

**Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)**

**Engenharias, Ciência
e Tecnologia 7**

Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

7

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 7 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 7)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-093-3

DOI 10.22533/at.ed.933193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

DOI O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume VII apresenta, em seus 23 capítulos, conhecimentos relacionados a Educação em Engenharia relacionadas à engenharia de produção.

A área temática de Educação em Engenharia trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam no aprendizado de técnicas, ferramentas e assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Educação em Engenharia e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AULAS EMPREENDEDORAS E INOVADORAS NA DISCIPLINA DE INTRODUÇÃO À ENGENHARIA ELÉTRICA	
<i>Itauana Giongo Remonti</i> <i>Nilza Luiza Venturini Zampieri</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931011	
CAPÍTULO 2	10
AVALIAÇÃO DO ENSINO DE REPRESENTAÇÃO GRÁFICA ARQUITETÔNICA PARA ENGENHARIAS: UM ESTUDO DE CASO	
<i>Vinicius Albuquerque Fulgêncio</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931012	
CAPÍTULO 3	20
AVALIAÇÃO DO ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA DA UFRN: DIAGNÓSTICO INICIAL	
<i>Elena M. B. Baldi</i> <i>Maria A. Barreto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931013	
CAPÍTULO 4	32
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE E A PERCEPÇÃO DE DISCENTES DE ENGENHARIA DO CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL	
<i>Keila Crystyna Brito e Silva</i> <i>Francimary Cabral Carvalho</i> <i>Juan Gabriel Albuquerque Ramos</i> <i>Ana Cláudia Ribeiro de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931014	
CAPÍTULO 5	42
CRIAÇÃO DE RECURSOS PEDAGÓGICOS: E.V.A COM ACADÊMICOS DO CURSO DE PEDAGOGIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE RORAIMA (UERR)	
<i>Eveline Brito</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931015	
CAPÍTULO 6	52
ENGENHARIA MECÂNICA E SOCIEDADE: REFLEXOS DA FORMAÇÃO NOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO	
<i>Marina Borsuk Fogaça</i> <i>Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto Silveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931016	
CAPÍTULO 7	60
ESTUDO DE CASO: UTILIZAÇÃO DE METODOLOGIAS ATIVAS EM PRÁTICAS DE CIÊNCIA DA CORROSÃO	
<i>Ricardo Luiz Perez Teixeira</i> <i>Cynthia Helena Soares Bouças Teixeira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931017	

CAPÍTULO 8	71
INDICADORES QUALITATIVOS DE PROCESSOS DE APRENDIZAGEM NA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM EM DISCIPLINAS BASEADAS EM PROJETOS	
<i>Miguel Angel Chincaro Bernuy</i>	
<i>Fabio Luíz Baldissera</i>	
<i>José Eduardo Ribeiro Cury</i>	
<i>Ubirajara Franco Moreno</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931018	
CAPÍTULO 9	82
INTERAÇÃO ENTRE O MEIO ACADÊMICO E A SOCIEDADE	
<i>Geny da Silva Bezerra</i>	
<i>Emerson Lopes de Amorim</i>	
<i>Aline Oliveira da Silva</i>	
<i>Andressa Kellen de Lima Assunção</i>	
<i>Elieth Ferreira Silva</i>	
<i>Renata Thalia Rodrigues de Andrade</i>	
<i>Francilene Cardoso Alves Fortes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9331931019	
CAPÍTULO 10	98
O ENSINO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL POR MEIO DO LETRAMENTO IMAGÉTICO NAS DISCIPLINAS DOS CURSOS DE ENGENHARIA	
<i>Márcia Verena Firmino de Paula</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310110	
CAPÍTULO 11	109
O ENSINO DE FÍSICA POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E LÚDICAS	
<i>Fernanda Luíza de Sousa</i>	
<i>Gislayne Elisana Gonçalves</i>	
<i>Elisângela Silva Pinto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310111	
CAPÍTULO 12	109
O PROEJA NA EDUCAÇÃO DO CAMPO: UMA ANÁLISE CURRICULAR DA DISCIPLINA DE EDUCAÇÃO FÍSICA	
<i>Sâmmya Faria Adona Leite</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310112	
CAPÍTULO 13	134
O USO RACIONAL DA ÁGUA: AÇÕES MULTIDISCIPLINARES NO ENSINO DE FÍSICA	
<i>Elizângela Maria de Ávila Gonçalves</i>	
<i>Josiane Maximina Elias</i>	
<i>Gislayne Elisana Gonçalves</i>	
<i>Elisângela Silva Pinto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310113	
CAPÍTULO 14	142
OBSTÁCULOS QUE COMPROMETEM O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NOS CURSOS DE ENGENHARIA: VISÃO DOS PROFESSORES	
<i>Gláucia Nolasco de Almeida Mello</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310114	

