

Artigos

Otimização de um Processo de Inserção de Buchas Metálicas a Quente em Termoplásticos Utilizando a Técnica de Planejamento de Experimentos

Cálculos Auxiliares para Análise de Tolerância ao Dano em Instalações de Antenas em Fuselagens Pressurizadas

Proposta de Estrutura de Auto-Avaliação Institucional

Show da Física



UNITAU
Universidade de Taubaté

REITOR

Prof. Dr. José Rui Camargo

VICE-REITOR

Prof. Dr. Marcos Roberto Furlan

PRÓ-REITORA DE GRADUAÇÃO

Profa. Dra. Ana Júlia Urias dos Santos

**PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E RELAÇÕES
COMUNITÁRIAS**

Prof. Dr. José Felício Goussain Murade

PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Edson Aparecida de Araújo Querido Oliveira

PRÓ-REITOR DE ECONOMIA E FINANÇAS

Prof. Dr. Luciano Ricardo Marcondes da Silva

PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO

Prof. Dr. Francisco José Grandinetti

PRÓ-REITORA ESTUDANTIL

Profa. Dra. Nara Lúcia Perondi Fortes

Revista
Ciências Exatas

EDITORES

Evandro Luis Nohara
Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
Valesca Alves Correa

ASSISTENTE EDITORIAL

Francisco José Grandinetti

COMISSÃO EDITORIAL

Antonio Faria Neto – UNITAU
Carlos Alberto Chaves - UNITAU
Ederaldo Godoy Júnior – UNITAU
Eliane da Silveira R. de Araújo - UNITAU
Francisco José Grandinetti - UNITAU
Francisco Antonio Lotufo - UNESP
Gilberto Walter Arenas Miranda - UNITAU
João Sinohara da Silva Sousa - IFSP
José Luz Silveira - UNESP
Luiz Carlos Góes - ITA
Luiz Octávio Mattos dos Reis – UNITAU
Victor Orlando Gamarra Rosado - UNESP
Viktor Pastoukhov – UNITAU
Wilton Ney do Amaral – UNITAU

EDITORIAÇÃO ELETRÔNICA

Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
Valesca Alves Correa

PROJETO GRÁFICO DA CAPA

Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes

REVISÃO

Joel Abdala



UNITAU
Universidade de Taubaté

A Revista Ciências Exatas se destina à publicação e divulgação de trabalhos originais que contribuam para a compreensão das principais disciplinas que sustentam a engenharia e ciências.

Os artigos publicados nesta Revista são de inteira responsabilidade de seus autores. É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos sem a prévia autorização dos autores.

Núcleo Editorial da Revista

<http://periodicos.unitau.br>

Evandro Luis Nohara
Tel.: (12) 3622-4005

Rua Daniel Danelli, s/n – Jd. Morumbi
Taubaté – SP – CEP 12060-440

Revista Ciências Exatas - Universidade de Taubaté - Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. v.19, n.1, I Semestre, Taubaté, SP: UNITAU, PRPPG, 2013.

Semestral

ISSN 1516-2893

1.Mecânica - 2.Elétrica - 3.Eletrônica -
4.Informática - 5.Computação - 6.Mate-
mática - 7.Física - 8.Telecomunicações

CDD - 531 - 537.1 - 537.5 - 001.6 - 510 -
530 - 621.38

Sumário

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE INSERÇÃO DE BUCHAS METÁLICAS A QUENTE EM TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS <i>Michel Floriano de Lima, Antonio Faria Neto</i>	7
CÁLCULOS AUXILIARES PARA ANÁLISE DE TOLERÂNCIA AO DANO EM INSTALAÇÕES DE ANTENAS EM FUSELAGENS PRESSURIZADAS <i>Paulo Roberto Pereira Manzoli, Viktor Alexeevich Pastoukhov</i>	21
PROPOSTA DE ESTRUTURA DE AUTO-AVALIAÇÃO INSTITUCIONAL <i>Patrícia Guimarães Abramof, Oscar Strauss, Rosemar Delpino, Ana Clara da Mota</i>	37
SHOW DA FÍSICA <i>Matheus Carlos da Silva, Mariângela Siqueira de Moraes, Luiz Alberto Maurício</i>	46

EDITORIAL

A Revista Ciências Exatas compreende o somatório de esforços coletivos de pesquisadores que atuam na área de Ciências Exatas aplicadas e educação, especialmente nos cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção Mecânica e Engenharia Aeronáutica.

É um projeto concebido para construir um vínculo de caráter científico de estudos e pesquisas e referendar mais precisamente a missão da Instituição. Trata-se de mais um entre os inúmeros desafios que a Universidade de Taubaté tem para com a sociedade.

No entanto, acreditamos que, com tal publicação, além da formação sólida, séria e atualizada calcada na teoria e na prática, estejamos também oferecendo aos alunos e professores importante estímulo à pesquisa, parte integrante de qualquer projeto que almeje um ensino de qualidade.

De caráter semestral o foco da Revista Ciências Exatas centra-se no fato de que os resultados obtidos sejam relevantes para a comunidade em geral, ao mesmo tempo em que forma seus alunos com um diferencial científico.

Evandro Luis Nohara

Editor

Michel Floriano de Lima

Universidade de Taubaté

michelflima@ig.com.br

Antonio Faria Neto

Universidade Estadual Paulista

antfarianeto@gmail.com

Correspondência/Contato

*UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica*

*Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193*

Editores responsáveis

*Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br*

*Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br*

*Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br*

OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE INSERÇÃO DE BUCHAS METÁLICAS A QUENTE EM TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

RESUMO

O estudo tem por objetivo relacionar fatores que contribuam para o resultado final do processo, utilizando a ferramenta do DOE, a fim de obter o maior controle do processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Não existe muita literatura e estudos sobre o processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Desta forma, a parametrização do processo torna-se uma tarefa do próprio construtor do equipamento. A indústria estudada tem dificuldades para realizar tal tarefa. A mudança de parâmetros quando um problema ocorre é realizada na base da tentativa e erro. O objetivo é racionalizar essas mudanças de parâmetros utilizando um método científico para delimitar os espaços para tais mudanças quando necessárias.

Palavras-chave: DOE, Planejamento de Experimentos, Melhoria de Processos, Inserção de Buchas a quente, Ishikawa.

1 INTRODUÇÃO

O método de tentativa e erro na indústria resulta em diversos desperdícios nos quais sugam as eficiências financeiras, a qualidade do produto e a produtividade dos processos.

O estudo demonstrará o uso da ferramenta DOE, *Design of Experiments*, como metodologia de análise e proposta de uma nova parametrização de um processo de inserção de buchas metálicas que utiliza a transferência de calor para plastificar um termoplástico e após o resfriamento a fixa ao conjunto mecânico do produto estudado.

A empresa estudada é uma multinacional com presença global e instalações no Brasil. O foco de negócios é o de autopeças.

Será utilizado como universo de amostragem uma célula de manufatura desta organização que realiza operações de soldagem, inserção de buchas a quente e montagem de coletores de admissão utilizados em motores a combustão.

Não existe muita literatura ou estudos sobre o processo de inserção de buchas metálicas a quente em termoplásticos. Desta forma, a parametrização do processo torna-se uma tarefa do próprio construtor do equipamento ou do usuário do mesmo. A indústria estudada tem dificuldades para realizar tal tarefa.

O objetivo é racionalizar essas mudanças de parâmetros utilizando a metodologia do DOE para relacionar as interferências de cada um dos parâmetros entre si para obter-se o resultado final esperado que é uma bucha inserida com no máximo de 0,3 mm do corpo não inserido.

O desafio é relacionar e quantificar as variáveis: temperatura da bucha, curso de inserção e tempo de resfriamento para obter o resultado de no máximo 0,3 mm de corpo da bucha para fora do furo. Essa bucha servirá de elemento de fixação, juntamente com os parafusos, dos componentes que integram o sistema de admissão de ar e combustível de motores a combustão.

Os ensaios serão realizados em um equipamento de inserção automática onde as buchas metálicas são abastecidas em um alimentador automático que carrega um sistema de aquecimento e liberador de buchas. Existe um berço onde o coletor de admissão, que é a peça a ser embuchada, é movimentado automaticamente por meio de servo-motores que posicionam o coletor até o liberador de buchas que as liberam aos furos do coletor para que o processo de embuchamento ocorra conforme citado anteriormente. Este processo é executado 15 vezes por coletor.

Os resultados do estudo ajudarão a empresa a economizar tempo com ajustes de parâmetros, diminuição de retrabalhos e refugo que atualmente a mesma enfrenta por não ter uma correlação das variáveis que afetam o processo.

Espera-se do estudo certificar que a ferramenta DOE seja eficaz para a determinação de pontos ótimos de trabalho para este processo.

2 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Para Sanchez (2006), o processo de construção, verificação e validação de um modelo de simulação podem ser árduos, porém, após de completo o modelo trabalha para o desenvolvedor do modelo.

De acordo com Montgomery (1997), uma maneira sistemática de avaliar a magnitude de várias fontes de variação que influenciam um processo deve se iniciar com a identificação e seleção dos fatores que possam contribuir para a variação.

As formas nas quais pode-se elencar quais fatores estes serão relevantes para análise são diversas. Podem-se utilizar técnicas de sessões de brainstorming, fluxogramas e diagramas de causa-efeito realizados por especialistas no processo. Estas técnicas podem contribuir para a escolha adequada das fontes de variação determinantes para o resultado final de um processo.

Precisa-se analisar que, em estatística, planejamento de experimentos promove um segmento único que desenvolve técnicas de planejamento e análise de experimentos.

Montgomery e Runger (2003) afirmam que utilizando “planejamentos fatoriais” em experimentos que envolvem diversos fatores e que “experimentos fatoriais” são a única maneira de identificar todas as interações entre variáveis de processo (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

O mais relevante é aquele de K fatores, cada um com dois níveis elencados, podendo ser qualitativo como alto e baixo, ou quantitativo como valores máximo e mínimo. Chamamos esta particularidade de planejamento fatorial 2K, onde, uma réplica completa requer $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^K$ observações (NETO; SCARMINIO; BRUNS; 2007).

Segundo Johnson e Wichern (1998), a finalidade da análise fatorial é observar a relação de covariância entre diversas variáveis em relação de algumas quantidades subjacentes chamadas fatores.

A versão clássica da análise fatorial é a de determinar fatores ortogonais que descrevam aproximadamente e sucessivamente os vetores resposta das variáveis investigadas.

O planejamento de experimentos pode ser:

- Tratamento em pares;
- Tratamento em blocos;
- Quadrado Latino;
- Quadrado Greco-Latino;
- Quadrado Hiper-Greco-Latino;
- Experimentos Fatoriais.

3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A empresa estudada é uma multinacional com presença global e instalações no Brasil. Seu foco de negócios é o de autopeças e sistemas automotivos.



Figura 1: Coletor de admissão.

Utilizaram-se como universo de amostragem uma célula de manufatura desta organização que realiza operações de soldagem, inserção de buchas a quente e montagem de coletores de admissão, conforme a Figura 1, utilizados em motores a combustão.

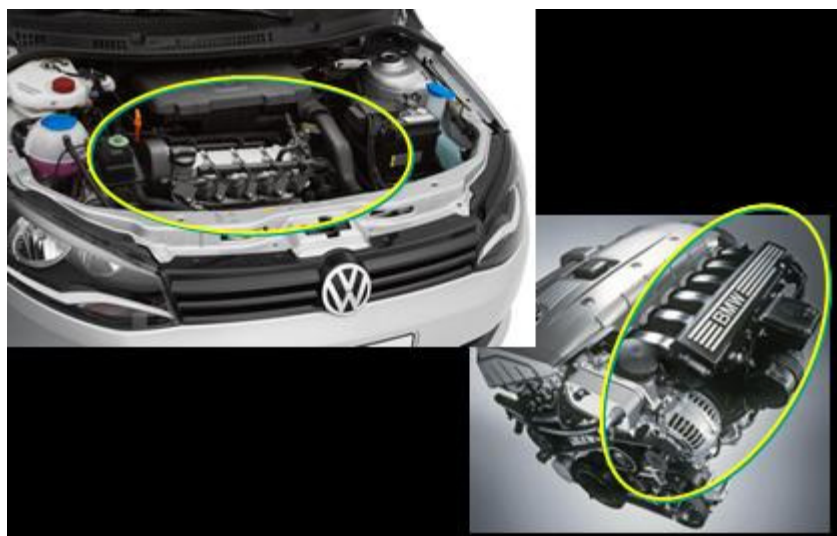


Figura 2: Localização do coletor de admissão no automóvel.

