLEXÃO	73
5	Conclusão e Futuros trabalhos	74
6	Referências Bibliográficas	77
Apêndice A – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para R=0,1 em regime de tração		80
Apêndice B – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para R=0,1 em regime de flexão		85
Apêndice C – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para R=-1 em regime de tração		90
Apêndice D – Rotina no Ansys para o calculo do K_t CP D=3,5		95
Apêndice E – Rotina no Ansys para o calculo do K_t CP D=8		101
Apêndice F – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "v"com raio=0,012		107
Apêndice G – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "v"com raio=0,383 em regime de flexão		113
Apêndice H – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "U"com		

raio=1,5	120
Apêndice I – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "U" com raio=5 em regime de flexão	129
Apêndice J – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com furo de 3.5 mm para o caso 3D	136
Apêndice K – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com furo de 8 mm para o caso 3D	145
Apêndice L – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em U de 1.5 mm para o caso 3D	154
Apêndice M – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em v de 0.12 mm para o caso 3D	162
Apêndice N – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em v de 0.383 mm para o caso 3D em flexão	170
Apêndice O – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em U de 5 mm para o caso 3D em flexão	179
Apêndice P – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 3.5 mm e R=-1	188
Apêndice Q – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 3.5 mm e R=0.1	192
Apêndice R – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 8 mm e R=-1	196
Apêndice S – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 8 mm e R=0.1	200
Apêndice T – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de	

1.5 mm e $R=-1$	204
Apêndice U – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de 1.5 mm e $R=0.1$	208
Apêndice V – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de 5 mm , $R=0.1$ em flexão	212
Apêndice W – Rotina Ansys para aproximação para o caso EPD nos corpos 3D	216
Apêndice X – Tabelas dos resultados obtidos nas interpolações de Vida Estimadas	217

Lista de Figuras

1	Relações à Fadiga (Meyers,2009)	23
2	Representação da curva σ -N (Da Rosa,2000)	24
3	Curva σ -N para diferentes tensões médias (Cutrim,2014).	25
4	Fator de concentração de tensões em uma placa de furo elíptico - (modificado Dowling, 2007)	26
5	Efeito do K_f sobre a curva S-N - (Da Rosa,2000)	27
6	Modos de Abertura (Ho Sung Kim,2013)	29
7	Sistema de coordenadas polares no plano x-y para a região próxima a uma trinca elíptica em placa infinita (Wang, 1996).	31
8	Representação zona plástica (Norton, 2013).	35
9	Limites da zona plástica (Dowling, 2007).	35
10	Esboço de uma curva da/dN típica - Santos,2013)	36
11	Diagrama de Kitagawa-Takahashi (da Silva, 2009).	38
12	Geometria dos corpos estudados sob tração-tração e tração-compressão (Taylor e Susmel,2007)	45
13	Geometria dos corpos estudados sob flexão (Taylor e Susmel,2007) . .	46
14	Primeira etapa da geração de corpos no Ansys	47
15	Segunda etapa da geração de corpos no Ansys	48
16	Terceira etapa da geração de corpos no Ansys	48
17	Elementos utilizados nas construções dos CPs	49
18	Malha dos corpos sob Tração	50
19	Malha dos corpos sob flexão	50

20	Entalhe corpos sob Tração	51
21	Entalhes dos corpos sob flexão	51
22	Aplicação da distância crítica pelo método do ponto (Taylor e Susmel,2007-modificado).	52
23	Fluxograma da interpolação para vida estimada N_e (modificado - Cutrim, 2013)	54
24	Furo \emptyset 3,5 mm	56
25	Furo \emptyset 8 mm	57
26	Entalhe em U, $R = 1.5$ mm	57
27	Entalhe em V, $R = 0,12$	58
28	Entalhe em U, $R = 5$ mm em flexão	58
29	Entalhe em V, $R = 0,383$ em flexão	59
30	Furo \emptyset 3,5 mm	59
31	Furo \emptyset 8 mm	60
32	Entalhe em U, $R = 1.5$ mm	60
33	Entalhe em V, $R = 0,12$	61
34	Entalhe em U, $R = 5$ mm em flexão	61
35	Entalhe em V, $R = 0,383$ em flexão	62
36	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=-1$ em tração	63
37	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em tração	63
38	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em flexão	64
39	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=-1$ em tração, 3D	64
40	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em tração, 3D	65
41	Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em flexão,3D	65
42	Gráficos da Interpolação para Vida Estimada do trabalho de Susmel e Taylor(2007)	66
43	Vida Estimada para Corpo furo de 3.5 mm e $R=-1$	67

44	Vida Estimada para Corpo furo de 8 mm e $R=-1$	68
45	Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 1.5 mm e $R=-1$. .	69
46	Vida Estimada para Corpo furo de 3.5 mm e $R=0.1$	70
47	Vida Estimada para Corpo furo de 8 mm e $R=0.1$ e $R=0.1$	71
48	Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 1.5 mm e $R=0.1$.	72
49	Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 5 mm, em flexão para $R=0.1$	73

Lista de Tabelas

1	Comparação de K_{fs}	45
2	Comparação de K_{fs} caso 2D	55
3	Comparação de K_{fs} caso 3D	56
4	Constantes de ajuste para o caso 3D	62
5	Constantes de ajuste para o caso 2D	62
6	Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=-1, 2D	217
7	Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=-1, 3D	217
8	Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=0.1, 2D	217
9	Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=0.1, 3D	218
10	Vida Estimada CP furo 8 mm, R=-1, 2D	218
11	Vida Estimada CP furo 8 mm, R=-1, 3D	218
12	Vida Estimada CP furo 8 mm, R=0.1, 2D	219
13	Vida Estimada CP furo 8 mm, R=0.1, 3D	219
14	Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=-1, 2D	219
15	Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=-1, 3D	220
16	Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=0.1, 2D	220
17	Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=0.1, 3D	220
18	Vida Estimada para CP 5 mm, R=0.1, 2D, em flexão	221
19	Vida Estimada para CP 5 mm, R=0.1, 3D, em flexão	221

Lista de Símbolos

ΔK	Variação do Fator Intensidade de Tensões
ΔK_{th}	Limiar de Propagação de Trincas por Fadiga
ΔS	Amplitude entre a Tensão Máxima e a Tensão Mínima
$\Delta \sigma_{eff}$	Tensão Efetiva
ε_z	Deformação na Direção z
ν	Coeficiente de Poisson
σ_a	Tensão Alternada
σ_m	Tensão Média
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Tensões Normais em relação ao eixo de referência
σ_e	Limite de resistência à fadiga completamente corrigido
σ_{max}	Tensão Máxima nominal
σ_{min}	Tensão Mínima nominal
σ_{nom}	Tensão Nominal
σ_{str}	Limite de resistência à tração do material
τ_x, τ_y, τ_z	Tensões Cisalhantes em relação ao eixo de referência
A, b	Constantes de Ajute da Curva de Wöhler
a_0	Comprimento Inicial da Trinca
a_c	Comprimento Crítico da Trinca
A_L, b_L	Contantes de ajuste da curva L-N
C, m	constantes de ajuste do Diagrama de Paris.

d_{MA}	Distância Crítica pelo Método da Área
d_{ML}	Distância Crítica pelo Método da Linha
d_{MP}	Distância Crítica pelo Método do Ponto
K	Fator Intensidade de Tensão
K_c	Fator Tenacidade à Fratura
K_f	Fator de Redução de Resistência à Fadiga
K_I	Fator Intensidade de Tensão para o Modo I de Abertura
K_{max}	Fator Intensidade de Tensão correspondente ao carregamento máximo
K_{min}	Fator Intensidade de Tensão correspondente ao carregamento mínimo
K_{Ig}	Fator Concentrações de Tensões Calculado em Relação a Região <i>gross</i>
K_{In}	Fator Concentrações de Tensões Calculado em Relação a Região <i>net</i>
K_t	Fator de Concenração de Tensões Teórico
L	Distância Crítica
N	Vida
N_e	Vida estimada
N_p	Vida Prevista
q	Fator de Sensibilidade ao Entalhe do Material
R	Razão de carregamento

Lista de Abreviações

CC	Condição de Contorno
CP, CPs	Corpo de Prova, Corpos de Prova
EPD	Estado Plano de Deformações
EPT	Estado Plano de Tensões
MA	Método de Área
MDC	Método da Distância Crítica
MEF	Método de Elementos Finitos
MF	Mecânica da Fratura
MFLE	Mecânica da Fratura Linear Estática
ML	Método da Linha
MP	Método do Ponto
TDC	Teoria da Distância Crítica

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Os materiais metálicos, quando submetidos a tensões flutuantes ou repetitivas rompem-se a tensões muito inferiores àsquelas determinadas nos ensaios estáticos de tração e compressão. À medida que o desenvolvimento tecnológico incorporou novos componentes e equipamentos submetidos continuamente a esforços dinâmicos e a vibrações, o fenômeno da fadiga passou a representar uma das maiores causas de falha em serviço de componentes de materiais metálicos.

Na necessidade do estudo da fadiga dos materiais, a Teoria da Distância Crítica, uma reformulação das ideias apresentadas por Neuber na Alemanha no século passado, se apresenta como uma possibilidade para a melhor predição de componentes mecânicos pois independe da geometria entalhe estudado, facilitando sua pesquisa e aplicação.

A precisão na previsão de limites de fadiga na aplicação da TDC, para alto ciclo, apresenta erro dentro de um intervalo de cerca de 20% (Taylor,2007) e, mesmo que originalmente concebida para resolver o problema de fadiga de alto ciclo, ao longo dos últimos 80 anos, tem sido aplicada com sucesso nas mais diferentes áreas da disciplina estrutural e, esse trabalho, se propõe a analisar o estudo da vida em médio ciclo através da reformulação da TDC proposta por Susmel e Taylor em 2007.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desse trabalho é analisar criticamente o uso da Teoria da Distância Crítica para previsão da vida em regime de médio ciclo através da reformulação da TDC proposta por Susmel e Taylor (2007). Para isso vamos,

1. Modelar diversos corpos de prova através do software *ANSYS*;
2. Estudar a convergência dos fatores teóricos de concentradores de tensão;
3. Usar a TDC em corpos de entalhe agudo para gerar uma curva material que relacione distância L à uma vida N ;
4. Testar a eficiência da teoria em corpos de entalhes diversos através de uma interpolação para o cálculo de vida estimada N_e .

1.3 Organização do Trabalho

Capítulo 2: Trata-se de uma revisão teórica dos conceitos relacionados à Fadiga, Fratura, e Teoria da Distância Crítica;

Capítulo 3: Apresenta o método proposto para o estudo da TDC em regime de médio ciclo;

Capítulo 4: Apresentação dos resultados;

Capítulo 5: Conclusões e considerações finais sobre a metodologia e resultados obtidos.

FRATURA E FADIGA

2.1 FADIGA

Existe alguma confusão e uma ampla gama de definições para o processo de fadiga na Literatura. Meyers e Chawla (2009) apresentam uma definição simplificada para esse fenômeno, como sendo a degradação das propriedades materiais que acarretam a falha de um material ou componente sob carregamento cíclico.

Nota-se pela definição, que o processo de fadiga um problema que afeta qualquer componente estrutural ou parte que se move, tornando o estudo desse fenômeno de particular importância, principalmente levando-se em conta que é estimado (Dowling, 2007) que 90% das falhas em serviço de componentes metálicos, que estão em movimento, podem ser atribuídas à processos de fadiga.

2.1.1 Processo Histórico

O processo de falha por fadiga têm sido objeto de estudo por mais de 150 anos. Em meados dos anos 1800, foi estudado por uma grande quantidade de indivíduos, em diversos países, em decorrência da falha não esperada de diversos componente metálicos, como trilhos de trens, engrenamentos e eixos que, após um curto período de funcionamento, apresentaram fraturas frágeis e repentinas.

Em 1843, o engenheiro e físico Macquorn Rankine, publicou um artigo sobre as causas das quebras inesperadas em trilhos de trens, na qual apresenta a hipótese de que o metal havia se deteriorado devido ao seu uso repetido, quando a textura fibrosa do ferro maleável assume gradativamente uma estrutura cristalizada, tornando-o frágil.

Entre 1850 e 1875, também inspirado nas falhas de trilhos de trens, o engenheiro August Whöler começou à estudar estratégias para evitar a falha por fadiga, para os mais diversos materiais metálicos e submetidos à carregamentos axiais, de torção

e de flexão. Ele concluiu que esse processo de falha ocorre somente quando há carregamento cíclico e é fortemente influenciado pela amplitude da tensão média.

2.1.2 Conceitos Básicos

Para Juvinall, "a fratura por fadiga se inicia com uma trinca minúscula (geralmente microscópica), em uma área crítica onde atua uma alta tensão local" e que, quase sempre, ocorre onde há um concentrador de tensões geométrico.

Esse processo é inicialmente caracterizado pelo aparecimento de deformações plásticas ou nucleações nesses pontos e é posteriormente caracterizado pela deterioração progressiva do material até o aparecimento de trincas de dimensões visíveis à olho nu e, provavelmente, à ruptura.

Diversas das relações matemáticas que descrevem o comportamento dos materiais à fadiga foram obtidas empiricamente. O processo de fadiga é controlado, sempre, por dois parâmetros que expressem a componente alternada e média. Geralmente usamos a tensão alternada σ_a (equação 2.1) e a tensão média σ_m (equação 2.2), mas também podemos usar σ_a e a razão de carregamento R (equação 2.4) ou σ_a e a tensão máxima σ_{max} . A variação de tensão ΔS é a diferença entre o nível máximo e mínimo de tensão (equação 2.3),

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2.1)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.2)$$

$$\Delta S = \sigma_{max} - \sigma_{min} \quad (2.3)$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (2.4)$$

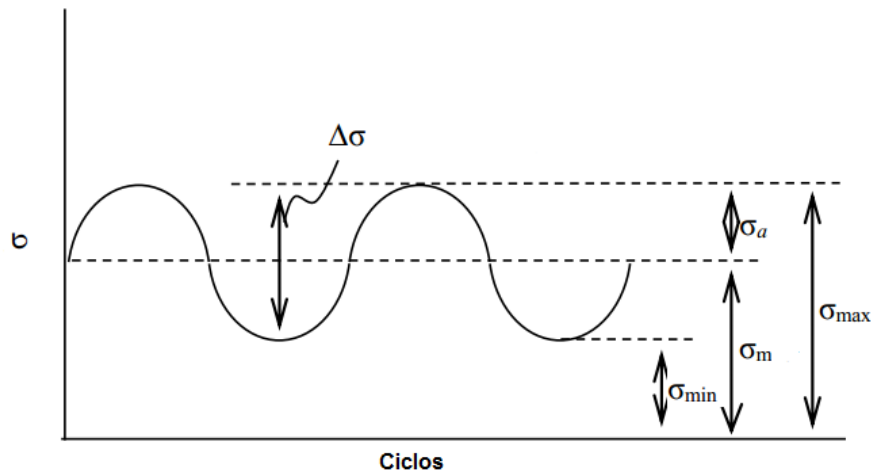


Figura 1: Relações à Fadiga (Meyers,2009)

2.1.3 Curva S-N

A abordagem Tensão-Vida $\sigma-N$ consiste na caracterização da vida em fadiga em termos da tensão nominal. Wöhler (1870), analisando o processo de fadiga em eixos ferroviários, sugeriu essa curva, que relaciona a amplitude de tensão nominal em um corpo de prova padrão com o número de ciclos até a fratura. Em 1910, Basquin notou que os dados gerados poderiam ser descritos por um modelo linear, em escala log-log, para os casos em que os dados de fadiga são provenientes de amostras aleatórias e aproximáveis por uma 'power function',

$$\sigma_a = A.N_f^b \quad (2.5)$$

onde A e b são constantes para o ajuste da curva.

Normalmente, como a curva $\sigma - N$ é obtida a partir de resultados de ensaios de fadiga utilizando corpos de prova padrão sem entalhe e em ambiente laboratorial, os limites de resistência à fadiga devem ser modificados para considerar, em seus valores finais, os múltiplos efeitos que podem reduzir o limite à fadiga.

Uma metodologia, para corrigir essas diferenças, baseada nos fatores de correção de Marin, é dada de acordo com a equação (2.6),

$$\sigma_e = K_a K_b K_c K_d K_e k_f \sigma_{srt} \quad (2.6)$$

Na qual K_a é fator de acabamento superficial, K_b é o fator de tamanho, K_c é o fator

de carregamento, K_d é o fator de temperatura, K_f é o fator de sensibilidade ao entalhe, K_e é um fator associado ao tipo de material, σ_{srt} é o limite de resistência à tração do material e σ_e é o limite de resistência à fadiga completamente corrigido. Shigley et al. (2006) apontaram algumas variáveis que corroboram para essa dispersão: material (composição e variabilidade), manufatura (método, tratamento térmico, corrosão por microabrasão, condição de superfície e concentração de tensões), ambiente (corrosão, temperatura, estado de tensão e tempo de relaxação) e projeto (tamanho, forma, vida, estado de tensão, concentração de tensão, velocidade, microabrasão e escoriação)

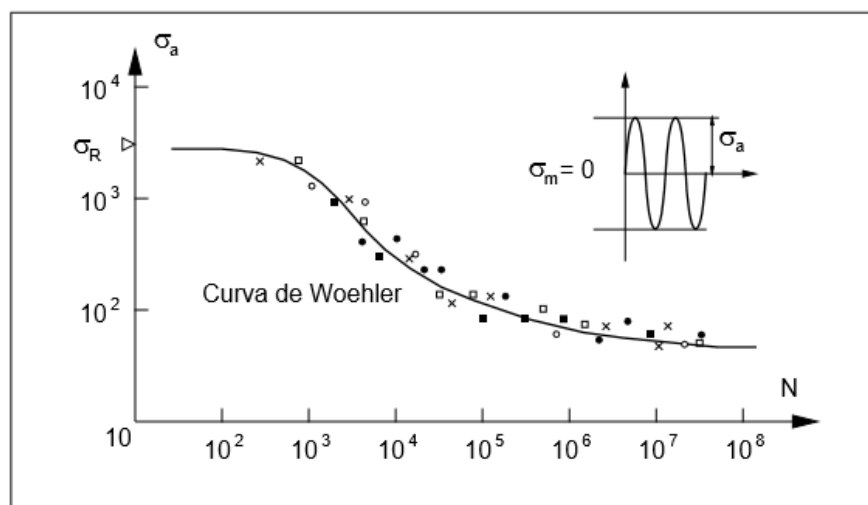


Figura 2: Representação da curva σ -N (Da Rosa,2000)

2.1.4 Efeito da Tensão Média

As descrições mencionadas de vida à fadiga são relativas a carregamentos cíclicos alternados nos quais a tensão média é zero, que não são representativas de muitas aplicações. Quando a amplitude de tensão de um teste de fadiga uniaxial é plotado como função do número de ciclos até a falha, a curva σ -N resultante é, em geral, fortemente uma função do nível de tensão média aplicada, e observa-se uma diminuição da vida a fadiga com o aumento do valor da tensão média.

Em geral, as tensões médias de compressão são benéficas, e as de tração, maléficas para a vida à fadiga em uma mesma amplitude de tensão. Tal observação pode ser explicada pelo fato de que as tensões médias de tração favorecem a abertura e consequentemente a propagação de trincas, enquanto, as de compressão, têm o efeito contrário.

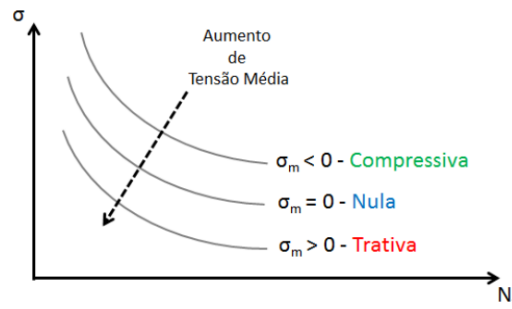


Figura 3: Curva σ - N para diferentes tensões médias (Cutrim,2014).

2.1.5 Concentradores de Tensão

A existencia de descontinuidades ou concentradores de tensões em componente fazem com que as tensões locais, nessas regiões, sejam elevadas, o que reduz suas resistências ao processo de fadiga.

A tensão que ocorre na região próxima de uma descontinuidade geométrica é proporcional à tensão nominal atuante no material. O fator de proporcionalidade entre a tensão máxima observada nas proximidades da descontinuidade (σ_{max}) e a tensão nominal (σ_{nom}) é denominado de Fator de Concenração de Tensões Teórico K_t (equação 2.7), e é baseado na teoria dos materiais elásticos, homogêneos e isotrópicos (propriedade de um material de ter o mesmo comportamento elástico em qualquer direção) e pode ser utilizado na caracterização da severidade de um concentrador de tensões. Esse fator depende da geometria do componente e do modo de carregamento.

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (2.7)$$

Por exemplo, a tensão máxima, para um concentrador de tensões em forma elíptica, pode ser representada pela equação (2.8),

$$\sigma_{max} = \sigma_{nom} \left(1 + 2\sqrt{\frac{c}{\rho}}\right) = \sigma_{nom} \left(1 + 2\sqrt{\frac{c}{\rho}}\right) \quad (2.8)$$

onde as dimensões c, d, ρ estão indicadas na figura seguinte.

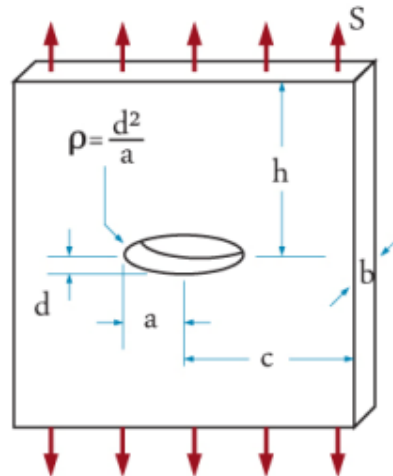


Figura 4: Fator de concentração de tensões em uma placa de furo elíptico - (modificado Dowling, 2007)

Observando-se essa equação, percebe-se que, quanto menor o valor de ρ , o raio da elipse, maior será tensão σ_{max} e maior será K_t . Se considerarmos uma trinca como uma elipse de raio infinitamente pequeno, a tendência é que a tensão σ_{max} atinja um valor infinitamente grande, o que não é verificado pois, em materiais reais, fenômenos de plastificação ou microfraturas alteram a distribuição de tensões na região da trinca quando submetidas à tensões elevadas, impedindo a existência de tensões tendentes ao infinito.

2.1.6 Fator de Redução de Resistência à Fadiga

Experimentalmente, observou-se que, para regimes de longa vida, especialmente superiores à 10^6 , a presença de concentradores de tensão têm menos influência na vida em fadiga do que o previsto pelo fator de concentração de tensões K_t . Nesses casos é necessário modificar-se o fator K_t de modo a obter-se o Fator de Redução de Resistência à Fadiga K_f , dado pela equação (2.9)

$$K_f = 1 + q.(K_t - 1) \quad (2.9)$$

O parâmetro q é definido como o fator de sensibilidade ao entalhe do material. Em geral, quanto mais dúctil o material menor sua sensibilidade ao entalhe. Esse depende também do raio de arredondamento do entalhe e pode, assim como o K_t , ser estimado empiricamente.

2.1.7 Efeito da concentração de tensões sobre a curva σ -N

Podemos observar que o K_f , definido como um fator de redução de resistência à fadiga, têm seu valor utilizado para multiplicar o limite de resistência à fadiga, na construção do diagrama σ -N, deslocando-o, como mostra a figura abaixo.

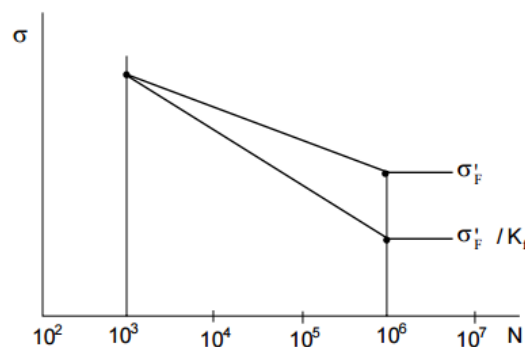


Figura 5: Efeito do K_f sobre a curva S-N - (Da Rosa,2000)

Nota-se que o efeito da concentração de tensões é muito mais pronunciado para vida infinita, tendo seu efeito diminuído a medida que a vida decresce.

2.1.8 Vidas em Alto, Baixo e Médio ciclo

Tradicionalmente, a vida em fadiga é separada em apenas duas categorias, a fadiga em alto ciclo e a fadiga em baixo ciclo. Hosford (2010) as define apenas separando-as em intervalos, considerando o termo fadiga de baixo ciclo comumente aplicado a condições em que a vida é inferior a 10^3 ciclos e o termo fadiga de alto ciclo aplicado em condições superiores a 10^3 ciclos.

Para Dowling(2007),com uma definição mais ampla, o termo fadiga em alto ciclo identifica 'situações de longa vida onde a tensão é suficientemente baixa para que os efeitos plásticos não dominem o comportamento' enquanto a fadiga em baixo ciclo é acompanhada por quantidades significativas de deformação plástica e pequenos ciclos. Para ele, vida onde o alto ciclo começa varia com o material, mas está tipicamente na amplitude de 10^2 a 10^4 .

Já para Nicholas (2006), em *Hight Cycle Fatigue*, para além de uma definição formal, a vida em alto ciclo está geralmente associada à 'altas frequências, baixas amplitudes, comportamento cíclico nominalmente elástico e grande número de ciclos'. No diagrama de Wöhler, o alto ciclo ocorre no final direito da curvatura e para ele,

o número de ciclos representativo é geralmente grande o suficiente para ser capaz de obter-se dados estatisticamente significativos o suficientes para caracterizar-se o comportamento material com um grau elevado de confiança.

Modernamente, alguns pesquisadores têm optado por dividir a vida em ciclos em três categorias diferentes, em que nas já comentadas é adicionada a vida em médio ciclo. Radaj (2013) separa essas categorias nos seguintes intervalos: baixa vida para intervalos inferiores à 10^4 , vida média para o intervalo entre 10^4 e $5 \cdot 10^5$ e alta vida para ciclos superiores à esse. Para ele, no regime de média vida, as deformações plásticas continuam localizadas e ainda possuem baixa influência no regime.

É importante adicionar que os pesquisadores Susmel e Taylor, escritores do trabalho usado como fonte para esse, reconhecem a existência de médio ciclo ente os intervalos de 10^4 e 10^6 , em que o comportanto elástico dos materiais ainda prevalece e as equações que regem o regime de alto ciclo podem ser aplicada.

2.2 MECÂNICA DA FRATURA-Mecânica da Fratura Linear Elástica

A Mecânica da Fratura se fundamenta na ideia que a distribuição de tensões ao redor de uma trinca pode ser caracterizada pelo valor intensidade de tensão, que é relacionado tanto à tensão quanto ao tamanho da trinca e será definidos nas seções subsequentes.

Uma trinca pode possuir 3 modos de abertura, representados na figura abaixo. O primeiro é conhecido como o modo de abertura, o segundo como modo de cisalhamento e o terceiro como de rasgamento.

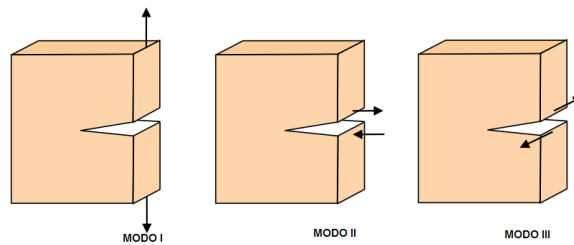


Figura 6: Modos de Abertura (Ho Sung Kim,2013)

2.2.1 Funções de Airy para a Tensão

Considere o sistema de coordenadas cartesianas x, y e z em um sólido sob tensão. Pode-se definir, em cada ponto, as tensões $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ no Estado Plano de Tensões EPT, quando a largura do sólido é comparável ao tamanho da zona plástica da trinca, e a contração livre acontece na lateral da superfície,

$$\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0 \quad (2.10)$$

Enquanto, no Estado Plano de Deformações EPD, quando o corpo é largo o suficiente para evitar-se a contração da largura na direção z ,

$$\varepsilon_z = 0 \quad (2.11)$$

e, decorrente da Lei de Hooke,

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (2.12)$$

onde ν é o coeficiente de Poisson.

Para problemas planos as equações do equilíbrio são,

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{x,y}}{\partial y} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{x,y}}{\partial x} = 0 \quad (2.14)$$

.

Airy demonstrou que para qualquer problema elástico, existe uma função $\Phi(x,y)$ que sempre satisfaz as equações de equilíbrio,

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \quad (2.15)$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \quad (2.16)$$

$$\tau_{x,y} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \quad (2.17)$$

e também satisfaz a equação de compatibilidade biarmônica,

$$\nabla^2[\nabla^2(\Phi)] = \nabla^4(\Phi) \quad (2.18)$$

.

Westergaard(1939) apresentou as funções de Airy na forma de uma função analítica complexa,

$$\Phi = Re\Phi''(z) + yIm\Phi'(z) \quad (2.19)$$

onde,

$$z = x + iy \quad (2.20)$$

e $\Phi''(z)$ e $\Phi'(z)$ são respectivamente a segunda e a primeira integral. Usando-se as relações de Cauchy- Riemann,

$$\frac{\partial \text{Re}f(z)}{\partial x} = \frac{\partial \text{Im}f(z)}{\partial y} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \text{Re}f(z)}{\partial y} = -\frac{\partial \text{Im}f(z)}{\partial x} \quad (2.22)$$

e derivando a função de Westergaard de acordo com as funções de tensão de Airy,

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = \text{Re}[z] - y\text{Im}[z'] \quad (2.23)$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = \text{Re}[z] + y\text{Im}[z'] \quad (2.24)$$

$$\tau_{x,y} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} = -y\text{Im}[z] \quad (2.25)$$

2.2.2 Solução para Problemas com Trinca

Em uma placa infinita contendo uma trinca e carregada lateralmente em duas direções ortogonais (modo I de carregamento), como na Figura 7

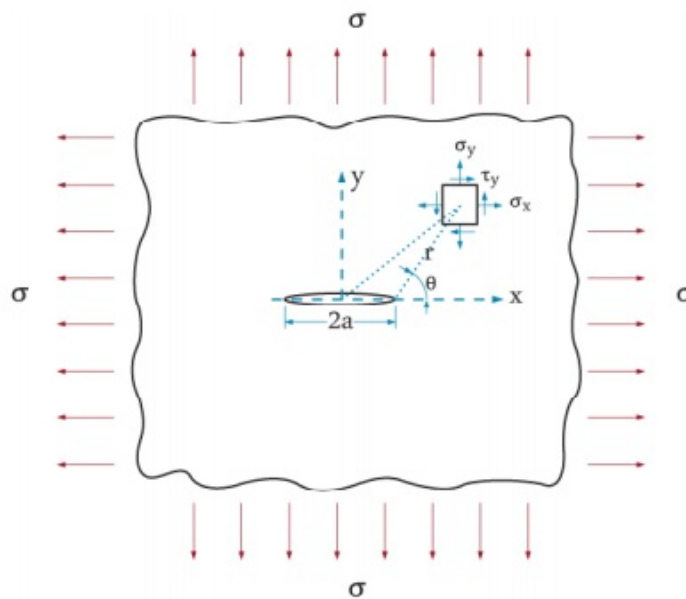


Figura 7: Sistema de coordenadas polares no plano x-y para a região próxima a uma trinca elíptica em placa infinita (Wang, 1996).

considere a função de tensão de Airy,

$$\Phi(z) = \frac{\sigma z}{\sqrt[2]{z^2 - a^2}} \quad (2.26)$$

que deve satisfazer as seguintes Condições de Contorno:

1. $\sigma_y = 0$ para $(-a \leq x \leq a, y = 0)$, pois a superfície livre de uma trinca não apresenta tensão.
2. $\sigma_y = \sigma$ para $(x \rightarrow \pm\infty)$, pois a tensão σ_y se tornará o σ que está tracionando a peça.
3. $(\sigma_y \rightarrow \infty)$ para $(x = \pm a)$, gerando uma singularidade matemática pois a trinca é um concentrador de tensões de raio nulo.