CAPÍTULO 15 154

OS CONCEITOS DE PÚBLICO E PRIVADO E SUAS RELAÇÕES NA SOCIEDADE ATUAL

Elemar Kleber Favreto

Juliana Cristina Sousa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.93319310115

CAPÍTULO 16 164

PRÉ-CONCEPÇÕES DE ALUNOS DOS ENSINOS SUPERIOR E PROFISSIONALIZANTE SOBRE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS E SOFTWARE DE DOMÍNIO PÚBLICO

Elson de Campos

Emerson F. Lucena

Jerusa G. A. Santana

Rodrigo S. Fernandes

Tessie G. Cruz

DOI 10.22533/at.ed.93319310116

CAPÍTULO 17 176

PROJETO FORA DA ESTRADA, DENTRO DA FLORESTA: AÇÕES EDUCATIVAS PARA SENSIBILIZAÇÃO E PREVENÇÃO AO ATROPELAMENTO DE FAUNA SILVESTRE EM NITERÓI, RJ.

Aline Braga Moreno

Luiza Teixeira Gomes da Silva

Márcia Ferreira Tavares

Thaís de Oliveira Gama

Carolina Marinho Colchete

Sávio Freire Bruno

DOI 10.22533/at.ed.93319310117

CAPÍTULO 18 181

REFLEXÕES SOBRE O SENSO COMUM, AS TECNOLOGIAS SOCIAIS E A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Luciane Kawa de Oliveira

Joana Santangelo

DOI 10.22533/at.ed.93319310118

CAPÍTULO 19 197

UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA DO CONTEÚDO DE ÁCIDOS E BASES EM UM CURSO DE NÍVEL TÉCNICO SUBSEQUENTE

Michele Cristine Arcilio Ferreira

Marina Ferreira Araújo de Almeida

Sylvia Marcela de Lima

Antonio Carlos Frasson

Danislei Bertoni

DOI 10.22533/at.ed.93319310119

CAPÍTULO 20 210

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO ENSINO DE FATORES DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO

Italo Oliveira Rebouças

Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho

Zoroastro Torres Vilar

DOI 10.22533/at.ed.93319310120

CAPÍTULO 21	221
UTILIZANDO O TEMA ÁGUA EM UMA ABORDAGEM CTSA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA	
<i>José Augusto Stefini</i> <i>Alana Neto Zoch</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310121	
CAPÍTULO 22	233
ESTÁGIO NO EXTERIOR: A EXPERIÊNCIA DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA DA UTFPR QUE INTERCAMBIARAM EM 12 PAÍSES PELO PROGRAMA CIÊNCIA SEM FRONTEIRAS	
<i>Maria Marilei Soistak Christo</i> <i>Débora Barni de Campos</i> <i>Fábio Edenei Mainginski</i> <i>Luis Mauricio Martins de Resende</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310122	
CAPÍTULO 23	243
CIÊNCIA TECNOLOGIA E SOCIEDADE E O USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E COLABORATIVAS PARA O ENSINO DE ENGENHARIA	
<i>Patrícia Gomes de Souza Freitas</i> <i>Luciene Lima de Assis Pires</i> <i>Marta João Francisco Silva Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.93319310123	
SOBRE O ORGANIZADOR	255