Os coletores de admissão são componentes utilizados em motores, conforme a Figura 2, para induzir o ar a entrar na câmara de combustão e se misturar ao combustível.

O produto estudado é composto de uma série de componentes plásticos injetados que posteriormente são unidos por meio de soldagem por fricção mecânica.

O motor de um automóvel é uma máquina que exige boa resistência a grandes variações de temperatura e vibração dos componentes agregados a este.

A resina plástica utilizada para a manufatura deste produto possui boas propriedades mecânicas relativas à resistência a grandes variações de temperatura. Porém, existe um problema quanto à fixação deste produto no motor

e de periféricos ao mesmo. Devido às altas vibrações, torques elevados são necessários para manter a fixação dos componentes por meio de parafusos.

A resina plástica não permite que altos torques sejam aplicados, pois, o mesmo não resiste mecanicamente.

Desta forma, o recurso de engenharia utilizado para que sejam aplicados altos torques nos pontos de fixação dos componentes é a aplicação de insertos metálicos nos pontos onde serão utilizados parafusos.

Estes insertos metálicos resistem a torques maiores do que as resinas plásticas. O problema então é como aplicar insertos no componente injetado em resina plástica?

Sobreinjeção é um processo largamente utilizado, porém, pela quantidade de pontos de fixação, a complexidade do molde de injeção inviabiliza esta técnica.

A técnica aplicação de insertos por interferência mecânica não garante resistência mecânica a altos torques.

Desta forma, a melhor técnica de fixação destas buchas é o processo de embuchamento por transferência térmica.

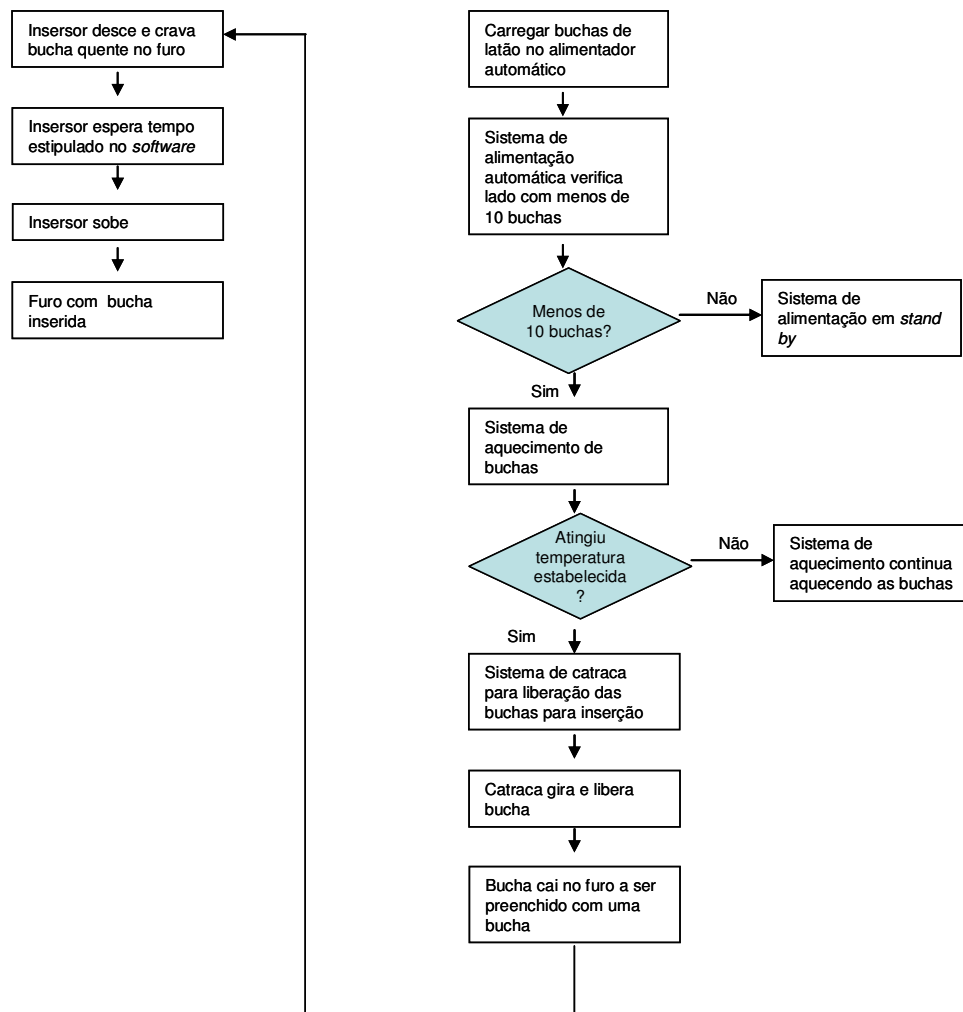


Figura 3. Fluxo de operação do equipamento de inserção de buchas metálicas a quente.

O processo de embuchamento por transferência térmica, conforme descrito na Figura 3, consiste em aquecer uma bucha metálica de latão até 260° C, posicioná-la no furo com interferência mecânica e por meio de um insensor, empurrá-la até o fundo do furo. Sendo o material das paredes do furo um termoplástico, o calor latente da bucha plastifica o termoplástico permitindo que a bucha seja inserida. Após alguns segundos, o termoplástico sofre um resfriamento no qual solidifica o termoplástico fixando a bucha ao corpo do coletor de admissão.



Figura 4. Localização das buchas metálicas no coletor de admissão.

Vale lembrar que os elementos gráficos (imagens, tabelas, quadros, gráficos etc) devem ser apresentados no corpo do texto, sendo numerados e titulados e apresentar indicação das fontes que lhes correspondem. Além disso, deverão ser encaminhados em arquivos separados (extensão JPEG, GIF, TIFF ou similar), por e-mail junto com o artigo. Recomenda-se que sejam confeccionados para sua reprodução direta.

O resultado final deste processo de inserção são 15 insertos de latão inseridos termicamente nos quais receberão parafusos para fixar componentes nele e fixar a si próprio ao motor do automóvel. Conforme a Figura 4.

O equipamento de inserção de buchas funciona praticamente sem ação do operador.



Figura 5. Controladores de temperatura.

O operador deve somente carregar no dispositivo posicionador o coletor de admissão soldado e apertar um botão. Além disso, deve manter abastecido o alimentador automático de buchas.

O aquecimento das buchas é realizado em um dispositivo de aquecimento por meio de uma resistência elétrica de cerâmica que é controlada por um controlador de temperatura, conforme Figura 5, que recebe as informações de temperatura no conjunto de catraca de buchas onde as buchas são aquecidas e liberadas para inserção.



Figura 6. Sistema de insensor e aquecedor de buchas.

O sistema de aquecimento de buchas demonstrado na Figura 6, como já citado anteriormente, consiste em um sistema de catraca com 10 posições onde as buchas são aquecidas por meio de uma resistência elétrica cerâmica. O alimentador automático alimenta a catraca de 10 posições que abriga uma bucha em cada uma delas.

Toda vez que é necessária a inserção de uma bucha, a catraca gira até o duto de posicionamento da bucha onde a bucha cai por gravidade até o furo a ser embuchado.

Essa cavidade da catraca que fica vazia será movimentada angularmente até chegar no duto de abastecimento onde o alimentador automático enviou as buchas. É definido que pelo menos 10 buchas devem estar no duto de abastecimento aguardando uma cavidade vazia da catraca do dispositivo de aquecimento atinja-o. Sendo preenchida com uma das dez buchas que estão esperando serem aquecidas.



Figura 7. Alimentador automático de buchas.

O alimentador automático apresentado na Figura 7 em a função de alimentar do duto de alimentação e posicionar as buchas na posição correta já que estas são cônicas para facilitar a inserção das mesmas no furo do coletor.



Figura 8. Sistema de inserção e aquecimento duplo.

A Figura 8 demonstra que o equipamento estudado possui dois dispositivos de aquecimento de buchas. Isso aumenta a quantidade de buchas inseridas melhorando a produtividade. Ambos dispositivos possuem o mesmo desenho de fabricação.

Para que o alimentador automático alimente os dois dispositivos existe um selecionador de duto de abastecimento que seleciona em que duto a bucha já posicionada corretamente deve ser alimentada.



Figura 9. Alojamento sem a bucha.

As cavidades do coletor de admissão da Figura 9 que receberão as buchas metálicas possuem paredes de poliamida com carga mineral de 30% e 15% de fibra de vidro.

Este material resiste a grandes variações térmicas, vibrações e esforços decorrentes do vácuo do motor. Até mesmo, pequenas explosões decorrentes do retorno das explosões da câmara de combustão são suportadas por este material.

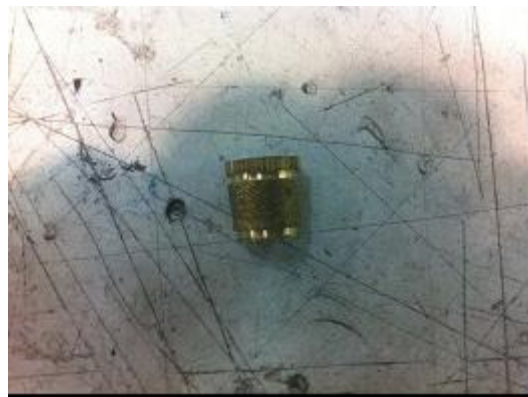


Figura 10. Bucha metálica.

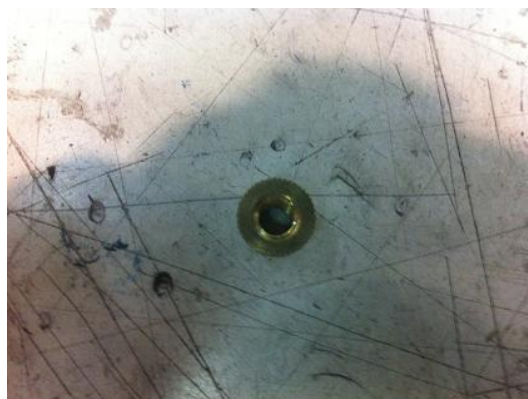


Figura 11. Bucha metálica vista de topo.

O inserto metálico que preenche as cavidades do coletor de admissão possui o furo interno roscado e a parede externa recartilhada para aumentar a fixação da mesma as paredes do furo do coletor, conforme a Figura 10 e Figura 11.

O material é uma liga 70/30 de latão e possui o perfil externo cônico para facilitar a penetração do mesmo quente à parede do furo do coletor.

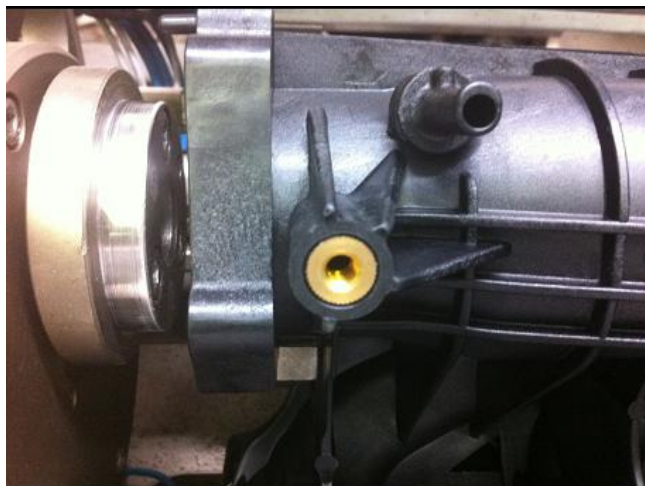


Figura 12. Bucha metálica inserida no alojamento.

Após a sua inserção, não é permitido que a poliamida derretida cubra a flange do inserto como demonstrado na Figura 12. Esta falha acarretaria na má fixação do parafuso e componente e posteriormente uma possível soltura dos mesmos, ocasionados por aplicação torque incorreto ou perda do mesmo ao longo do ciclo de vida do produto.



Figura 13. Bucha metálica inserida no alojamento vista de perfil.

Observada de perfil, como na Figura 13, o corpo da bucha deve estar rente a flange do furo ou no máximo 0,3mm com o seu corpo para fora da cavidade. Não é permitido que a bucha esteja abaixo do flange do furo. Pois, no momento da aplicação de torque a bucha pode ser sacada, pois, este inserto resiste apenas a esforços angulares. Esforços axiais retiram com certa facilidade a bucha.



Figura 14. Método de medição da altura de inserção da bucha utilizando um relógio comparador.

O método de medição utilizado para verificação da altura de inserção da bucha é um relógio comparador que mede as distâncias dos planos do flange da bucha e do flange do furo, conforme Figura 14.