Transladando o sistema de coordenada para um mais conveniente, na ponta da trinca, substituindo z por $z + a$

$$\Phi(z + a) = \frac{\sigma(z - a)}{\sqrt[2]{z(z + 2a)}} \quad (2.27)$$

quando $\|z\| \rightarrow 0$, na ponta da trinca

$$\Phi(z + a) = \frac{\sigma a}{\sqrt[2]{z(z + 2a)}} = \sigma \sqrt[2]{\frac{a}{2z}} \quad (2.28)$$

.

Transformando em coordenadas polares à partir da origem da trinca com $z = re^{-i\theta/2}$, a última equação se torna,

$$\Phi(z) = \sigma \sqrt[2]{\frac{a}{2r}} e^{-\frac{i\theta}{2}} = \sigma \sqrt[2]{\frac{\pi a}{2\pi r}} e^{-\frac{i\theta}{2}} \quad (2.29)$$

.

Substituindo nas equações (2.23), (2.24) e (2.25)

$$\sigma_x = \sigma \sqrt[2]{\frac{\pi a}{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) + \dots \quad (2.30)$$

$$\sigma_y = \sigma \sqrt[2]{\frac{\pi a}{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}\right) + \dots \quad (2.31)$$

$$\tau_{xy} = \sigma \sqrt{\frac{\pi a}{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} + \dots \quad (2.32)$$

2.2.3 Fator Intensidade de Tensão

Nota-se que os componentes não nulos de tensão são produtos de uma posição geométrica

$$\frac{1}{2\pi r} f(\theta) \quad (2.33)$$

e um fator,

$$\sigma \sqrt{\pi a} \quad (2.34)$$

conhecido como fator intensidade de tensão para o Modo I de abertura,

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (2.35)$$

que controla a magnetude do campo de tensões nas redondezas da ponta de uma trinca aguda ideal, em um material linear, elástico e isotrópico. Para corpos finitos,

$$K_I = FS \sqrt{\pi a} \quad (2.36)$$

onde F é um fator de forma adimensional, cujo valor varia em torno da unidade e que é utilizado para adicionar os efeitos de diferentes geometrias e razões de carregamento.

Nota-se que esse fator depende apenas do tamanho da trinca, da tensão nominal aplicada e da geometria da peça e essas são características que definem a universalidade das equações para o estado de tensões na ponta da trinca, que podem ser aplicadas à qualquer entalhe.

2.2.4 Tenacidade à Fratura

Quando submetido a uma tensão suficientemente elevada, um material com trinca pode vir a sofrer uma fratura frágil (Dowling, 2007). Considerando o fator de intensidade de tensões (K) como um indicativo da gravidade da trinca existente, é

possível estabelecer um critério de falha e previsão de vida útil para materiais que falhem por fratura frágil. Para isso, define-se σ_c como o valor crítico de tensão no qual o material pode sofrer uma ruptura repentina, associando a um valor crítico para K , K_c e obtendo-se

$$K_c = F \sigma_c \sqrt{\pi a} \quad (2.37)$$

O fator F dependente apenas do tamanho de trinca, da tensão aplicada e da geometria da peça. O valor crítico de K , para cada material é conhecido como o valor de tenacidade à fratura do material K_c , que é propriedade do material de resistir à presença de trincas e varia com a temperatura, com a velocidade do carregamento e com a espessura do material.

Pode ser dizer que o material não sofrerá fratura frágil enquanto a relação (2.38) for mantida,

$$K < K_c \quad (2.38)$$

Define-se K dentro do regime linear elástico da Mecânica da Fratura e mesmo que tais considerações levem a tensões infinitas na ponta da trinca ainda é uma aproximação que traz resultados adequados e com uma margem de erro aceitável para pequenas zonas de plastificação (Santos, 2013).

2.2.5 Limitações Plásticas na MFLE

Sabe-se que, em corpos reais, não há uma tensão infinita na ponta de um entalhe agudo e essa, na realidade, sofre um processo de plastificação. Porém, a solução desenvolvida para as equações de K partem de uma solução elástica, e não plástica assim, essa solução só pode ser usada em condições de plasticidade em pequena escala na ponta da trinca ("Small Scale Yielding Conditions").

Haverá uma região fora da zona plástica, a chamada 'região de dominância de K ' ("K-field"), na qual as equações de tensão elástica ainda poderão ser aplicadas. A existência dessa região é condição necessária para que a MFLE seja aplicável.

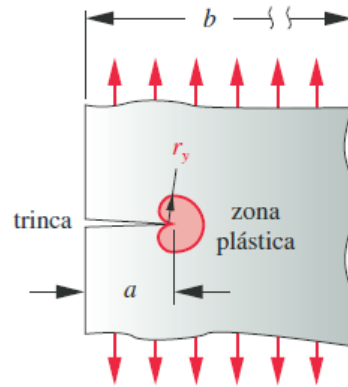


Figura 8: Representação zona plástica (Norton, 2013).

Dowling(2007) apresenta uma solução geral para que essas equações sejam aplicáveis,

$$a, (b-a), h \geq \frac{4}{\pi} \left(\frac{K}{\sigma_0} \right) \quad (2.39)$$

na qual as três condições devem ser satisfeitas sob pena da zona plástica se estender para um dos limites do corpo como mostra a figura abaixo

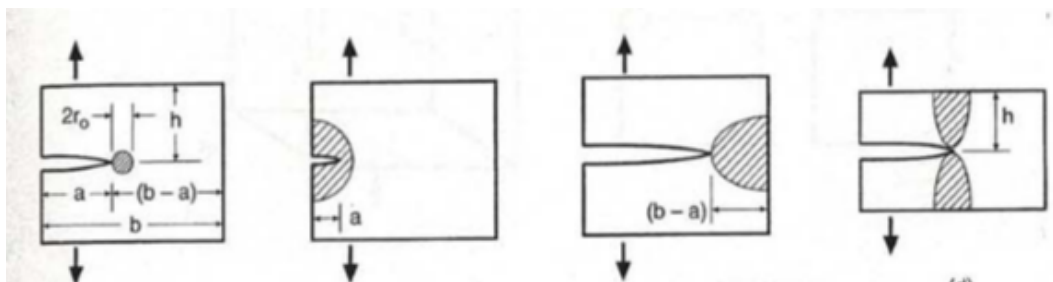


Figura 9: Limites da zona plástica (Dowling, 2007).

2.2.6 Propagação de Trincas por Fadiga

A aplicação da MFLE na análise do fenômeno de crescimento de trincas parte da premissa que essas já existem nos componentes estruturais e que elas provavelmente irão crescer quando esse componente entrar em serviço.

Submetida ao carregamento cíclico, a trinca dominante cresce como uma função do número de ciclos, de seu tamanho inicial a_0 até seu tamanho crítico a_c , que corresponde à falha. Assim, o problema básico é reduzir-se a caracterizar-se a cinética do crescimento de trincas através da força motriz apropriada.

Sabe-se que a trinca se propaga na região submetida à maior distribuições de

tensões logo, essa força motriz deve ser caracterizada em termos de K nessa região. Paris demonstrou, nos anos 60, que esse parâmetro que controla a propagação de trincas é a variação do fator intensidade de tensões ΔK ,

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K) \quad (2.40)$$

para,

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (2.41)$$

onde K_{max} é o fator intensidade de tensão correspondente ao carregamento máximo e K_{min} é o correspondente ao carregamento mínimo.

As curvas que apresentam essa relação entre a taxa de crescimento da trinca da/dN e a variação do fator de intensidade de tensões ΔK são conhecidas como Diagramas de Paris e possuem aproximação log-log com três fases distintas,

Região I

Região regida pelo limiar de propagação de trincas por fadiga ΔK_{th} , abaixo do qual a velocidade de propagação da trinca é muito baixa e a trinca é considerada dormente.

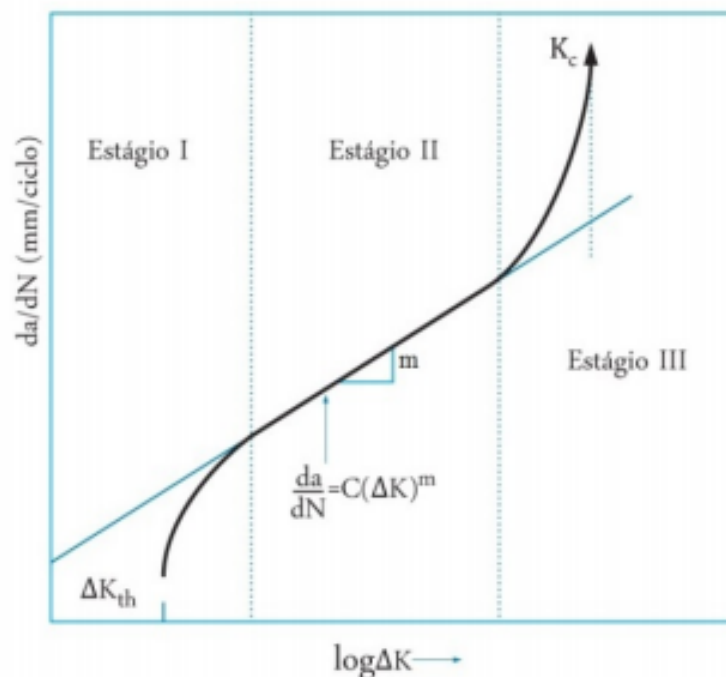


Figura 10: Esboço de uma curva da/dN típica - Santos,2013)

Região II

Trata-se da parte linear do gráfico, decorrente da aproximação log-log e regida pela 'power function' proposta por Paris e Erdogan,

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2.42)$$

em que C e m são constantes de ajuste do gráfico dependentes do material testado, do ambiente, das condições de teste e da razão de carregamento R.

Região III

Caracteriza uma região de rápido crescimento da trinca, em que pequenos incrementos de ΔK geram aumentos significativos na velocidade de crescimento da trinca e essa fratura quando $K_{max} = K_c$

2.2.7 Diagrama de Kitagawa-Takahashi

O diagrama de Kitagawa-Takahashi et al. (1976), na Fig 11, relaciona o comprimento de uma trinca a (em escala logarítmica no gráfico), através de sua variação em relação ao parâmetro de comprimento L , com a tensão necessária para a fazer propagar. Analisando o gráfico, verifica-se que para trincas longas, as quais $a > 10 L$ o processo de crescimento da trinca é controlado por ΔK_{th} e só haverá propagação se ΔK_{th} for superior à um valor limiar. Para uma trinca longa,

$$L = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\Delta K_{th}}{\Delta \sigma} \right) \quad (2.43)$$

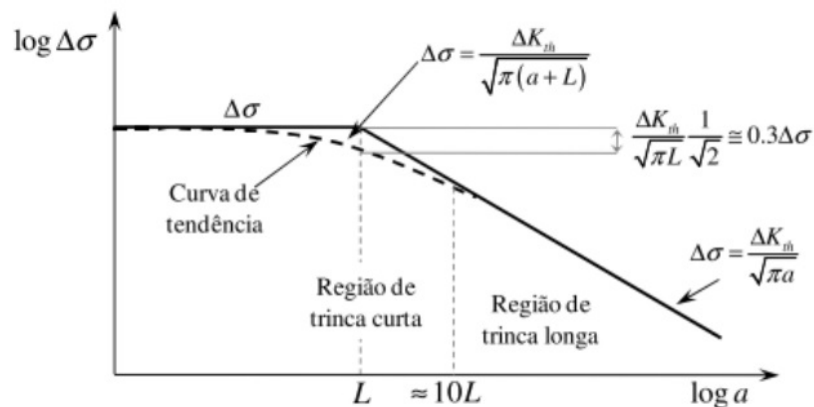


Figura 11: Diagrama de Kitagawa-Takahashi (da Silva, 2009).

2.3 MODELO DE PREVISÃO DE VIDA EM COMPONENTES ENTALHADOS - Enfoque da Distância Crítica

Diferentes metodologias foram propostas e exploradas ao longo das últimas décadas para estimativas de Vida adequadas para avaliar o efeito prejudicial em componentes da presença de tanto entalhes suaves quanto agudos, que apresentam estimativas muito conservadoras na análise clássica de fadiga dos materiais.

Uma das técnicas mais comumente usadas é a Teoria da Distância Crítica, uma renomeação e reformulação do método proposto por Neuber na Alemanha no início do século passado. O pesquisador afirmou que as tensões elásticas próximas à raiz de um concentrador de tensões agudos não atingem valores tão altos quanto os previstos pela teoria mecânica dos meios contínuos porque essas tensões se distribuem entre cristais, grãos e precipitados do material.

Como forma de solução, propôs que as derivações matemáticas dos valores de tensões em regiões com grandes gradientes de tensões deveriam ser feitas através de volumes finitos e não como na mecânica do contínuo, através de volumes infinitesimais. Segundo ele, para calcular-se a tensão efetiva, representativa da tensão real que está regendo o processo de fadiga, deverá ser feita uma média de sua distribuição através das unidades do material, como cristais e partículas estruturais.

Peterson, subsequentemente, propôs uma versão simplificada dessa teoria, propondo que o limite à fadiga será atingido quando a tensão a uma certa distância da raiz do entalhe for igual ao limite à fadiga de um corpo sem entalhe feito do mesmo

material.

Para Taylor (2007), a Teoria da Distância Crítica, é um conjunto de métodos que possuem características em comum, que se utilizam não só a análise da mecânica linear elástica como um parâmetro material constante L , denominado Distância Crítica. Ela parte do pressuposto que os efeitos deletérios dos concentradores de tensões podem ser estimados usando uma parcela da tensão que é representativa de todo o campo de tensões na zona de fadiga.

Assim, é assumido, que a uma certa distância crítica conveniente, a condição limite de fadiga ocorre quando a tensão efetiva $\Delta\sigma_{eff}$ se iguala ao limite de resistência à fadiga $\Delta\sigma_0$.

$$\Delta\sigma_{eff} = \Delta\sigma_0 \quad (2.44)$$

De acordo com as formulações mais recentes da TDC, a distância crítica pode ser definida como (Taylor, 2007),

$$L = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\Delta K_{th}}{\Delta\sigma_0} \right)^2 \quad (2.45)$$

Onde nota-se que o parâmetro L depende de duas propriedades materiais determinadas para a mesma razão de carregamento, o limite de tenacidade à fratura ΔK_{th} e o limite de resistência à fadiga $\Delta\sigma_0$, tornando a distância crítica também uma propriedade material, dependente apenas do material testado e da razão de carregamento R à que ele foi submetido.

A distância crítica conveniente e o domínio de integração da tensão efetiva podem ser estimados à partir do topo do entalhe por diferentes métodos, entre eles

2.3.1 Método do Ponto

Nesse, a tensão efetiva é estimada à uma certa distância do topo do concentrador de tensões e a falha ocorrerá quando,

$$\Delta\sigma_{eff} = \Delta\sigma_1(r = d_{MP}, \theta = 0) = \Delta\sigma_0 \quad (2.46)$$

em que a distância crítica aproximada pelo método do ponto é,

$$d_{MP} = \frac{L}{2} \quad (2.47)$$

2.3.2 Método da Linha

No método da linha, a tensão efetiva é calculada sob a média de uma linha que sai da raiz do entalhe,

$$\Delta\sigma_{eff} = \frac{1}{d_{ML}} \int_0^{d_{ML}} \Delta\sigma_1(r, \theta = 0) dr = \Delta\sigma_0 \quad (2.48)$$

na qual a distância crítica aproximada pelo método da linha é,

$$d_{ML} = 2L \quad (2.49)$$

2.3.3 Método da Área

Nessa, a tensão efetiva é calculada sobre a área que circula a raiz do entalhe,

$$\Delta\sigma_{eff} = \frac{4}{\pi d_{MA}^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{d_{MA}} \Delta\sigma_1(r, \theta) dr d\theta = \Delta\sigma_0 \quad (2.50)$$

na qual a distância crítica aproximada pelo método da área é,

$$d_{MA} = L \quad (2.51)$$

2.3.4 TDC aplicada em regime de Médio Ciclo

Para aplicação da Teoria da Distância Crítica em regime de média vida, Susmel e Taylor (2007) partem do pressuposto que o comprimento característico L muda à medida que o número de ciclos muda. Consequentemente, essa abordagem infere que esse comprimento característico pode ser definido como uma 'power function' de N ,

$$L(N) = A_L \cdot N_L^{b_L} \quad (2.52)$$

em que A_L e b_L são constantes materiais de ajuste de curva dependentes das razões de carregamento e diferentes para diferentes materiais, mas que não dependem da geometria do entalhe.

Em relação ao regime de fadiga de alto ciclo, a TCD postula que o comportamento de fadiga dos componentes entalhados pode ser predito usando os dados do campo de tensão linear-elástico na vizinhança da ponta do entalhe e por dois outros parâmetros materiais: o comprimento característico L e o limite de fadiga do corpo sem entalhe. Como os pesquisadores acreditam que em regime de médio ciclo o comportamento de regime elástico ainda prevalece, os postulados de alto ciclo permanecem nessa análise.

MÉTODO PROPOSTO

A precisão da Teoria da Distância Crítica têm sido sistematicamente verificada, tanto em corpos de prova quanto em componentes estruturais, e é capaz de prever falha em fadiga de alto ciclo com erro dentro de 20%. Esse trabalho pretende verificar as conclusões obtidas por Susmel e Taylor (2007) sobre a reformulação da TDC proposta por eles para sua aplicação em médio ciclo, para corpos em regime de tração, submetidos à razões de carregamento de $R = -1$ e $R = 0.1$ e corpos em regime de flexão, submetidos à razão de carregamento de $R = 0.1$.

Para esses pesquisadores, se a Teoria da Distância Crítica funciona, então deve ser possível estimar, a médio ciclo, a resistência a fadiga de corpos entalhados, feitas do mesmo material e para as mesmas razões de tensões R para as quais as constantes A e b da curva de Wöhler foram estimadas, e enfraquecidas por qualquer tipo de característica geométrica.

Com essa finalidade, a metodologia desse trabalho será dividida em quatro partes,

Primeira parte

Baseado nos gráficos de Tensão σ por ciclos N apresentados no trabalho de Susmel e Taylor é feito um levantamento das constantes materiais A e b de ajuste da curva de Wöhler para os corpos de prova sem entalhe e com os mesmos entalhes escolhidos por eles, sendo eles os de furo redondo de diâmetro de $\phi 3.5 \text{ mm}$, de furo redondo de diâmetro de $\phi 8 \text{ mm}$, de entalhe em U com raio de 1.5 mm e V de raio de 0.12 mm para regimes de tração, e os de entalhe em U com raio de 5 mm e V de raio de 0.383 mm para regimes de flexão. Todas as constantes são do material escolhido por eles, En3B, um aço comercial laminado à frio de baixo teor de carbono.

Segunda parte

Modelagem desses corpos de prova no software ANSYS APDL, para o mesmo aço, tanto para o caso 2D, representando um Estado Plano de Tensões, quanto para o caso 3D, cuja solução será aproximada para um Estado Plano de Deformações, para retirada da relação entre as distribuições de tensões e a distância à raiz do entalhe. Em consonância à metodologia escolhida por Susmel e Taylor, para corpos em tração será levantado o K_{tg} calculado em relação à região *gross* do corpo, e para os corpos em flexão, K_{tn} , calculado em relação à região *net*.

Terceira parte

Aplicação da Teoria da Distância Crítica através da aproximação pelo Método do Ponto, utilizando nesse processo duas curvas de calibração σ - N de fadiga, uma obtida no CP sem entalhe, e a outra nos corpos de prova com entalhe agudo em V de raio de 0.12 mm sob tração e razões de carregamentos de $R = -1$ e $R = 0.1$, e de entalhe agudo em V de raio de 0.383 mm sob flexão e $R = 0.1$, para levantamentos de suas respectivas curvas materiais que relacionam a distância crítica L à vida N .

Quarta parte

Testar a aplicabilidade da TDC para regimes de média vida através de um procedimento recursivo utilizando também as curvas L - N levantadas na etapa anterior da metodologia, para comparação de uma vida prevista N_p e uma vida estimada N_e retirada ao final do procedimento, testando a precisão da teoria. Nessa parte da metodologia, os demais entalhes escolhidos serão testados, para as mesmas razões de carregamentos dos regimes de tração e flexão.

Essa iteração será testada para um intervalo que abrange, o que é considerado pelos pesquisadores, o intervalo de média à alta vida, sendo os valores de 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 , 10^9 ciclos, em que os resultados obtidos para o alto ciclo, para o qual há consolidação da teoria, serão comparados, em termos de precisão, com os obtidos para médio ciclo.

3.1 Equações governantes da metodologia

1. Os valores das distâncias críticas dependem do comprimento característico L , que é uma propriedade material e pode ser definido como (Susmel e Taylor, 2007),

$$L = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{th}}{\sigma_0} \right) \quad (3.1)$$

2. Em que, pelo *método do ponto*, essa distância crítica deve ser corrigida por um fator de $\frac{1}{2}$. Assim,

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{th}}{\sigma_0} \right) \quad (3.2)$$

3. Da observação de Wöhler, o número de ciclos para falha é uma função da potência da tensão aplicada,

$$N_f = N_A \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_f} \right)^k \quad (3.3)$$

ou,

$$\sigma = AN^b \quad (3.4)$$

onde k , A e b são constantes materiais de ajuste da curva.

4. A função da potência que associa a distância L ao números de ciclos para a falha,

$$L(N_f) = A_L \cdot N_f^{b_L} \quad (3.5)$$

onde A_L e b_L também são contantes materiais de ajuste.

5. E, para a comparação da distribuição das tensões na raiz do entalhe entre esse trabalho e o trabalho base, o fator concentração de tensões K_t

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (3.6)$$

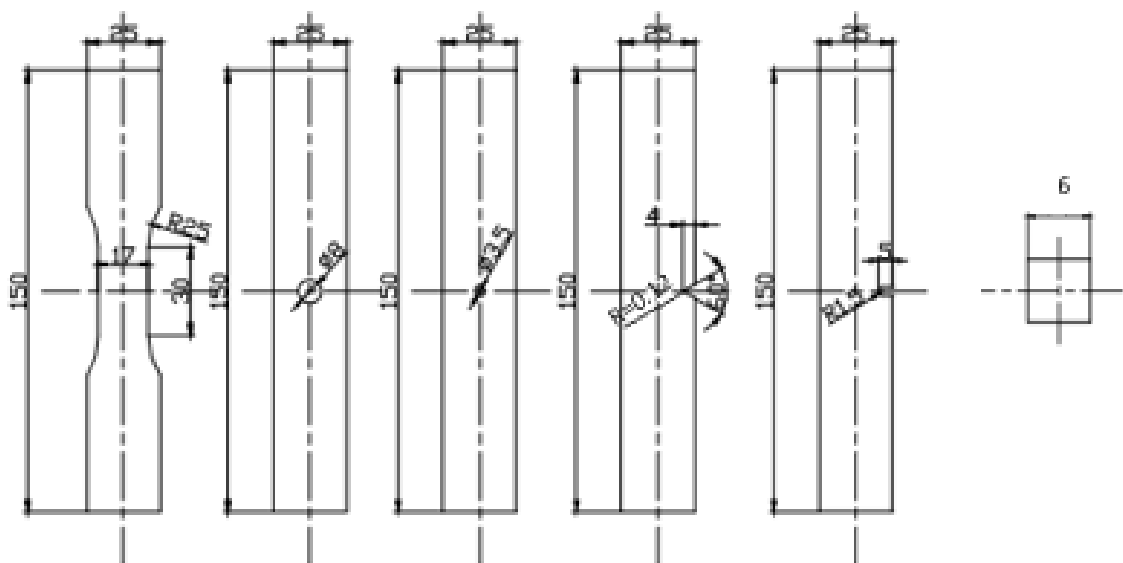
3.2 Levantamento das constantes materiais

À partir dos gráficos do trabalho desenvolvido por Susmel e Taylor (2007), as equações (3.3) e (3.4) foram utilizadas para o levantamento das constantes materiais k , A e B . O resultado está vinculado na tabela subsequentes.

Tabela 1: Comparação de K_{ts}

Corpo de prova	R	k	A	b
Plano	-1	9.34	933.67	-0.1070664
Plano	0.1	5.61	1916.22	-0.1782531
Entalhe em V, $R = 0,12$	-1	3.71	2396.80	-0.2695418
Entalhe em V, $R = 0,12$	0.1	3.73	1628.28	-0.2680965
Furo $\emptyset 3,5$	-1	6.11	1148.7958	-0.1636661
Furo $\emptyset 3,5$	0.1	5.31	1188.9158	-0.1883239
Furo $\emptyset 8$	-1	6.65	747.93827	-0.1503759
Furo $\emptyset 8$	0.1	5.62	836.72631	-0.179359
Entalhe em U, $R = 1,5$	-1	4.46	1275.363	-0.22421525
Entalhe em U, $R = 1,5$	0.1	4.74	909.3704	-0.21097046
Plano, flexão	0.1	4.44	4512.599	-0.22522523
Entalhe em V, $R = 0,383$, flexão	0.1	5.59	1408.573	-0.17574692
Entalhe em U, $R = 5$ flexão,	0.1	4.80	2987.314	-0.20842852

3.3 Projeto dos Corpos de Prova

**Figura 12:** Geometria dos corpos estudados sob tração-tração e tração-compressão (Taylor e Susmel, 2007)

Os corpos de prova escolhidos foram projetados no software *ANSYS APDL*, utilizando o método dos elementos finitos para discretizar a malha. A ideia principal desse método é dividir-se o domínio do problema em sub-regiões de geometrias simples e representativas do domínio total, conhecidas como *elementos finitos*.

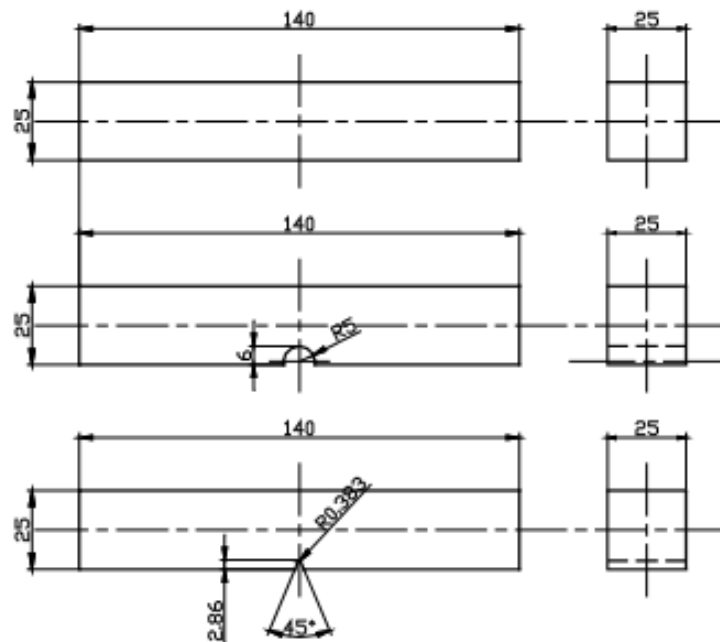


Figura 13: Geometria dos corpos estudados sob flexão (Taylor e Susmel, 2007)

APDL, que significa *ANSYS Parametric Design Language*, é uma linguagem de programação, baseada em Fortran que, através das variáveis de projeto, constroi um modelo paramétrico do problema em elementos finitos.

3.3.1 Simulação numérica

A simulação numérica pode ser dividida em três partes. O Pré-processamento, onde é feita a construção das geometrias e são as aplicações das condições de contorno (CC) do problema. Processamento, que é a solução do problema, e o Pós-processamento, correspondente a fase conclusiva da simulação numérica e onde obtém-se os resultados do problema.

Pré-processamento

1. Definição dos pontos (os keypoints) que irão dar a forma do modelo;
2. União dos keypoints por meio de linhas;
3. Criação da área, limitada pelas linhas do passo anterior;
4. Geração e refinamento da malha, fazendo assim, a discretização do modelo por meio dos elementos, que possuem as propriedades do corpo estudado;

5. Processo de extrusão da malha para o caso 3D;
6. Aplicação da(s) força(s) e das restrições de movimento (engastes) usadas no problema, respectivamente.
7. Criação de uma linha na base do CP, que será usada para plotar o gradiente de tensões ao longo da raiz do entalhe;

Processamento

Etapa responsável pela solução do problema, propriamente dita.

Pós-processamento

Etapa correspondente à observação dos valores de saída gerados pelas condições de entrada fornecidos na primeira etapa. E que consiste, basicamente, nos gradientes de tensões na direção Y, a partir das raízes dos entalhes de cada modelo. Os resultados obtidos correspondem aos valores dos K_{ts} numéricos, que por sua vez, foram comparados com os valores dos K_{ts} numéricos extraídos do trabalho de referência, calibrando o modelo.