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO ENSINO DE FATORES DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO

Italo Oliveira Rebouças

italo_reboucas@hotmail.com

UFERSA – Departamento de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró – RN

Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho

prince.cfv@gmail.com UFERSA – Departamento de Ciências Exatas e Naturais
Mossoró – RN

Zoroastro Torres Vilar

Zoroastro@ufersa.edu.br

UFERSA – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas
Mossoró – RN

RESUMO: As concentrações de tensões são ampliações das tensões mecânicas nos materiais que podem fazer com que o material, principalmente o frágil, venha a falhar com uma carga inferior àquela estipulada em projeto, assim sua determinação é de fundamental importância no projeto mecânico. Este trabalho surgiu para propor o método dos elementos finitos como alternativa aos métodos empíricos, que são pouco intuitivos, e aos métodos teóricos, que são complexos e se limitam a casos mais simples, no ensino do tema de fatores de concentração de tensão. Neste foram realizadas análises em elementos finitos usando o software comercial Ansys para o problema de uma placa

em tensões axiais com um furo central para diversas razões d/w , onde d é o diâmetro do furo e w é a largura da placa e construir uma curva para os valores de K , comparando com aquelas obtidas empiricamente ou teoricamente. Essas análises foram realizadas para uma placa na qual a espessura é muito menor que a sua largura, sendo caracterizado assim como um estado plano de tensões, pois os gráficos disponíveis somente são válidos para esses casos. Os resultados mostraram uma boa aproximação aos dados obtidos na literatura, ou seja, os fatores de concentração de tensão aumentam para uma diminuição do fator d/w .

PALAVRAS-CHAVE: Ansys; Tração; Tensão; Concentração.

ABSTRACT: Stress concentrations are amplifications of mechanical stresses in the material that can cause the material, especially the frail, will fail with a smaller load than that stipulated in the project, and their determination is of fundamental importance in the mechanical design. This work appeared to propose the finite element method as an alternative to empirical methods, which are not intuitive, and theoretical methods, which are complex and limited to simple cases, in the teaching of the factor of concentration of tension. In this, analysis were performed on finite elements using ANSYS commercial software to issue a draw plate

subject to axial stress with a central hole for several reasons d / w , where d is the diameter of the hole and w is the width of the plate and constructing a curve to the values K compared to those obtained empirically or theoretically. These analyses were performed to a plate in which the thickness is much smaller than its width, thus being characterized as a flat state of stress available for the graphics are only valid in these cases. The results showed a good approximation to the data obtained from the literature, stress concentration factors increase to a decrease factor d / w .

KEYWORDS: Ansys; Traction; Stress; Concentration.

1 | INTRODUÇÃO

As concentrações de tensão aparecem em componentes mecânicos que possuem variações bruscas em sua geometria ou descontinuidades, como furos e rasgos. Nas proximidades dessas regiões ocorre uma perturbação na distribuição de tensão e surgem tensões maiores que aquelas que haveriam caso não existisse essa perturbação. Segundo Hibbeler (2010), “Na prática da engenharia, a distribuição de tensão real não precisa ser determinada. Em vez disso basta saber qual é a tensão máxima nessas seções e então o elemento é projetado para resistir a essa tensão quando a carga axial for aplicada”. Se o material for frágil, a tensão de escoamento pode ser próxima da tensão de ruptura de forma que haverá uma trinca no concentrador, sendo necessária a análise dessas concentrações, já nos materiais dúcteis, quando se atingir a tensão de escoamento o material deformará, redistribuindo a tensão, o que pode tornar a análise desprezível.

Dessa forma define-se o fator de concentração de tensão K , que é dado pela Equação (1).

$$K = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{e}d}} \quad (1)$$

Este é determinado geralmente empiricamente, e então é traçada uma curva que relaciona o valor de K com a forma geométrica do modelo.