O operador deve realizar esta medição três vezes ao turno: no início, no meio e ao final.

São justamente durante estes controles que os operadores verificam um grande descontrole do processo.

São verificadas as alturas de inserção determinadas pela especificação citada acima não estão sendo respeitadas.

Quando o problema é detectado, o técnico de processo é acionado e pela tentativa e erro, o mesmo ajusta o processo em uma intervenção que dura em muitos casos horas.

Deve-se determinar pelo método de planejamento de experimentos quais são as variáveis a serem controladas e quais são os limites estabelecidos para o atendimento da especificação de 0 a 0,3mm de altura de inserção da bucha em relação ao topo do furo do coletor de admissão.

Primeiramente serão determinados neste artigo quais são as variáveis que afetam o processo para posteriormente serem estudadas.

Para a determinação destas variáveis será utilizado o método de Ishikawa.

4 RESULTADOS

Após a realização de um *brainstorming*, verificaram-se quais seriam as possíveis variáveis do processo.

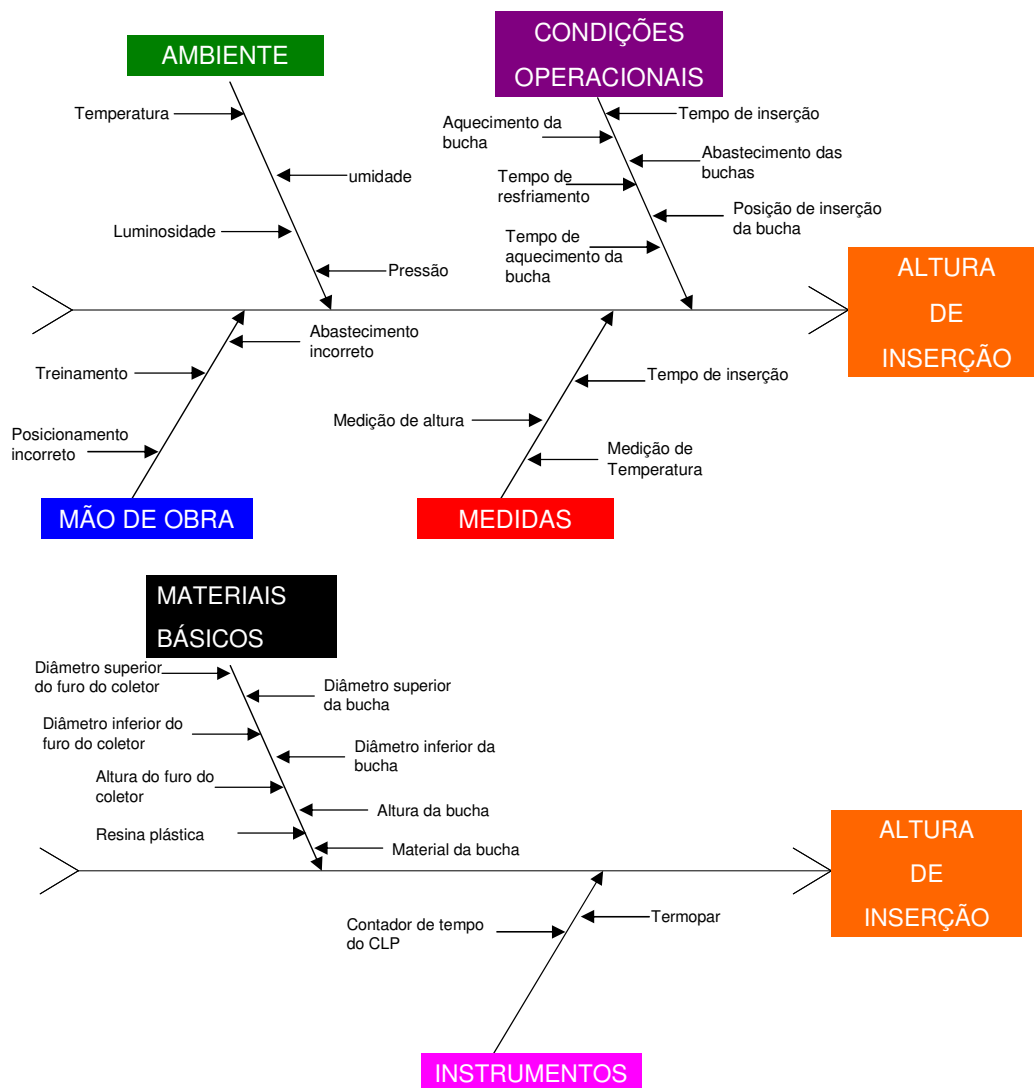


Figura 15. Diagrama de Ishikawa para determinar quais são os fatores determinantes para a altura de inserção das buchas metálicas.

Todas essas possíveis variáveis afetam a cabeça do diagrama determinado como sendo a altura de inserção da bucha metálica, conforme visto na Figura 15. Na verdade, esses fatores tentam responder a questão: Quais são as variáveis que afetam a altura de inserção da bucha?

Deste diagrama, podem-se definir quais variáveis serão estudadas e suas faixas alteradas no processo. E quais variáveis serão mantidas constantes e não serão estudadas.

Os fatores que afetam a altura de inserção são:

- Temperatura de aquecimento da bucha;
- Tempo de inserção;
- Diâmetro superior do furo do coletor;
- Diâmetro inferior do furo do coletor;
- Diâmetro superior da bucha;
- Diâmetro inferior da bucha;
- Temperatura externa;

- Composição da resina;

Escolheram-se como variáveis a serem estudadas:

- Temperatura de aquecimento da bucha;
- Tempo de inserção;

As demais variáveis serão consideradas constantes.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Verificaram-se na análise do Ishikawa várias variáveis do processo de inserção de buchas a quente devem ser controladas. Porém, apenas as variáveis temperatura de aquecimento da bucha e tempo de inserção conseguem ser controladas no equipamento.

O diâmetro superior e inferior do coletor não conseguem ser controlados no equipamento de inserção. Essas características são fixadas no processo de injeção plástica do fornecedor interno da empresa estudada. Uma vez dentro das especificações de projeto, esta característica não é variável e se mantém constantes. Para provar tal fato, um estudo de capacidade do processo para verificar a estabilidade do processo deve ser executada.

Para as características diâmetro inferior e superior da bucha, verificaram-se que a mesma é uma peça usinada com boa estabilidade dimensional. Todavia, um mesmo estudo de capacidade é necessário para provar esta tal capacidade dimensional.

A temperatura externa também não pode ser controlada.

Já a composição da resina depende muito do fornecedor. O equipamento de inserção de buchas não consegue controlar essa característica. De qualquer forma, o fornecedor emite relatórios de conformidade com as especificações em todos os lotes.

6 CONCLUSÃO

O processo de inserção de buchas a quente deve ser controlado de maneira mais eficaz para evitar perdas por controle de variáveis incorreto.

Existem estudos adicionais para apoiar a decisão de promover um experimento com base apenas na temperatura e tempo de inserção.

Apenas o estudo de capacidade dimensional poderá provar que realmente são constantes os diâmetros da bucha e furos de inserção do coletor.

Desta forma, pode-se estar melhores suportados nos próximos passos do estudo.

A ferramenta de análise de variáveis de Ishikawa ajuda a identificar os principais fatores que influenciam na altura de inserção da bucha.

Porém, a mesma não é suficiente para apoiar as decisões de eliminação de variáveis significativas.

Ou seja, a ferramenta Ishikawa ajuda a organizar as idéias do brainstorming, mas não é suficiente para a eliminação das variáveis não significativas para o estudo.

Com as variáveis constatadas neste diagrama pode-se iniciar a segunda parte do estudo que se refere a análise da quantidade de experimentos necessários e a relação entre as variáveis.

Mas antes, os estudos de capacidade deverão ser executados para apoiar a decisão de eliminação de variáveis não significativas.

Nesta outra parte do estudo deverão ser verificados além da prova de que as outras variáveis são realmente estáveis, a quantidade de amostras para o experimento e as metodologias de análise do planejamento de experimentos.

Esse planejamento será demonstrado oportunamente em outro artigo

REFERÊNCIAS

- Faria Neto, Antonio, 2011, "Planejamento de Experimentos: Curso Introductório", Relatório de Pós Doutorado, Guaratinguetá.
- Montgomery, Douglas C., 1976, "Design and Analysis of Experiments", 5th Edition, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-31649-0.
- Montgomery, C. D.; Runger, G. C. , 2003, "Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros", 2ª edição, editora LTC.
- Neto, B. B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. , 2007, "Como fazer experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria", unicamp
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W. 1998, "Applied multivariate statistical analysis", 4.ed. Nova Jersey: Prentice Hall, Inc..
- Sanchez, S.M., 2006, "Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments", In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA.

**Paulo Roberto Pereira
Manzoli**

Universidade de Taubaté
paulo.manzoli@gmail.com

**Viktor Alexeevich
Pastoukhov**

Universidade de Taubaté
vpastouk@gmail.com

CÁLCULOS AUXILIARES PARA ANÁLISE DE TOLERÂNCIA AO DANO EM INSTALAÇÕES DE ANTENAS EM FUSELAGENS PRESSURIZADAS

RESUMO

As necessidades da indústria aeronáutica exigem a criação de estruturas eficientes, com equilíbrio entre durabilidade, confiabilidade e de tolerância aos danos, estimulando o surgimento de ferramentas de análise. O estudo sobre o assunto levou às equações cinéticas que relacionam a taxa de propagação de trincas com fatores de intensidade de tensão, representando tanto o efeito da carga externa quanto da geometria. As soluções para determinação de funções geométricas dos fatores de intensidade de tensão derivam de métodos variados, já havendo várias bibliotecas dessas funções para componentes estruturais de geometrias padronizadas. Para novas configurações, é necessário o desenvolvimento de tais funções utilizando métodos numéricos avançados, como de elementos finitos. As mesmas ferramentas também são aplicadas em cálculos que determinam o efeito de abaulamento da trinca, fornecendo soluções mais adequadas para levantamentos exclusivos de fatores geométricos requeridos na análise de propagação de trincas em fuselagens pressurizadas modificadas pela instalação de antenas.

Palavras-chave: Elementos Finitos, Funções Geométricas, Instalação de Antenas, Propagação de Trincas, Tolerância ao Dano.

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

1 INTRODUÇÃO

A fadiga de estruturas de aeronaves é um fenômeno largamente conhecido e estudado desde que o eixo da hélice da aeronave Kitty Hawk se quebrou, atrasando o primeiro vôo dos irmãos Wright (BOGGS et al., 1976). A magnitude dos efeitos dos fenômenos de fadiga é observada através dos estudos efetuados por especialistas de indústrias, centros acadêmicos, agências reguladoras e companhias aéreas em todo o mundo desde que o engenheiro francês Jean-Victor Poncelet cunhou o termo fadiga em 1839 (SWIFT, 1987).

A trinca por fadiga vem ao longo dos anos representando a grande maioria de falhas em serviço de estruturas e componentes nas engenharias aeronáutica, civil e mecânica. Essas falhas são originadas por cargas mecânicas, ambientes agressivos ou temperaturas elevadas. De acordo com Fine (1980), as falhas devido à fadiga podem ser classificadas em fenômenos distintos, mas que se relacionam: deformação plástica cíclica antes do início da fratura, início de uma ou mais trincas microscópicas, união de microfissuras para formar uma macrotrinca inicial, posterior propagação macroscópica da trinca, e, a degradação da resistência mecânica com a conseqüente falha catastrófica final.

Os requisitos técnicos e as necessidades econômicas da indústria aeronáutica exigem a criação de estruturas eficientes, havendo um cuidadoso equilíbrio entre durabilidade, confiabilidade, eficiência e de tolerância a danos. Nos últimos 50 anos, muitos avanços foram feitos na análise de tensões de componentes estruturais de aeronaves, na compreensão do comportamento do crescimento de trincas originadas por fadiga em materiais metálicos, e na previsão da resistência residual de complexas estruturas de aeronaves com diversos danos. Embora a taxa de falhas em estruturas de aeronaves devido à fadiga tenha caído significativamente a partir de meados da década de 1950 (GORANSON, 2007), vários estudos foram feitos desde então para melhorar a compreensão do processo da fratura por fadiga, e, várias ferramentas avançadas surgiram para analisar a segurança de estruturas contra falhas inesperadas.