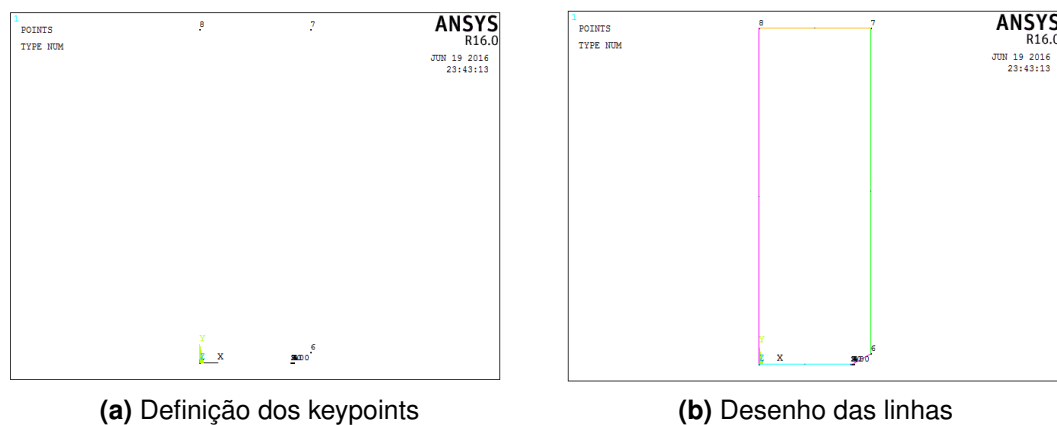
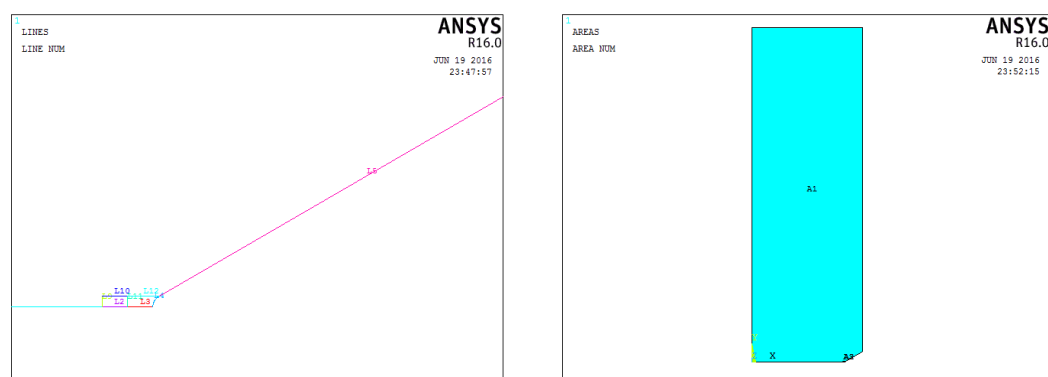


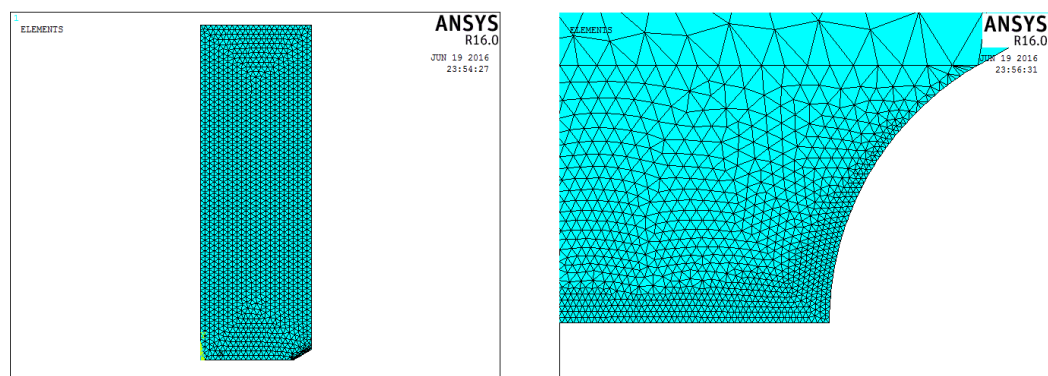
Figura 14: Primeira etapa da geração de corpos no Ansys



(a) Detalhes das linhas geradas para o refinamento de malha no final do entalhe

(b) Desenho das áreas

Figura 15: Segunda etapa da geração de corpos no Ansys



(a) Malha gerada

(b) Detalhe da malha gerada no entalhe

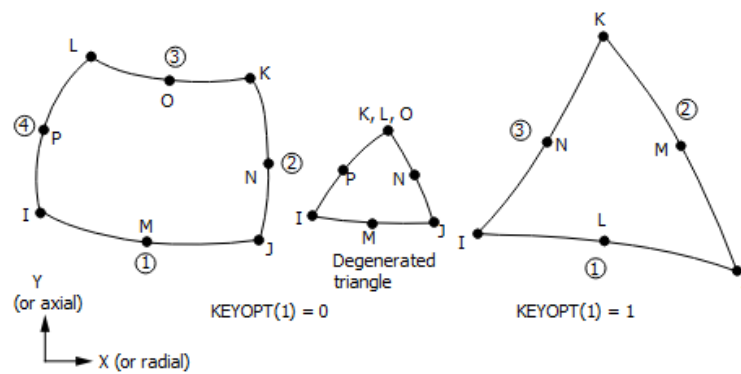
Figura 16: Terceira etapa da geração de corpos no Ansys

3.3.2 Tipos de Elementos e Convergência da Malha

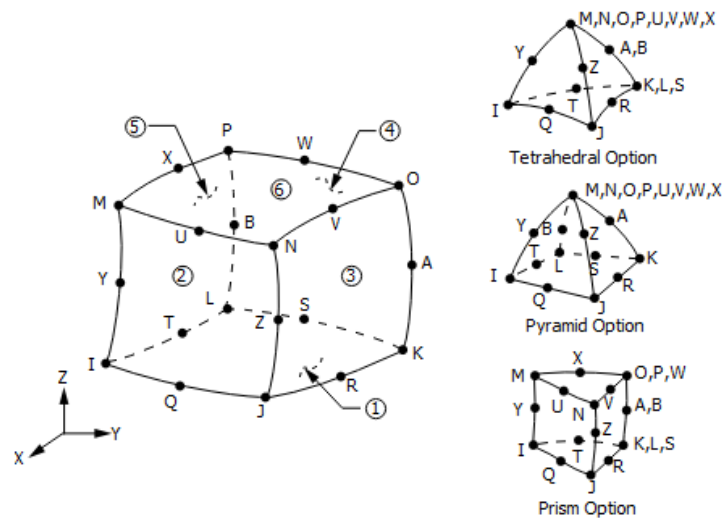
Dois tipos diferentes de elementos de malhas foram utilizados no desenvolvimento desse trabalho, um para corpos em 2D e outro, em adição, para corpos em 3D. Para os primeiros foi utilizado o elemento PLANE183, definido por 8 ou 6 nós, possuindo dois graus de liberdade em cada nó: translações nas direções nodais x e y e, para os segundos, também o elemento SOLID186, com 20 nós e três graus de liberdade por nó: translações nas direções nodais x , y e z .

A região próxima à raiz do entalhe apresenta um alto gradiente de tensões, demandando um refinamento especial da malha. Para isso, foram criadas linhas auxiliares no momento da parametrização do corpo para sua construção, como funções lineares do tamanho do raio do entalhe, partindo de sua raiz e perpendiculares à essas retas.

Em cada uma das linhas de construção e das linhas auxiliares, o comando LESIZE



(a) Elemento PLANE183



(b) Elemento SOLID186

Figura 17: Elementos utilizados nas construções dos CPs

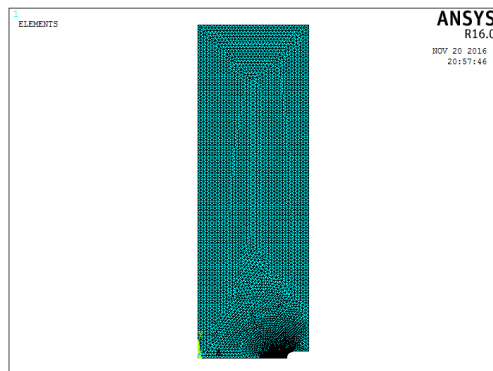
foi utilizado para gerar divisões nessas retas, para elementos de tamanho definido também como função linear do raio de entalhe. Nas divisões de regiões angulares, a divisão foi feita por meio do sub-comando de LESIZE, ANGSIZE, que divide a região em intervalos de pequenos ângulos pré-determinados.

É importante perceber que o processo de refinamento de malhas é extenso, iterativo e apresenta peculiaridades de corpos para corpos. Na tentativa do refinamento de malha mais apropriado para os objetivos do trabalho, dois critérios foram usados.

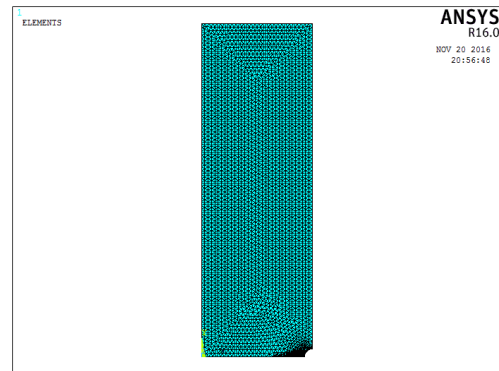
Primeiramente, a verificação da aparência da malha, tendo em mente que quanto mais os elementos e quanto mais homogênea a malha, mais a solução se aproximará da real.

Finalmente, observando que em última instância o objetivo da construção dos corpos é o levantamento da distribuição de tensões na raiz do entalhe, para a

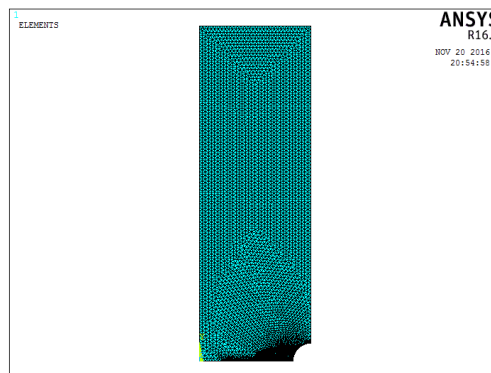
aplicação da TDC em comparação ao trabalho de Susmel e Taylor, como critério de refinamento, foi usado a comparação entre os K_{tg} encontrados nesse trabalho e no trabalho de comparação, influenciando nas decisões de convergência da malha.



(a) Corpo com entalhe em U de raio 1.5 mm

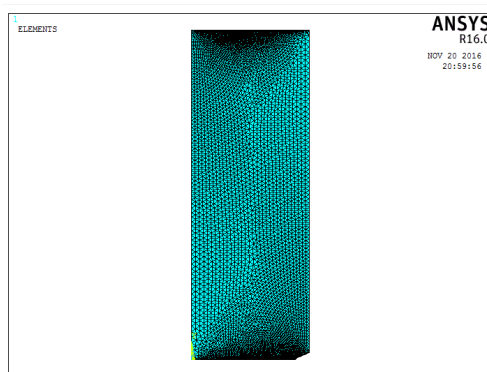


(b) Corpo com furo de 3.5 mm

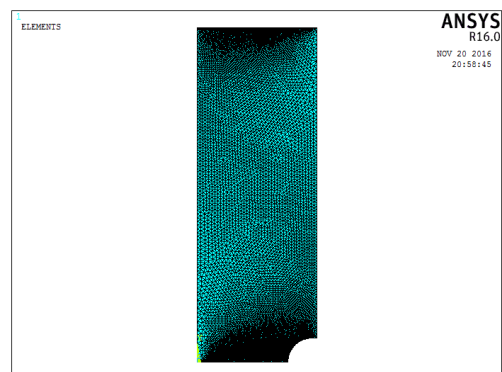


(c) Corpo com furo de 8 mm

Figura 18: Malha dos corpos sob Tração



(a) Corpo de entalhe em V e raio de 0.383 mm



(b) Corpo de entalhe em U e raio de 5 mm

Figura 19: Malha dos corpos sob flexão

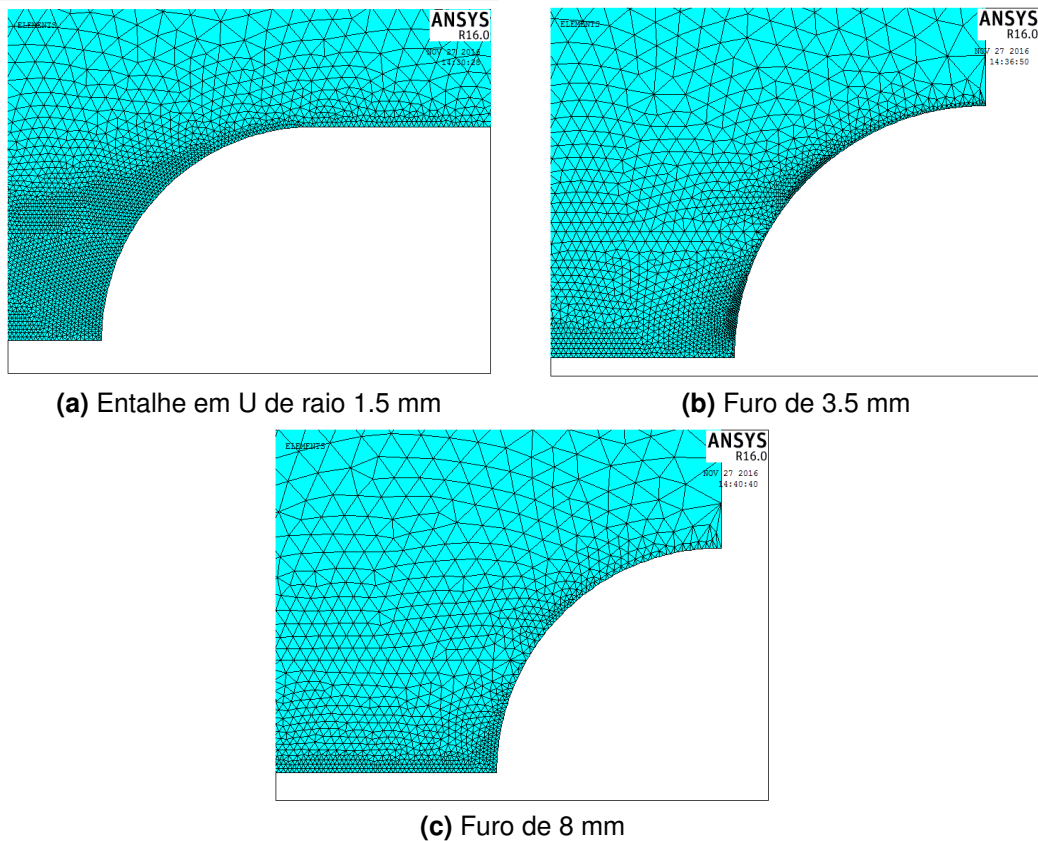


Figura 20: Entalhe corpos sob Tração

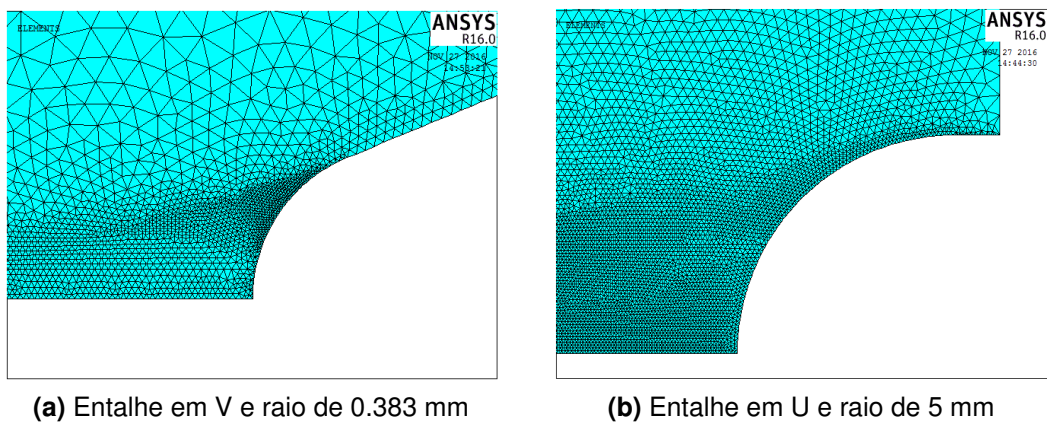


Figura 21: Entalhes dos corpos sob flexão

3.4 Aplicação do Método do Ponto para levantamento da curva Distância Crítica por Vida do Material

Nessa primeira parte da metodologia de aplicação da TDC para regimes de média vida, é levantada a curva que relaciona a distância crítica L com a vida N . Por ser uma curva material, ela dependerá apenas do material em que o corpo de prova foi fabricado e o regime de carregamento.

Como já foi exposto, para o levantamento dessa curva foram usados os CPs sem entalhe, e os de entalhe agudo em V, de raio de 0.12 mm para tração sob razão de $R = -1$ e $R = 0.1$ e de raio de 0.383 mm para flexão sob razão de $R = 0.1$, no seguinte processo recursivo. Usando-se a aproximação pelo método do ponto, a distância crítica pode ser calculada para qualquer número de ciclos para a falha. A uma dada vida fixa, a distância crítica pelo MP à partir da raiz do entalhe $\frac{L(N_f)}{2}$ está onde a tensão linear elástica principal máxima for igual à tensão aplicada no CP plano para gerar a falha no mesmo número de ciclos.

Assim, levanta-se as curvas $\sigma \times N$ para os CPs com e sem entalhe, obtendo-se as tensões nominais para a falha em fadiga $\sigma_{i,a}$ para o sem entalhe e $\sigma_{g,a}$ para o com entalhe para uma determinada vida N_i . Aplica-se essa tensão $\sigma_{g,a}$ em toda a seção do CP entalhado, gerando um gradiente de tensões na raiz do entalhe, distribuídos em uma curva que associa a concentração de tensões à distância da raiz.

Nessa curva, interpola-se a tensão $\sigma_{i,a}$ do CP sem entalhe para achar-se a distância crítica aproximada pelo MP $\frac{L(N_f)}{2}$. Esse processo recursivo levanta a curva material $L_{MP} \times N$ e a 'power function' que associa esse valores, determinada para tração e flexão sob as já determinadas razões de carregamento.

$$L_{MP}(N_f) = \frac{L(N_f)}{2} = A_L N_f^{b_L} \quad (3.7)$$

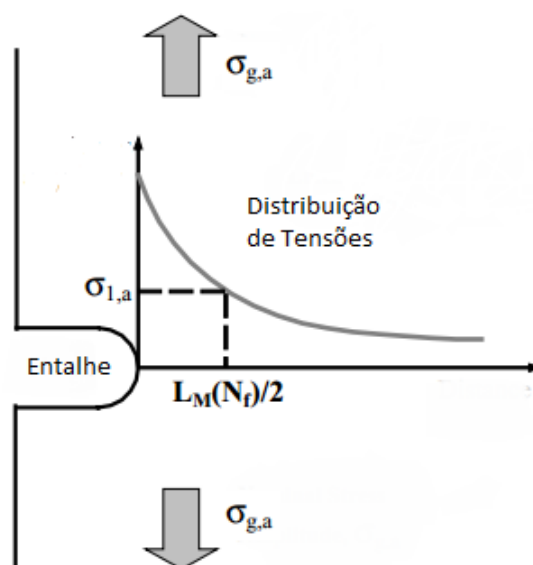


Figura 22: Aplicação da distância crítica pelo método do ponto (Taylor e Susmel, 2007-modificado).

3.5 Interpolação para Vida Estimada

Para essa interpolação são usadas três tipos de curvas diferentes. O primeiro, levantada na fase anterior da metodologia são as curvas materiais L_{MP} por N levandas para carregamentos de tração e flexão e diferentes razões de carregamento. As outras são as curvas $\sigma \times N$ do CP sem entalhe, e as que relacionam a distribuição de tensões à partir da raiz do entalhe para os demais CPs escolhidos.

Essa interpolação inicia-se com a escolha de uma vida prevista inicial $N_{p,0}$, que será interpolada na curva material L_{MP} por N para obtenção de uma distância crítica L_{MP} como variável de saída.

Na sequência, essa variável será interpolada nos gráficos de distribuições de tensões pela distância à raiz do entalhe, para determinação da tensão que acontece à essa distância crítica.

Finalmente essa tensão obtida será interpolada na curva $\sigma \times N$ do CP sem entalhe, para obtenção de uma variável Vida Estimada inicial $N_{e,0}$, que será comparada à vida prevista inicial. Se,

$$\frac{|N_{p,0} - N_{e,0}|}{N_{p,0}} \leq 1 \quad (3.8)$$

a interação termina. Se não um novo valor de vida prevista $N_{p,1}$ é calculado através da média dos últimos dois valores e interação se reinicia até sua convergência.

$$N_{p,1} = \frac{|N_{e,0} + N_{p,0}|}{2} \quad (3.9)$$

Essa iteração é feita separadamente para os CPs em tração com razões de carregamento de $R = -1$ e $R = 0.1$ e em flexão com $R = 0.1$ e tentará medir a acurácia da aplicação dessa teoria para média vida aplicando-a no intervalo de 10^4 à 10^9 , que para os autores, engloba os conceitos de tanto média quanto alta vida e os resultados de ambas poderão ser comparados.

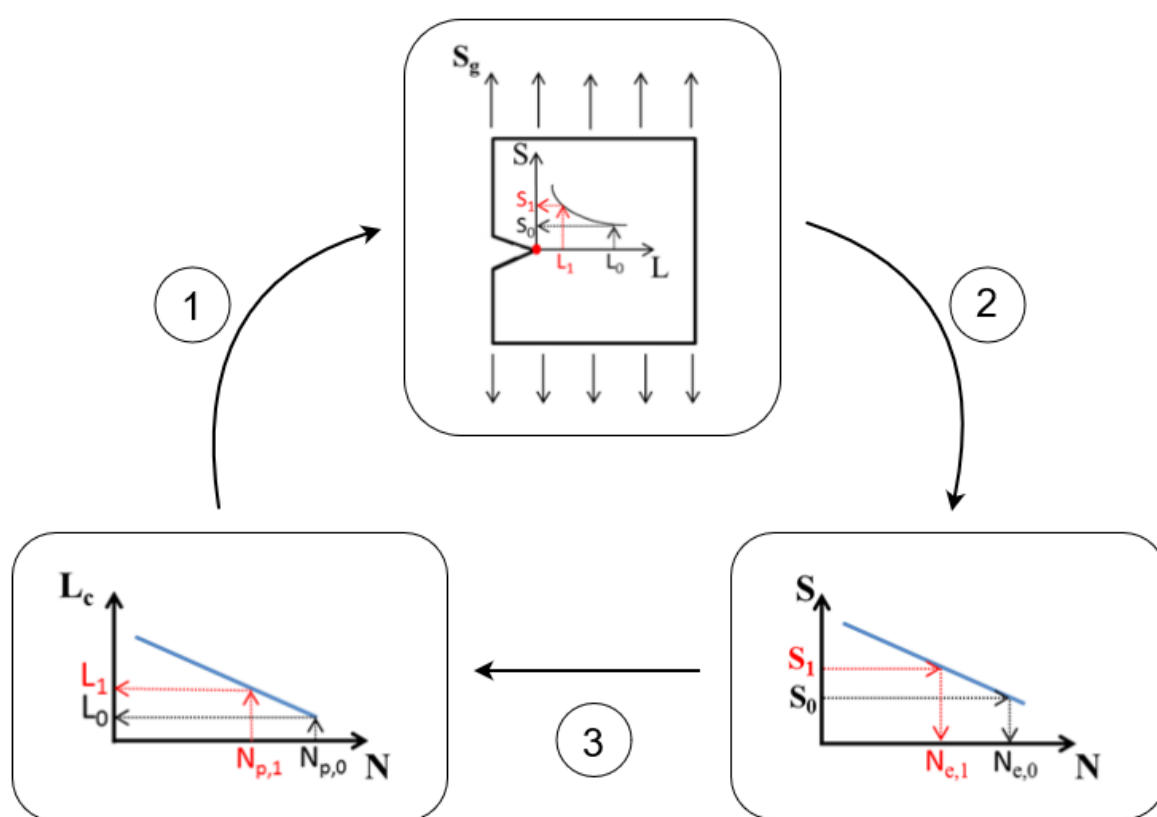


Figura 23: Fluxograma da interpolação para vida estimada N_e (modificado - Cutrim, 2013)

RESULTADOS

4.1 Comparação de K_t s

Os resultados das simulações numéricas dos K_t s é parte primordial para a geração dos demais resultados, da verificação da modelagem do problema e a da correta aplicação das condições de contorno. A convergência do modelo foi avaliada pela comparação dos valores dos intensificadores de tensões numéricos obtidos e os numéricos do trabalho de referência.

Todas as comparações foram feitas baseadas nos fatores calculados em relação a região gross, embora, para as interpolações nos casos de corpos em flexão, tenha sido usada a distribuição na região net, em consonância à metodologia adotada no trabalho fonte. As tabelas com os resultados e comparações para o caso 2D e 3D são apresentadas abaixo, acompanhadas pela equação que apresenta o método de cálculo do erro.

Tabela 2: Comparação de K_t s caso 2D

Tipo de corpo de prova	K_t numérico	K_t Susmel e Taylor	Erro (%)
Entalhe em V, $R = 0,12$	16,1	16,2	0,617
Furo Ø 3,5	3,2	3,1	3,23
Furo Ø 8	3,6	3,4	5,88
Entalhe em U, $R = 1,5$	6,1	6,1	0
Entalhe em V, $R = 0,383$ flexão	3,6	3,4	5,88
Entalhe em U, $R = 5$ flexão	3,2	2,9	8,97

$$Erro(\%) = \left(\frac{|K_t \text{SusmelTaylor} - K_t \text{numerico}|}{K_t \text{SusmelTaylor}} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Tabela 3: Comparação de K_t s caso 3D

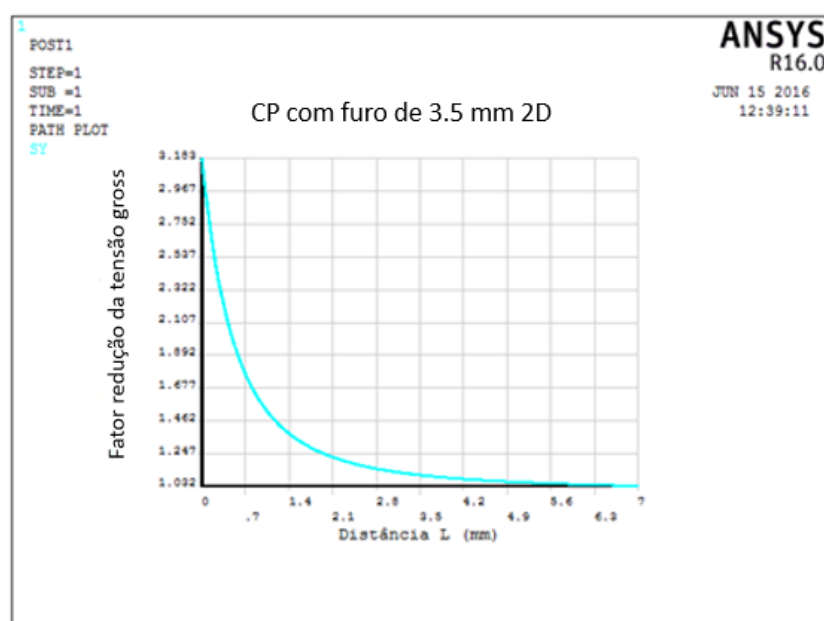
Tipo de corpo de prova	K_t numérico	K_t Susmel e Taylor	Erro (%)
Entalhe em V, $R = 0,12$	15,7	16,2	3,79
Furo $\emptyset 3,5$	3,1	3,1	0
Furo $\emptyset 8$	3,5	3,4	2,94
Entalhe em U, $R = 1,5$	5,9	6,1	3,28
Entalhe em V, $R = 0,383$ flexão net	5,2	-	-
Entalhe em U, $R = 5$ flexão net	1,9	-	-

4.2 Gráficos da redução de tensão pela distância à raiz do entalhe

Nessa seção serão apresentados os gráficos da distribuição de tensões à partir da raiz do entalhe, para todos os corpos projetados e utilizados no decorrer da metodologia, tanto para o caso 2D, que representa um Estado Plano de Tensões, quanto para o caso 3D, nos quais uma aproximação para o Estado Plano de Deformações foi utilizada.

4.2.1 Caso 2D

Corpos em Tração

**Figura 24:** Furo $\emptyset 3,5$ mm

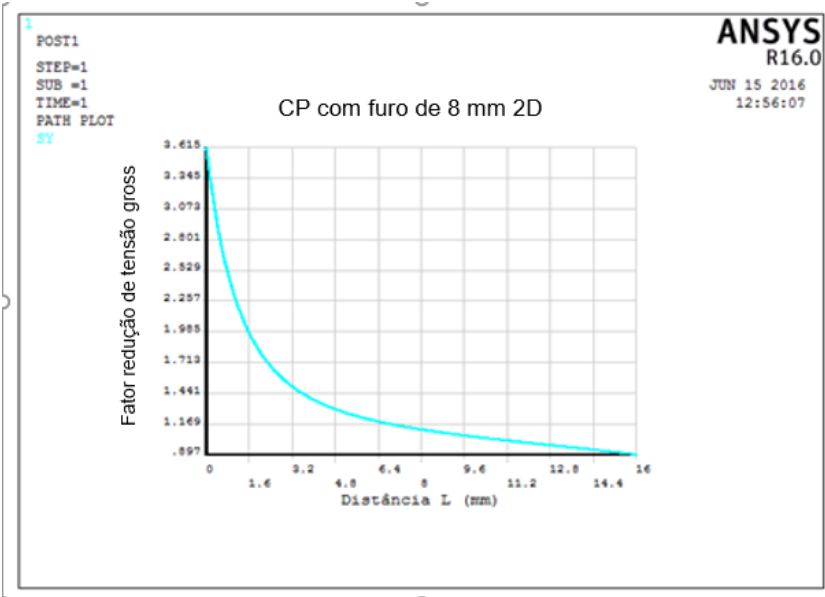


Figura 25: Furo Ø 8 mm

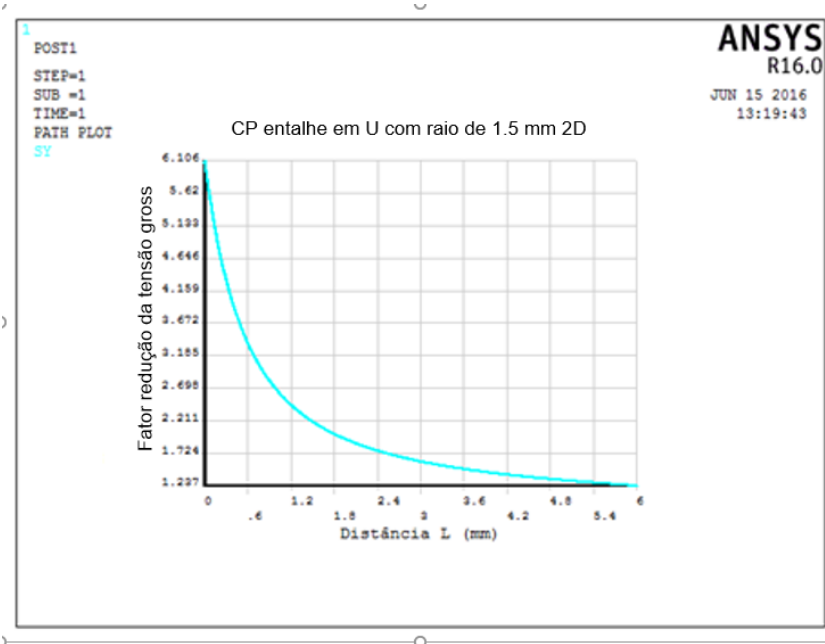
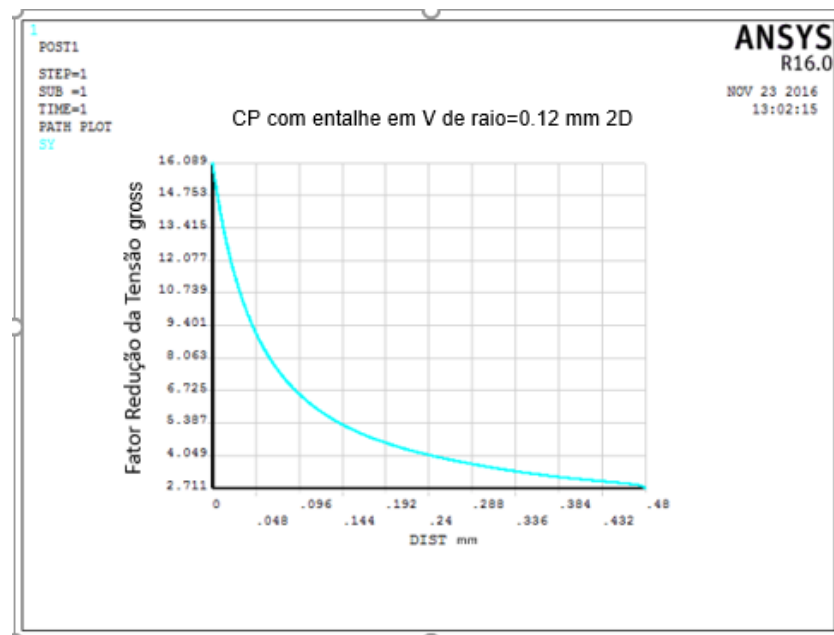
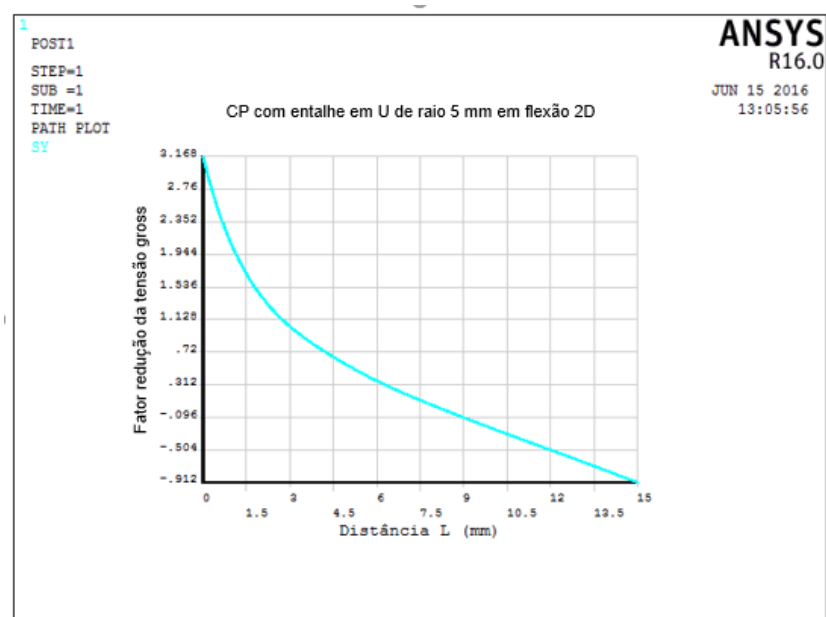
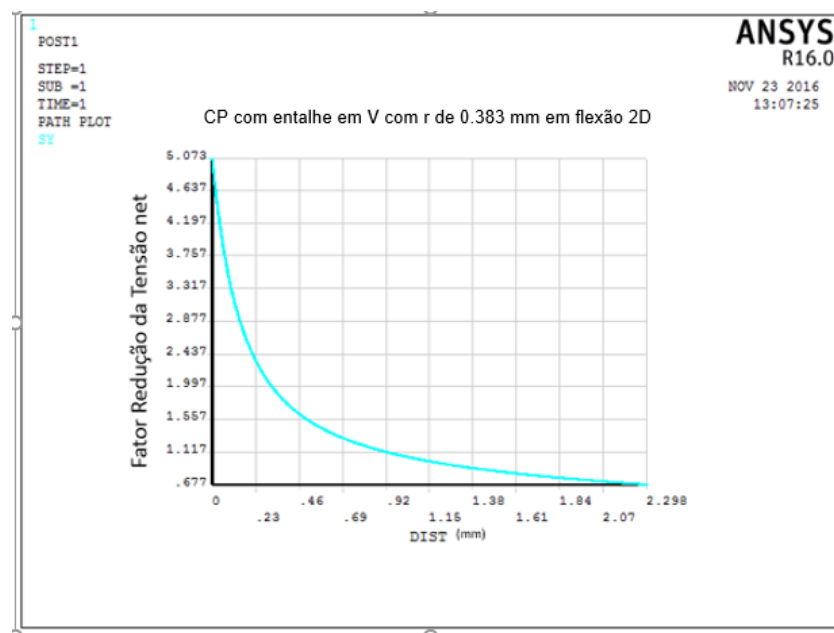