O problema de concentração de tensão em placas planas sob tração com furo centralizado pode ser considerado como um estado plano de tensões, pois as cargas são aplicadas apenas no plano da placa e esta possui a espessura muito menor que as outras dimensões, sua análise geralmente é feita através de gráficos empíricos, porém esse método é muito limitado a situações em que os valores geométricos estão na faixa em que foram realizados os ensaios, não sendo muito confiável realizar a extrapolação da curva, nem utilizá-lo em uma situação em que o furo não esteja centralizado. Assim se não for construído um modelo para ensaio, o que muitas vezes é inviável, devido seu custo e tempo gasto, é necessário que se resolvam as equações da teoria da elasticidade para o problema, porém estas são equações diferenciais

parciais, que não possuem solução, a não ser para um número limitado de geometrias e condições de contorno. Dessa forma o método dos elementos finitos surge, como uma alternativa, para tentar determinar as tensões através de uma solução aproximada das equações da teoria da elasticidade.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivos:

- Propor o método dos elementos finitos como uma solução mais didática para a apresentação do fator de concentração de tensão, além de outros problemas, na disciplina de Resistência dos materiais;
- Mostrar a distribuição de tensões do problema de placa plana com furo central, e explicar, através desta, o fato de K não ter dependência com o comprimento das placas;
- Mostrar que os resultados da literatura não se aplicam a casos em que a espessura é muito menor que a largura.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.2 Concentrações de tensão

As concentrações de tensão são ampliações das tensões mecânicas que surgem devido a variações bruscas na geometria de um corpo. Estas variações geram uma perturbação no campo de tensões, que faz com que a tensão máxima presente no elemento seja superior àquela que haveria sem estas perturbações. Pode-se observar este fenômeno a partir das distorções presentes em um corpo muito dúctil, com linhas de grade impressas, sujeito a uma força de tração. A Figura 1 mostra as linhas de grade sem distorções, e a Figura 2 mostra as linhas de grade com distorções.

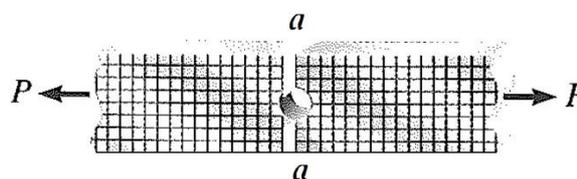


Figura 1: Corpo com linhas de grade não deformadas

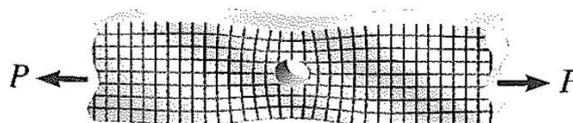


Figura 2: Corpo com linhas de grade deformadas

Fonte: Hibbeler (2010)

A análise de concentradores de tensões se aplica a materiais muito frágeis, e pode ser desprezada para o projeto de materiais dúcteis. Segundo Hibbeler (2010): “Se o material for muito frágil, o limite de proporcionalidade pode ser igual à tensão de ruptura e, portanto, para esse material, a falha começará no ponto de concentração de tensão quando o limite de proporcionalidade for atingido. Por outro lado, se o material for dúctil e estiver submetido a uma carga estática, nenhuma tensão que ultrapasse o limite de proporcionalidade resultará em uma trinca”.

No projeto de componentes mecânicos, não é necessário que se conheça toda a distribuição de tensões ao longo do corpo, mas apenas a tensão máxima atuante em sua seção. Desta forma define-se o fator de concentração de tensões K , que para problemas de tração é dado pela Equação (30), que pode ser determinado empírica ou teoricamente, e então este é plotado em gráficos que relacionam K com diversas características geométricas do modelo.

$$K = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{e}d}} \quad (2)$$

Em problemas de flexão e torção, a tensão não se distribui uniformemente ao longo das seções, desta forma o fator de concentração de tensões não será dado em função da tensão média da seção mas em função da tensão máxima que se desenvolveria sem a presença o concentrador. O fator K assume as expressões dadas pelas Equações (31) e (32), para problemas de flexão e torção, respectivamente.

$$K = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\frac{Tc}{J}} \quad (3)$$

$$K = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\frac{Mc}{I}} \quad (4)$$

Onde, T , c e J , na equação (3) representam o torque, a distância máxima de um ponto à linha neutra e o momento polar de inércia, respectivamente, e M , c e I , na equação (4) representam o momento, a distância máxima de um ponto à linha neutra e o momento de inércia, respectivamente.