O fracasso da aeronave de transporte comercial Comet, ocorrido por causa de trincas originadas por fadiga (COHEN et al., 1955), deu origem ao estudo de propagação de trincas a partir da presença de algum defeito inicial e também utilizando o conceito de fatores de intensidade de tensão de Irwin (1957), Paris, Gomez e Anderson (1961) e Paris e Endorgan (1963). A abordagem dos fatores de intensidade de tensão em trincas levou Neuber (1961) e Hardrath e Ohman (1953) a equações que relacionam tensões e deformações plásticas às concentrações de tensões elásticas. Em seguida, Hutchinson (1968) e Rice (1968) observaram algumas semelhanças entre a relação elástico-plástica das trincas de Neuber e as respectivas soluções para o comportamento das mesmas. Com a utilização dos parâmetros de formato de trincas com ângulos agudos de abertura, McEvily Jr. e Illg (1958) correlacionaram a taxa de crescimento de trincas por fadiga de uma forma muito semelhante ao conceito atual de taxas ΔK .

Anos mais tarde, este parâmetro de ângulo de abertura de trinca mostrou-se diretamente relacionado com o fator de intensidade tensão (PARIS; ENDORGAN, 1963). O conceito dos fatores de intensidade de tensão rapidamente evoluiu para os conceitos de durabilidade e tolerância ao dano, que são atualmente utilizados em projetos de componentes críticos (NEWMAN JR., 1997). Estudos efetuados pelo método de elementos finitos mostraram que, além dos fatores de intensidade de tensão, a geometria também pode afetar a propagação de trincas (FLECK; NEWMAN JR., 1988), sendo constatado que os fatores de correção geométricos se relacionam com os fatores de intensidade de tensão em trincas de geometrias arbitrárias em chapas de comprimento infinito.

Existem muitas soluções para a determinação de fatores geométricos para correção de fatores de intensidade de tensão em diversas condições geométricas, que derivam de diferentes métodos, e, podem ser utilizadas em condições de contorno ou em soluções aceitáveis. Porém, essas soluções, em alguns casos, não refletem as geometrias e os carregamentos reais em análise.

Para estruturas com geometrias complexas, muitas vezes, é mais apropriado o desenvolvimento de fatores de correção geométricos através de métodos numéricos e de elementos finitos, permitindo estimativas para geometrias que não são facilmente modeladas em formatos já listados em bibliografias. A aplicação dessas metodologias também pode acelerar o processamento de casos de múltiplas trincas para encontrar a influência das variações das configurações na solução encontrada.

Para materiais que apresentam uma grande plasticidade e trincas com crescimentos estáveis antes do rompimento completo, não há um consenso sobre o método mais satisfatório para a análise de propagação de trincas (NEWMAN JR., 1985).

A necessidade de grandes volumes de cálculos auxiliares pode ser otimizada através de abordagens sistêmicas, onde a dificuldade apresentada por este problema estimula o trabalho de procura sobre alternativas para a modelagem do comportamento de trincas originadas por fadiga. Uma alternativa promissora é mostrada pelo conceito de fratura local, onde a propagação da trinca é considerada como a sequência de falhas de partes elementares do material que sofrem esforços variáveis e acumulam danos à medida que a extremidade da trinca se aproxima (LEMAITRE, 1986). Assim, obtêm-se resultados estimados adequados sobre a propagação de trincas e da vida residual, utilizando-se apenas de dados básicos sobre o comportamento mecânico do material e sua vida útil estudada em amostras sem trincas iniciais.

O presente trabalho visa mostrar uma compilação das formas utilizadas para o levantamento dos fatores de correção geométricos, através da aplicação de métodos numéricos, de elementos finitos e analíticos para o dimensionamento de modificações de estruturas de fuselagens através de instalação de antenas.

2 FUNÇÕES GEOMÉTRICAS PARA CORREÇÃO DE FATORES DE INTENSIDADE DE TENSÃO

A abordagem da mecânica da fratura linear elástica para análise de trincas em estruturas depende do cálculo dos fatores de intensidade de tensão K para as geometrias típicas de trinca que necessitam de avaliação.

Normalmente, as soluções aproximadas são obtidas usando soluções manuais conhecidas, considerando os efeitos individuais para a geometria da trinca, geometria da estrutura e o seu carregamento.

De acordo com Gallagher et al. (1984) há três fatores relacionados à geometria que normalmente devem ser considerados na análise de trincas de estruturas tolerantes ao dano: concentrações de tensões, largura da trinca e formato da trinca. Os efeitos desses fatores podem ser modelados precisamente utilizando procedimentos de análise numérica. Frequentemente, o processo de crescimento da trinca provoca constantes mudanças em seu formato, o que dificulta significativamente a sua análise.

O efeito da concentração de tensão é relativamente fácil para se estimar em pequenas trincas, pois o fator de intensidade de tensão para uma trinca elementar pode ser multiplicado por funções geométricas β tabeladas (WRIGHT, 2011), porém, conforme a propagação das trincas originadas em áreas com concentrações de tensões

avança, estas se propagam através dos campos de estresse criados pelas concentrações de tensões, e, a influência do gradiente de estresse deve ser considerada (GALLAGHER et al., 1984).

Com a extremidade da trinca se aproximando de uma borda livre, o seu fator de intensidade de tensão aumenta rapidamente, tendendo ao infinito. Nota-se a contribuição da largura da trinca com a influência do fator multiplicativo β , na mesma maneira que a largura afeta a solução para trincas centradas carregadas remotamente.

O início de trincas nas junções de chapas rebitadas ocorre normalmente em furos, quinas ou trincas superficiais próximas aos furos de rebites na superfície de contato da junção. A partir desse ponto, devido às cargas cíclicas, as trincas continuam crescendo em direção à superfície livre da junção oposta ao local em que teve início. A condição de carga primária é causada pela pressurização interna da cabine (Figura 1) (FAWAZ; de RIJCK, 2000). Normalmente, a localização e a direção da propagação da trinca é perpendicular à tensão máxima principal.

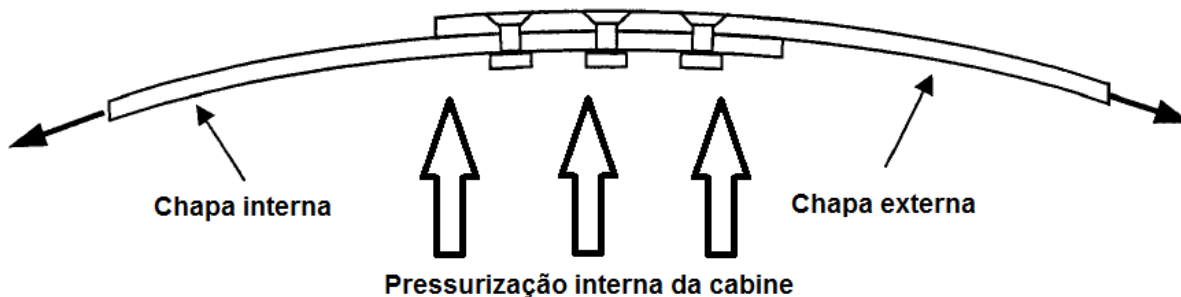


Figura 1. Típica união de chapas rebitadas em fuselagens.

Fonte: (FAWAZ; de RIJCK, 2000).

De acordo com Kosai, Shimamoto e Kobayashi (1996), as trincas longitudinais ao longo das junções das chapas de revestimento da fuselagens são mais perigosas do que as trincas circunferenciais, pois há uma maior possibilidade de ocorrência de múltiplos danos ao longo da junção longitudinal. Além disso, em fuselagens cilíndricas submetidas à pressões internas, trincas com extremidades longitudinais são mais afetadas pelo abaulamento das chapas do que trincas circunferenciais (FOLIAS, 1970). Isto faz com que o abaulamento local flexione a extremidade da trinca e aumente efetivamente o fator de intensidade de tensão nessa região (HEATH; NICHOLLS; KIRKBY, 1976).

A maior dificuldade na precisa obtenção de fatores de intensidade de tensão para trincas com geometrias complexas é a determinação do formato da trinca em função do seu tamanho, sendo também utilizados fatores multiplicativos específicos β para cada formato estudado. Trincas tridimensionais tendem a crescer de tal modo que as fissuras mudam a sua geometria para a forma mais favorável à sua propagação. A taxa de crescimento de trincas ao longo de sua extremidade varia em função da força motriz nesse local, sendo este controlado pela geometria da estrutura, estado de tensão, tamanho da trinca e a forma da extremidade da fissura.

Nos casos onde o cálculo para a obtenção dos fatores de intensidade de tensão não pode ser obtido de modo analítico, a análise pelo método de elementos finitos pode ser usada para a resolução deste tipo de problema. Certas configurações estruturais de aeronaves podem ser analisadas pelo método de elementos finitos, devendo se aplicar as condições de contorno e cargas necessárias ao modelo em análise (GALLAGHER et al., 1984).

As modelagens padrões pelo método de elementos finitos não permitem cobrir o comportamento singular das tensões nas proximidades das extremidades das trincas, sendo, portanto, necessário a adoção de procedimentos

especiais para determinação dos fatores de intensidade de tensão. Uma abordagem para a obtenção dos fatores de intensidade de tensão, utilizando-se a modelagem pelo método de elementos finitos, é a utilização do método de fratura local, onde uma trinca é incorporada no sistema de malha de elementos finitos e os fatores de intensidade de tensão são determinados a partir das tensões nodais individuais ao longo da extensão limiar à trinca (PASTOUKHOV et al., 2012).

Devido às furações presentes nas chapas de revestimento de fuselagens, que são pontos de concentração de tensões, e, também da trinca introduzida na modelagem do elemento analisado, uma malha bem fina deve ser elaborada em torno dessas regiões, devendo definir adequadamente o esforço e os gradientes de tensão em torno dos mesmos. A retirada de material para a instalação de antenas em chapas de revestimento de fuselagens tem um efeito semelhante ao processo de propagação de trincas, onde ocorre a introdução de pequenas falhas que podem se originar devido a problemas originados pelos rebites de fixação do reparo na chapa de revestimento original.

3 MÉTODOS PARA LEVANTAMENTO DE FUNÇÕES GEOMÉTRICAS PARA CORREÇÃO DE FATORES DE INTENSIDADE DE TENSÃO

De acordo com Broeck (1988), a função geométrica ou fator geométrico β é um termo que se relaciona com o fator de intensidade de tensão em uma trinca de qualquer geometria arbitrária em uma placa de comprimento infinito. Tomando-se o termo mais significativo na definição de Broek (1988), obtém-se:

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

Sendo K o fator de intensidade de tensão, σ a tensão normal aplicada e a o comprimento da trinca.

Modificando a Equação 1 para uma placa de dimensões finitas, tem-se:

$$K = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi A}{W}\right) \left(\frac{A}{C}\right) \sigma \sqrt{\pi a}} \quad (2)$$

Onde W é a largura da chapa e C é o comprimento da chapa. Introduzindo β , temos:

$$K = \beta \left(\frac{A}{C}\right) \sigma \sqrt{\pi a} \quad (3)$$

Onde:

$$\beta = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi A}{W}\right)} \quad (4)$$

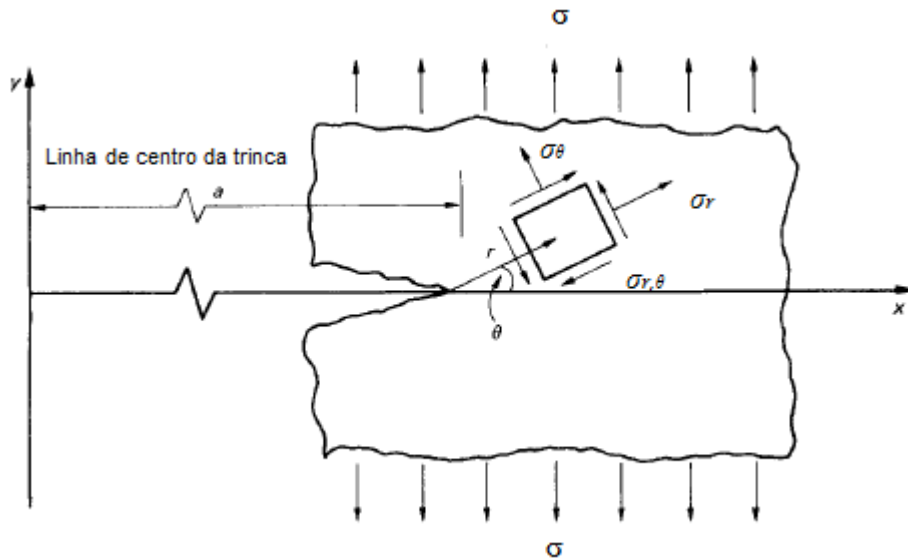


Figura 2. Estado de tensão próximo à extremidade da trinca.
 Fonte: (MEGSON, 2007).