Figura 26: Entalhe em U, R = 1.5 mm

**Figura 27:** Entalhe em V, $R = 0,12$

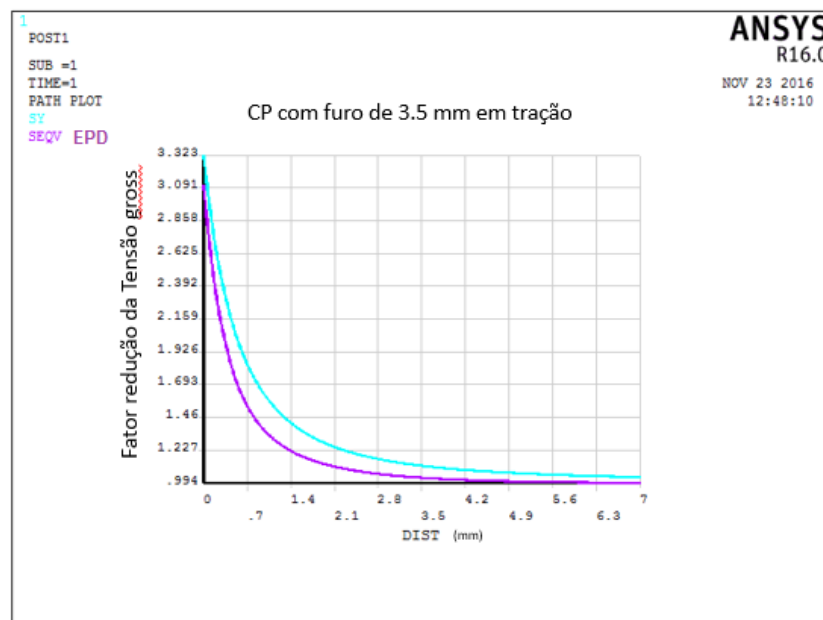
Corpos em Flexão

**Figura 28:** Entalhe em U, $R = 5$ mm em flexão

**Figura 29:** Entalhe em V, $R = 0,383$ em flexão

4.2.2 Caso 3D

Corpos em Tração

**Figura 30:** Furo $\varnothing 3,5$ mm

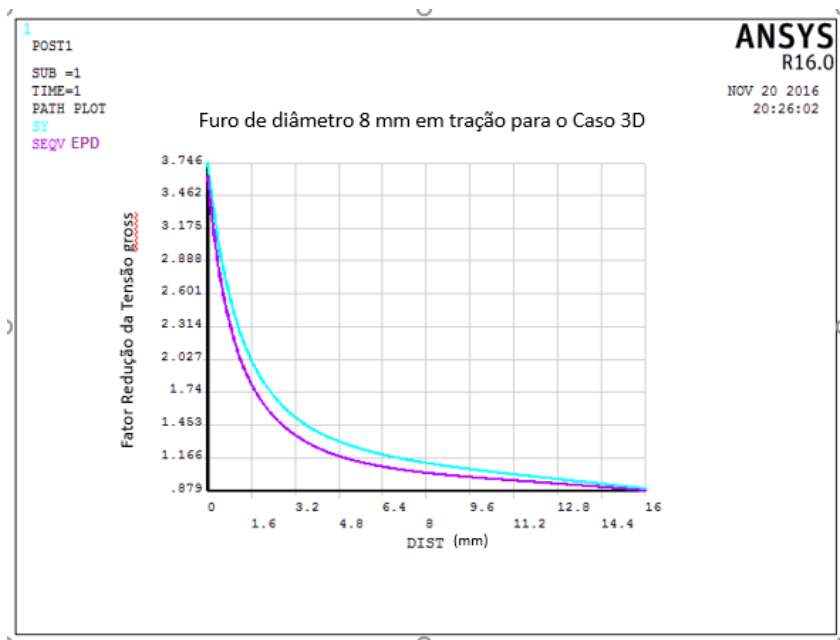


Figura 31: Furo Ø 8 mm

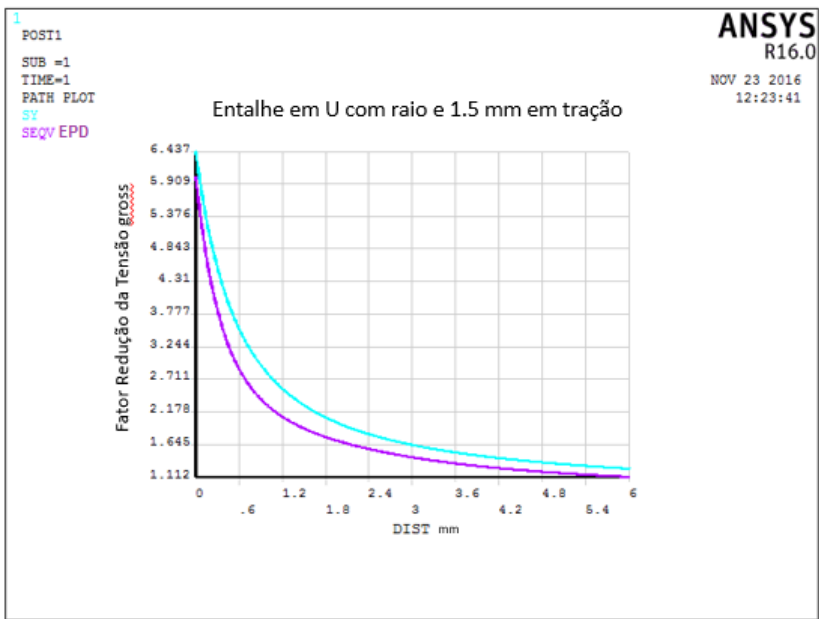
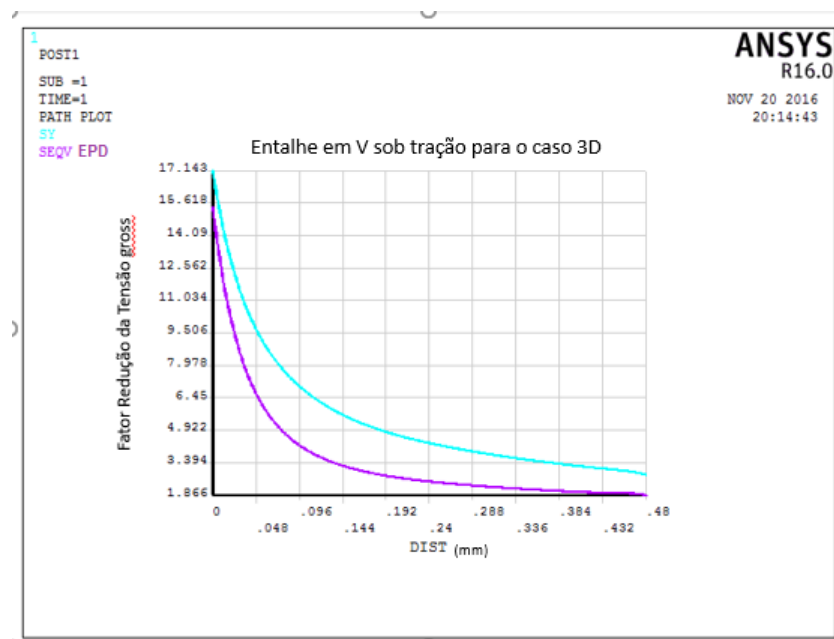
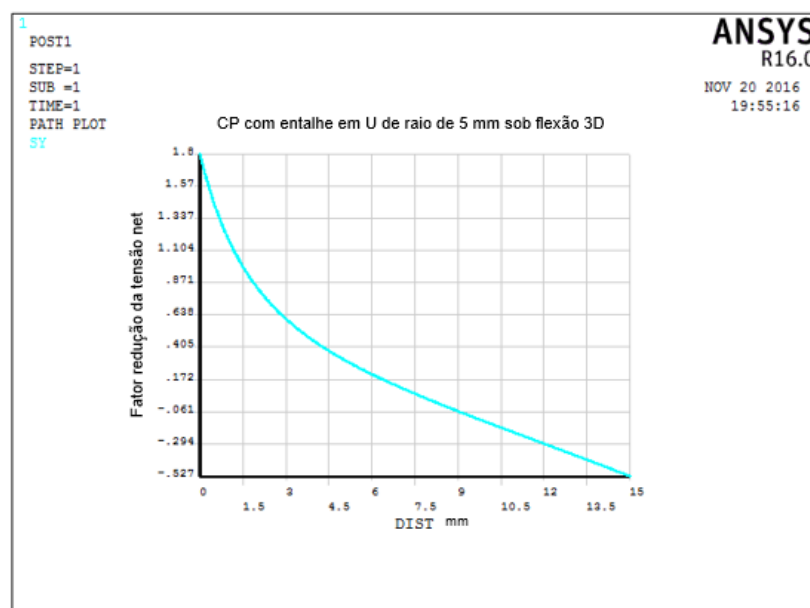


Figura 32: Entalhe em U, $R = 1.5\text{mm}$

**Figura 33:** Entalhe em V, $R = 0,12$

Corpos em Flexão

**Figura 34:** Entalhe em U, $R = 5$ mm em flexão

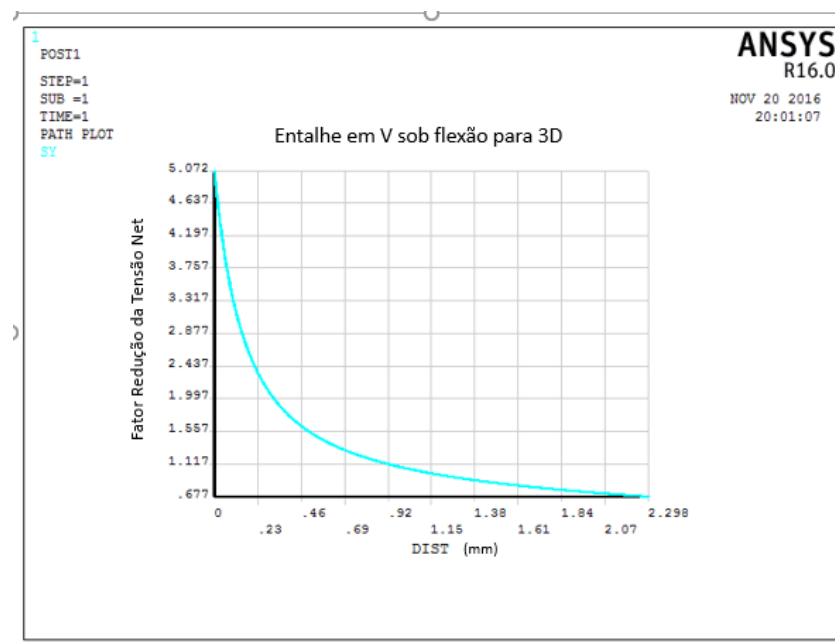


Figura 35: Entalhe em V, $R = 0,383$ em flexão

4.3 Curvas materiais L_{MP} -N e constantes de ajuste

Nessa seção estão as curvas materiais L_{MP} -N, acompanhadas das tabelas que apresentam as constantes e ajuste encontradas, cuja variável distância crítica calculada foi aproximada pelo método do ponto. Essa foi levantada aplicando-se o método da distância crítica em CPs de entalhe V agudo, sob regimes de tração e flexão e submetidos à razões de carregamento de $R = -1$ e $R = 0.1$ para o primeiro regime e de $R = 0.1$ para o segundo, tanto para os casos 2D quanto 3D.

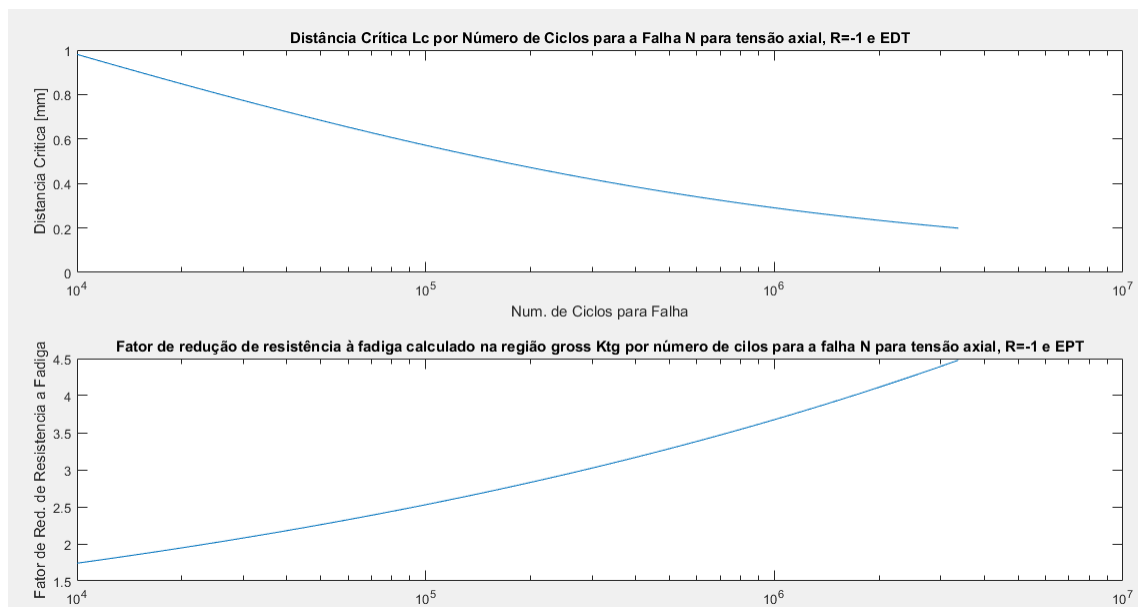
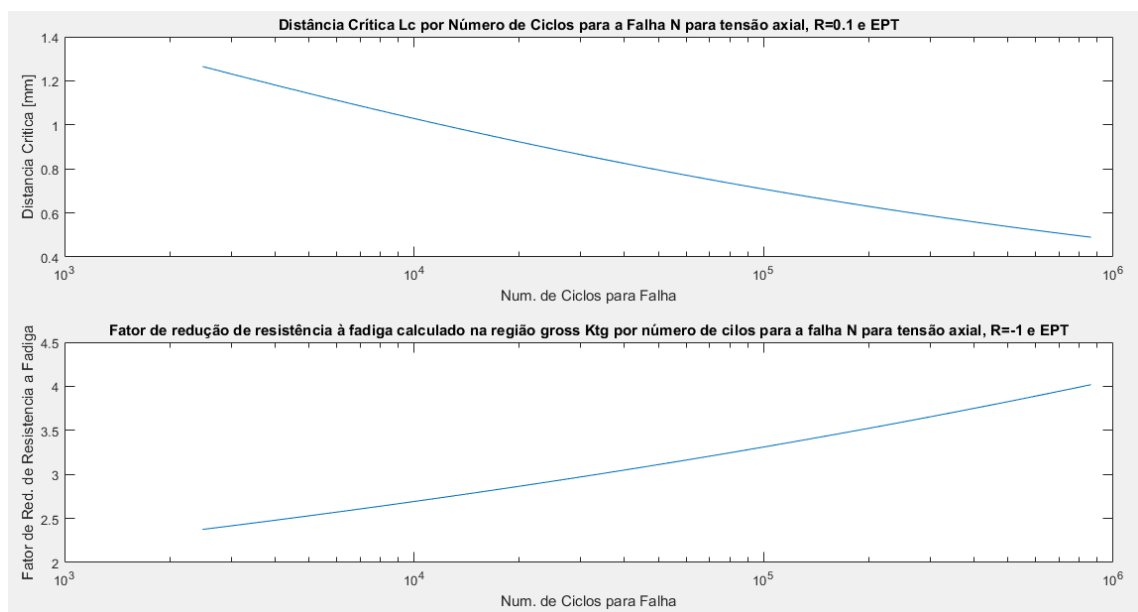
Tabela 4: Constantes de ajuste para o caso 3D

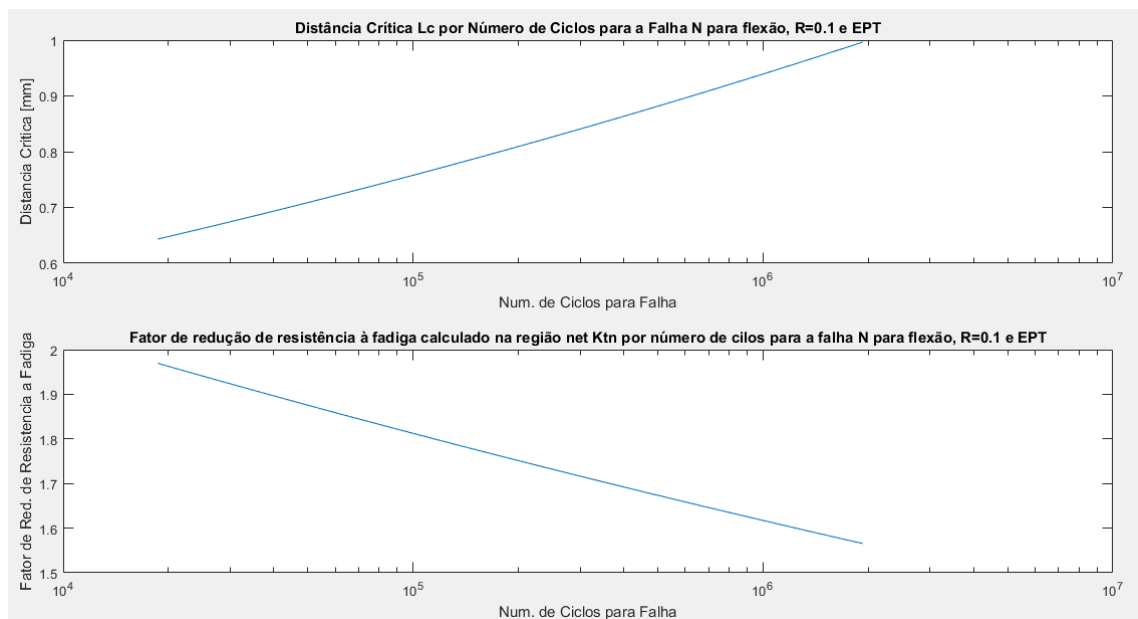
Tipo	A_l	b_l
Tracao $R = -1$	5.315	-0.1965
Tracao $R = 0.1$	3.519	-0.1311
Flexao	0.2752	0.09109

Tabela 5: Constantes de ajuste para o caso 2D

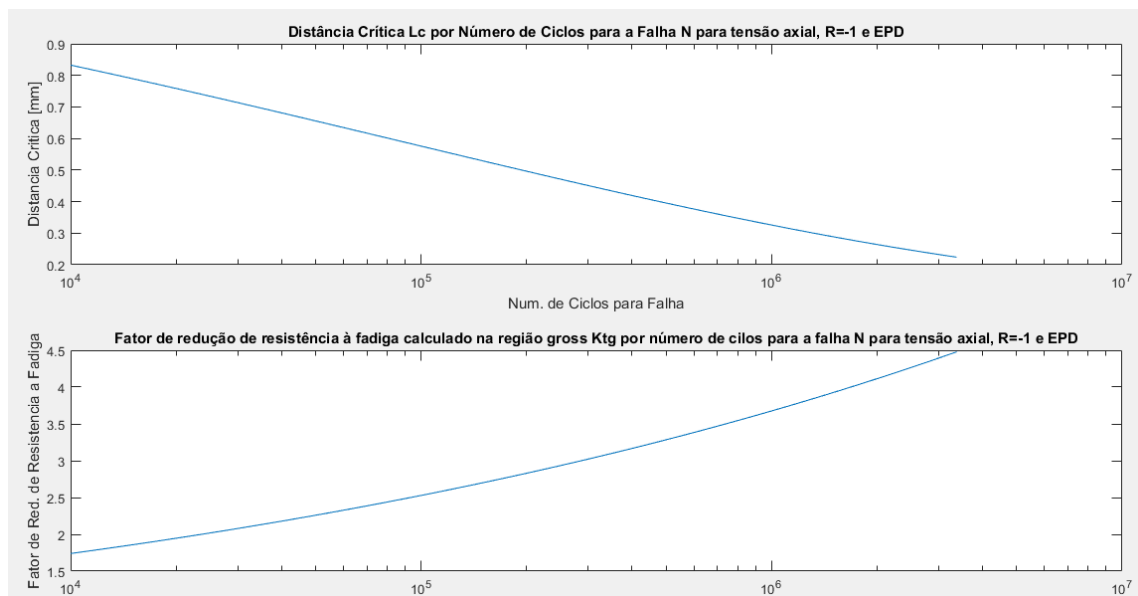
Tipo	A_l	b_l
Tracao $R = -1$	10.72	-0.2566
Tracao $R = 0.1$	4.438	-0.1593
Flexao	0.2556	0.09427

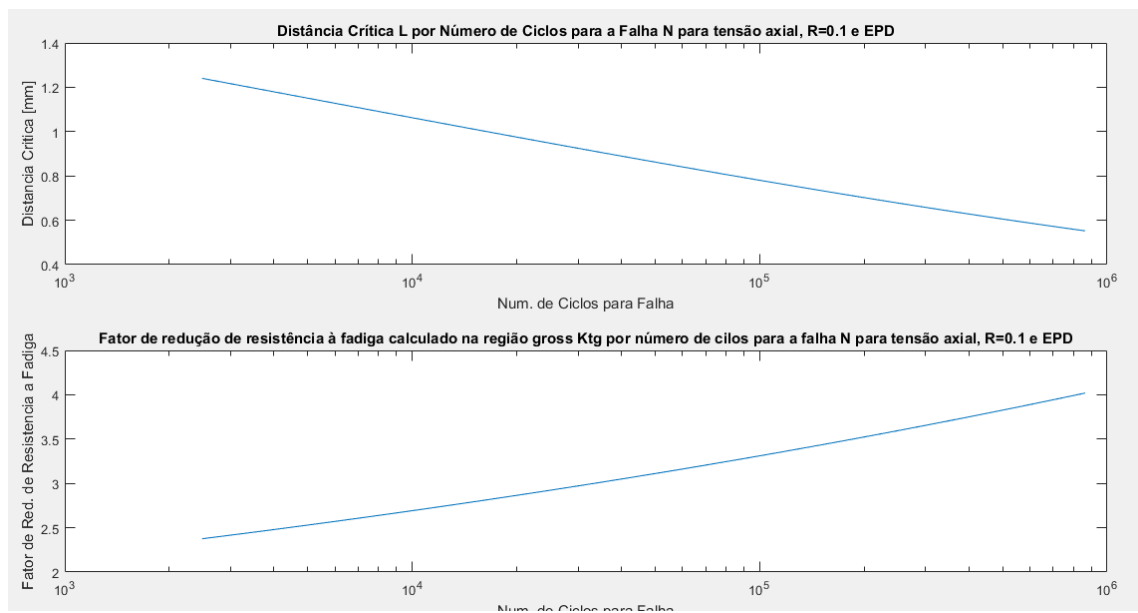
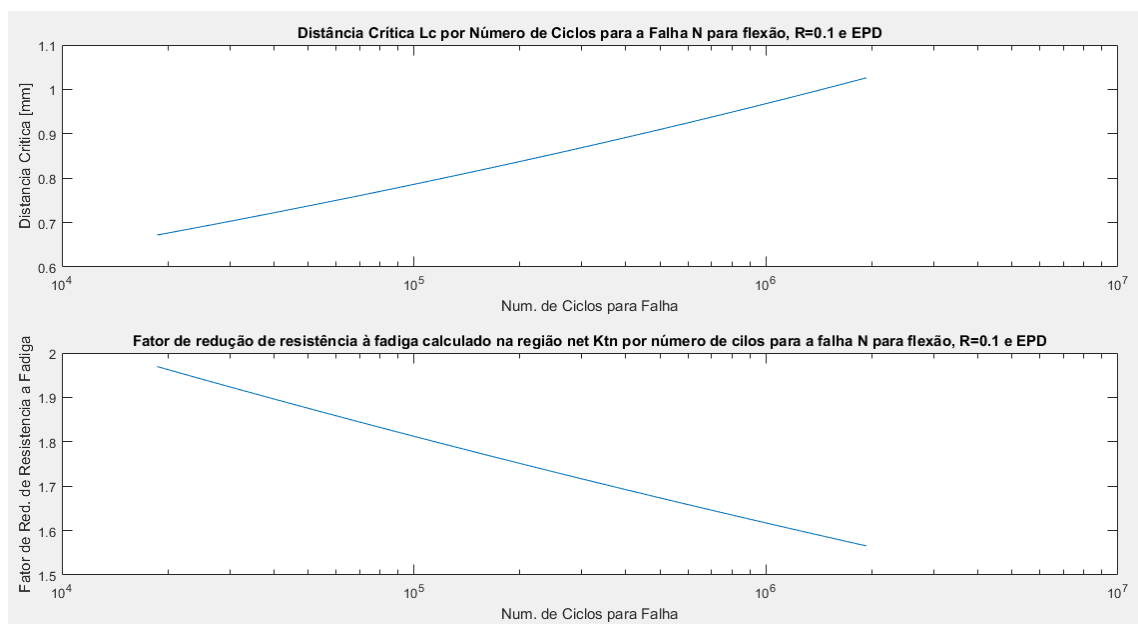
4.3.1 Caso 2D

Figura 36: Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para R=-1 em traçãoFigura 37: Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para R=0.1 em tração

**Figura 38:** Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em flexão

4.3.2 CASO 3D

**Figura 39:** Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=-1$ em tração, 3D

**Figura 40:** Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em tração, 3D**Figura 41:** Gráficos L_{MP} -N e K_t -N para $R=0.1$ em flexão, 3D

4.4 Gráficos da interpolação de Vida Estimada por Vida Prevista

Aqui serão apresentados todos os gráficos obtidos na interpolação de Vida Estimada, para todos os CPs testados em regimes de tração e flexão e para as razões de carregamento já citadas, tanto para o caso 2D quanto 3D. Esses estão relacionando os dados de entrada, as vidas previstas, e os de saída, as vidas estimadas, marcados respectivamente pela correlação perfeita e intervalos superiores e inferiores de 3 vidas, como no trabalho fonte. As tabelas apresentando os resultados obtidos interação à interação estão apresentadas no Apêndice X e os gráficos do trabalho fonte serão apresentados abaixo.

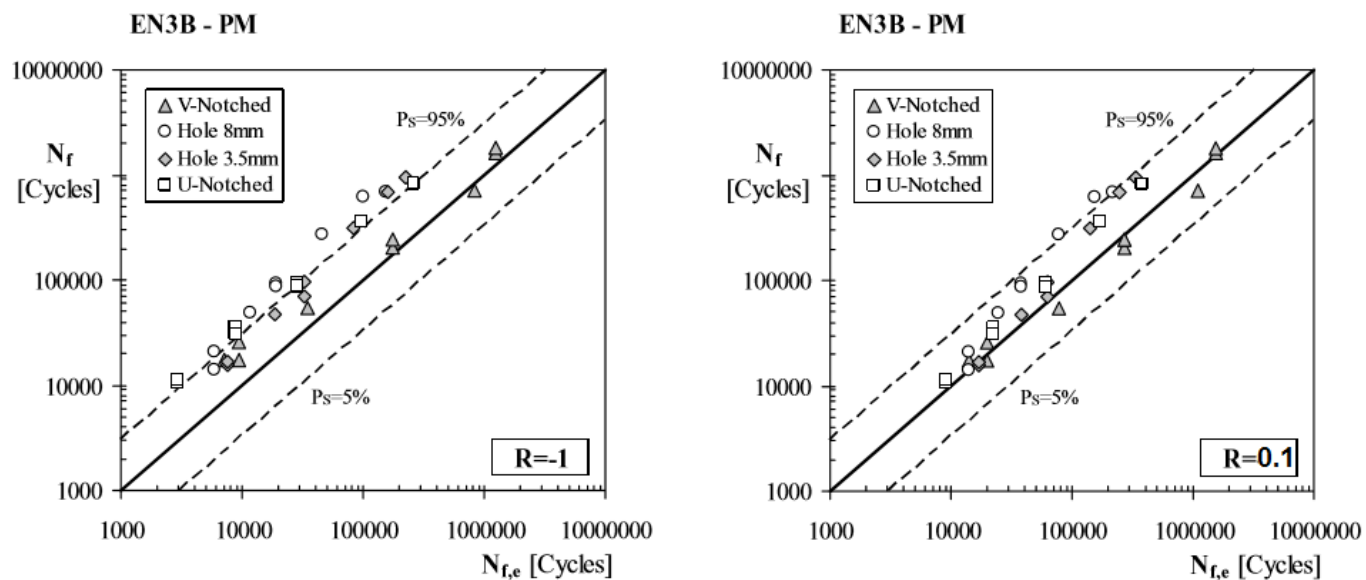


Figura 42: Gráficos da Interpolação para Vida Estimada do trabalho de Susmel e Taylor(2007)

4.4.1 TRAÇÃO $R=-1$

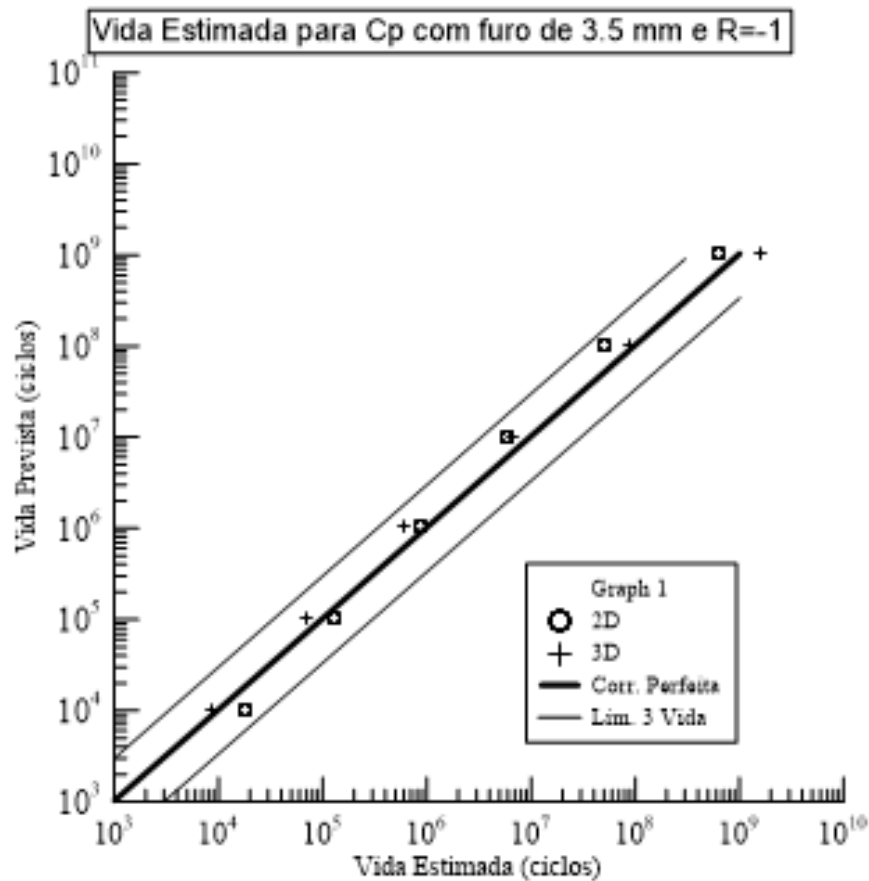


Figura 43: Vida Estimada para Corpo furo de 3.5 mm e $R=-1$

Quanto a dispersão, a interpolação apresentou resultados igualmente bons tanto para o caso 2D ou EPT quanto para o caso 3D ou EPD, todos próximos a curva que apresenta a correlação perfeita e dentro dos limites inferior e superior de 3 vidas.