Na literatura são apresentados os gráficos de concentração de tensão para problemas de tração e flexão, envolvendo placas com furos transversais ou filetes, ou problemas de tração, flexão e torção, envolvendo eixos, com furos, longitudinais ou transversais, e com rebaixas.

2.3 Teoria da elasticidade

A teoria da elasticidade é o ramo da ciência que descreve como os sólidos elásticos se comportam após a imposição de forças a eles. Esta teoria se baseia em três hipóteses: continuidade dos deslocamentos, relações constitutivas dos materiais

e equilíbrio das forças, e a partir dessas três hipóteses, obtêm-se o conjunto das equações (5), (6) e (7), que são equações diferenciais parciais (EDP's), e regem o comportamento destes corpos:

$$G \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) + b_x = 0 \quad (5)$$

$$G \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) + b_x = 0 \quad (6)$$

$$G \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right) + b_x = 0 \quad (7)$$

Onde G é o módulo cisalhante do material, ν é o coeficiente de Poisson, u , v e w representam os deslocamentos nas direções x , y e z , respectivamente, e b_i representa a força de campo por unidade de volume na direção i .

Além disso, obtêm-se as equações (8), (9) e (10), que garantem o equilíbrio no contorno do corpo, e são utilizadas para a determinação das constantes resultantes na solução das EDP's.

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}n_x + \tau_{yx}n_y + \tau_{zx}n_z + f_x \\ = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \tau_{xy}n_x + \sigma_{yy}n_y + \tau_{zy}n_z + f_y \\ = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\tau_{xz}n_x + \tau_{yz}n_y + \sigma_{zz}n_z + f_z = 0 \quad (10)$$

Onde f_x , f_y , e f_z , e representam as forças de superfície por unidade de área agindo na superfície do corpo nas direções x , y e z , respectivamente, e n_x , n_y , e n_z representam as componentes em x , y e z e dos vetores unitários normais a superfície, respectivamente.

2.4 Teoria da tensão normal máxima

Para determinar quando ocorrerá a falha para certo material é necessário, inicialmente, determinar se este é dúctil, ou seja, suporta grandes deformações, ou frágil, rompendo sem apresentar grandes deformações. Segundo Hibbeler (2010), "A teoria da tensão normal máxima está de acordo com o comportamento de materiais frágeis", assim, para determinar o ponto de ruptura de um material frágil torna-se necessário calcular as tensões normais e de cisalhamento nos pontos críticos e então determinar a tensão normal máxima. O corpo irá romper quando a tensão normal máxima em um determinado ponto atingir um valor limite, neste momento, surge uma

trinca que se propaga ao longo da estrutura, levando à ruptura.

A equação (11) é utilizada para determinar o valor da tensão normal máxima:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (11)$$

2.5 Método dos elementos finitos

O programa Ansys utiliza o método dos elementos finitos para solução dos problemas, este é um método de solução numérica de equações diferenciais parciais que surgiu inicialmente para solucionar problemas de elasticidade, já que como foi visto anteriormente, os problemas de elasticidade tridimensional levam a um conjunto de três equações diferenciais parciais que só podem ser resolvidas para um número limitado de geometrias, condições de contorno e carregamentos. Este método consiste na divisão do domínio Ω em diversos elementos com tamanhos finitos, domínio que pode ser uni, bi ou tridimensional. Na abordagem estrutural, os deslocamentos nas direções coordenadas são as principais variáveis, em cada elemento os deslocamentos são aproximados por funções que obedecem ao princípio da mínima energia potencial, a partir daí as deformações são obtidas pelas derivadas dos deslocamentos e as tensões são obtidas pela multiplicação entre a matriz de elasticidade, ou matriz tensão deformação, pelo vetor de deslocamentos.