Portanto, o fator β da Equação 4 fornece a correção de uma placa de dimensões finitas para uma placa de dimensões infinitas. Nota-se que diferentes fatores de intensidade de tensão são definidos para os diferentes tipos de cargas associadas com os métodos de propagação de trincas. A Figura 3 mostra os três tipos geométricos de carregamento em componentes com trincas. O modo 1 (de abertura) ocorre quando a trinca é solicitada por uma força perpendicular ao plano onde se encontra. O modo 2 (de escorregamento) ocorre pela aplicação de uma força de cisalhamento paralela ao eixo axial da trinca. O modo 3 (de rasgamento) refere-se à aplicação de força de cisalhamento perpendicular ao plano que contem a trinca (KNOTT, 1973).

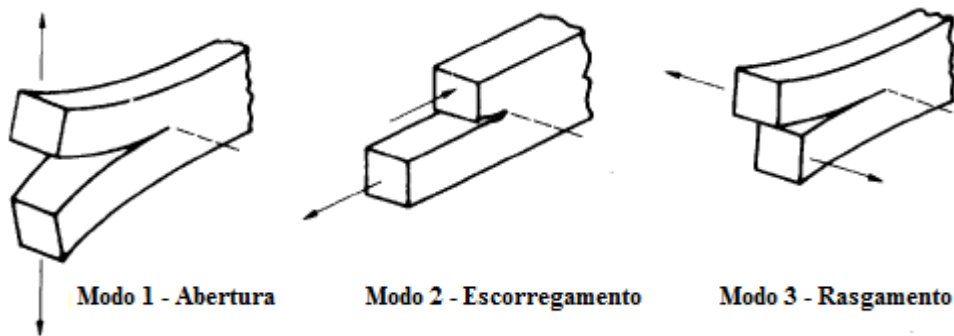


Figura 3. Modos geométricos de carregamento.

O estado das tensões na região da extremidade da trinca, normalmente é descrito por um modelo bidimensional que pode ser utilizado como uma aproximação para muitos casos práticos de carregamentos tridimensionais. Assim, a tensão na distância x ($x \leq a$) a partir da extremidade da trinca de comprimento $2a$, mostrada na Figura 2, pode ser expressa sob a forma (KNOTT, 1973):

$$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_{r,\theta} = \frac{K}{\sqrt{2\pi x}} f(\theta) \tag{5}$$

onde $f(\theta)$ é uma função diferente para cada uma das três tensões e K é o fator de intensidade de tensão; K é um fator originado em função da geometria em análise, do carregamento aplicado e também das dimensões da trinca. O termo $\sqrt{2\pi x}$ e $f(\theta)$ são referentes às tensões nas proximidades da trinca e são os mesmos para todas as trincas submetidas à pressões externas que provocam aberturas de trinca de mesmo tipo. A Equação 5 se aplica a todos os modelos de trincas abertas (MEGSON, 2007).

O fator de intensidade de tensão K pode assumir um valor máximo K_{max} correspondente à carga máxima do ciclo. Em uma carga onde a razão entre a tensão mínima e a tensão máxima do ciclo for igual a zero, a variação do fator de intensidade de tensão ΔK durante um ciclo de carga será igual ao K_{max} , pois:

$$\Delta K_I = (1 - R)K_{max} \quad (6)$$

O fator de intensidade de tensão K_{max} pode ser expresso através da Equação 7, podendo ser aplicada em diversas configurações de chapas com trincas sujeitas à tração no sentido perpendicular ao maior eixo da trinca e com apoios distantes da mesma (PASTOUKHOV et al., 2012).

$$K_{max}(\sigma, a) = \sigma\sqrt{\pi a}\beta \quad (7)$$

A utilização do método de composição de vários fatores geométricos, através das combinações de formatos de geometrias simples, com a utilização do método de elementos finitos e de fatores de concentrações de tensões, permite a obtenção de fatores geométricos β precisos. Um dos desafios na criação de soluções compostas é determinar o desmembramento do problema em condições de contorno apropriadas. Assim, os elementos de subestruturas devem continuar a comportar-se da mesma forma que a estrutura completa para a modelagem ser válida (BROEK, 1988).

Os estudos de Brussat (1981), Gallagher et al. (1984), Newman (1976) e Shah (1976) fornecem soluções para os fatores geométricos na correção dos fatores de intensidade de tensão para diferentes geometrias pré-determinadas. Essas soluções derivam de diversos métodos e podem ser usadas em condições de contorno ou em soluções aceitáveis de engenharia. No entanto, essas soluções não refletem as geometrias e carregamentos reais em análise.

Considerando que as regiões das estruturas analisadas quanto à propagação de trincas em instalação de antenas em fuselagens podem não ser simétricas, a composição de métodos ou modelos pré-elaborados não são aplicáveis nestes casos. Em decorrência disso, os fatores de intensidade de tensão não podem ser derivados a partir de soluções de funções geométricas tabeladas. Para esses casos, se faz necessário a aplicação de modelos numéricos para o desenvolvimento de funções geométricas β (BROEK, 1988).

3.1 Método Numérico para Levantamento de Funções Geométricas para Correção de Fatores de Intensidade de Tensão

Wright (2011) descreve um método numérico para determinação de fatores geométricos através da utilização do *software* StressCheck (STRESSCHECK®, 2011). O *software* StressCheck inclui ferramentas para calcular indiretamente os fatores geométricos, através da determinação dos fatores de intensidade de tensão K_1 (Modo 1) e K_2 (Modo 2). K_1 e K_2 são calculados utilizando uma extração através do método da integral de contorno, através de uma seção normal à tangente da trinca, obtendo as informações de forças e de deslocamento ao longo de um percurso circular contida no plano de corte, centrado na ponta da trinca, conforme mostrado na Figura 4. Este método, por

essência, é uma solução de aproximação em duas dimensões para uma seção de um corpo em três dimensões. Seções múltiplas podem ser feitas para mapear o fator de intensidade de tensão em torno da parte frontal da trinca. Uma limitação desse método é que a simplificação funciona só para a determinação de K_1 e K_2 , pois K_3 está fora do plano do corte, conforme mostrado na Figura 3.

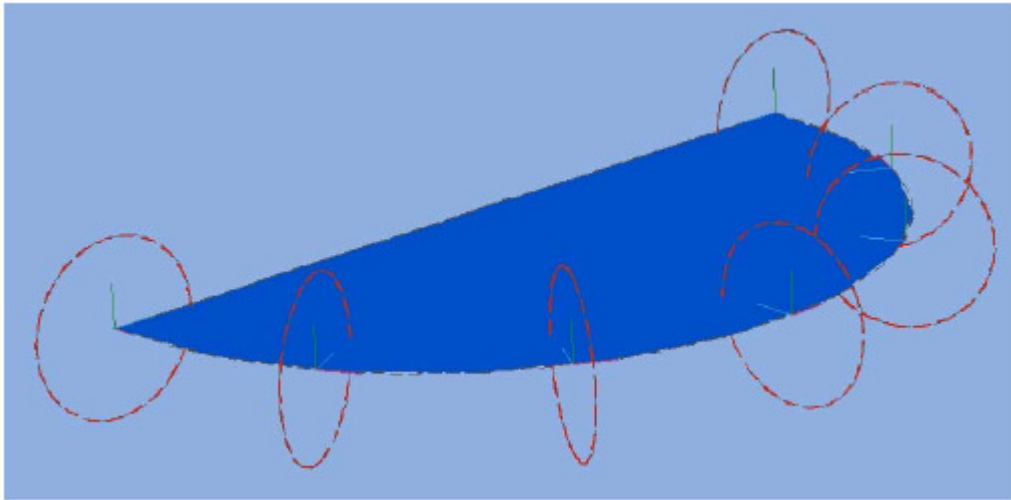


Figura 4. Uma trinca semicircular em três dimensões vista de um corpo, com extrações em duas dimensões tomadas em seções normais à tangente da trinca.

Fonte: (WRIGHT, 2011).

Uma vez determinados os valores de K_1 e K_2 , os fatores geométricos β_1 e β_2 são encontrados:

$$\beta_1 = \frac{K_{1\ total}}{\sigma\sqrt{\pi a}} \quad (8)$$

$$\beta_2 = \frac{K_{2\ total}}{\sigma\sqrt{\pi a}} \quad (9)$$

$K_{1\ total}$ e $K_{2\ total}$ referem-se à média aritmética de todas as extrações feitas de K_1 e K_2 .

3.2 Outros Métodos para Cálculo de Fatores Geométricos

A metodologia proposta por Pastoukhov et al. (2012) demonstra que o levantamento de novas funções geométricas tem como ponto de partida a análise de tensão no revestimento modificado por reparo ou pela instalação de antena, introduzindo uma pequena trinca que possa surgir em decorrência da falha de um dos rebites que fixam o reparo ou a chapa de reforço de instalação de antena no revestimento original da fuselagem, tendo esta pequena trinca um comprimento padrão de 1,27 mm.

A eficiência deste método está na construção de uma malha refinada de maneira adequada nas proximidades das áreas de maior concentração de tensão e simétrica aos furos das chapas, conforme mostrado na Figura 5. A propagação de trincas irá ocorrer em torno das furações e ao longo das carreiras dos rebites instalados, devendo-se repetir o procedimento para trincas de tamanhos intermediários até que a sua dimensão crítica seja atingida. Como se pode observar na Figura 6, os rebites externos apresentam uma concentração de tensão maior que os demais (NIU, 1999).

Este procedimento fornece um diagrama de tensão na linha de propagação da trinca, onde se aplica uma solução assintótica devido à distribuição da tensão normal nas proximidades de suas extremidades (PASTOUKHOV et al., 2012).

Adaptando a Equação 5, temos:

$$\sigma_y(x) = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi x}} \quad (10)$$

Desta forma, o coeficiente de intensidade de tensão K_1 pode ser calculado quando a condição mostrada na Equação 11 for observada em um trecho significativo do diagrama.

$$\sigma_y(x) \sqrt{2\pi x} \approx cte. (x) \quad (11)$$

Atribuindo a nomenclatura $K_1(A)$, que é o valor máximo do fator de intensidade de tensão, pode-se calcular $\beta(A)$ através da Equação 7.

Com esta metodologia, também é possível definir a melhor forma para escolher os valores de comprimento de trinca, nos quais os modelos de elementos finitos devem ser elaborados e analisados para a obtenção das funções geométricas $\beta(A)$.

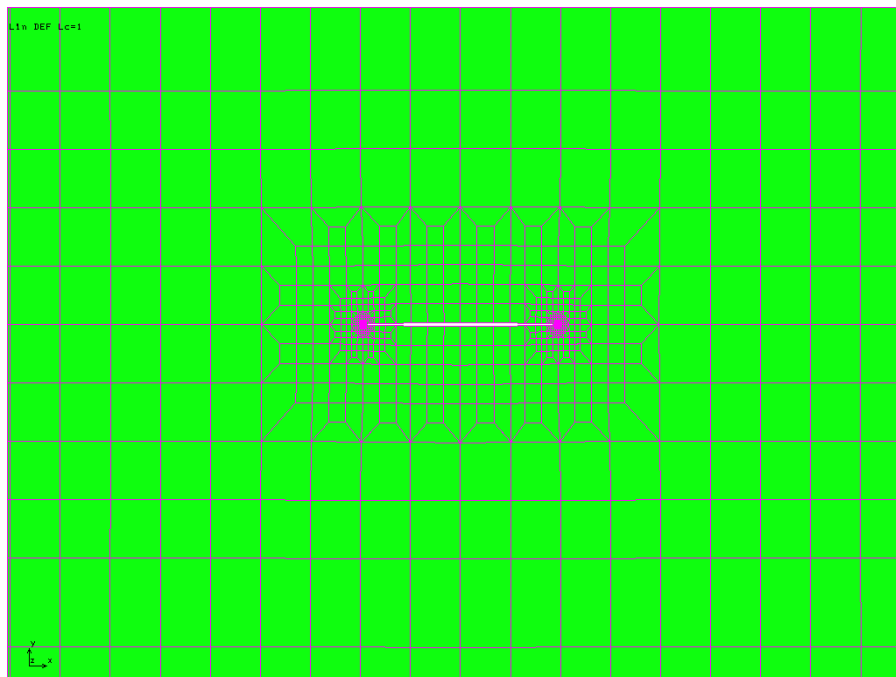


Figura 5. Refinamento da malha nas extremidades da trinca.

Fonte: (PASTOUKHOV et al., 2012).