Os resultados foram também, semelhantes nos intervalos de média e alta vida, sendo um primeiro indicativo que o regime de média vida está de fato dentro de um regime predominantemente elástico, que L é um parâmetro que varia com o número de ciclos N e há uma 'power function' que associa ambos.

Os pesquisadores não apresentam resultados para vidas tão altas quanto 10^8 e 10^9 porém, em comparação, os resultados obtidos foram superiores aos do trabalho de origem, cujos resultados só estão dentro dos limites inferior e superior de 3 vidas para o intervalo entre 10^4 e 10^5 .

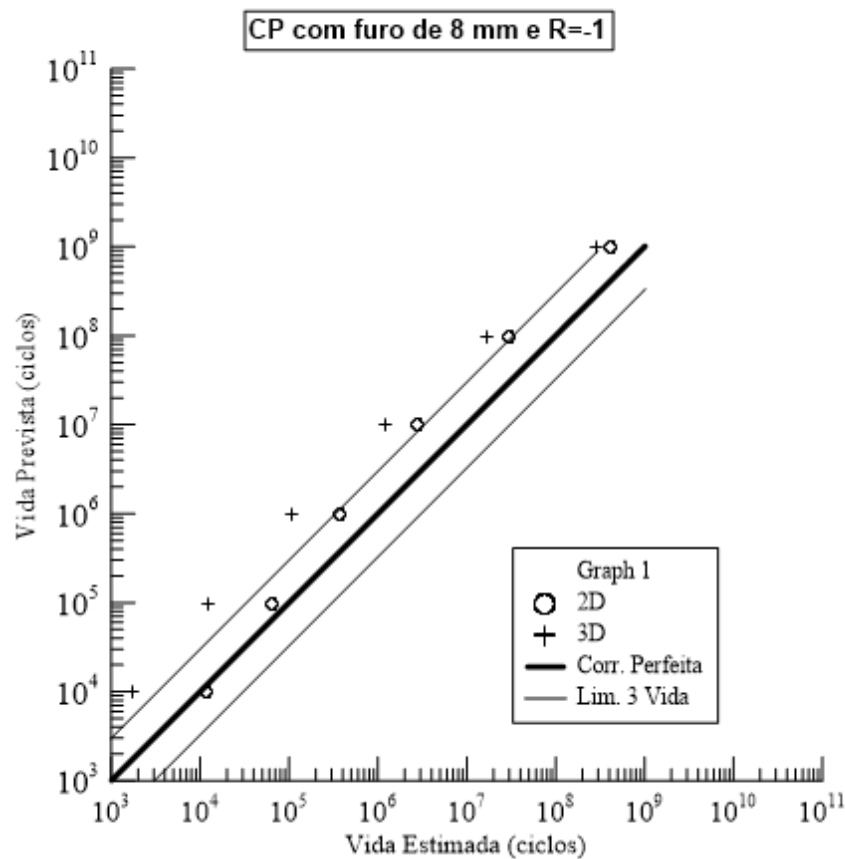


Figura 44: Vida Estimada para Corpo furo de 8 mm e R=-1

Nesse caso, os resultados foram superiores na aproximação pelo EPT, cujos resultados para médio ciclo estão dentro dos limites superior e inferior de 3 vidas, que na aproximação pelo EPD, que apresentou resultados muito semelhantes ao trabalho base dentro dos intervalos apresentados, em geral fora do limite superior de 3 vidas.

Calcular tensões através da região *gross* para entalhes tão grandes carrega altas distorções, motivo provável pelo qual os resultados desse trabalho e do trabalho de origem, para esse corpo, são inferiores aos encontrados para os demais corpos.

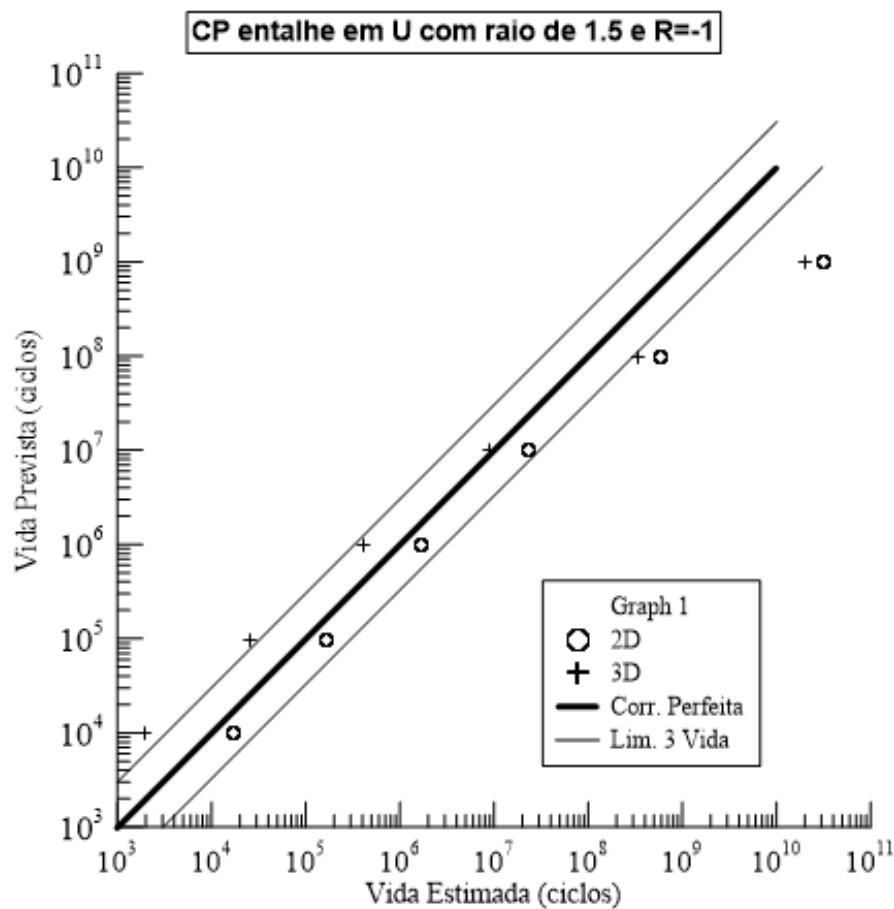


Figura 45: Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 1.5 mm e R=-1

Os resultados para esse corpo foram, para ciclos mais baixos, superiores para o regime de EPD e, surpreendentemente, para o regime de média vida, que estão próximos à correlação perfeita.

Os trabalho base não apresenta os resultados para ciclos tão altos quanto 10^8 e 10^9 , onde há maior dispersão e resultados fora dos limites de 3 vidas, porém os demais foram inferiores aos encontrados nesse trabalho, apresentando todos os pontos sobre ou acima do limite superior de 3 vidas.

4.4.2 TRAÇÃO $R=0.1$

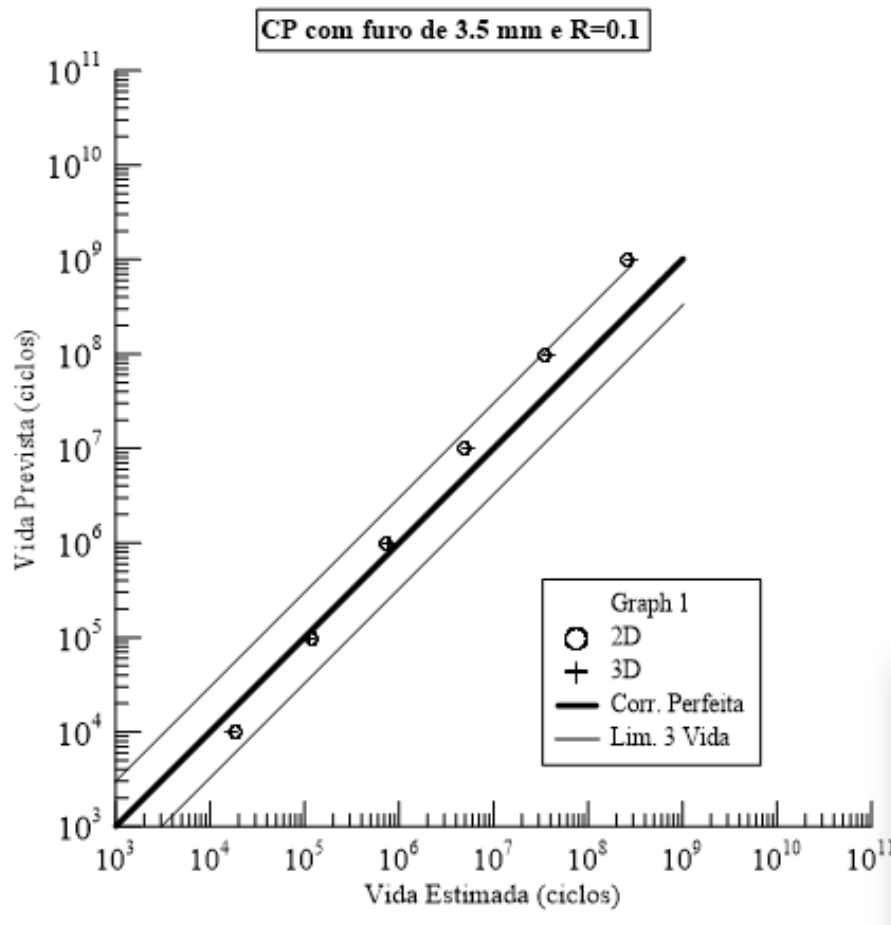


Figura 46: Vida Estimada para Corpo furo de 3.5 mm e $R=0.1$

Para razões de carregamento de $R = 0.1$, todos os corpos apresentaram resultados extremamente próximos para as aproximações do EPT e EPD e, esse corpo, mais uma vez, surpreendentemente, apresenta resultados superiores para regimes de médio ciclo.

Em relação ao trabalho fonte, para os intervalos mostrados, os resultados encontrados foram bastante semelhantes, mais próximos à correlação perfeita para ciclos inferiores de médio ciclo, e mais dispersos para ciclos superiores,

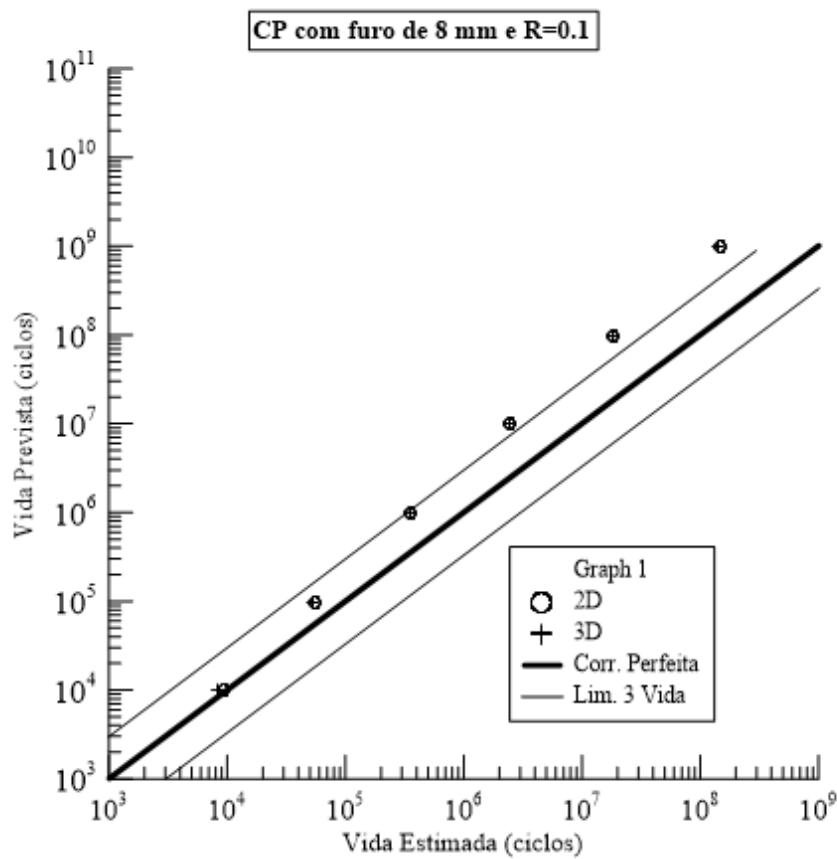


Figura 47: Vida Estimada para Corpo furo de 8 mm e R=0.1 e R=0.1

Essa interpolação apresentou, também, aproximação para o EPT e o EPD com resultados muito próximos e resultados superiores para regimes de médio ciclo, dentro dos limites de 3 vidas.

Em comparação ao trabalho base, os resultados foram semelhantes, mais próximos da correlação perfeita para ciclos inferiores de média vida e mais dispersa para ciclos superiores, fora dos intervalos de 3 vidas. Aqui, o problema do cálculo sobre a região gross provavelmente permanece, contribuindo para a dispersão dos resultados.

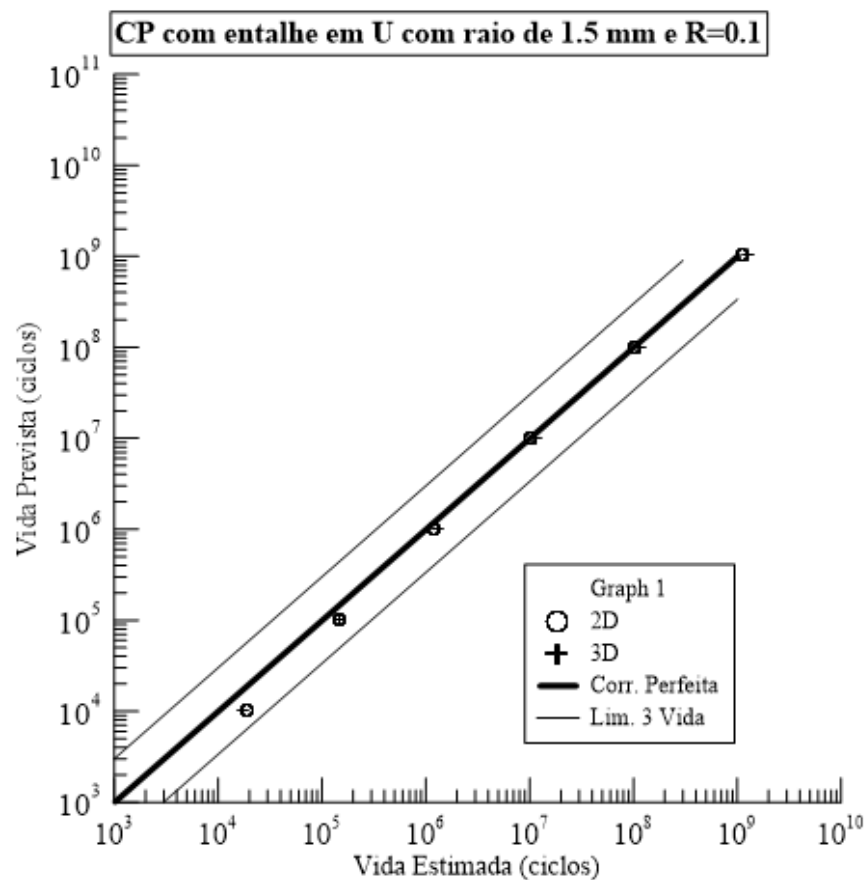


Figura 48: Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 1.5 mm e R=0.1

Nessa interação, os resultados obtidos, tanto em regime de alta quanto de média vida, estão muito próximos à correlação perfeita, mais uma vez indicando que o regime de médio ciclo está predominantemente dentro do regime elástico, que L é um parâmetro que varia com o número de ciclos N e há uma 'power function' os associa, e são superiores, para todos os intervalos apresentados, aos resultados do trabalho do Susmel e Taylor.

4.4.3 FLEXÃO

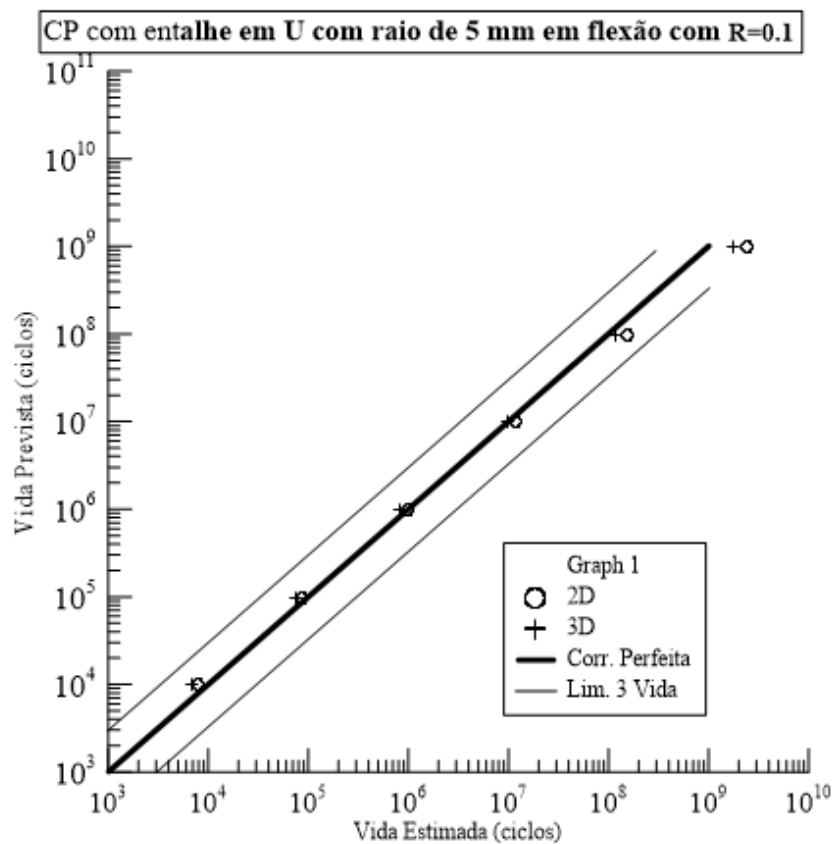


Figura 49: Vida Estimada para Corpo com entalhe em U de raio 5 mm, em flexão para R=0.1

Para os corpos em flexão, os resultados obtidos, também, tanto em regime de alta quanto de média vida, estão muito próximos à correlação perfeita, como indicativo mais uma vez que o regime de médio ciclo está predominantemente dentro do regime elástico, que L é um parâmetro que varia com o número de ciclos N e que há uma 'power function' que associa ambos. Os pesquisadores optaram por não apresentarem os resultados para o regime de flexão.

CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS

Uma parte primordial para gerar os demais resultados da metodologia desenvolvida é o estudo de convergência dos K_I s. Com a análise do K_I s numéricos gerados no Ansys comparados aos retirados do trabalho de Susmel e Taylor, é possível perceber que esse convergem e apresentam baixos erros, dentro do esperado.

Ao estudar-se as curvas levantadas para iteração de vida estimada, objetivo último da metodologia apresentada, as previsões na região de médio ciclo, assim como as obtidas no trabalho de referência, parecem ser mais acuradas que na região de alto ciclo, o que é um resultado surpreendente, levando-se em consideração que a teoria da distância crítica já vem sendo usada com sucesso em ciclos mais altos e esses intervalos foram usados na comparação justamente como parametro de sucesso na convergência.

Observa-se, que o nível de precisão encontrado nessas iterações parece corroborar as conclusões anteriores de que a curva L-N é sim uma curva material, variando apenas de material à material e com os regimes e as razões de carregamentos e que ela pode ser aplicada na previsão de corpos em regimes tanto de tração quanto flexão, sendo empregada não só para diversos entalhes quanto para diferentes regimes geradores de gradientes de tensões.

Corroborar também as premissas adotadas pelos pesquisadores que L é um parâmetro que varia com o número de ciclos N e há uma 'power function' que associa ambos e que, a médio ciclo, prevalece o regime elástico, e as conclusões a alto ciclo podem ser expandidas a esse regime.

Os resultados obtidos na aplicação da TDC para o Estado Plano de Tensões e o Estado Plano de Deformações foram semelhantes pois essa teoria é aplicada em termos da tensão principal na raiz do entalhe, e no caso específico da metodologia apresentada, todos os carregamentos foram aplicados em direção uniaxial.

É importante notar que para o entalhe maior, com furo de 8 mm, a teoria não apresentou precisão e os resultados ficaram, em geral, fora das margens inferiores e superiores de 3 vidas. Os motivos disso podem ser que o cálculo da tensão sobre região gross para entalhes tão grandes começa a apresentar grandes distorções, ou a tensão principal em entalhes grandes devem ser corrigidos por uma função adimensional que corrige a geometria do entalhe, como propõe Lazzarin (1997).

Foi possível notar que a Teoria da Distância Crítica é um método de fácil implementação, com baixa dependência experimental, pois usa constantes materiais presentes na literatura, ganha em praticidade pois evita o estudo de zonas plásticas geradas na saída do entalhe assim como pontos de singularidade para entalhes agudos, e quase sempre independe do entalhe. Como os resultados, quando fora dos limites inferiores e superiores de 3 vidas, foram quase sempre conservadores, a TDC pode ser aplicada à problemas práticos, pois apresentará um certo grau de segurança.

Trabalhos Futuros

No decorrer do desenvolvimento desse trabalho surgiram margens para novas pesquisas que podem ser desenvolvidas no futuro como,

1. Testar a TDC para os mesmos regimes, aproximada por outros métodos, como o método da linha e da área.
2. Testar a influência das razões de carregamento sobre a precisão da Teoria.
3. Estimar a influência na previsão da teoria utilizando o cálculo das tensões sob a região net e não gross.
4. Testar a influência de fatores adimensionais para corrigir a geometria do entalhe.
5. Testar a metodologia experimentalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, Ted L., and T. L. Anderson. Fracture mechanics: fundamentals and applications. CRC press, 2005.

ASTM (2011), "Standart Test Method for measurement of Fadigue Crack Growth Rates". In ASTM E 647

Broek, David. Elementary engineering fracture mechanics. Springer Science & Business Media, 2012.

Broek, David. The practical use of fracture mechanics. Springer Science & Business Media, 2012.

DA ROSA, Edison. "Mecânica da fratura e fadiga." Florianópolis: UFSC (2000).

Dowling, N. E. (1999), Mechanical Behavior of Naterials. 2ª e. Pearson-Pentice Hall. Nova Jersey, Estados Unidos.

Dowling, N. E. (2007), Mechanical Behavior of Naterials. 3ª e. Pearson-Pentice Hall. Nova Jersey, Estados Unidos.

El Haddad, M. H., Dowling, N. F., Topper, T. H., Smith, K. N. (1980), "J Integral applications for short fatigue cracks at notches", Int. J. Fracture, 16, 15-24.

Hosford, William F. Mechanical behavior of materials. Cambridge University Press, 2010.

Juvinall, Robert C., and Kurt M. Marshek. Fundamentals of machine component design. Vol. 83. New York: John Wiley e Sons, 2006.

Kim, Ho Sung. "Mechanics of Solids and Fracture." (2013).

Inglis, C. E. (1913), "Stress in a plate due to the presence of cracks and sharp corners, Proceedings, Institute of Naval Architects, 60.

Kasiri, ., Taylor, D. (2008), "A critical distance study of stress concentration in bone", Journal of Biomechanics, 41:603-609

Kitagawa, H., Takahashi, S. (1976), "Applicability of fracture mechanics to very small cracks or the cracks in the early stage", In: Proceedings of the 2º International Conference on Mechanical Behaviour of Materials. Boston, pp. 627-631.

Lee, Yung-Li. Fatigue testing and analysis: theory and practice. Vol. 13.

Butterworth-Heinemann, 2005.

Meyers, Marc A., and Krishan Kumar Chawla. Mechanical behavior of materials. Vol. 2. Cambridge: Cambridge university press, 2009.

Negru, R., et al. "Lifetime prediction in medium-cycle fatigue regime of notched specimens." *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* (2016).

Neuber H. (1936), *Forsch Ing-Wes*, 7:271-81.

Neuber, H.(1946), "Theory of otches", Ed. J. W. Edwards, Ann Harber, EUA.

Nicholas, Theodore. High cycle fatigue: a mechanics of materials perspective. Elsevier, 2006.

Norton, R. L (2004), "Projeto de máquinas: uma abordagem integrada", 2ª ed., Porto Alegre: Bookman.

Radaj, Dieter, and Michael Vormwald. Advanced methods of fatigue assessment. Heidelberg, Germany: Springer, 2013.

Paris, P.C. e Erdogan, F.J. (1963), "A critical analysis of crack propagation laws", In: *Int. J. of Basic Engineering*, 85, p. 528-34.

Pearson, R. E. (1975), "Initiation of fatigue crack in commercial aluminum alloys and the subsequent propagation of very short cracks", *Engineering Fracture Mechanics*, 7, pp. 235- 47.

Susmel, L. (2003), "A unifying approach to estimate the high-cycle fatigue strength of notched components subjected to both uniaxial and multiaxial cyclic loadings", *Fatigue Fract Engng Mater Struct*, 27, pp. 391-411.

Susmel, L. (2008), "The theory of critical distances: a review of its applications in fatigue", *Engineering Fracture Mechanics*, 75:1706-1724.

Susmel, L., Taylor, D. (2006), "A simplified approach to apply the theory of critical distances to notched components under torsional fatigue loading", *International Journal of Fatigue*, 28, pp. 417-430.

Susmel, L., Taylor, D. (2007), "A novel formulation of the Theory of Critical Distances to estimate Lifetime of Notched Components on the Medium-Cycle Fatigue Regime", *Fatigue Fract Engng Mater Struct*, 30 7:567-581.

Taylor, D. (2001), "A mechanistic approach to critical-distance methods in notch fatigue", *Fatigue Fract Engng Maeter Struct*, 24, pp. 215-24.

Taylor, D. (2004), "Predicting the fracture strength of ceramic materials using the theory of critical distances", *Engng Fract Mech*, 71:2407-16.

Anderson, Ted L., and T. L. Anderson. Fracture mechanics: fundamentals and applications. CRC press, 2005.

Cutrim, T. H. P. (2014). Aplicação do método da distância crítica para a previsão de vida em regime de médio ciclo.

Silva, B. L. D. (2010). Estratégia alternativa para a determinação do limiar de propagação de trincas através da teoria da distância crítica.