A análise em elementos finitos se divide principalmente em três etapas: Pré-processamento, solução e pós-processamento.

- Pré-processamento: Nesta etapa é criado o modelo sólido, ou seja, a geometria e as propriedades do modelo são definidas. Após isso é criada a malha do problema, onde esta geometria é dividida em diversos elementos de tamanhos finitos. Por fim são aplicadas as cargas externas, sejam elas forças e momentos concentrados ou distribuições de pressão, e as condições de contorno de deslocamentos;
- Solução, que consiste na obtenção dos resultados a partir do sistema de equações algébricas obtidas;
- Pós-processamento, que consiste na obtenção das grandezas desejadas, como tensões, deformações e deslocamentos, a partir da solução. Em programas comerciais como o Ansys, a etapa de pós-processamento possui um sistema gráfico capaz de exibir a configuração deformada da estrutura, seja ela em escala real ou ampliada, e os campos das propriedades, como tensões e deslocamentos, através de mapas de cores.

2.6 Qualidade da malha

Segundo Nam-Ho kim (2011), “uma boa qualidade de malha é uma receita para o sucesso em uma análise de elementos finitos”. Os quatro critérios principais para a qualidade de uma malha são: formato dos elementos, razão de aspecto e tamanho

dos elementos.

- O formato dos elementos: Para elementos quadriláteros, os ângulos internos dos quadriláteros são fundamentais para a obtenção de uma boa solução, assim elemento retangular apresenta a precisão máxima enquanto elementos distorcidos, ou seja, com ângulos grandes apresentam maior erro.
- Razão de aspecto: representa a razão entre os lados do elemento. Dentre os elementos retangulares, o quadrado apresenta razão de aspecto um e é o ideal, quando maior for a razão de aspecto maior será o erro associado.
- Tamanho dos elementos: Elementos menores irão apresentar maior precisão, assim os elementos devem ser menores onde houver uma maior variação nos campos de tensão, além disso, é necessário que essa variação ocorra de forma gradual, assim elementos vizinhos devem ter sempre a mesma ordem de grandeza.

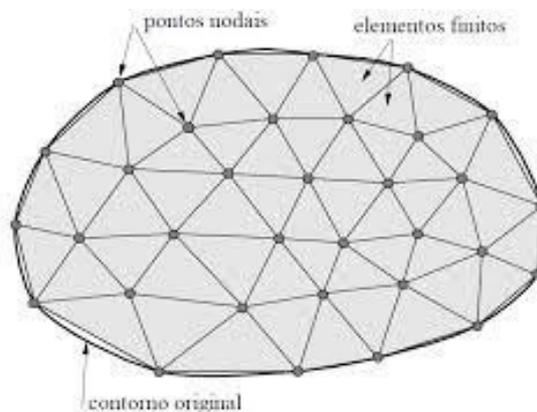


Figura 3: Divisão de um domínio 2-d arbitrário em elementos finitos

Fonte: Nam-Ho Kim (2011)

3 | METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi utilizado o programa *ansys* para as determinações dos fatores de concentração de tensão, para isso foram modeladas diversas chapas de aço, com módulo de elasticidade (E) igual a 200 GPa e coeficiente de Poisson (ν) igual a 0,3. As chapas apresentaram dimensões de 80 x 40 mm com espessuras de 0,5; 2,0 e 10,0 mm e todas elas apresentaram um furo central com diâmetros diferentes.

Após a construção do modelo geométrico foi criada a malha de elementos finitos, que utilizou elementos Tetraédricos e Hexaédricos. Pode-se observar que as malhas apresentaram um refinamento nas proximidades dos furos, isso foi feito, pois nessas regiões de concentrações de tensão há um grande gradiente de tensões, sendo necessário assim elementos menores, além disso foi utilizado um Growth rate (taxa de crescimento) de 1,2, que representa a máxima razão entre o tamanho de elementos vizinhos.