Partindo-se da premissa que a condição crítica da trinca é quando a mesma se estende até a caverna mais próxima, ou então, pelo critério de tenacidade à fratura, faz-se necessário a repetição do procedimento para trincas com tamanhos intermediários.

$$K_{\max}(\sigma, A) = K_{1c} \quad (12)$$

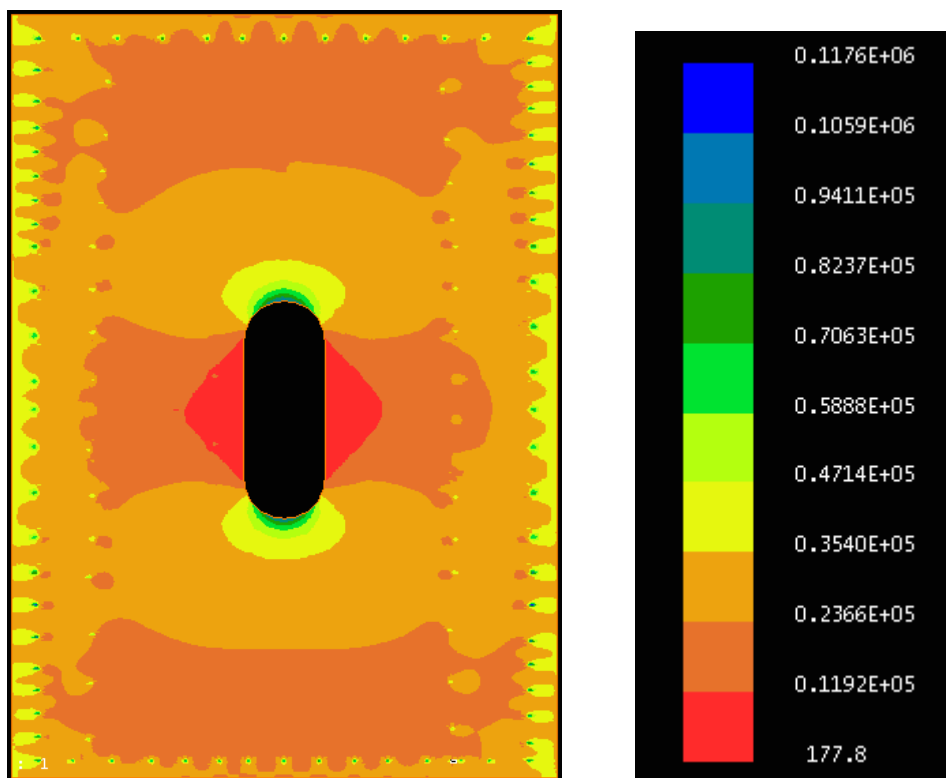


Figura 6. Representação gráfica de concentração de tensão gerada pela furação de rebites no revestimento de fuselagem.

3.3 Aplicação da Integral- J

Seguindo a teoria de Cherepanov – Rice (CHERPANOV, 1967) e (RICE, 1968), outra técnica para cálculo do fator de intensidade de tensão é a utilização do fator com integrais invariantes de natureza energética.

De forma independente, Cherepanov (1967) e Rice (1968) introduziram o conceito de integral para qualquer forma de contorno para a avaliação de problemas de trincas bidimensionais. O trabalho de Rice (1968) aplica o comportamento elástico linear e não linear dos materiais, o que resulta em tensões que podem ser derivadas de um potencial (a densidade de energia de deformação). A equação 13 define a Integral- J :

$$J = \int_{\Gamma} W dy - T \frac{\partial u}{\partial x} ds \quad (13)$$

Onde:

$$W = \int_0^{\epsilon} \sigma_{ij} d\epsilon_{ij} \quad (14)$$

Γ = qualquer contorno circulando a ponta da trinca, tomado na direção anti-horária.

W = densidade de energia de deformação.

u = componente de deslocamento.

x, y = coordenadas retangulares.

T = intensidade de tração no contorno Γ em torno da ponta da trinca.

ε_{ij} = deformação.

ds = incremento ao longo do contorno.

$i, j = 1, 2, 3$

Uma interpretação do significado físico da Equação 13 é a diferença de energia potencial entre dois corpos carregados de maneira idêntica e que possuem trincas de dimensões semelhantes (SCHNEIDER, 2001).

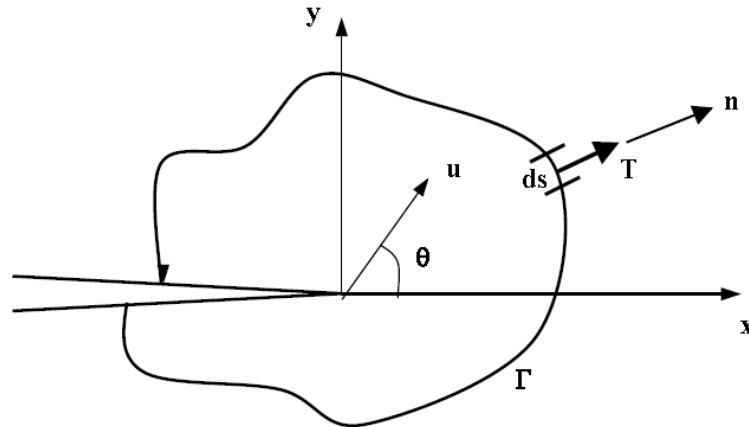


Figura 7. Contorno arbitrário em torno de uma trinca utilizado na definição da Integral- J .
Fonte: (SCHNEIDER, 2001).

Através do valor de J , o fator de correção de tensão K_1 é calculado através da relação:

$$J = \frac{K_1^2}{E} \quad (15)$$

Sendo E o módulo de Young do material.

Obtendo-se o valor de K_1 , pode-se calcular o valor de $\beta(A)$, isolando este parâmetro na Equação 7.

4 FATORES DE ABAULAMENTO

De acordo com Potyondy, Wawrzynek e Ingraffea (1995), os fatores dominantes que afetam o comportamento das trincas nas chapas de revestimento de fuselagens pressurizadas são:

1. Efeito de enrijecimento geometricamente não linear que restringe a margem de abaulamento da trinca;
2. Presença de elementos que alteram a distribuição de tensões no enrijecimento da chapa;
3. Pressão interna e as cargas mecânicas que atuam sobre a estrutura; e
4. Efeitos da plasticidade do material.

Para trincas em uma fuselagem pressurizada, a deformação fora do plano da chapa de revestimento, ou abaulamento nas bordas da trinca, é a característica principal dos campos de deslocamento. O fenômeno *bulging* (abaulamento) ocorre quando a pressão no interior da fuselagem provoca deslocamentos, na região onde se localiza, fora do plano da trinca.

Os fatores de abaulamento (*bulging factors*) nas chapas de revestimento das fuselagens são funções não lineares das pressões aplicadas, das propriedades dos materiais, e dos parâmetros geométricos - incluindo os raios

das respectivas seções das fuselagens - as espessuras das chapas de revestimento e os comprimentos das trincas. Para a precisa modelagem do abaulamento de trincas, incluindo a deformação fora do plano, a teoria de grande deslocamento e de geometrias não lineares devem ser considerados.

Em revestimentos de fuselagens com trincas longitudinais, os fatores de correção geométrica β devem ser corrigidos para refletir a influência do efeito *bulging*. A Equação 16 demonstra como os fatores de correção de *bulging* podem ser calculados (SWIFT, 1987) e (WALLNER, 2004):

$$\beta_b = 1 + \frac{5L}{R} \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi x}{L} \right) \right] \right\} \quad (16)$$

Onde β_b é o fator de *bulging*, L é a distância entre cavernas de uma estrutura semi-monocoque, R é o raio da fuselagem e x é a distância entre a linha de centro da seção entre as cavernas da estrutura semi-monocoque e a ponta da trinca.

As formas para o cálculo do fator de correção de *bulging* são demonstradas por Rahman, Bakuckas Jr. e Bigelow (2004).

Desta forma, os fatores de correção geométrica β , denominados de $\beta_{\text{corrigido}}$, podem ser obtidos da seguinte forma (WALLNER, 2004):

$$\beta_{\text{corrigido}} = \beta_{sp} \times \beta_b \quad (17)$$

Onde β_{sp} é o fator de correção para trincas em painéis reforçados, obtidos através dos métodos desenvolvidos por Rahman, Bakuckas Junior e Bigelow (2004) e β_b é o fator de *bulging* calculado pela Equação 16.

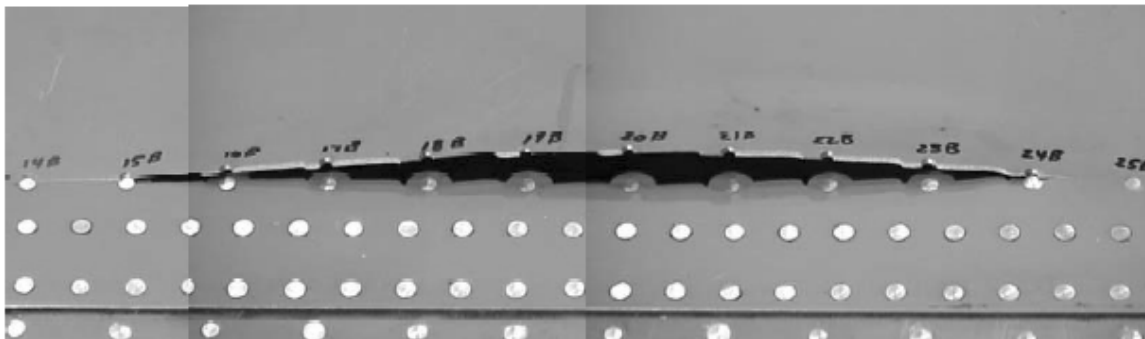


Figura 8. Trinca numa fileira externa de rebites de uma junta rebitada de chapas sobrepostas.

Fonte: (RAHMAN; BAKUCKAS JUNIOR; BIGELOW, 2004).

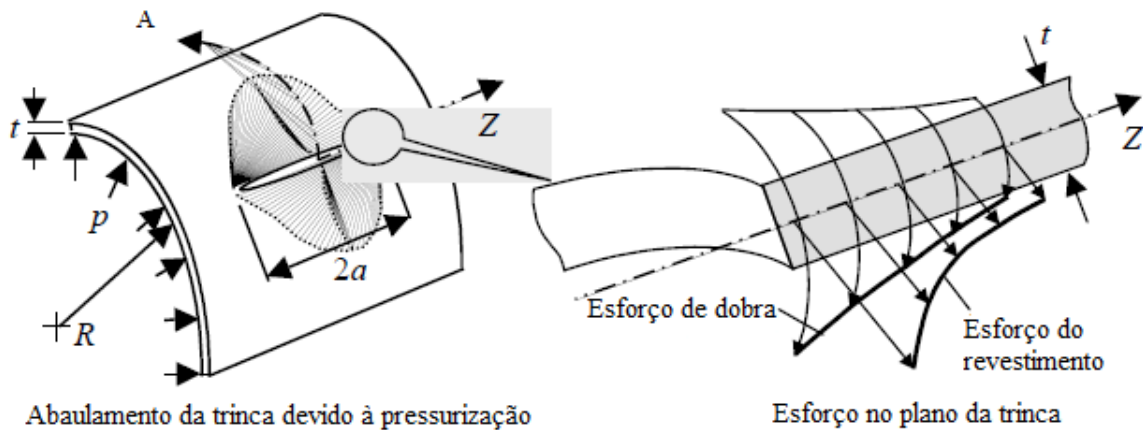


Figura 9. Fenômeno *bulging* (abaulamento).
 Fonte: (RAHMAN; BAKUCKAS JUNIOR; BIGELOW, 2004).

5 RESULTADOS

Em se tratando de modificações de aeronaves, onde, muitas vezes as instalações são únicas, não se repetindo em outras aeronaves, as configurações geométricas necessárias para instalações de antenas em fuselagens podem não se adequar às configurações já estudadas e publicadas, havendo então a necessidade de análises únicas e customizadas para a necessidade singular, e, por conseguinte o levantamento de fatores geométricos únicos.

Essa demanda por projetos customizados requer a análise prévia de várias configurações geométricas possíveis, onde diferentes possibilidades como posicionamento entre cavernas, espaçamentos entre rebites, alterações de tipo e tamanhos de rebites e espessura de chapas de reforço devem ser avaliadas. A escolha da configuração e o posicionamento na fuselagem dependerá das condições requeridas pelo projeto e dos resultados obtidos nas análises efetuadas.

A quantidade de configurações geométricas a serem analisadas irá depender também das diversas possibilidades de posicionamento físico da antena na fuselagem, devendo-se considerar as especificações técnicas e os requisitos de certificação de aeronavegabilidade para o cenário de falha.