APÊNDICE A – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para $R=0,1$ em regime de tração

```
1      clc
2      clear
3      close all
4
5      filename = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\V_0_12a.txt';
6
7      %% Iniciar variaveis.
8      NOME = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\V_0_12a';
9      filename = strcat(NOME, '.txt');
10
11     startRow = 2;
12
13     %% Ler colunas de dados como strings:
14     %%Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15     formatSpec = '%13s%8s%[\n\r]';
16
17     %% Abrir arquivo de texto.
18     fileID = fopen(filename, 'r');
19
20     %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21     % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar
22     %este codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar
23     %regenerar o codigo pela ferramenta de importacao.
24     textscan(fileID, '%[\n\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25     dataArray =
26     textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '',
27     'ReturnOnError', false);
28
```

```
29     %% Fechar arquivo de texto.
30     fclose(fileID);
31
32     %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para
33     %% numeros.
34     % Substituir strings nao numericas por NaN.
35     raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
36     for col=1:length(dataArray)-1
37         raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
38     end
39     numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
40
41     for col=[1,2]
42         % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros.
43         %Substituir strings nao numerico com NaN.
44         rawData = dataArray{col};
45         for row=1:size(rawData, 1);
46             % Criar uma expressao regular para detectar e remover
47             %prefixos e sufixos nao-numericos.
48             regexstr = '(?<prefix>.*?) (?<numbers>([~]*\d+[~,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}[~]*\d*[i]{0,1})|([~]*\d+[~,]*)*[\.]{1,1}\d+[eEdD]{0,1}[~]*\d*[i]{0,1})) (?<suffix>.*)';
49
50             try
51
52                 result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
53                 numbers = result.numbers;
54
55                 % Detectetar virgulas nas casas de milhares
56                 invalidThousandsSeparator = false;
57                 if any(numbers==' ');
58                     thousandsRegExp = '^\\d+?(\\,\\d{3})*\\.\\{0,1\\}\\d*$';
59                     if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
60                         numbers = NaN;
61                         invalidThousandsSeparator = true;
62                     end
63                 end
64                 % Converter strings numericos em numeros.
65                 if ~invalidThousandsSeparator;
66                     numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
67                     numericData(row, col) = numbers{1};
68                     raw{row, col} = numbers{1};
69                 end
70             catch me
71             end
72         end
73     end
74 end
```

```
72         end
73     end
74
75     %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
76     J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),
77     raw),2); % Achar rows com celulas nao numericas
78     raw(J,:) = [];
79
80     %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
81     l = cell2mat(raw(:, 1));
82     S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
83
84     %% Limpar variaveis temporarias.
85     clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col
86     numericData rawData row regexstr result numbers
87     invalidThousandsSeparator thousandsRegExp me J;
88
89     %DEFINE A FAIXA DA TENSAO TRATIVA NA SECAO GROSS
90
91     K = 100;
92
93     Sgmin = 41.7;
94     Sgmax = 200.2004;
95
96     %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO
97
98     bg = -1/0.2681;
99     Ag = (1/1628.28)^bg;
100
101
102     %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
103
104     Am = 1916.22;
105     bm = -0.17825;
106
107     INC = (Sgmax-Sgmin)/(K-1);
108
109     for k=1:K
110
111         Sg(k) = Sgmin + (k-1)*INC;
112
113         S = S_REF*Sg(k);
114         p = polyfit(S,l,8);
```

```
115
116     % DEFINE VIDA DE FADIGA ASSOCIADAS A TENSAO gross NO CP ENTALHADO
117
118     N(k) = Ag*(Sg(k))^bg;
119
120     % ESTIMA A TENSAO DE RESISTENCIA DO MAT. EM FADIGA
121
122     Se(k) = Am*(N(k))^bm;
123
124     % ESTIMA A DISTANCIA CRITICA
125
126     lp(k) = polyval(p,Se(k))*2;
127
128     Kfg(k) = Se(k)/Sg(k);
129
130 end
131
132 figure
133 subplot(2,1,1);
134 semilogx(N,lp);
135 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
136 ylabel('Distancia Critica [mm]');
137 subplot(2,1,2);
138 semilogx(N,Kfg)
139 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
140 ylabel('Fator de Red. de Resistencia a Fadiga');
141
142 %% Fit: 'untitled fit 1'.
143 [xData, yData] = prepareCurveData( N, lp );
144
145 %Configurar fitttype e opcoes.
146 ft = fitttype( 'power1' );
147 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
148 opts.Display = 'Off';
149 opts.StartPoint = [19.653305110338 -0.253858658369811];
150
151 % Ajustar modelo aos dados.
152 [result, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
153
154 result
155
156 TAM = length(S_REF);
157
```

Apêndice A – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para $R=0,1$ em regime de tração

```
158     D_EST = strcat(NOME, '.DAT');
159     fid = fopen(D_EST, 'a');
160
161     for i=1:TAM
162         fprintf(fid, '%9.5e ;%9.5e\r\n', l(i), S_REF(i));
163     end
164
165     fclose(fid);
```

APÊNDICE B – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para $R=0,1$ em regime de flexão

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5  filename = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\Resultado_v_0_383_flex
6  ao.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\Resultado_v_0_383_flexao';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11
12 startRow = 2;
13
14 %% Ler colunas de dados como strings:
15 %%Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
16 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
17
18 %% Abrir arquivo de texto.
19 fileID = fopen(filename, 'r');
20
21 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
22 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar
23 %este codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar
24 %regenerar o codigo pela ferramenta de importacao.
25 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
26 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace',
27 ', ', 'ReturnOnError', false);
28

```

```
29 %% Fechar arquivo de texto.
30 fclose(fileID);
31
32 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para
33 %numeros. Substituir strings nao numericas por NaN.
34 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
35 for col=1:length(dataArray)-1
36     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
37 end
38 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
39
40 for col=[1,2]
41     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros.
42     %Substituir strings nao numerico com NaN.
43     rawData = dataArray{col};
44     for row=1:size(rawData, 1);
45         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e
46         %sufixos nao-numericos.
47         regexstr = '(?<prefix>.*?) (?<numbers>([-]*(\d+[,]*)+[\.]{0,1}\d*
48         [eEdD]{0,1}[-+]*\d*[i]{0,1})|([-]*(\d+[,]*)*[\.]{1,1}\d+[eEdD]
49         {0,1}[-+]*\d*[i]{0,1})) (?<suffix>.*)';
50         try
51             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
52             numbers = result.numbers;
53
54             % Detectetar virgulas nas casas de milhares
55             invalidThousandsSeparator = false;
56             if any(numbers==',' );
57                 thousandsRegExp = '^(\d+?([,,\d{3})*\.{0,1}\d*$)';
58                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
59                     numbers = NaN;
60                     invalidThousandsSeparator = true;
61                 end
62             end
63             % Converter strings numericos em numeros.
64             if ~invalidThousandsSeparator;
65                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
66                 numericData(row, col) = numbers{1};
67                 raw{row, col} = numbers{1};
68             end
69         catch me
70             end
71     end
```

Apêndice B – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para R=0,1 em regime de flexão

```
72 end
73
74 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
75 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x), raw), 2);
76 % Achar rows com celulas nao numericas
77 raw(J, :) = [];
78
79 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
80 l = cell2mat(raw(:, 1));
81 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
82
83 %% Limpar variaveis temporarias.
84 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col
85 numericData rawData row regexstr result numbers invalidThousandsSeparator
86 thousandsRegExp me J;
87
88 %DEFINE A FAIXA DA TENSAO TRATIVA NA SECAO GROSS
89
90 K = 100;
91
92 Sgmin = 110.7;
93 Sgmax = 250.2004;
94
95 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM FLEXAO
96
97 bg = -1/0.17575;
98 Ag = (1/1408.573)^bg;
99
100 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM FLEXAO
101
102 Am = 4512.599;
103 bm = -0.22523;
104
105 INC = (Sgmax-Sgmin)/(K-1);
106
107 for k=1:K
108
109     Sg(k) = Sgmin + (k-1)*INC;
110
111     S = S_REF*Sg(k);
112     p = polyfit(S, l, 8);
113
114     % DEFINE VIDA DE FADIGA ASSOCIADAS A TENSAO gross NO CP ENTALHADO
```



```
115
116     N(k) = Ag*(Sg(k))^bg;
117
118     % ESTIMA A TENSAO DE RESISTENCIA DO MAT. EM FADIGA
119
120     Se(k) = Am*(N(k))^bm;
121
122     % ESTIMA A DISTANCIA CRITICA
123
124     lp(k) = polyval(p,Se(k))*2;
125
126     Kfg(k) = Se(k)/Sg(k);
127
128 end
129
130 figure
131 subplot(2,1,1);
132 semilogx(N,lp);
133 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
134 ylabel('Distancia Critica [mm]');
135 subplot(2,1,2);
136 semilogx(N,Kfg)
137 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
138 ylabel('Fator de Red. de Resistencia a Fadiga');
139
140 %% Fit: 'untitled fit 1'.
141 [xData, yData] = prepareCurveData( N, lp );
142
143 %Configurar fitttype e opco-es.
144 ft = fitttype( 'power1' );
145 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
146 opts.Display = 'Off';
147 opts.StartPoint = [19.653305110338 -0.253858658369811];
148
149 % Ajustar modelo aos dados.
150 [result, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
151
152 result
153
154 TAM = length(S_REF);
155
156 D_EST = strcat(NOME, '.DAT');
157 fid = fopen(D_EST, 'a');
```

Apêndice B – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para $R=0,1$ em regime de flexão

```
158
159 for i=1:TAM
160 fprintf(fid, '%9.5e ; %9.5e\r\n', l(i), S_REF(i));
161 end
162
163 fclose(fid);
```

APÊNDICE C – Rotina do matlab para cálculo da distancia crítica pelo metodo do ponto para $R=-1$ em regime de tração

```
1 clc
2 clear
3 close all
4
5 filename = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\V_0_12a.txt';
6
7 %% Iniciar variaveis.
8 NOME = 'I:\Dropbox\Projetos de Graduacao\JOYCE\V_0_12a';
9 filename = strcat(NOME, '.txt');
10 startRow = 2;
11
12 %% Ler colunas de dados como strings:
13 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
14 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
15
16 %% Abrir arquivo de texto.
17 fileID = fopen(filename, 'r');
18
19 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
20 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
21 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar
22 %o codigo pela ferramenta de importacao.
23 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
24 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace',
25 ', ', 'ReturnOnError', false);
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);
```

```

29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para
31 %numeros. Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros.
40     $Substituir strings nao numerico com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e
44         $sufixos nao-numericos.
45         regexstr = '(?<prefix>.*?) (?<numbers>([-]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}
46         \d*[eEdD]{0,1}[-+]*\d*[i]{0,1}))|([-]*(\d+[\,]*)*[\.]{1,1}
47         \d+[eEdD]{0,1}[-+]*\d*[i]{0,1})) (?<suffix>.*)';
48         try
49             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
50             numbers = result.numbers;
51
52             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
53             invalidThousandsSeparator = false;
54             if any(numbers==',' );
55                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\, \d{3}))*\.{0,1}\d*$';
56                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
57                     numbers = NaN;
58                     invalidThousandsSeparator = true;
59                 end
60             end
61             % Converter strings numericos em numeros.
62             if ~invalidThousandsSeparator;
63                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
64                 numericData(row, col) = numbers{1};
65                 raw{row, col} = numbers{1};
66             end
67         catch me
68             end
69     end
70 end
71

```

```
72 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
73 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x), raw), 2);
74 % Encontrar rows com celulas nao numericas
75 raw(J,:) = [];
76
77 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
78 l = cell2mat(raw(:, 1));
79 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
80
81 %% Limpar variaveis temporarias.
82 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col
83 numericData rawData row regexstr result numbers invalidThousandsSeparator
84 thousandsRegExp me J;
85
86 %DEFINE A FAIXA DA TENSAO TRATIVA NA SECAO GROSS
87
88 K = 100;
89
90 Sgmin = 41.7;
91 Sgmax = 200.2004;
92
93 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO
94
95 bg = -1/0.26954;
96 Ag = (1/2396.8)^bg;
97
98 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
99
100 Am = 933.67;
101 bm = -0.10707;
102
103 INC = (Sgmax-Sgmin)/(K-1);
104
105 for k=1:K
106
107     Sg(k) = Sgmin + (k-1)*INC;
108
109     S = S_REF*Sg(k);
110     p = polyfit(S, l, 8);
111
112     % DEFINE VIDA DE FADIGA ASSOCIADAS A TENSAO gross NO CP ENTALHADO
113
114     N(k) = Ag*(Sg(k))^bg;
```

```
115
116     % ESTIMA A TENSAO DE RESISTENCIA DO MAT. EM FADIGA
117
118     Se(k) = Am*(N(k))^bm;
119
120     % ESTIMA A DISTANCIA CRITICA
121
122     lp(k) = polyval(p,Se(k))*2;
123
124     Kfg(k) = Se(k)/Sg(k);
125
126 end
127
128 figure
129 subplot(2,1,1);
130 semilogx(N,lp);
131 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
132 ylabel('Distancia Critica [mm]');
133 subplot(2,1,2);
134 semilogx(N,Kfg)
135 xlabel('Num. de Ciclos para Falha');
136 ylabel('Fator de Red. de Resistencia a Fadiga');
137
138
139 %% Fit: 'untitled fit 1'.
140 [xData, yData] = prepareCurveData( N, lp );
141
142 %Configurar fitttype e opcoes.
143 ft = fitttype( 'power1' );
144 opts = fitoptions( 'Method', 'NonlinearLeastSquares' );
145 opts.Display = 'Off';
146 opts.StartPoint = [19.653305110338 -0.253858658369811];
147
148 % Ajustar modelo aos dados.
149 [result, gof] = fit( xData, yData, ft, opts );
150
151 result
152
153 TAM = length(S_REF);
154
155 D_EST = strcat(NOME, '.DAT');
156 fid = fopen(D_EST, 'a');
157
```

```
158 for i=1:TAM
159 fprintf(fid, '%9.5e ; %9.5e\r\n', l(i), S_REF(i));
160 end
161
162 fclose(fid);
```

APÊNDICE D – Rotina no Ansys para o calculo do K_t CP D=3,5

```

1  FINISH
2  /CLEAR,START
3      mi/////////////////////////////////////////BATCH
4  /COM,ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
5  /input,menust,tmp,' ',,,,,,,,,,,,,,1
6  /GRA,POWER
7  /GST,ON
8  /PLO,INFO,3
9  /GRO,CURL,ON
10 /CPLANE,1
11 /REPLOT,RESIZE
12 WPSTYLE,,,,,,,,,0
13 /REPLOT,RESIZE
14
15 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
16
17 *AFUN,DEG
18
19 !ALTURA (METADE)
20
21 L = 75
22
23 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
24
25 Hg = 25
26
27 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
28
29 Hn = 23.25
30

```



```

31 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
32
33 R = 1.75
34
35 ! ANGULO DO ENTALHE
36
37 TETA = 0
38
39 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
40
41 K = 2
42
43 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
44
45 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
46
47 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
48
49 H_RE = R*COS(TETA)
50
51 ALT_ENT = R*COS(TETA)
52
53 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
54
55 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
56
57 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
58
59 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
60
61 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
62
63 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
64
65 AUX_1 = K*R
66
67 TETA1 = 60
68
69 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
70 Pinty = R*COS(TETA1)
71
72 /PREP7
73

```

```

74 !!!!!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
75 YOUNG = 200E3
76 POISSON = 0.3
77
78 !*
79 MPTEMP,,,,,,,,
80 MPTEMP,1,0
81 MPDATA,EX,1,,YOUNG
82 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
83
84 !!!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
85
86 !!!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!!!!
87 !*
88 ET,1,PLANE183
89 !*
90 KEYOPT,1,1,1
91 KEYOPT,1,3,0
92 KEYOPT,1,6,0
93
94 !!!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!
95
96 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
97
98 K,1,0,0,0,
99 K,2,Hn-2*AUX_1,
100 K,3,Hn-AUX_1,
101 K,4,Hn,,,
102 K,5,Pintx,Pinty,
103 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
104 K,7,HG,L,
105 K,8,0,L,
106 K,9,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
107 K,10,Hn-AUX_1, Pinty,
108
109 K,100,Hn+R
110
111 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
112
113 L,1,2
114 L,2,3
115 L,3,4
116 LARC,4,5,100,R

```

```

117 LARC,5,6,100,R
118 L,6,7
119 L,7,8
120 L,8,1
121
122 L,2,9
123 L,9,10
124 L,3,10
125 L,10,5
126
127 !!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
128
129 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
130 A,2,9,10,3,
131 A,3,10,5,4,
132
133 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
134 ESIZE,0.5*R
135
136 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
137
138 E1 = 100
139 E2 = 20
140 E3 = 40
141 E4 = 1
142 E5 = 40
143
144 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
145 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
146 LESIZE,11,,,20,2, !E2
147 LESIZE,12,,,40,2, !E3
148
149 LESIZE,4,,1,,,, !E4
150 LESIZE,5,,E4,,,,
151 !LESIZE,5,,,40,2, !E5
152
153 AMESH,ALL
154
155 !!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!
156
157 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
158
159 DL,1,1,SYMM

```

```
160 DL,2,2,SYMM
161 DL,3,3,SYMM
162
163 DK,1,UX,0
164
165 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
166
167 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
168
169 LSEL,S,LOC,Y,L
170
171 SFL,ALL,PRES,-1,
172
173 ALLSEL,ALL
174
175 FINISH
176
177 /SOL
178
179 !*
180
181 EQSLV,PCG,1E-8
182
183 /SOLVE
184
185 /STATUS,SOLU
186 SOLVE
187 FINISH
188
189 !!!!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
190
191 /POST1
192 !*
193
194 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
195
196 /EFACET,1
197 PLNSOL,U,Y,0,1.0
198 EPLOT
199 !*
200 /EFACET,1
201 PLNSOL,S,Y,0,1.0
202
```

```

203 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
204
205 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
206
207 PATH,Syy,2,30,1000,
208 PPATH,1,0,Hn,,,0,
209 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
210
211 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
212
213 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
214 AVPRIN,0, ,
215 PDEF, ,S,X,AVG
216 /PBC,PATH, ,0
217
218 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
219 AVPRIN,0, ,
220 PDEF, ,S,Y,AVG
221 /PBC,PATH, ,0
222
223 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
224
225 AVPRIN,0, ,
226 !*
227 PDEF, ,S,Z,AVG
228 /PBC,PATH, ,0
229 !*
230
231 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
232
233 AVPRIN,0, ,
234 !*
235 PDEF, ,S,EQV,AVG
236 /PBC,PATH, ,0
237 !*
238
239 PLPATH,SY

```

APÊNDICE E – Rotina no Ansys para o calculo do K_t CP D=8

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  mi/////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
17
18 *AFUN, DEG
19
20 !ALTURA (METADE)
21
22 L = 75
23
24 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
25
26 Hg = 25
27
28 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
29
30 Hn = 21

```

```

31
32 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
33
34 R = 4
35
36 ! ANGULO DO ENTALHE
37
38 TETA = 0
39
40 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
41
42 K = 2
43
44 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
45
46 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
47
48 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
49
50 H_RE = R*COS(TETA)
51
52 ALT_ENT = R*COS(TETA)
53
54 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
55
56 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
57
58 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
59
60 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
61
62 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
63
64 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
65
66 AUX_1 = K*R
67
68 TETA1 = 60
69
70 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
71 Pinty = R*COS(TETA1)
72
73 /PREP7

```

```

74      !!!!!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
75      YOUNG = 200E3
76      POISSON   = 0.3
77
78
79      !*
80      MPTEMP,,,,,,,,
81      MPTEMP,1,0
82      MPDATA,EX,1,,YOUNG
83      MPDATA,PRXY,1,,POISSON
84
85      !!!!!!!!!!! FINAL CHARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
86
87      !!!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!!!!
88      !*
89      ET,1,PLANE183
90      !*
91      KEYOPT,1,1,1
92      KEYOPT,1,3,0
93      KEYOPT,1,6,0
94
95      !!!!!!!!!!! FINAL CHARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!
96
97      !!!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
98
99      K,1,0,0,0,
100     K,2,Hn-2*AUX_1,
101     K,3,Hn-AUX_1,
102     K,4,Hn,,,
103     K,5,Pintx,Pinty,
104     K,6,H_ENT,ALT_ENT,
105     K,7,HG,L,
106     K,8,0,L,
107     K,9,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
108     K,10,Hn-AUX_1, Pinty,
109
110     K,100,Hn+R
111
112     !!!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
113
114     L,1,2
115     L,2,3
116     L,3,4

```



```

117 LARC,4,5,100,R
118 LARC,5,6,100,R
119 L,6,7
120 L,7,8
121 L,8,1
122 !L,9,1
123
124 L,2,9
125 L,9,10
126 L,3,10
127 L,10,5
128
129 !!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
130
131 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
132 A,2,9,10,3,
133 A,3,10,5,4,
134
135 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
136
137 ESIZE,0.5*R
138
139 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
140
141 E1 = 100
142 E2 = 20
143 E3 = 40
144 E4 = 1
145 E5 = 40
146
147 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
148 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
149 LESIZE,11,,,20,2, !E2
150 LESIZE,12,,,40,2, !E3
151
152 LESIZE,4,,1,,,, !E4
153 LESIZE,5,,E4,,,,
154
155 AMESH,ALL
156
157 !!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!
158
159 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO

```

```
160
161 DL,1,1,SYMM
162 DL,2,2,SYMM
163 DL,3,3,SYMM
164
165 DK,1,UX,0
166
167 !DL,8,1,SYMM
168
169 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
170
171 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
172
173 LSEL,S,LOC,Y,L
174
175 SFL,ALL,PRES,-1,
176
177 ALLSEL,ALL
178
179 FINISH
180
181 /SOL
182
183 ! *
184
185 EQSLV,PCG,1E-8
186
187 /SOLVE
188
189 /STATUS,SOLU
190 SOLVE
191 FINISH
192
193 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
194
195 /POST1
196 ! *
197
198 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
199
200 /EFACET,1
201 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
202 EPLLOT
```

```

203  !*
204  /EFACET,1
205  PLNSOL, S,Y, 0,1.0
206
207  !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
208
209  ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
210
211  PATH,Syy,2,30,1000,
212  PPATH,1,0,Hn,,,0,
213  PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
214
215  !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
216
217  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
218  AVPRIN,0, ,
219  PDEF, ,S,X,AVG
220  /PBC,PATH, ,0
221
222  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
223  AVPRIN,0, ,
224  PDEF, ,S,Y,AVG
225  /PBC,PATH, ,0
226
227  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
228
229  AVPRIN,0, ,
230  !*
231  PDEF, ,S,Z,AVG
232  /PBC,PATH, ,0
233  !*
234
235  !*  TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
236
237  AVPRIN,0, ,
238  !*
239  PDEF, ,S,EQV,AVG
240  /PBC,PATH, ,0
241  !*
242
243  PLPATH,SY

```

APÊNDICE F – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "v" com raio=0,012

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  mi/////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
17
18 *AFUN, DEG
19
20 !ALTURA (METADE)
21
22 L = 75
23
24 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
25
26 Hg = 25
27
28 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
29
30 Hn = 21

```

```

31
32 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
33
34 R = 0.12
35
36 ! ANGULO DO ENTALHE
37
38 TETA = 30
39
40 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
41
42 K = 2
43
44 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
45
46 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
47
48 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
49
50 H_RE = R*0.866
51
52 ALT_ENT = R*COS(TETA)
53
54 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
55
56 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
57
58 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
59
60 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
61
62 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
63
64 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
65
66 AUX_1 = K*R
67
68 /PREP7
69
70 !!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
71 YOUNG = 200E3
72 POISSON = 0.3
73

```

```

74  !*
75  MPTEMP,,,,,,,,
76  MPTEMP,1,0
77  MPDATA,EX,1,,YOUNG
78  MPDATA,PRXY,1,,POISSON
79
80  !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
81
82  !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
83  !*
84  ET,1,PLANE183
85  !*
86  KEYOPT,1,1,1
87  KEYOPT,1,3,0
88  KEYOPT,1,6,0
89
90  !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
91
92  !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!
93
94  K,,0,0,0,
95  K,,Hn-2*AUX_1,
96  K,,Hn-AUX_1,
97  K,,Hn,,,
98  K,,H_ENT,ALT_ENT,
99  K,,Hg,H_RASGO,
100 K,,HG,L,
101 K,,0,L,
102 K,,Hn-2*AUX_1, H_RE ,
103 K,,Hn-AUX_1, H_RE,
104
105 K,100,Hn+R
106
107 !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!
108
109 L,1,2
110 L,2,3
111 L,3,4
112 LARC,4,5,100,R
113 L,5,6
114 L,6,7
115 L,7,8
116 L,8,1

```

```
117 L,2,9
118 L,9,10
119 L,3,10
120 L,10,5
121
122 !!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
123
124 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
125 A,3,10,5,4,
126 A,2,9,10,3,
127
128 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
129
130 ESIZE,10*R
131
132 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
133
134 E1 = 100
135 E2 = 20
136 E3 = 40
137 E4 = 1
138 E5 = 40
139
140 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
141 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
142 LESIZE,11,,,20,2, !E2
143 LESIZE,12,,,40,2, !E3
144
145 LESIZE,4,,1,,,, !E4
146 LESIZE,5,,,40,2, !E5
147
148 AMESH,ALL
149
150 !!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!
151
152 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
153
154 DL,1,1,SYMM
155 DL,2,3,SYMM
156 DL,3,2,SYMM
157
158 DK,1,UX,0
159
```

```

160 !DL,8,1,SYMM
161
162 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
163
164 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
165
166 LSEL,S,LOC,Y,L
167
168 SFL,ALL,PRES,-1,
169
170 ALLSEL,ALL
171
172 FINISH
173
174 /SOL
175
176 !*
177
178 EQSLV,PCG,1E-8
179
180 !LSEL,S,LOC,Y,L
181 !NSLL,S,1
182 !CP,100,UY,ALL
183
184 !ALLSEL,ALL
185
186 /SOLVE
187
188 /STATUS,SOLU
189 SOLVE
190 FINISH
191
192 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
193
194 /POST1
195 !*
196
197 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
198
199 /EFACET,1
200 PLNSOL,U,Y,0,1.0
201 EPLOT
202 !*

```



```

203 /EFACET,1
204 PLNSOL, S,Y, 0,1.0
205
206 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
207
208 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
209
210 PATH,Syy,2,30,1000,
211 PPATH,1,0,Hn,,,0,
212 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
213
214 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
215
216 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
217 AVPRIN,0, ,
218 PDEF, ,S,X,AVG
219 /PBC,PATH, ,0
220
221 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
222 AVPRIN,0, ,
223 PDEF, ,S,Y,AVG
224 /PBC,PATH, ,0
225
226 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
227
228 AVPRIN,0, ,
229 !*
230 PDEF, ,S,Z,AVG
231 /PBC,PATH, ,0
232 !*
233
234 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
235
236 AVPRIN,0, ,
237 !*
238 PDEF, ,S,EQV,AVG
239 /PBC,PATH, ,0
240 !*
241
242 PLPATH,SY

```

APÊNDICE G – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "v" com raio=0,383 em regime de flexão

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3      mi/////////////////////////////////////////BATCH
4  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
5  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
6  /GRA, POWER
7  /GST, ON
8  /PLO, INFO, 3
9  /GRO, CURL, ON
10 /CPLANE, 1
11 /REPLOT, RESIZE
12 WPSTYLE,,,,,,,,,0
13 /REPLOT, RESIZE
14
15 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
16
17 *AFUN, DEG
18
19 !ALTURA (METADE)
20
21 L = 70
22
23 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
24
25 Hg = 25
26
27 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
28

```

```

29 Hn = 25-2.86
30
31
32 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
33
34 R = 0.383
35
36 !
37
38 ! ANGULO DO ENTALHE
39
40 TETA = 45/2
41
42 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
43
44 K = 3
45
46 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
47
48 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
49
50 ALT_ENT = R*COS(TETA)
51
52 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
53
54 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
55
56 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
57
58 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
59
60 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
61
62 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
63
64 AUX_1 = K*R
65
66 TETA1 = TETA/2
67
68 Pintx = Hn + R*(1-COS(TETA1))
69 Pinty = R*SIN(TETA1)
70
71 /PREP7

```

```

72
73 !!!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
74 YOUNG = 200E3
75 POISSON = 0.3
76
77 !*
78 MPTEMP,,,,,,,,
79 MPTEMP,1,0
80 MPDATA,EX,1,,YOUNG
81 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
82
83 !!!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
84
85 !!!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!!!!
86 !*
87 ET,1,PLANE183
88 !*
89 KEYOPT,1,1,1
90 KEYOPT,1,3,0
91 KEYOPT,1,6,0
92
93 !!!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!
94
95 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
96
97 K,1,0,0,0,
98 K,2,Hn-2*AUX_1,
99 K,3,Hn-AUX_1,
100 K,4,Hn,,,
101 K,5,Pintx,Pinty,
102 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
103 K,7,Hg,H_RASGO,
104 K,8,HG,L,
105 K,9,HG/2,L,
106 K,10,0,L,
107
108 K,1000,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
109 K,1001,Hn-AUX_1, Pinty,
110
111 K,100,Hn+R
112
113 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
114

```

```

115 L,1,2
116 L,2,3
117 L,3,4
118 LARC,4,5,100,R
119 LARC,5,6,100,R
120 L,6,7
121 L,7,8
122 L,8,9
123 L,9,10
124
125 L,10,1
126
127 L,2,1000
128 L,1000,1001
129 L,3,1001
130 L,1001,5
131
132 !!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
133
134 A,1,2,1000,1001,5,6,7,8,9,10,1
135 A,2,1000,1001,3,
136 A,3,1001,5,4,
137
138 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
139
140 ESIZE,10*R
141
142 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
143
144 E1 = 100
145 E2 = 50
146 E3 = 100
147 E4 = 100
148 E5 = 20
149 E6 = 40
150 E7 = 50
151 ERAIO = 1
152
153 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
154 LESIZE,14,,,E2,2, !E3
155
156 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
157 LESIZE,12,,,E2,2, !E3

```

```

158
159 LESIZE,1,,,E3,,,      !E1
160
161 LESIZE,11,,,E5,,,     !E1
162 LESIZE,13,,,E5,,      !E2
163
164 LESIZE,4,,ERAIO,,,,
165 LESIZE,5,,ERAIO,,,,
166
167 LESIZE,8,,,E5,2,      !E5
168 LESIZE,9,,,E5,2,      !E5
169
170 LESIZE,6,,,E5,2,      !E5
171 LESIZE,7,,,E6,2,      !E5
172 LESIZE,10,,,E6,2,     !E5
173
174 AMESH,3,
175 AMESH,2,
176 AMESH,1,
177
178 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!!!
179
180 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
181
182 DL,1,1,SYMM
183 DL,2,2,SYMM
184 DL,3,3,SYMM
185
186 DK,1,UX,0
187
188 !DL,8,1,SYMM
189
190 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
191
192 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
193
194 LSEL,S,LOC,Y,L,2*L
195 LSEL,R,LOC,X,0,1.01*HG/2
196
197 SFL,ALL,PRES,0,1
198
199 ALLSEL,ALL
200

```

```

201 LSEL,S,LOC,Y,L,2*L
202 LSEL,R,LOC,X,.99*HG/2,1.01*HG
203
204 SFL,ALL,PRES,-1,0
205
206 ALLSEL,ALL
207
208 FINISH
209
210 /SOL
211
212 ! *
213
214 EQSLV,PCG,1E-8
215
216 !LSEL,S,LOC,Y,L
217 !NSLL,S,1
218 !CP,100,UY,ALL
219
220 !ALLSEL,ALL
221
222 /SOLVE
223
224 /STATUS,SOLU
225 SOLVE
226 FINISH
227
228 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
229
230 /POST1
231 ! *
232
233 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
234
235 /EFACET,1
236 PLNSOL,U,Y,0,1.0
237 EPLOT
238 ! *
239 /EFACET,1
240 PLNSOL,S,Y,0,1.0
241
242 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
243

```

```
244 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
245
246 PATH,Syy,2,30,1000,
247 PPATH,1,0,Hn,,,0,
248 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
249
250 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
251
252 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
253 AVPRIN,0, ,
254 PDEF, ,S,X,AVG
255 /PBC,PATH, ,0
256
257 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
258 AVPRIN,0, ,
259 PDEF, ,S,Y,AVG
260 /PBC,PATH, ,0
261
262 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
263
264 AVPRIN,0, ,
265 !*
266 PDEF, ,S,Z,AVG
267 /PBC,PATH, ,0
268 !*
269
270 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
271
272 AVPRIN,0, ,
273 !*
274 PDEF, ,S,EQV,AVG
275 /PBC,PATH, ,0
276 !*
277
278 PLPATH,SY
```


APÊNDICE H – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "U" com raio=1,5

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4      mi/////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
17
18 *AFUN, DEG
19
20 !ALTURA (METADE)
21
22 L = 75
23
24 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
25
26 Hg = 25
27
28 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
29
30 Hn = 20

```

```

31
32 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
33
34 R = 1.5
35
36 !
37
38 ! ANGULO DO ENTALHE
39
40 TETA = 0
41
42 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
43
44 K = 2
45
46 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
47
48 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
49
50 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
51
52 H_RE = R*COS(TETA)
53
54 ALT_ENT = R*COS(TETA)
55
56 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
57
58 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
59
60 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
61
62 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
63
64 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
65
66 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
67
68 AUX_1 = K*R
69
70 TETA1 = 60
71
72 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
73 Pinty = R*COS(TETA1)

```

```

74
75 /PREP7
76
77 !!!!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
78 YOUNG = 200E3
79 POISSON = 0.3
80
81 !*
82 MPTEMP,,,,,,,,
83 MPTEMP,1,0
84 MPDATA,EX,1,,YOUNG
85 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
86
87 !!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
88
89 !!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!!!
90 !*
91 ET,1,PLANE183
92 !*
93 KEYOPT,1,1,1
94 KEYOPT,1,3,0
95 KEYOPT,1,6,0
96
97 !!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
98
99 !!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
100
101 K,1,0,0,0,
102 K,2,Hn-2*AUX_1,
103 K,3,Hn-AUX_1,
104 K,4,Hn,,,
105 K,5,Pintx,Pinty,
106 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
107 K,7,Hg,H_RASGO,
108 K,8,HG,L,
109 K,9,0,L,
110 K,10,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
111 K,11,Hn-AUX_1, Pinty,
112
113 K,100,Hn+R
114
115 !!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
116

```

```
117 L,1,2
118 L,2,3
119 L,3,4
120 LARC,4,5,100,R
121 LARC,5,6,100,R
122 L,6,7
123 L,7,8
124 L,8,9
125 L,9,1
126
127 L,2,10
128 L,10,11
129 L,3,11
130 L,11,5
131
132 FINISH
133 /CLEAR,START
134
135      mi/////////////////////////////////////////BATCH
136 /COM,ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
137 /input,menust,tmp,' ',,,,,,,,,,,,,,1
138 /GRA,POWER
139 /GST,ON
140 /PLO,INFO,3
141 /GRO,CURL,ON
142 /CPLANE,1
143 /REPLOT,RESIZE
144 WPSTYLE,,,,,,,,,0
145 /REPLOT,RESIZE
146
147 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
148
149 *AFUN,DEG
150
151 !ALTURA (METADE)
152
153 L = 75
154
155 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
156
157 Hg = 25
158
159 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
```

```

160
161 Hn = 21
162
163 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
164
165 R = 4
166
167 ! ANGULO DO ENTALHE
168 TETA = 0
169
170 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
171
172 K = 2
173
174 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
175
176 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
177
178 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
179
180 H_RE = R*COS(TETA)
181
182 ALT_ENT = R*COS(TETA)
183
184 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
185
186 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
187
188 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
189
190 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
191
192 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
193
194 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
195
196 AUX_1 = K*R
197
198 TETA1 = 60
199
200 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
201 Pinty = R*COS(TETA1)
202

```