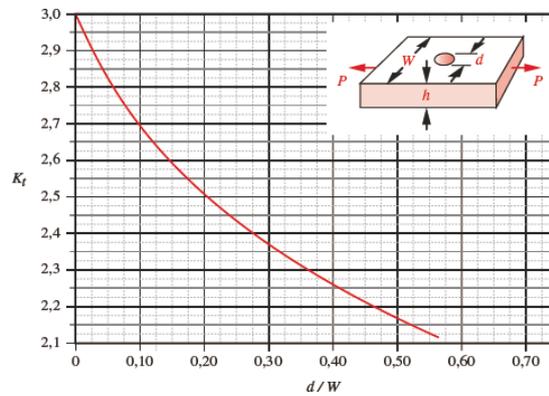


Figura 4: Gráfico de concentrações de tensão para placa plana em tração

Fonte: Norton,2013.

Em todas as chapas foi aplicado um carregamento de tração uniforme de 6,25 Mpa em uma das extremidades de altura igual a 40 mm, enquanto a outra extremidade foi engastada, ou seja, o deslocamento foi determinado como nulo. Por fim foram obtidos os valores de tensão normal máxima dos elementos, já que o problema surge para aplicações com materiais frágeis que utilizam o critério da Tensão normal máxima, e estes foram utilizados para determinação dos fatores k, que foram comparados com aqueles obtidos em Norton (2013). A Figura 4 mostra o gráfico dos fatores de concentração de tensão obtido em Norton (2013).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de todas as simulações, os valores das tensões máximas foram obtidos e foi plotado a Tabelas 1. A Tabela 1 apresenta, para cada razão $\frac{D}{w}$, os valores de K para as espessuras de 0,5, 2 e 10 mm, que são representados por $K_{0,5}$, K_2 , K_{10} respectivamente, e K_{lit} , que é o valor de K obtido através do gráfico presente em Norton (2013).

$\frac{D}{w}$	$K_{0,5}$	K_2	K_{10}	K_{lit}
0.05	2.814	2.889	2.851	2.835
0.1	2.743	2.769	2.820	2.699
0.2	2.539	2.556	2.635	2.503
0.3	2.371	2.391	2.476	2.362
0.4	2.261	2.272	2.339	2.259
0.5	2.185	2.191	2.249	2.198
0.6	2.139	2.145	2.192	2.131
0.7	2.106	2.114	2.152	2.094
0.8	2.080	2.088	2.116	2.071

Tabela 1: Valores de K obtidos para as diferentes espessuras

O Gráfico da Figura 5 foi plotado com os valores de K para as três diferentes espessuras e da literatura a fim de comparação, onde $K_{0,5}$, K_2 , K_{10} representam os fatores de concentração de tensão para placas com espessuras de 0,5; 2,0 e 10,0 mm, respectivamente.

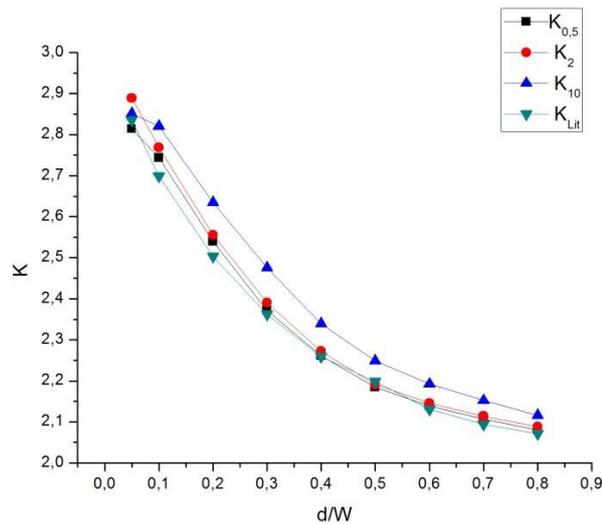


Figura 5: Gráfico de K x d/w para placas de todas as espessuras

Fonte: Autoria própria

Através do Gráfico da Figura 5 pôde-se perceber que quanto maior a espessura da placa mais distante os resultados estão daqueles encontrados na literatura.