As soluções analíticas, para as diversas configurações geométricas que devam ser analisadas, podem ser efetuadas através da aplicação do princípio da superposição ou por análise composta. Estes métodos são úteis para a delimitação de soluções exatas, devendo ser utilizados quando o objetivo da análise estiver relacionado à compreensão de todos os aspectos do comportamento da trinca (GALLAGHER et al., 1984).

Considerando a aplicação de fatores geométricos β disponíveis para análises estruturais de fuselagens modificadas por reparos ou instalações de antenas, estes se tornam muito conservativos para as funções levantadas. Desta forma, os fatores geométricos β podem ser levantados através da análise das tensões no revestimento modificado com a introdução de pequenos defeitos que possam se originar devido aos problemas oriundos dos rebites de fixação da chapa de reforço na chapa de revestimento original (PASTOUKHOV et al., 2012), ou por método numérico, com a utilização do *software* StressCheck (STRESSCHECK®, 2011), onde os fatores de intensidade de tensão K_1 e K_2 são calculados utilizando uma extração conforme o método da integral de contorno, sendo os fatores geométricos obtidos indiretamente através da determinação prévia dos fatores de intensidade de tensão K_1 e K_2 (WRIGHT, 2011).

Para a obtenção de funções geométricas confiáveis, Wright (2011) menciona a necessidade da combinação de métodos para a obtenção de dados aceitáveis para a engenharia. Pastoukhov et al. (2012) recomenda a aplicação simultânea da metodologia da integração numérica da Equação Cinética de Propagação de Trincas, relacionando a taxa de propagação da trinca com o valor atual do fator de intensidade de tensão e com as constantes do material, juntamente com a aplicação da Integral- J .

Os métodos analíticos, numéricos e de elementos finitos utilizados no levantamento das funções geométricas não consideram, entre outros fatores, o raio de curvatura das fuselagens em suas respectivas modelagens empregadas. Considerando que as trincas longitudinais são as mais críticas numa fuselagem, faz-se necessário a utilização de fatores de abaulamento (*bulging*) para correção dos fatores de geométricos β , de modo a refletir a influência do efeito *bulging* em revestimentos de fuselagens com trincas longitudinais.

6 CONCLUSÃO

Considerando as características de estruturas tolerantes ao dano, e, também a necessidade de elaboração de projetos customizados para a análise de propagação de trincas em fuselagens modificadas através da instalação de antenas em fuselagens, o levantamento de funções geométricas necessita da aplicação de pelos menos dois métodos distintos para obtenção de dados confiáveis que permitam, de maneira analítica, uma comparação entre os mesmos para a aceitação dos resultados. A aplicação de métodos numéricos e de elementos finitos podem fornecer resultados mais precisos do que as metodologias que utilizam as conservativas funções β disponíveis para análises estruturais. Porém, a utilização de métodos analíticos podem oferecer parâmetros confiáveis para a verificação dos dados obtidos através de outros métodos. A correção dos fatores geométricos através do uso dos fatores de abaulamento através de cálculos elementares incrementa a precisão das funções, permitindo uma análise e modelagem mais realista dos fenômenos físicos que ocorrem em trincas longitudinais de fuselagens. As diversas configurações geométricas possíveis para a instalação de antenas em fuselagens demandam a utilização de ferramentas matemáticas e computacionais para o levantamento de funções geométricas singulares e consequentes cálculos para determinação do tempo de vida em fadiga e especificação de períodos e intervalos de inspeção para a manutenção da aeronavegabilidade continuada. O resultado desse processo é refletido em dados mais precisos e confiáveis, com ganhos de confiabilidade na especificação dos períodos para a realização de inspeções e tempo para expectativa de início de trincas com consequentes ganhos de eficiência e confiabilidade do equipamento.

REFERÊNCIAS

- BOGGS, B. C. et al.. Digital and Analog Computer Equipment and Its Application to In-House Testing. In: MINDLIN, Harold; LANDGRAF, Ronald W. Use of Computers in the Fatigue Laboratory. [S.l.]: ASTM International, 1976. p. 2-26.
- BROEK, D.. The Practical Use of Fracture Mechanics. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1988. 540 p.
- BRUSSAT, T. R.. Mode I Stress Intensity for a Radial Crack at a Hole with Arbitrary Pressure Distribution. Engineering Fracture Mechanics, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 233-235, jan. 1981.
- CHEREPANOV, G. P.. Crack Propagation in Continuous Media. Applied Mathematical And Mechanic (PMM), Moscow, p. 476-488. 24 jan. 1967.
- COHEN, B. et al.. Report of the Court of Inquiry into the Accidents to Comet G-ALYP on 10 January 1954 and Comet G-ALYY on 8 April 1954. HMSO, London, 1955.
- FAWAZ, S. A.; de RIJCK, J. J. M. Stress Intensity Factors and Crack Interaction in Adjacent Holes: AFRL-VA-WP-TR-2000-3014. B Dayton: USAF, 2000. 34 p.
- FINE, M. E.. Fatigue Resistance of Metals. Metallurgical Transactions A, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 365-379, mar. 1980.

- FLECK, N. A.; NEWMAN, JR., J. C. Analysis of Crack Closure Under Plane Strain Conditions. In: ASTM International Symposium on Fatigue Crack Closure, 1986, Charleston, South Carolina, USA. Analysis of Crack Closure Under Plane Strain Conditions. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 1988. p. 1-23.
- FOLIAS, E. S.. On the Theory of Fracture of Curved Sheets. Engineering Fracture Mechanics, Salt Lake City, Utah, USA, v. 2, p. 151-164, nov.1970.
- FREUDENTHAL, A. M.. The Expected Time to First Failure. Wright-Patterson AFB, Ohio, USA: USAF, 1966. 26 p.
- GALLAGHER, J. P. et al.. USAF Damage Tolerant Design Handbook: Guidelines for the Analysis and Design of Damage Tolerant Aircraft Structures: AFWAL-TR-82-3073. B Dayton: USAF, 1984. 1343 p.
- GORANSON, U. G.. N.I. In: International Conference on Damage Tolerance of Aircraft Structures, DTAS 2007., 2007, Delft, The Netherlands. Damage Tolerance Facts and Fiction... Seattle, Washington, USA: Boeing, 2007. p. 1-59.
- HARDRATH, H. F.; OHMAN, L.. A Study of Elastic and Plastic Stress Concentration Factors Due to Notches and Fillets, NACA TR 1117, 1953, 24 p.
- HEATH, W. G.; NICHOLLS, L. F.; KIRKBY, W. T. Practical Applications of Fracture Mechanics Techniques to Aircraft Structural Problems. In: AGARD Conference Proceedings - AGARD Structures and Materials Panel, 221, 1976, London, UK. Fracture Mechanics Design Methodology... [S.I.]: NATO, 1976. p. 1.1-1.22.
- HUTCHINSON, J. W.. Singular Behaviour at the End of a Tensile Crack in a Hardening Material. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Harvard University USA, p. 13-31. jan. 1968.
- IRWIN, G. R.. Analysis of Stress and Strain Near the End of a Crack Traversing a Plate. Journal of Applied Mechanics, Providence, RI, USA, p. 361-364. 1957.
- KNOTT, J. F.. Fundamentals of Fracture Mechanics. New York: Butterworth & Co Publishers Ltd, 1973. 284 p.
- KOSAI, M.; SHIMAMOTO, A.; KOBAYASHI, A. S.. Axial Crack Propagation and Arrest in a Pressurized Fuselage. Washington: FAA, 1996. 187 p.
- LEMAITRE, J.. Local approach of fracture. Engineering Fracture Mechanics, [S.I.], v. 25, n. 5-6, p. 523-537, jan. 1986.
- McEVILY JR., A. J.; ILLG, W.. The Rate of Fatigue-Crack Propagation in Two Aluminum Alloys: Technical Note 4394. Washington, D.C: National Advisory Committee for Aeronautics, 1958. 47 p.
- MEGSON, T. H. G.. Aircraft Structures for Engineering Students. 4. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 638 p.
- NEUBER, H.. Theory of Stress Concentration for Shear-Strained Prismatical Bodies With Arbitrary Nonlinear Stress-Strain Law. Journal of Applied Mechanics, Munich, Germany, p. 544-550. dez. 1961.
- NEWMAN, JR., J. C.. Predicting Failure of Specimens with Either Surface Cracks or Corner Cracks at Holes: NASA TN D-8244. Langley Research Center, Hampton, Virginia: National Aeronautics and Space Administration, 1976. 42 p.
- NEWMAN, JR., J. C.. An Evaluation of Fracture Analysis Methods. In Elastic-Plastic Fracture Mechanics Technology, ASTM STP 896, Philadelphia, pages 5-96, 1985.
- NEWMAN, JR., J. C.. The Merging of Fatigue and Fracture Mechanics Concepts: A Historical Perspective. Langley Research Center, Hampton, Virginia: National Aeronautics and Space Administration, 1997. 52 p.
- NIU, M. C. Y.. Airframe Structural Design: Practical Design Information and Data on Aircraft Structures. 2. ed. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Co., 1999. 612 p.
- PARIS, P. C.; ERDOGAN, F.. A Critical Analysis of Crack Propagation Laws. Journal of Basic Engineering, Bethlehem, PA, USA., p. 528-534. dez. 1963.
- PARIS, P. C.; GOMEZ, M. P.; ANDERSON, W. E.. The Rational Analytic Theory of Fatigue. The Trend in Engineering, Seattle, WA, p. 9-14. jan. 1961.
- PASTOUKHOV, V. et al.. Método de Elementos Finitos. In: Simpósio de Mecânica Computacional, 10., 2012, Belo Horizonte. Otimização de Cálculos Auxiliares para Análise de Estruturas Tolerantes ao Dano... [S.I.: s.n.], 2012. p. 1-11.
- POTYONDY, D. O.; WAWRZYNEK, P. A.; INGRAFFEA, A. R.. Discrete crack growth analysis methodology for through cracks in pressurized fuselage structures. International Journal for Numerical Methods in Engineering, [S.I.], v. 38, n. 10, p. 1611-1633, maio. 1995.
- RAHMAN, A.; BAKUCKAS JR., J.; BIGELOW, C.. Bulging Factor Solutions for Cracks in Longitudinal Lap Joints of Pressurized Aircraft Fuselages. Washington, D.C: Federal Aviation Administration, 2004. 37 p.
- RICE, J. R.. A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks. Journal of Applied Mechanics, Providence, R. I., p. 379-386. jun. 1968.

- SHAH R. C.. Stress-Intensity Factors for Through and Part-Through Cracks Originating at Fastener Holes. Mechanics of Crack Growth. ASTM STP 590 - American Society for Testing and Materials, 1976. p. 429-459.
- SCHNEIDER, S.. Análise de Estabilidade de Estruturas Trincadas Via Integral-J Aplicada a Materiais Anisotrópicos Encruados. 2001. 213 f. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José Dos Campos, 2001.
- STRESSCHECK® - Getting Started Guide - Release 9.2. St. Louis, MO, U.S.A.: ESRD - Engineering Software Research & Development, Inc., 2011. 80 p.
- SWIFT, T.. Damage Tolerance in Pressurized Fuselage. In 11th Plantema Memorial Lecture, International Committee on Aeronautical Fatigue, 14th meeting. June 1987.
- WALKER, K.. The Effect of Stress Ratio During Crack Propagation and Fatigue for 2024-T3 7075-T6 Aluminum. In: ROSENFELD, M. S. et al. (Ed.). Effects of Environment and Complex Load History on Fatigue Life. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 1970. p. 1-14.
- WALLNER, C. A.. Análise de Reparos Estruturais Rebitados em Fuselagem de Aeronaves Comerciais. 2004. 110 f. Dissertação (Mestre) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José Dos Campos, 2004.
- WRIGHT, C.. Determination of Small Crack Stress Intensity Factors for an American Society for Testing Materials (ASTM) Middle Tension Test Specimen by Finite Element Method. Fishermans Bend, Victoria, Australia: Air Vehicles Division, 2011. 95 p.