```

246 L,3,4
247 LARC,4,5,100,R
248 LARC,5,6,100,R
249 L,6,7
250 L,7,8
251 L,8,1
252 !L,9,1
253
254 L,2,9
255 L,9,10
256 L,3,10
257 L,10,5
258
259 !!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
260
261 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
262 A,2,9,10,3,
263 A,3,10,5,4,
264
265 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
266
267 ESIZE,0.5*R
268
269 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
270
271 E1 = 100
272 E2 = 20
273 E3 = 40
274 E4 = 1
275 E5 = 40
276
277 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
278 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
279 LESIZE,11,,,20,2, !E2
280 LESIZE,12,,,40,2, !E3
281
282 LESIZE,4,,1,,,, !E4
283 LESIZE,5,,E4,,,,
284
285 AMESH,ALL
286 !!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!
287
288 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO

```

```

289
290 DL,1,1,SYMM
291 DL,2,2,SYMM
292 DL,3,3,SYMM
293
294 DK,1,UX,0
295
296 !DL,8,1,SYMM
297
298 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
299
300 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
301
302 LSEL,S,LOC,Y,L
303
304 SFL,ALL,PRES,-1,
305
306 ALLSEL,ALL
307
308 FINISH
309
310 /SOL
311
312 ! *
313
314 EQSLV,PCG,1E-8
315
316 /SOLVE
317
318 /STATUS,SOLU
319 SOLVE
320 FINISH
321
322 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
323
324 /POST1
325 ! *
326
327 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
328
329 /EFACET,1
330 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
331 EPLLOT

```



```
332  !*
333  /EFACET,1
334  PLNSOL, S,Y, 0,1.0
335
336  !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
337
338  ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
339
340  PATH,Syy,2,30,1000,
341  PPATH,1,0,Hn,,,0,
342  PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
343
344  !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
345
346  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
347  AVPRIN,0, ,
348  PDEF, ,S,X,AVG
349  /PBC,PATH, ,0
350
351  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
352  AVPRIN,0, ,
353  PDEF, ,S,Y,AVG
354  /PBC,PATH, ,0
355
356  !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
357
358  AVPRIN,0, ,
359  !*
360  PDEF, ,S,Z,AVG
361  /PBC,PATH, ,0
362  !*
363
364  !*  TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
365
366  AVPRIN,0, ,
367  !*
368  PDEF, ,S,EQV,AVG
369  /PBC,PATH, ,0
370  !*
371
372  PLPATH,SY
```

APÊNDICE I – Rotina no Ansys para o calculo do K_t entalhe em "U" com raio=5 em regime de flexão

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4      mi/////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
17
18 *AFUN, DEG
19
20 !ALTURA (METADE)
21
22 L = 70
23
24 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
25
26 Hg = 25
27
28 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET

```

```
29
30 Hn = 19
31
32 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
33
34 R = 5
35
36 ! ANGULO DO ENTALHE
37
38 TETA = 0
39
40 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
41
42 K = 1.5
43
44 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
45
46 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
47
48 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
49
50 H_RE = R*COS(TETA)
51
52 ALT_ENT = R*COS(TETA)
53
54 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
55
56 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
57
58 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
59
60 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
61
62 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
63
64 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
65
66 AUX_1 = K*R
67
68 TETA1 = 60
69
70 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
71 Pinty = R*COS(TETA1)
```

```

72
73 /PREP7
74
75 !!!!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
76 YOUNG = 200E3
77 POISSON = 0.3
78
79 !*
80 MPTEMP,,,,,,,,
81 MPTEMP,1,0
82 MPDATA,EX,1,,YOUNG
83 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
84
85 !!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
86
87 !!!!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!!!
88 !*
89 ET,1,PLANE183
90 !*
91 KEYOPT,1,1,1
92 KEYOPT,1,3,0
93 KEYOPT,1,6,0
94
95 !!!!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
96
97 !!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
98
99 K,1,0,0,0,
100 K,2,Hn-2*AUX_1,
101 K,3,Hn-AUX_1,
102 K,4,Hn,,,
103 K,5,Pintx,Pinty,
104 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
105 K,7,Hg,H_RASGO,
106 K,8,HG,L,
107 K,9,HG/2,L,
108 K,10,0,L,
109
110 K,1000,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
111 K,1001,Hn-AUX_1, Pinty,
112
113 K,100,Hn+R
114

```

```

115 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
116
117 L,1,2
118 L,2,3
119 L,3,4
120 LARC,4,5,100,R
121 LARC,5,6,100,R
122 L,6,7
123 L,7,8
124 L,8,9
125 L,9,10
126
127 L,10,1
128
129 L,2,1000
130 L,1000,1001
131 L,3,1001
132 L,1001,5
133
134 !!!!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
135
136 A,1,2,1000,1001,5,6,7,8,9,10,1
137 A,2,1000,1001,3,
138 A,3,1001,5,4,
139
140 !!!!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!!!
141
142 ESIZE,10*R
143
144 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
145
146 E1 = 30
147 E2 = 20
148 E3 = 40
149 E4 = 1
150 E5 = 20
151 E6 = 40
152 e7 = 50
153
154 LESIZE,3,,,E1,,,      !E1
155 LESIZE,2,,,E1,,,      !E1
156 LESIZE,1,,,E7,,,      !E1
157 LESIZE,11,,,E2,2,      !E2

```

```

158
159 LESIZE,13,,,E3,2,      !E3
160
161 LESIZE,4,,,E4,,,,      !E4
162 LESIZE,5,,,E4,,,,      !E4
163
164 LESIZE,8,,,E5,2,      !E5
165 LESIZE,9,,,E5,2,      !E5
166
167 LESIZE,6,,,E5,2,      !E5
168 LESIZE,7,,,E6,2,      !E5
169 LESIZE,10,,,E6,2,     !E5
170
171 AMESH,ALL
172 !!!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!!
173
174 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
175
176 DL,1,1,SYMM
177 DL,2,2,SYMM
178 DL,3,3,SYMM
179
180 DK,1,UX,0
181
182 !DL,8,1,SYMM
183
184 !CONDICOES APLICACAO DE CARGA
185
186 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
187
188 LSEL,S,LOC,Y,L,2*L
189 LSEL,R,LOC,X,0,1.01*HG/2
190
191 SFL,ALL,PRES,0,1
192
193 ALLSEL,ALL
194
195 LSEL,S,LOC,Y,L,2*L
196 LSEL,R,LOC,X,.99*HG/2,1.01*HG
197
198 SFL,ALL,PRES,-1,0
199
200 ALLSEL,ALL

```

```
201
202 FINISH
203
204 /SOL
205
206 ! *
207
208 EQSLV,PCG,1E-8
209
210 !LSEL,S,LOC,Y,L
211 !NSLL,S,1
212 !CP,100,UY,ALL
213
214 !ALLSEL,ALL
215
216 /SOLVE
217
218 /STATUS,SOLU
219 SOLVE
220 FINISH
221
222 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
223
224 /POST1
225 ! *
226
227 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
228
229 /EFACET,1
230 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
231 EPLOT
232 ! *
233 /EFACET,1
234 PLNSOL, S,Y, 0,1.0
235
236 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
237
238 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
239
240 PATH,Syy,2,30,1000,
241 PPATH,1,0,Hn,,,0,
242 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
243
```

```
244 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
245
246 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
247 AVPRIN,0, ,
248 PDEF, ,S,X,AVG
249 /PBC,PATH, ,0
250
251 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
252 AVPRIN,0, ,
253 PDEF, ,S,Y,AVG
254 /PBC,PATH, ,0
255
256 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
257
258 AVPRIN,0, ,
259 !*
260 PDEF, ,S,Z,AVG
261 /PBC,PATH, ,0
262 !*
263
264 !*  TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
265
266 AVPRIN,0, ,
267 !*
268 PDEF, ,S,EQV,AVG
269 /PBC,PATH, ,0
270 !*
271 PLPATH,SY
```


APÊNDICE J – Rotina no Ansys para o calculo do K_t do CP com furo de 3.5 mm para o caso 3D

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4      mi//////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 75
24
25 %!COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```
29  %!COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
30
31  Hn = 23.25
32
33
34  %!RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36  R = 1.75
37
38  !
39
40  ! ANGULO DO ENTALHE
41
42  TETA = 0
43
44  ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46  K = 2
47
48  !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
49
50  !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52  !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54  H_RE = R*COS(TETA)
55
56  ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58  !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60  H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
61
62  !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64  U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
65
66  H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68  !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70  AUX_1 = K*R
71
```

```

72
73 TETA1 = 60
74
75
76 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
77 Pinty = R*COS(TETA1)
78
79 !ESPESSURA DO CP
80
81 ESP = 6
82
83 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
84
85 D_ESP = 10
86
87 /PREP7
88
89
90 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
91 YOUNG = 200E3
92 POISSON = 0.3
93
94 !*
95 MPTEMP,,,,,,,,
96 MPTEMP,1,0
97 MPDATA,EX,1,,YOUNG
98 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
99
100 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
101
102
103 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
104 !*
105 ET,1,PLANE183
106 !*
107 KEYOPT,1,1,1
108 KEYOPT,1,3,0
109 KEYOPT,1,6,0
110
111 ET,2,SOLID186
112 !*
113 KEYOPT,2,2,0
114 KEYOPT,2,3,0

```

```

115 KEYOPT,2,6,0
116
117 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
118
119
120 !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
121
122 K,1,0,0,0,
123 K,2,Hn-2*AUX_1,
124 K,3,Hn-AUX_1,
125 K,4,Hn,,,
126 K,5,Pintx,Pinty,
127 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
128 !K,7,Hg,H_RASGO,
129 K,7,HG,L,
130 K,8,0,L,
131 K,9,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
132 K,10,Hn-AUX_1, Pinty,
133
134 K,100,Hn+R
135
136 !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
137
138
139 L,1,2
140 L,2,3
141 L,3,4
142 LARC,4,5,100,R
143 LARC,5,6,100,R
144 L,6,7
145 L,7,8
146 L,8,1
147 !L,9,1
148
149 L,2,9
150 L,9,10
151 L,3,10
152 L,10,5
153 !!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
154
155
156 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
157 A,3,10,5,4,

```

```
158 A,2,9,10,3,
159
160
161
162 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
163
164
165
166 !ESIZE,1*R
167
168 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
169
170
171 !E1 = 100
172 !E2 = 20
173 !E3 = 40
174 !E4 = 1
175 !E5 = 50
176
177
178
179 !LESIZE,3,,,E1,,, !E1
180 !LESIZE,2,,,E1,,, !E1
181 !LESIZE,10,,,E5,2, !E2
182 !LESIZE,12,,,E5,2, !E3
183
184 !LESIZE,4,,E4,,,, !E4
185 !LESIZE,5,,E4,,,, !E4
186
187 !LESIZE,8,,,40,2, !E5
188
189
190 !AMESH,ALL
191
192 ESIZE,0.5*R
193
194 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
195
196
197 E3 = 70
198 E2 = 30
199 E4 = 1
200 E11 = 15
```

```

201 E12 = 15
202
203
204
205 LESIZE,3,,,E3,,, !E1
206 LESIZE,2,,,E2,,, !E1
207 LESIZE,11,,,E11,2, !E2
208 LESIZE,12,,,E12,2, !E3
209
210 LESIZE,4,,,E4,,,, !E4
211 LESIZE,5,,,E4,,,,
212 !LESIZE,5,,,20,2, !E5
213
214
215 AMESH,ALL
216
217 !!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
218
219 TYPE, 2
220 MAT, 1
221 REAL,
222 ESYS, 0
223 SECNUM,
224
225 ESPAC = 1/10
226 TYPE, 2
227 EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
228 EXTOPT,ACLEAR,0
229 !*
230 EXTOPT,ATTR,0,0,0
231 MAT,1
232 REAL,_Z4
233 ESYS,0
234
235 VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
236
237 !!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!
238
239 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
240
241 !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
242
243 ASEL,S,LOC,Y,0

```

```
244 DA, ALL, SYMM
245
246 !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR CONDICAO DE EPD OU EPT
247
248 ASEL, S, LOC, Z, 0
249 DA, ALL, SYMM
250
251 LSEL, S, LOC, X, 0
252 LSEL, R, LOC, Y, 0
253
254 DL, ALL, , UX, 0
255
256 ALLSEL, ALL
257
258 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
259
260 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
261
262 ASEL, S, LOC, Y, L
263
264 SFA, ALL, 1, PRES, -1
265
266 ALLSEL, ALL
267
268 FINISH
269
270 /SOL
271
272 ! *
273
274 EQSLV, PCG, 1E-8
275
276 !LSEL, S, LOC, Y, L
277 !NSLL, S, 1
278 !CP, 100, UY, ALL
279
280
281 ALLSEL, ALL
282
283 ESEL, U, ENAME, , PLANE183
284 /SOLVE
285
286 /STATUS, SOLU
```

```

287 SOLVE
288 FINISH
289
290 /POST1
291 !*
292 /EFACET,1
293 PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
294
295
296 !/EOF
297
298 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
299
300 /POST1
301 !*
302
303 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
304
305 /EFACET,1
306 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
307 EPLLOT
308 !*
309 /EFACET,1
310 PLNSOL, S,Y, 0,1.0
311
312
313 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
314
315 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
316
317 PATH,Syy,2,30,1000,
318 PPATH,1,0,Hn,,,0,
319 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
320
321 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
322
323
324 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
325 AVPRIN,0, ,
326 PDEF, ,S,X,AVG
327 /PBC,PATH, ,0
328
329 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE

```



```
330 AVPRIN,0, ,
331 PDEF, ,S,Y,AVG
332 /PBC,PATH, ,0
333
334 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
335
336 AVPRIN,0, ,
337 !*
338 PDEF, ,S,Z,AVG
339 /PBC,PATH, ,0
340 !*
341
342 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
343
344
345 AVPRIN,0, ,
346 !*
347 PDEF, ,S,EQV,AVG
348 /PBC,PATH, ,0
349 !*
350
351
352 !PLPATH,SY
```

APÊNDICE K – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com furo de 8 mm para o caso 3D

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4      mi/////////////////////////////////////////BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ', , , , , , , , , , 1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE, , , , , , , 0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 75
24
25 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```
29 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
30
31 Hn = 21
32
33
34 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36 R = 4
37
38 !
39
40 ! ANGULO DO ENTALHE
41
42 TETA = 0
43
44 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46 K = 2
47
48 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
49
50 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54 H_RE = R*COS(TETA)
55
56 ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
61
62 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
65
66 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70 AUX_1 = K*R
71
```

```
72
73 TETA1 = 60
74
75
76 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
77 Pinty = R*COS(TETA1)
78
79 !ESPESSURA DO CP
80
81 ESP = 6
82
83 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
84
85 D_ESP = 10
86
87 /PREP7
88
89
90 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
91 YOUNG = 200E3
92 POISSON = 0.3
93
94 !*
95 MPTEMP,,,,,,,,
96 MPTEMP,1,0
97 MPDATA,EX,1,,YOUNG
98 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
99
100 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
101
102
103 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
104 !*
105 ET,1,PLANE183
106 !*
107 KEYOPT,1,1,1
108 KEYOPT,1,3,0
109 KEYOPT,1,6,0
110
111 ET,2,SOLID186
112 !*
113 KEYOPT,2,2,0
114 KEYOPT,2,3,0
```

```

115 KEYOPT,2,6,0
116
117 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
118
119
120 !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
121
122 K,1,0,0,0,
123 K,2,Hn-2*AUX_1,
124 K,3,Hn-AUX_1,
125 K,4,Hn,,,
126 K,5,Pintx,Pinty,
127 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
128 !K,7,Hg,H_RASGO,
129 K,7,HG,L,
130 K,8,0,L,
131 K,9,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
132 K,10,Hn-AUX_1, Pinty,
133
134 K,100,Hn+R
135
136 !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
137
138
139 L,1,2
140 L,2,3
141 L,3,4
142 LARC,4,5,100,R
143 LARC,5,6,100,R
144 L,6,7
145 L,7,8
146 L,8,1
147 !L,9,1
148
149 L,2,9
150 L,9,10
151 L,3,10
152 L,10,5
153
154
155
156 !!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
157

```

```
158
159 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
160 A,3,10,5,4,
161 A,2,9,10,3,
162
163
164
165 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
166
167
168
169 !ESIZE,1*R
170
171 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
172
173
174 !E1 = 100
175 !E2 = 20
176 !E3 = 40
177 !E4 = 1
178 !E5 = 50
179
180
181
182 !LESIZE,3,,,E1,,, !E1
183 !LESIZE,2,,,E1,,, !E1
184 !LESIZE,10,,,E5,2, !E2
185 !LESIZE,12,,,E5,2, !E3
186
187 !LESIZE,4,,,E4,,,, !E4
188 !LESIZE,5,,,E4,,,, !E4
189
190 !LESIZE,8,,,40,2, !E5
191
192
193 !AMESH,ALL
194
195 ESIZE,0.2*R
196
197 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
198
199
200 E3 = 70
```

```
201 E2 = 30
202 E4 = 1
203 E11 = 15
204 E12 = 15
205
206
207
208 LESIZE,3,,,E3,,, !E1
209 LESIZE,2,,,E2,,, !E1
210 LESIZE,11,,,E11,2, !E2
211 LESIZE,12,,,E12,2, !E3
212
213 LESIZE,4,,E4,,,, !E4
214 LESIZE,5,,E4,,,,
215 !LESIZE,5,,,20,2, !E5
216
217
218 AMESH,ALL
219
220 !!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
221
222 TYPE, 2
223 MAT, 1
224 REAL,
225 ESYS, 0
226 SECNUM,
227
228 ESPAC = 1/10
229 TYPE, 2
230 EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
231 EXTOPT,ACLEAR,0
232 !*
233 EXTOPT,ATTR,0,0,0
234 MAT,1
235 REAL,_Z4
236 ESYS,0
237
238 VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
239
240 !!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!
241
242 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
243
```

```
244 !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
245
246 ASEL,S,LOC,Y,0
247 DA, ALL,SYMM
248
249 !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR CODICAO DE EPD OU EPT
250
251 ASEL,S,LOC,Z,0
252 DA, ALL,SYMM
253
254 LSEL,S,LOC,X,0
255 LSEL,R,LOC,Y,0
256
257 DL,ALL, ,UX,0
258
259 ALLSEL,ALL
260
261 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
262
263 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
264
265 ASEL,S,LOC,Y,L
266
267 SFA,ALL,1,PRES,-1
268
269 ALLSEL,ALL
270
271 FINISH
272
273 /SOL
274
275 !*
276
277 EQSLV,PCG,1E-8
278
279 !LSEL,S,LOC,Y,L
280 !NSLL,S,1
281 !CP,100,UY,ALL
282
283
284 ALLSEL,ALL
285
286 ESEL,U,ENAME,,PLANE183
```



```
287 /SOLVE
288
289 /STATUS,SOLU
290 SOLVE
291 FINISH
292
293 /POST1
294 !*
295 /EFACET,1
296 PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
297
298
299 !/EOF
300
301 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
302
303 /POST1
304 !*
305
306 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
307
308 /EFACET,1
309 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
310 EPLLOT
311 !*
312 /EFACET,1
313 PLNSOL, S,Y, 0,1.0
314
315
316 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
317
318 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
319
320 PATH,Syy,2,30,1000,
321 PPATH,1,0,Hn,,,0,
322 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
323
324 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
325
326
327 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
328 AVPRIN,0, ,
329 PDEF, ,S,X,AVG
```

```
330 /PBC,PATH, ,0
331
332 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
333 AVPRIN,0, ,
334 PDEF, ,S,Y,AVG
335 /PBC,PATH, ,0
336
337 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
338
339 AVPRIN,0, ,
340 !*
341 PDEF, ,S,Z,AVG
342 /PBC,PATH, ,0
343 !*
344
345 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
346
347
348 AVPRIN,0, ,
349 !*
350 PDEF, ,S,EQV,AVG
351 /PBC,PATH, ,0
352 !*
353
354
355 !PLPATH,SY
```

APÊNDICE L – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em U de 1.5 mm para o caso 3D

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  /BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 75
24
25 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```

29 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
30
31 Hn = 20
32
33
34 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36 R = 1.5
37
38 !
39
40 ! ANGULO DO ENTALHE
41
42 TETA = 0
43
44 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46 K = 2
47
48 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
49
50 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54 H_RE = R
55
56 ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
61
62 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
65
66 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70 AUX_1 = K*R
71

```

```
72 TETA1 = 1
73
74
75 Pintx = Hn + R*(1-SIN(TETA1))
76 Pinty = R + 0.01
77
78
79
80 !ESPESSURA DO CP
81
82 ESP = 6
83
84 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
85
86 D_ESP = 10
87
88
89 /PREP7
90
91
92 !!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
93 YOUNG = 200E3
94 POISSON = 0.3
95
96 !*
97 MPTEMP,,,,,,,,
98 MPTEMP,1,0
99 MPDATA,EX,1,,YOUNG
100 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
101
102 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
103
104
105 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
106 !*
107 ET,1,PLANE183
108 !*
109 KEYOPT,1,1,1
110 KEYOPT,1,3,0
111 KEYOPT,1,6,0
112
113
114 ET,2,SOLID186
```

```

115  !*
116  KEYOPT,2,2,0
117  KEYOPT,2,3,0
118  KEYOPT,2,6,0
119
120  !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
121
122
123  !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
124
125  K,,0,0,0,
126  K,,Hn-2*AUX_1,
127  K,,Hn-AUX_1,
128  K,,Hn,,,
129  K,,H_ENT,ALT_ENT,
130  K,,Hg,H_RASGO,
131  K,,HG,L,
132  K,,0,L,
133  K,,Hn-2*AUX_1, Pinty,
134  K,,Hn-AUX_1, Pinty,
135
136  K,100,Hn+R
137
138  !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
139
140
141  L,1,2
142  L,2,3
143  L,3,4
144  LARC,4,5,100,R
145  L,5,6
146  L,6,7
147  L,7,8
148  L,8,1
149  L,2,9
150  L,9,10
151  L,3,10
152  L,10,5
153
154
155
156  !!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
157

```

```
158
159 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
160 A,3,10,5,4,
161 A,2,9,10,3,
162
163 AGLUE, ALL
164
165 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
166
167
168
169 ESIZE,0.5*R
170
171 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
172
173
174 E3 = 70
175 E2 = 30
176 E4 = 1
177 E11 = 15
178 E12 = 15
179
180
181 LESIZE,3,,,E3,,, !E3
182 LESIZE,2,,,E2,,, !E2
183 LESIZE,11,,,E11,2, !E11
184 LESIZE,12,,,E12,2, !E12
185
186 LESIZE,4,,E4,,,, !E4
187 LESIZE,5,,,20,2, !E5
188
189
190 AMESH,ALL
191
192
193 !!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
194
195 TYPE, 2
196 MAT, 1
197 REAL,
198 ESYS, 0
199 SECNUM,
200
```

```

201  ESPAC = 1/10
202  TYPE, 2
203  EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
204  EXTOPT,ACLEAR,0
205  !*
206  EXTOPT,ATTR,0,0,0
207  MAT,1
208  REAL,_Z4
209  ESYS,0
210
211  VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
212
213
214  !!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!
215
216  !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
217
218  !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
219
220  ASEL,S,LOC,Y,0
221  DA, ALL,SYMM
222
223  !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR CODICAO DE EPD OU EPT
224
225  ASEL,S,LOC,Z,0
226  DA, ALL,SYMM
227
228  LSEL,S,LOC,X,0
229  LSEL,R,LOC,Y,0
230
231  DL,ALL, ,UX,0
232
233  ALLSEL,ALL
234
235  !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
236
237  !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
238
239  ASEL,S,LOC,Y,L
240
241  SFA,ALL,1,PRES,-1
242
243  ALLSEL,ALL

```



```
244
245 FINISH
246
247 /SOL
248
249 ! *
250
251 EQSLV,PCG,1E-8
252
253 !LSEL,S,LOC,Y,L
254 !NSLL,S,1
255 !CP,100,UY,ALL
256
257
258 ALLSEL,ALL
259
260 ESEL,U,ENAME,,PLANE183
261 /SOLVE
262
263 /STATUS,SOLU
264 SOLVE
265 FINISH
266
267 /POST1
268 ! *
269 /EFACET,1
270 PLNSOL, S,EQV, 0,1.0
271
272
273 !/EOF
274
275 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
276
277 /POST1
278 ! *
279
280 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
281
282 /EFACET,1
283 PLNSOL, U,Y, 0,1.0
284 EPLOT
285 ! *
286 /EFACET,1
```

```

287 PLNSOL, S,Y, 0,1.0
288
289
290 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
291
292 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
293
294 PATH,Syy,2,30,1000,
295 PPATH,1,0,Hn,,,0,
296 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
297
298 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
299
300
301 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
302 AVPRIN,0, ,
303 PDEF, ,S,X,AVG
304 /PBC,PATH, ,0
305
306 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
307 AVPRIN,0, ,
308 PDEF, ,S,Y,AVG
309 /PBC,PATH, ,0
310
311 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
312
313 AVPRIN,0, ,
314 !*
315 PDEF, ,S,Z,AVG
316 /PBC,PATH, ,0
317 !*
318
319 !*  TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
320
321
322 AVPRIN,0, ,
323 !*
324 PDEF, ,S,EQV,AVG
325 /PBC,PATH, ,0
326 !*
327
328 !PLPATH,SY

```

APÊNDICE M – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em v de 0.12 mm para o caso 3D

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  /BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 75
24
25 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```

29 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL - NET
30
31 Hn = 21
32
33
34 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36 R = 0.12
37
38 !
39
40 ! ANGULO DO ENTALHE
41
42 TETA = 30
43
44 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46 K = 2
47
48 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
49
50 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54 H_RE = R*0.866
55
56 ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
61
62 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
65
66 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70 AUX_1 = K*R
71

```

```
72
73 !ESPESSURA DO CP
74
75 ESP = 6
76
77 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
78
79 D_ESP = 10
80
81
82 /PREP7
83
84
85 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
86 YOUNG = 200E3
87 POISSON = 0.3
88
89 !*
90 MPTEMP,,,,,,,,
91 MPTEMP,1,0
92 MPDATA,EX,1,,YOUNG
93 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
94
95 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
96
97
98 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
99 !*
100 ET,1,PLANE183
101 !*
102 KEYOPT,1,1,1
103 KEYOPT,1,3,0
104 KEYOPT,1,6,0
105
106
107 ET,2,SOLID186
108 !*
109 KEYOPT,2,2,0
110 KEYOPT,2,3,0
111 KEYOPT,2,6,0
112
113 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
114
```

```

115
116 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
117
118 K,,0,0,0,
119 K,,Hn-2*AUX_1,
120 K,,Hn-AUX_1,
121 K,,Hn,,,
122 K,,H_ENT,ALT_ENT,
123 K,,Hg,H_RASGO,
124 K,,HG,L,
125 K,,0,L,
126 K,,Hn-2*AUX_1, H_RE ,
127 K,,Hn-AUX_1, H_RE,
128
129 K,100,Hn+R
130
131 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
132
133
134 L,1,2
135 L,2,3
136 L,3,4
137 LARC,4,5,100,R
138 L,5,6
139 L,6,7
140 L,7,8
141 L,8,1
142 L,2,9
143 L,9,10
144 L,3,10
145 L,10,5
146
147
148
149 !!!!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
150
151
152 A,1,2,9,10,5,6,7,8,
153 A,3,10,5,4,
154 A,2,9,10,3,
155
156 AGLUE, ALL
157

```

```

158 !!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!
159
160
161
162 ESIZE,10*R
163
164 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
165
166
167 E3 = 70
168 E2 = 30
169 E4 = 1
170 E11 = 15
171 E12 = 15
172
173
174 LESIZE,3,,,E3,,, !E3
175 LESIZE,2,,,E2,,, !E2
176 LESIZE,11,,,E11,2, !E11
177 LESIZE,12,,,E12,2, !E12
178
179 LESIZE,4,,E4,,,, !E4
180 LESIZE,5,,,20,2, !E5
181
182
183 AMESH,ALL
184
185
186 !!!!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
187
188 TYPE, 2
189 MAT, 1
190 REAL,
191 ESYS, 0
192 SECNUM,
193
194 ESPAC = 1/10
195 TYPE, 2
196 EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
197 EXTOPT,ACLEAR,0
198 !*
199 EXTOPT,ATTR,0,0,0
200 MAT,1

```

```

201 REAL,_Z4
202 ESYS,0
203
204 VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
205
206
207 !!!!!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!!!!
208
209 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
210
211 !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
212
213 ASEL,S,LOC,Y,0
214 DA, ALL,SYMM
215
216 !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR CODICAO DE EPD OU EPT
217
218 ASEL,S,LOC,Z,0
219 DA, ALL,SYMM
220
221 LSEL,S,LOC,X,0
222 LSEL,R,LOC,Y,0
223
224 DL,ALL, ,UX,0
225
226 ALLSEL,ALL
227
228 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
229
230 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
231
232 ASEL,S,LOC,Y,L
233
234 SFA,ALL,1,PRES,-1
235
236 ALLSEL,ALL
237
238 FINISH
239
240 /SOL
241
242 ! *
243

```



```

244 EQSLV,PCG,1E-8
245
246 !LSEL,S,LOC,Y,L
247 !NSLL,S,1
248 !CP,100,UY,ALL
249
250
251 ALLSEL,ALL
252
253 ESEL,U,ENAME,,PLANE183
254 /SOLVE
255
256 /STATUS,SOLU
257 SOLVE
258 FINISH
259
260 /POST1
261 !*
262 /EFACET,1
263 PLNSOL,S,EQV,0,1.0
264
265
266 !/EOF
267
268 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
269
270 /POST1
271 !*
272
273 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
274
275 /EFACET,1
276 PLNSOL,U,Y,0,1.0
277 EPLOT
278 !*
279 /EFACET,1
280 PLNSOL,S,Y,0,1.0
281
282
283 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO DA
284
285 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
286

```

```

287 PATH,Syy,2,30,1000,
288 PPATH,1,0,Hn,,,0,
289 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
290
291 !SELECAO DAS VARIAVEIS DE INTERESSE
292
293
294 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
295 AVPRIN,0, ,
296 PDEF, ,S,X,AVG
297 /PBC,PATH, ,0
298
299 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
300 AVPRIN,0, ,
301 PDEF, ,S,Y,AVG
302 /PBC,PATH, ,0
303
304 !*  TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
305
306 AVPRIN,0, ,
307 !*
308 PDEF, ,S,Z,AVG
309 /PBC,PATH, ,0
310 !*
311
312 !*  TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
313
314
315 AVPRIN,0, ,
316 !*
317 PDEF, ,S,EQV,AVG
318 /PBC,PATH, ,0
319 !*
320
321
322 !PLPATH,SY

```

APÊNDICE N – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em v de 0.383 mm para o caso 3D em flexão

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  /BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS !DO CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 70
24
25 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```
29 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – NET
30
31 Hn = 25 – 2.86
32
33
34 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36 R = 0.383
37
38 !
39
40 ! ANGULO DO ENTALHE
41
42 TETA = 45/2
43
44 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A !RAIZ DO CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46 K = 2
47
48 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS !AUXILIARES DO CORPO DE PROVA !!!
49
50 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54 H_RE = R*COS(TETA)
55
56 ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60 H_ENT = Hn + R*(1–SIN(TETA))
61
62 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64 U = Hg – (Hn + R*(1 – SIN(TETA)))
65
66 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70 AUX_1 = K*R
71 TETA1 = TETA/2
```

```
72
73
74 Pintx = Hn + R*(1-COS(TETA1))
75 Pinty = R*SIN(TETA1)
76
77 !ESPESSURA DO CP
78
79 ESP = 25
80
81 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
82
83 D_ESP = 10
84
85
86 /PREP7
87
88
89 !!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
90 YOUNG = 200E3
91 POISSON = 0.3
92
93 !*
94 MPTEMP,,,,,,,,
95 MPTEMP,1,0
96 MPDATA,EX,1,,YOUNG
97 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
98
99 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
100
101
102 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
103 !*
104 ET,1,PLANE183
105 !*
106 KEYOPT,1,1,1
107 KEYOPT,1,3,0
108 KEYOPT,1,6,0
109
110
111 ET,2,SOLID186
112 !*
113 KEYOPT,2,2,0
114 KEYOPT,2,3,0
```