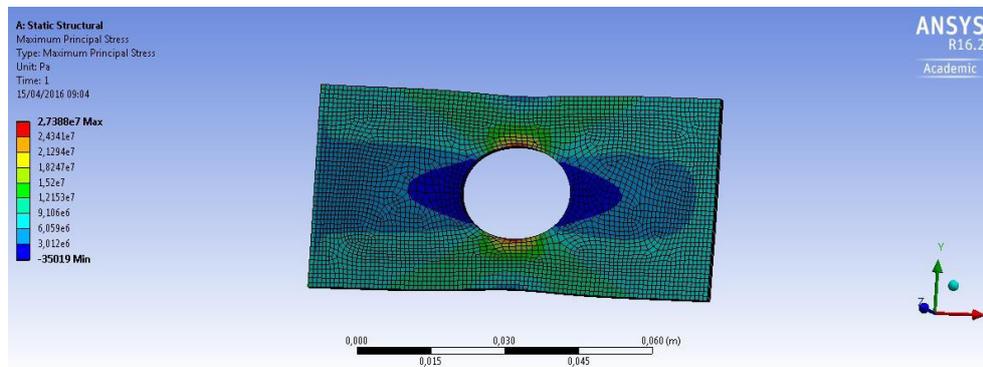


Figura 6: Resultado da análise para espessura de 2 mm e $\frac{D}{w} = 0,5$

Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 mostra a distribuição de tensões obtida para a placa com espessura de 2,0 mm para a qual $\frac{D}{w} = 0,5$, a cor vermelha presente nas partes superior e inferior do furo representam as tensões mais altas, enquanto que as laterais do furo apresentam cor azul, sendo estas as mais baixas. O fato de a tensão máxima ocorrer na seção transversal perpendicular à aplicação de carga explica porque o fator de concentração de tensão K só depende da largura, e não depende do comprimento.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método mostrou-se como uma boa alternativa ao ensino dos concentradores de tensões, pois, além de apresentar metodologia mais intuitiva, mostra gráficos e a própria simulação dos elementos finitos no estudo dos concentradores de tensão, o que torna a aprendizagem mais dinâmica, didática e prazerosa para o aluno. E a abordagem também o instiga a entender a fundo o problema e seu equacionamento, tornando a aprendizagem menos ‘automática’ e mais crítica, mais pensante de um modo geral.

Além disso, estimula o estudante a pesquisar mais sobre a área de simulação, visto que é um campo crescente de estudo e que pode ser aplicado nos mais diversos problemas de engenharia, e amplamente apreciado atualmente pelo mercado que absorverá os futuros engenheiros.

6 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFERSA por dispor de seus laboratórios de simulação. E todo o corpo técnico pelo auxílio prestado durante a elaboração deste trabalho. Publicado inicialmente nos anais do COBENGE 2016.

REFERÊNCIAS

- BATHE, J.K. **Finite Element Procedures**. 1 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1982. 1037 p.
- BEER, F.P. **Resistência dos materiais**. 3 Ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995. 1255 p.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7 Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 637 p.
- KIM, Nam-Ho; SANKAR, Bhavani V. **Introdução à Análise e ao Projeto em Elementos Finitos**. LTC, 2011. 353 p.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. 4 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.
- TIMOSHENKO, S.; **Strength of Materials, Part I, Elementary Theory and Problems**, 1 Ed. D. Van Nostrand Company, 1930. 510 p.
- TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J.N. **Theory of elasticity**. 2 Ed. McGraw-Hill Book Company, 1951. 506 p.
- TIMOSHENKO, S.; KRIEGER, S.W. **Theory of Plates and Shells**. 1 Ed. McGraw-Hill Book Company, 1959. 506 p.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-093-3