```
115 KEYOPT,2,6,0
116
117 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO !FINITO !!!!!
118
119
120 !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
121
122 K,1,0,0,0,
123 K,2,Hn-2*AUX_1,
124 K,3,Hn-AUX_1,
125 K,4,Hn,,,
126 K,5,Pintx,Pinty,
127 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
128 K,7,Hg,H_RASGO,
129 K,8,HG,L,
130 K,9,HG/2,L,
131 K,10,0,L,
132
133 K,1000,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
134 K,1001,Hn-AUX_1, Pinty,
135
136 K,100,Hn+R
137
138
139 !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
140
141
142 L,1,2
143 L,2,3
144 L,3,4
145 LARC,4,5,100,R
146 LARC,5,6,100,R
147 L,6,7
148 L,7,8
149 L,8,9
150 L,9,10
151
152 L,10,1
153
154 L,2,1000
155 L,1000,1001
156 L,3,1001
157 L,1001,5
```

```
158
159
160
161
162 !!!!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
163
164
165 A,1,2,1000,1001,5,6,7,8,9,10,1
166 A,2,1000,1001,3,
167 A,3,1001,5,4,
168
169 AGLUE, ALL
170
171 !!!!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!!!
172
173
174
175 ESIZE,0.1*R
176
177 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
178
179
180 E1 = 100
181 E2 = 50
182 E3 = 100
183 E4 = 100
184 E5 = 20
185 E6 = 40
186 E7 = 50
187 ERAIO = 1
188
189
190
191 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
192 LESIZE,14,,,E2,2, !E3
193
194
195 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
196 LESIZE,12,,,E2,2, !E3
197
198 LESIZE,1,,,E3,,, !E1
199
200
```

```

201 LESIZE,11,,,E7,,, !E1
202 LESIZE,13,,,E7,, !E2
203
204
205 LESIZE,4,,,ERAIO,,,,
206 LESIZE,5,,,ERAIO,,,,
207
208 LESIZE,8,,,E1,2, !E5
209 LESIZE,9,,,E1,2, !E5
210
211 LESIZE,6,,,E7,2, !E5
212 LESIZE,7,,,E1,2, !E5
213 LESIZE,10,,,E1,2, !E5
214
215 AMESH,3,
216 AMESH,2,
217 AMESH,1,
218
219
220 !!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
221
222 TYPE, 2
223 MAT, 1
224 REAL,
225 ESYS, 0
226 SECNUM,
227
228 ESPAC = 1/10
229 TYPE, 2
230 EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
231 EXTOPT,ACLEAR,0
232 !*
233 EXTOPT,ATTR,0,0,0
234 MAT,1
235 REAL,_Z4
236 ESYS,0
237
238 VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
239
240
241 !!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!
242
243 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO

```



```
244
245 !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
246
247 ASEL,S,LOC,Y,0
248 DA, ALL,SYMM
249
250 !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR !CODICAO DE EPD OU EPT
251
252 ASEL,S,LOC,Z,0
253 DA, ALL,SYMM
254
255 LSEL,S,LOC,X,0
256 LSEL,R,LOC,Y,0
257
258 DL,ALL, ,UX,0
259
260 ALLSEL,ALL
261
262 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
263
264 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE !APLICACAO DA CARGA DE PRESSAO
265
266 SUP = 1*(ESP/24)*Hn*Hn/Hg !ESP*HG
267 INF = -1*(ESP/24)*Hn*Hn/Hg !-ESP*HG
268
269 Sgross = (12*SUP)/(ESP*Hg)
270
271
272
273 FK,10,FY,INF
274 FK,20,FY,INF
275 FK,8,FY,SUP
276 FK,18,FY,SUP
277
278
279
280 FINISH
281
282 /SOL
283
284 !*
285
286 EQSLV,PCG,1E-8
```

```
287
288 !LSEL,S,LOC,Y,L
289 !NSLL,S,1
290 !CP,100,UY,ALL
291
292
293 ALLSEL,ALL
294
295 ESEL,U,ENAME,,PLANE183
296 /SOLVE
297
298 /STATUS,SOLU
299 SOLVE
300 FINISH
301
302
303
304 /POST1
305 !*
306 /EFACET,1
307 PLNSOL,S,EQV,0,1.0
308
309
310
311
312 !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
313
314 /POST1
315 !*
316
317 !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE !DESLOCAMENTOS, Uyy, E TENSOES, Syy.
318
319 /EFACET,1
320 PLNSOL,U,Y,0,1.0
321 EPLOT
322 !*
323 /EFACET,1
324 PLNSOL,S,Y,0,1.0
325
326
327 !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O !COMPORTAMENTO DA VARIACAO DE Syy AO LONGO D
328
329 ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
```

```
330
331 PATH,Syy,2,30,1000,
332 PPATH,1,0,Hn,,,0,
333 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
334
335 !SELECAO DAS VARIABEIS DE INTERESSE
336
337
338 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA !PROFUNDIDADE
339
340 AVPRIN,0, ,
341 PDEF, ,S,X,AVG
342 /PBC,PATH, ,0
343
344 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA !PROFUNDIDADE
345
346 AVPRIN,0, ,
347 PDEF, ,S,Y,AVG
348 /PBC,PATH, ,0
349
350 !* TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA !PROFUNDIDADE
351
352 AVPRIN,0, ,
353 !*
354 PDEF, ,S,Z,AVG
355 /PBC,PATH, ,0
356 !*
357
358 !* TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
359
360
361 AVPRIN,0, ,
362 !*
363 PDEF, ,S,EQV,AVG
364 /PBC,PATH, ,0
365 !*
366
367
368 !PLPATH,SY
```

APÊNDICE O – Rotina no Ansys para o calculo do K_t dO CP com entalhe em U de 5 mm para o caso 3D em flexão

```

1  FINISH
2  /CLEAR, START
3
4  /BATCH
5  /COM, ANSYS RELEASE 13.0      UP20101012      14:25:00      05/11/2016
6  /input, menust, tmp, ' ',,,,,,,,,,,,,,1
7  /GRA, POWER
8  /GST, ON
9  /PLO, INFO, 3
10 /GRO, CURL, ON
11 /CPLANE, 1
12 /REPLOT, RESIZE
13 WPSTYLE,,,,,,,,,0
14 /REPLOT, RESIZE
15
16
17 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS BASICOS DO !CORPO DE PROVA !!!!
18
19 *AFUN, DEG
20
21 !ALTURA (METADE)
22
23 L = 70
24
25 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL – GROSS
26
27 Hg = 25
28

```

```

29 !COMPRIMENTO SECAO TRANSVERSAL - NET
30
31 Hn = 19
32
33
34 !RAIO DE CONCORDANCIA DO ENTALHE
35
36 R = 5
37
38 !
39
40 ! ANGULO DO ENTALHE
41
42 TETA = 0
43
44 ! DEFINICAO DA REGIAO REFINADA DA MALHA PROXIMA A RAIZ DO !CONCENTRADOR DE TENSOES
45
46 K = 1.5
47
48 !!! DEFINICAO DOS PARAMETROS DIMENSIONAIS AUXILIARES DO !CORPO DE PROVA !!!
49
50 !COTA Y DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
51
52 !ALTURA RAIZ DO ENTALHE
53
54 H_RE = R*COS(TETA)
55
56 ALT_ENT = R*COS(TETA)
57
58 !COTA X DO PONTO DE TANGENCIA DO CIRCULO
59
60 H_ENT = Hn + R*(1-SIN(TETA))
61
62 !ALTURA DA SAIDA DO ENTALHE
63
64 U = Hg - (Hn + R*(1 - SIN(TETA)))
65
66 H_RASGO = R*COS(TETA) + U*TAN(TETA)
67
68 !COTA AUXILIAR PARA GERACAO DA MALHA
69
70 AUX_1 = K*R
71 TETA1 = 60

```

```

72
73
74 Pintx = Hn + R*(1-COS(TETA1))
75 Pinty = R*SIN(TETA1)
76
77 !ESPESSURA DO CP
78
79 ESP = 25
80
81 !DISCRETIZACAO ESPESSURA
82
83 D_ESP = 10
84
85
86 /PREP7
87
88
89 !!!!!!!! CARACERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
90
91 YOUNG = 200E3
92 POISSON = 0.3
93
94 !*
95 MPTEMP,,,,,,,,
96 MPTEMP,1,0
97 MPDATA,EX,1,,YOUNG
98 MPDATA,PRXY,1,,POISSON
99
100 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO MATERIAL !!!!!!!!
101
102
103 !!!!!!!! CARACTERIZACAO DE TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!!!!
104 !*
105 ET,1,PLANE183
106 !*
107 KEYOPT,1,1,1
108 KEYOPT,1,3,0
109 KEYOPT,1,6,0
110
111
112 ET,2,SOLID186
113 !*
114 KEYOPT,2,2,0

```

```

115 KEYOPT,2,3,0
116 KEYOPT,2,6,0
117
118 !!!!!!!! FINAL CARACTERIZACAO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO !!!!!
119
120
121 !!!!!!!! DEFINICAO DOS KEYPOINTS !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
122
123 K,1,0,0,0,
124 K,2,Hn-2*AUX_1,
125 K,3,Hn-AUX_1,
126 K,4,Hn,,,
127 K,5,Pintx,Pinty,
128 K,6,H_ENT,ALT_ENT,
129 K,7,Hg,H_RASGO,
130 K,8,HG,L,
131 K,9,HG/2,L,
132 K,10,0,L,
133
134 K,1000,Hn-2*AUX_1, Pinty ,
135 K,1001,Hn-AUX_1, Pinty,
136
137 K,100,Hn+R
138
139 !!!!!!!! DEFINICAO DO CONTORNO DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
140
141
142 L,1,2
143 L,2,3
144 L,3,4
145 LARC,4,5,100,R
146 LARC,5,6,100,R
147 L,6,7
148 L,7,8
149 L,8,9
150 L,9,10
151
152 L,10,1
153
154 L,2,1000
155 L,1000,1001
156 L,3,1001
157 L,1001,5

```

```

158
159
160
161 !!!!!!!!!!! GERACAO DA AREA DO CP !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
162
163
164 A,1,2,1000,1001,5,6,7,8,9,10,1
165 A,2,1000,1001,3,
166 A,3,1001,5,4,
167
168 AGLUE, ALL
169
170 !!!!!!!!!!! GERACAO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS !!!!!!!!!!!
171
172
173
174 ESIZE,1*R
175
176 !LESIZE,NL1,SIZE,ANGSIZ,DIV,SPACE
177
178
179 E1 = 100
180 E2 = 50
181 E3 = 100
182 E4 = 100
183 E5 = 20
184 E6 = 40
185 E7 = 50
186 ERAIO = 1
187
188
189
190 LESIZE,3,,,E1,,, !E1
191 LESIZE,14,,,E2,2, !E3
192
193
194 LESIZE,2,,,E1,,, !E1
195 LESIZE,12,,,E2,2, !E3
196
197 LESIZE,1,,,E3,,, !E1
198
199
200 LESIZE,11,,,E5,,, !E1

```



```

201 LESIZE,13,,,E5,,      !E2
202
203
204 LESIZE,4,,,ERAIO,,,,
205 LESIZE,5,,,ERAIO,,,,
206
207 LESIZE,8,,,E7,2,      !E5
208 LESIZE,9,,,E7,2,      !E5
209
210 LESIZE,6,,,E5,2,      !E5
211 LESIZE,7,,,E7,2,      !E5
212 LESIZE,10,,,E7,2,     !E5
213
214 AMESH,3,
215 AMESH,2,
216 AMESH,1,
217
218
219 !!!!!!!PROCESSO DE EXTRUSAO DA MALHA
220
221 TYPE,    2
222 MAT,      1
223 REAL,
224 ESYS,      0
225 SECNUM,
226
227 ESPAC = 1/10
228 TYPE,    2
229 EXTOPT,ESIZE,D_ESP,ESPAC,
230 EXTOPT,ACLEAR,0
231 ! *
232 EXTOPT,ATTR,0,0,0
233 MAT,1
234 REAL,_Z4
235 ESYS,0
236
237 VEXT,1,3,1 ,0,0,ESP/2,,,,
238
239
240 !!!!!!!! DEFINICAO DAS CONDICAOES DE CONTORNO !!!!!!!!
241
242 !CONDICOES DE RESTRICAO DE MOVIMENTO DO MODELO
243

```

```

244 !CODICAO DE SIMETRIA VERTICAL
245
246 ASEL,S,LOC,Y,0
247 DA, ALL,SYMM
248
249 !CONDICAO DE SIMETRIA NA ESPESSURA PARA AVALIAR CODICAO DE !EPD OU EPT
250
251 ASEL,S,LOC,Z,0
252 DA, ALL,SYMM
253
254 LSEL,S,LOC,X,0
255 LSEL,R,LOC,Y,0
256
257 DL,ALL, ,UX,0
258
259 ALLSEL,ALL
260
261 !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!CONDICOES APLICACAO DE CARGA
262
263 !SELECAO DA LINHA LOCALIZADA NO PONTO DE APLICACAO DA !!CARGA DE PRESSAO
264
265
266 SUP = 1*(ESP/24)*Hn*Hn/Hg !ESP*HG
267 INF = -1*(ESP/24)*Hn*Hn/Hg !-ESP*HG
268
269 Sgross = (12*SUP)/(ESP*Hg)
270
271 FK,10,FY,INF
272 FK,20,FY,INF
273 FK,8,FY,SUP
274 FK,18,FY,SUP
275
276
277
278 FINISH
279
280 /SOL
281
282 !*
283
284 EQSLV,PCG,1E-8
285
286 !LSEL,S,LOC,Y,L

```

```
287  !NSLL,S,1
288  !CP,100,UY,ALL
289
290
291  ALLSEL,ALL
292
293  ESEL,U,ENAME,,PLANE183
294  /SOLVE
295
296  /STATUS,SOLU
297  SOLVE
298  FINISH
299
300
301
302  /POST1
303  !*
304  /EFACET,1
305  PLNSOL,S,EQV,0,1.0
306
307
308
309
310  !!!!!!!! ENTRADA NO MODO DE POS PROCESSAMENTO
311
312  /POST1
313  !*
314
315  !SELECAO DA OBSERVACAO DO CAMPO DE DESLOCAMENTOS, Uyy, E !TENSOES, Syy.
316
317  /EFACET,1
318  PLNSOL,U,Y,0,1.0
319  EPLOT
320  !*
321  /EFACET,1
322  PLNSOL,S,Y,0,1.0
323
324
325  !ATIVACAO DA ANALISE PATH PARA OBTER O COMPORTAMENTO DA !VARIACAO DE Syy AO LONGO D
326
327  ! DEFINICAO DOS PARAMETROS DE PATH
328
329  PATH,Syy,2,30,1000,
```

```

330 PPATH,1,0,Hn,,,0,
331 PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,,0,
332
333 !SELECAO DAS VARIABEIS DE INTERESSE
334
335
336 !*   TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO X AO LONGO DA PROFUNDIDADE
337
338 AVPRIN,0, ,
339 PDEF, ,S,X,AVG
340 /PBC,PATH, ,0
341
342 !*   TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Y AO LONGO DA PROFUNDIDADE
343
344 AVPRIN,0, ,
345 PDEF, ,S,Y,AVG
346 /PBC,PATH, ,0
347
348 !*   TENSÃO NORMAL NA DIREÇÃO Z AO LONGO DA PROFUNDIDADE
349
350 AVPRIN,0, ,
351 !*
352 PDEF, ,S,Z,AVG
353 /PBC,PATH, ,0
354 !*
355
356 !*   TENSÃO DE VON MISES AO LONGO DA PROFUNDIDADE
357
358
359 AVPRIN,0, ,
360 !*
361 PDEF, ,S,EQV,AVG
362 /PBC,PATH, ,0
363 !*
364
365
366 PLPATH,SY

```

APÊNDICE P – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 3.5 mm e $R=-1$

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP035a.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP035a';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[\n\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[\n\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);
29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.

```

```

31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir str
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==' ');
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\,|\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, '\,', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, '\,', '\ '), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64             catch me
65             end
66         end
67     end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r
72 raw(J,:) = [];
73

```

```

74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 933.67;
85 bm = -0.1070663811;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1965;
92 Ag = 5.315;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 1148.796;
97 bnotch = -0.16367;
98
99 Nesp = 10000;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E2;
109 DECREMENTO = 20;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114
115 contador = 1
116

```

```
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (1*Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p, Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC, N_P, LC, N_L)
```


APÊNDICE Q – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 3.5 mm e $R=0.1$

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP035_3D.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP035_3D';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[\n\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[\n\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);
29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.

```

```

31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir str
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==' ');
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\,|\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, '\,', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, '\,', '\, '), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64             catch me
65             end
66         end
67     end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r
72 raw(J,:) = [];
73

```

```

74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 1916.22;
85 bm = -0.1782531;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1311;
92 Ag = 3.519;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 1188.9158;
97 bnotch = -0.1883239;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E3;
109 DECREMENTO = 100;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114
115 contador = 1
116

```

```
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p,Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC,N_P,LC,N_L)
```

APÊNDICE R – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 8 mm e $R=-1$

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP08_3D.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP08_3D';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);
29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.

```

```

31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir strings
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1})?)';
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==',' );
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\,|\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64         catch me
65         end
66     end
67 end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r
72 raw(J,:) = [];
73

```

```

74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 933.67;
85 bm = -0.1070663811;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1965;
92 Ag = 5.315;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 747.9383;
97 bnotch = -0.15038;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E2;
109 DECREMENTO = 50;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114
115 contador = 1
116

```

```
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (1*Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p,Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC,N_P,LC,N_L)
```


APÊNDICE S – Rotina no Matlab para vida estimada CP com furo de 8 mm e $R=0.1$

```

1  wclc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP08a.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\CP08a';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);
29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.

```

```

31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir strings
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[\,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1})?)';
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==',' );
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\,|\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64         catch me
65         end
66     end
67 end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r
72 raw(J,:) = [];
73

```

```

74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 1916.22;
85 bm = -0.1782531;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1311;
92 Ag = 3.519;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 836.72631;
97 bnotch = -0.1779359;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E3;
109 DECREMENTO = 100;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114
115 contador = 1
116

```

```
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p, Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC, N_P, LC, N_L)
```

APÊNDICE T – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de 1.5 mm e R=-1

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\U_1-5_3D.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\U_1-5_3D';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);

```

```

29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.
31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir strings
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1})';
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==',' );
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?([,,\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64         catch me
65         end
66     end
67 end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r

```

```

72 raw(J,:) = [];
73
74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 933.67;
85 bm = -0.1070663811;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1965;
92 Ag = 5.315;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 1275.363;
97 bnotch = -0.22422;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E2;
109 DECREMENTO = 50;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114

```

```
115 contador = 1
116
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (2*Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p,Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC,N_P,LC,N_L)
```


APÊNDICE U – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de 1.5 mm e $R=0.1$

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\U_1-5_3D.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\U_1-5_3D';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);

```

```

29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.
31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir str
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==',' );
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?(\,|\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64         catch me
65         end
66     end
67 end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r

```

```

72 raw(J,:) = [];
73
74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 1916.22;
85 bm = -0.17825;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM TRACAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,12 mm
90
91 bg = -0.1311;
92 Ag = 3.519;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 909.3704;
97 bnotch = -0.22097;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E3;
109 DECREMENTO = 100;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114

```

```
115 contador = 1
116
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p,Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC,N_P,LC,N_L)
```

APÊNDICE V – Rotina no Matlab para vida estimada CP com entalhe em U de 5 mm , $R=0.1$ em flexão

```

1  clc
2  clear
3  close all
4
5
6  filename = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\uflexao_3D.txt';
7
8  %% Iniciar variaveis.
9  NOME = 'C:\Users\joyce\Dropbox\JOYCE\ANALISE2D\Dados\uflexao_3D';
10 filename = strcat(NOME, '.txt');
11 startRow = 2;
12
13 %% Ler colunas de dados como strings:
14 %Para mais informacoes , consulte a documentacao TEXTSCAN .
15 formatSpec = '%13s%8s%[^\\n\\r]';
16
17 %% Abrir arquivo de texto.
18 fileID = fopen(filename, 'r');
19
20 %% Ler colunas de dados de acordo com o formato string.
21 % Esta chamada e baseada na estrutura do arquivo utilizado para gerar este
22 % codigo. Se ocorrer um erro em um arquivo diferente , tentar regenerar o codigo
23 % pela ferramenta de importacao.
24 textscan(fileID, '%[^\\n\\r]', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
25 dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', ' ', 'Return
26
27 %% Fechar arquivo de texto.
28 fclose(fileID);

```

```

29
30 %% Converter o conteudo das colunas que contem strings numericos para numeros.
31 % Substituir strings nao numericas por NaN.
32 raw = repmat({''},length(dataArray{1}),length(dataArray)-1);
33 for col=1:length(dataArray)-1
34     raw(1:length(dataArray{col}),col) = dataArray{col};
35 end
36 numericData = NaN(size(dataArray{1},1),size(dataArray,2));
37
38 for col=[1,2]
39     % Converter strings na matriz da celula de entrada para numeros. Substituir str
40     % com NaN.
41     rawData = dataArray{col};
42     for row=1:size(rawData, 1);
43         % Criar uma expressao regular para detectar e remover prefixos e sufixos na
44         regexstr = '(?<prefix>.*?)(?<numbers>([-]*(\d+[,]*)+[\.]{0,1}\d*[eEdD]{0,1}
45         try
46             result = regexp(rawData{row}, regexstr, 'names');
47             numbers = result.numbers;
48
49             % Detectetar virgulas nas casas de milhares.
50             invalidThousandsSeparator = false;
51             if any(numbers==',' );
52                 thousandsRegExp = '^(\d+?([,,\d{3}))*\.{0,1}\d*$';
53                 if isempty(regexp(thousandsRegExp, ',', 'once'));
54                     numbers = NaN;
55                     invalidThousandsSeparator = true;
56                 end
57             end
58             % Converter strings numericos em numeros.
59             if ~invalidThousandsSeparator;
60                 numbers = textscan(strrep(numbers, ',', ''), '%f');
61                 numericData(row, col) = numbers{1};
62                 raw{row, col} = numbers{1};
63             end
64         catch me
65         end
66     end
67 end
68
69
70 %% Excluir linhas com celulas nao-numericas
71 J = ~all(cellfun(@(x) (isnumeric(x) || islogical(x)) && ~isnan(x),raw),2); % Find r

```

```

72 raw(J,:) = [];
73
74 %% Alocar matrizes importadas na coluna dos nomes das variaveis.
75 l = cell2mat(raw(:, 1));
76 S_REF = cell2mat(raw(:, 2));
77
78 %% Limpar variaveis temporarias.
79 clearvars filename startRow formatSpec fileID dataArray ans raw col numericData raw
80
81 %DEFINE AS CURVAS DE CARACTERIZACAO DO MATERIAL E D L VERSUS N
82
83 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO MATERIAL EM TRACAO
84 Am = 4512.599;
85 bm = -0.22523;
86
87
88 %CARACTERIZA A CURVA DE FADIGA DO ESPECIME ENTALHADO EM FLEXAO (L versus N)
89 %Levantada a partir da analise de fadiga do cp com r = 0,383 mm
90
91 bg = 0.09109;
92 Ag = 0.2752;
93
94 %curva fadiga do especime entalhado
95
96 Anotch = 2987.314;
97 bnotch = -0.20843;
98
99 Nesp = 1E4;
100
101 ESCALA = Anotch*Nesp^(bnotch);
102
103 S = ESCALA*S_REF;
104
105 p = polyfit(l,S,8);
106
107 N_INF = 1E4;
108 N_MIN = 1E2;
109 DECREMENTO = 50;
110
111 FLAG = 1;
112
113 N_PRESC = N_INF
114

```

```
115 contador = 1
116
117 while FLAG
118
119 N_P(contador) = N_PRESC;
120
121 Lc_N = (1*Ag*N_PRESC^bg);
122
123 LC(contador) = Lc_N;
124
125 S_Lc_N = polyval(p,Lc_N);
126
127 S_L(contador) = S_Lc_N;
128
129 N_S_N = (S_Lc_N/Am)^(1/bm)
130
131 N_L(contador) = N_S_N;
132
133 ERRO = 100*abs(N_S_N - N_PRESC)/N_PRESC
134
135 if ERRO < 1
136     FLAG = 0;
137 end
138
139 if N_PRESC < N_MIN
140     FLAG = 0;
141 end
142
143
144 N_PRESC = abs(N_S_N + N_PRESC)/2
145 contador = contador + 1;
146 end
147
148 plot(LC,N_P,LC,N_L)
```


APÊNDICE W – Rotina Ansys para aproximação para o caso EPD nos corpos 3D

```

1  /SOL
2  FINISH
3  /POST1
4  PATH,EPD,2,30,500,
5  PPATH,1,0,Hn,,0,0,
6  PPATH,2,0,Hn-2*AUX_1,,0,0,
7  AVPRIN,0, ,
8  !*
9  PDEF, ,S,Y,AVG
10 /PBC,PATH, ,1
11 !*
12 AVPRIN,0, ,
13 !*
14 PDEF, ,S,EQV,AVG
15 /PBC,PATH, ,1
16 !*
17 AVPRIN,0, ,
18 !*
19 PDEF, ,S,EQV,AVG
20 /PBC,PATH, ,1
21 !*
22 PLPATH,SY,SEQV

```

APÊNDICE X – Tabelas dos resultados obtidos nas interpolações de Vida Estimadas

Tabela 6: Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=-1, 2D

<i>. CPfuro3.5mm, R = -1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	17565	54.89	-
teste 2	1.00E+05	1.28E+05	24.66	-
teste 3	1.00E+06	8.36E+05	17.92	-
teste 4	1.00E+07	5.75E+06	54.01	-
teste 5	1.00E+08	4.98E+07	67.02	-
teste 6	1.00E+09	6.15E+08	47.65	44.36

Tabela 7: Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=-1, 3D

<i>. CPfuro3.5mm, R = -1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	8667	14.28	-
teste 2	1.00E+05	7.06E+04	34.41	-
teste 3	1.00E+06	6.20E+05	46.95	-
teste 4	1.00E+07	6.59E+06	41.13	-
teste 5	1.00E+08	9.09E+07	9.51	-
teste 6	1.00E+09	1.64E+09	48.70	32.5

Tabela 8: Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=0.1, 2D

<i>. CPfuro3.5mm, R = 0.1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.84E+04	59.11	-
teste 2	1.00E+05	1.15E+05	13.58	-
teste 3	1.00E+06	7.22E+05	32.30	-
teste 4	1.00E+07	4.73E+06	71.62	-
teste 5	1.00E+08	3.31E+07	100.45	-
teste 6	1.00E+09	2.52E+08	119.51	66.10

Tabela 9: Vida Estimada CP furo 3.5 mm, R=0.1, 3D

<i>. CPfuro3.5mm, R = 0.1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.67E+04	-50.30	-
teste 2	1.00E+05	1.12E+05	-11.67	-
teste 3	1.00E+06	7.58E+05	27.48	-
teste 4	1.00E+07	5.21E+06	62.92	-
teste 5	1.00E+08	3.75E+07	90.84	-
teste 6	1.00E+09	2.85E+08	111.31	59.09

Tabela 10: Vida Estimada CP furo 8 mm, R=-1, 2D

<i>. CPfuro8mm, R = -1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.20E+04	18.00	-
teste 2	1.00E+05	6.38E+04	44.25	-
teste 3	1.00E+06	3.81E+05	89.58	-
teste 4	1.00E+07	2.88E+06	110.52	-
teste 5	1.00E+08	2.98E+07	108.14	-
teste 6	1.00E+09	4.26E+08	80.60	75.18

Tabela 11: Vida Estimada CP furo 8 mm, R=-1, 3D

<i>. CPfuro8mm, R = -1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.76E+03	140.25	-
teste 2	1.00E+05	1.27E+04	155.04	-
teste 3	1.00E+06	1.10E+05	160.38	-
teste 4	1.00E+07	1.20E+06	157.15	-
teste 5	1.00E+08	1.66E+07	142.96	-
teste 6	1.00E+09	2.83E+08	111.66	144.57

Tabela 12: Vida Estimada CP furo 8 mm, R=0.1, 2D

<i>. CPfuro8mm, R = 0.1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	9.35E+03	6.73	-
teste 2	1.00E+05	5.59E+04	56.54	-
teste 3	1.00E+06	3.57E+05	94.66	-
teste 4	1.00E+07	2.47E+06	120.89	-
teste 5	1.00E+08	1.83E+07	138.07	-
teste 6	1.00E+09	1.45E+08	149.34	94.37

Tabela 13: Vida Estimada CP furo 8 mm, R=0.1, 3D

<i>. CPfuro8mm, R = 0.1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	8.49E+03	16.33	-
teste 2	1.00E+05	5.35E+04	60.52	-
teste 3	1.00E+06	3.56E+05	95.06	-
teste 4	1.00E+07	2.50E+06	120.04	-
teste 5	1.00E+08	1.86E+07	137.26	-
teste 6	1.00E+09	1.46E+08	149.14	96.39

Tabela 14: Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=-1, 2D

<i>. CPU1.5mm, R = -1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.70E+04	51.88	-
teste 2	1.00E+05	1.60E+05	46.26	-
teste 3	1.00E+06	1.66E+06	49.65	-
teste 4	1.00E+07	2.32E+07	79.59	-
teste 5	1.00E+08	5.93E+08	142.31	-
teste 6	1.00E+09	3.11E+10	187.53	92.87

Tabela 15: Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=-1, 3D

<i>. CPU 1.5mm, R = -1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.96E+03	134.48	-
teste 2	1.00E+05	2.59E+04	117.79	-
teste 3	1.00E+06	4.02E+05	85.30	-
teste 4	1.00E+07	8.92E+06	11.41	-
teste 5	1.00E+08	3.29E+08	106.87	-
teste 6	1.00E+09	2.02E+10	181.16	106.17

Tabela 16: Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=0.1, 2D

<i>. CPU 1.5mm, R = 0.1, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.94E+04	63.96	-
teste 2	1.00E+05	1.48E+05	38.97	-
teste 3	1.00E+06	1.19E+06	17.61	-
teste 4	1.00E+07	1.04E+07	4.25	-
teste 5	1.00E+08	1.02E+08	2.00	-
teste 6	1.00E+09	1.12E+09	11.43	23.04

Tabela 17: Vida Estimada para CP U 1.5 mm, R=0.1, 3D

<i>. CPU 1.5mm, R = 0.1, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	1.74E+04	53.96	-
teste 2	1.00E+05	1.46E+05	37.10	-
teste 3	1.00E+06	1.26E+06	23.13	-
teste 4	1.00E+07	1.16E+07	14.46	-
teste 5	1.00E+08	1.14E+08	13.51	-
teste 6	1.00E+09	1.24E+09	21.44	27.27

Tabela 18: Vida Estimada para CP 5 mm, R=0.1, 2D, em flexão

<i>. CPU5mm, R = 0.1, flexao, 2D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	7.94E+03	23.00	-
teste 2	1.00E+05	8.62E+04	14.79	-
teste 3	1.00E+06	9.75E+05	2.50	-
teste 4	1.00E+07	1.15E+07	14.20	-
teste 5	1.00E+08	1.52E+08	40.96	-
teste 6	1.00E+09	2.45E+09	83.93	29.90

Tabela 19: Vida Estimada para CP 5 mm, R=0.1, 3D, em flexão

<i>. CPU5mm, R = 0.1, flexao, 3D</i>	Nprev	Nest	Erro(%)	Erro total(%)
teste 1	1.00E+04	6.95E+03	36.03	-
teste 2	1.00E+05	7.53E+04	28.16	-
teste 3	1.00E+06	8.41E+05	17.30	-
teste 4	1.00E+07	9.76E+06	2.45	-
teste 5	1.00E+08	1.20E+08	18.55	-
teste 6	1.00E+09	1.75E+09	54.79	26.21

O erro foi calculado baseado na seguinte fórmula,

$$Erro(\%) = \left| \frac{N_{prev} - N_{est}}{\frac{N_{prev} + N_{est}}{2}} \right| \quad (X.1)$$