**Patrícia Guimarães
Abramof**

ETEP – Faculdade de Tecnologia-SJC
patricia.abramof@csa.edu.br

Oscar Strauss

ETEP – Faculdade de Tecnologia-SJC
oscar.strauss@csa.edu.br

Rosemar Delpino

Faculdade ENIAC
rose.delpino@eniac.com.br

Ana Clara da Mota

Universidade de Taubaté
fernandesmota@uol.com.br

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

PROPOSTA DE ESTRUTURA DE AUTO-AVALIAÇÃO INSTITUCIONAL

RESUMO

A estrutura de auto-avaliação institucional proposta neste trabalho foi construída a partir do pressuposto que a avaliação é um empreendimento institucional na promoção do autoconhecimento e na tomada decisão com vistas ao aperfeiçoamento. O princípio deste tipo de avaliação está em aplicar as diretrizes do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior de forma útil, eficiente e eficaz na implantação, implementação e acompanhamento de cursos superiores, e dessa forma atender às especificidades da gestão da Instituição e dos Projetos Pedagógicos de seus cursos à luz da regulação. Para isso esta estrutura conta com várias metodologias e instrumentos de avaliação nos âmbitos da Instituição, dos seus cursos e do ensino praticado. A expectativa da proposta é atender ao controle da qualidade da educação segundo a regulação, e também às demandas e orientações do mercado de trabalho. Finalmente, este trabalho apresenta uma proposta de estrutura de avaliação que é uma ferramenta adicional de gestão, que proporciona com segurança a identificação de fragilidades, as quais podem ser indicações fundamentais para a definição de ações institucionais, que garantam um ensino de qualidade de acordo com os indicadores da regulação, com as expectativas da comunidade acadêmica e com o mercado de trabalho.

Palavras-chave: Auto-avaliação institucional, Estrutura de avaliação, Instrumentos de avaliação, Regulação.

ABSTRACT

The structure of institutional self-assessment proposed in this paper was built on the assumption that evaluation is an institutional development in the pursuit of self promotion in order to facilitate decision making in promoting improvements. The principle of this type of evaluation is to apply the guidelines of a useful, efficient and effective deployment, implementation and monitoring of higher education taking into account the specificities of the management of the institution and its courses and Pedagogical Projects in the light of regulation. For this, the proposed structure has several assessment tools and methodologies in the areas of the institution, its courses and teaching practice attending not only to control the quality of education according to the regulation, but also in relation to the demands and guidelines of the labor market. Finally, this study is in agreement that the SINAES can be a management tool that considers weaknesses identified in the assessments cannot be improved immediately, but may be essential to determine signs of institutional actions that can create competitive advantages with the potential also identified.

Keywords: Institutional self-evaluation, Assessment framework, Assessment tools, Regulation.

1 INTRODUÇÃO

O significado da auto-avaliação institucional é restringido ao ser considerado exclusivamente como um processo de auditoria. Numa visão mais abrangente, a auto-avaliação vai além de procedimentos de verificação das práticas institucionais e abre caminho de definições com viés político-ideológico, que direcionam a avaliação para um processo emancipatório. Assim, a avaliação tida como mera prestação de contas perde espaço para um conceito mais subjetivo, o qual leva em consideração a dinâmica política, os pressupostos técnicos e o caráter de desenvolvimento e melhoria indicados pelos resultados de um processo avaliativo. Neste sentido a avaliação institucional pode ser considerada como um empreendimento na promoção da autoconsciência institucional, a qual constitui importante subsídio para o processo da tomada de decisão com vistas ao aperfeiçoamento, pois apresenta um ponto de fundamental importância, que é a intensa participação de membros da comunidade acadêmica tanto na identificação de critérios e procedimentos como na forma de utilização e encaminhamento dos resultados da avaliação (BELLONI, 1980).

O Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior, SINAES, foi instituído pela Lei 10.861 de 14 de abril de 2004, e busca integrar em um único sistema a avaliação de cursos para fins de regulatórios, a avaliação da Instituição de Ensino Superior para fins de credenciamento e autoconhecimento institucional e a avaliação do desempenho do estudante por meio do Exame Nacional do Desempenho do Estudante, ENADE. Deve ser enfatizado que a natureza da avaliação preconizada pelo SINAES é intrinsecamente formativa voltada para a atribuição de valores e mérito na busca do avanço da qualidade da educação e na emancipação das Instituições de Ensino Superior e de seus cursos. Assim, ao se tratar das diretrizes do SINAES pode ser percebido que os processos que envolvem esse tipo de avaliação constituem um importante recurso de gestão capaz de apontar os melhores caminhos para seu futuro sob a luz do Marco Regulatório.

A auto-avaliação institucional é parte integrante do SINAES, deve ser realizada dentro da Instituição de Ensino Superior, IES, sob a coordenação de uma Comissão Própria de Avaliação, CPA, que deve contar com a participação de representantes do corpo docente, corpo discente e funcionários. O propósito da auto-avaliação institucional deve ser utilizar processos avaliativos que possibilitem a identificação de aspectos, que devem ser indicações fundamentais para a definição de ações institucionais na condução de seus cursos (MURIEL, 2011).

Neste artigo é feito uma proposta de estrutura de auto-avaliação institucional que integra metodologias e instrumentos que contem aspectos relacionados com a regulação e com as especificidades da IES com seus cursos, estudantes, professores e infraestrutura. Essa estrutura de avaliação é apresentada como uma ferramenta adicional de gestão, que proporciona com segurança a identificação de fragilidades e potencialidades, as quais podem ser indicações fundamentais para a definição de ações institucionais, que garantam um ensino de qualidade de acordo com os indicadores da regulação, com as expectativas da comunidade acadêmica e com o mercado de trabalho.

2 ESTRUTURA DA AUTO-AVALIAÇÃO INSTITUCIONAL

A estrutura da auto-avaliação institucional proposta contem processos avaliativos de autoconhecimento e de controle da qualidade dos cursos da IES integrados com os indicadores da regulação. É constituída por dois blocos avaliativos, a avaliação do curso e a avaliação institucional. Cada bloco é composto por distintas metodologias e instrumentos específicos. A Figura 1 mostra a estrutura de auto-avaliação na forma de um mapa conceitual. O princípio desse tipo de avaliação está em aplicar as diretrizes do SINAES, por meio do trabalho da

Comissão Própria de Avaliação de forma útil, eficiente e eficaz na implantação, implementação e acompanhamento de cursos superiores da IES atendendo às especificidades da gestão da Instituição e dos Projetos Pedagógicos de seus cursos à luz da regulação. Assim os indicadores estabelecidos na legislação do SINAES e apresentados nos instrumentos de avaliação da regulação publicados pelo INEP, Instituto Nacional de Estatística e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, subsidiam a auto-avaliação institucional tratada neste trabalho.

A estrutura mostrada no mapa conceitual da Figura 1 é constituída por dois blocos referentes respectivamente à avaliação do curso e à avaliação institucional. Cada bloco é composto por distintas metodologias e instrumentos específicos.

A avaliação de curso é composta pela avaliação das condições de oferta de seus componentes curriculares e da avaliação da aprendizagem. Esse bloco da auto-avaliação institucional está relacionado com o Conceito de Curso (CC) obtido nos processos regulatórios de autorização, reconhecimento e renovação de reconhecimento de cursos. Esta relação acontece à medida que os resultados apresentados nos relatórios gerados pelas comissões ad hoc do INEP nas visitas in loco são utilizados como orientadores na gestão dos cursos. Da mesma forma, os relatórios gerados pelos resultados do ENADE são utilizados na gestão do Projeto Pedagógico do Curso.

A avaliação institucional é composta pela avaliação de infra-estrutura e serviços oferecidos pela IES além da avaliação nas 10 dimensões de avaliação do SINAES, que são a missão e o plano de desenvolvimento institucional, as políticas para ensino, pesquisa e extensão, responsabilidade social, comunicação, as políticas de pessoal, a organização e a gestão da instituição, a infra-estrutura física, o planejamento e a avaliação, as políticas de atendimento aos discentes e a sustentabilidade (BRASIL, 2004). Assim como na avaliação do curso, este bloco conta com procedimentos e instrumentos específicos que estão relacionados com outros índices e relatórios publicados anualmente pelo INEP, como no caso do IGC Índice Geral de Cursos (BRASIL, 2008) e pelos relatórios relativos ao CPC, Conceito Preliminar de Curso (BRASIL, 2009).

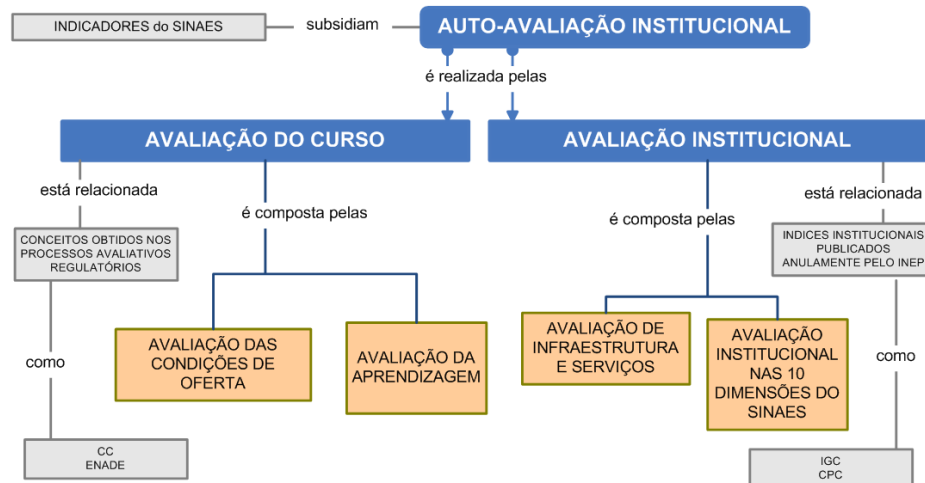


Figura 1: Estrutura da Auto-Avaliação Institucional formada por dois blocos de avaliação: avaliação do curso e avaliação institucional.

A Figura 2 mostra detalhes da estrutura de avaliação do curso que é parte da auto-avaliação institucional. A integração dessa parte da avaliação com os conceitos Conceito de Curso (CC) e ENADE é realizada por meio de treinamentos em processos de regulação com base nos instrumentos de avaliação publicados do INEP realizados por membro da CPA para professores e/ou funcionários com o objetivo de formar gestores na utilização dos

instrumentos de avaliação do SINAES. O treinamento pode ocorrer também por meio de palestras dirigidas a dirigentes, funcionários, professores e alunos em diferentes oportunidades com o objetivo de promover e disseminar na IES o entendimento e análise dos resultados apresentados nos relatórios disponibilizados pelo INEP. A parte operacional da avaliação do curso é realizada em duas vertentes, a avaliação das condições de oferta e avaliação da aprendizagem.

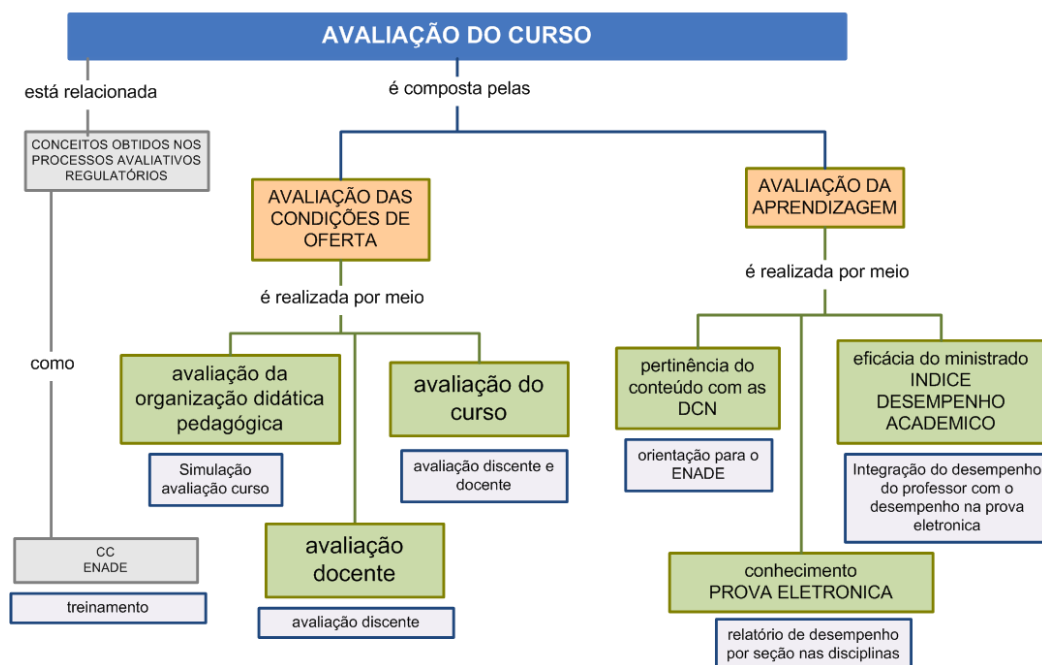


Figura 2: Detalhamento da avaliação do curso indicada na estrutura da auto-avaliação institucional.

A avaliação das condições de oferta é realizada em três momentos: na avaliação da organização didática pedagógica, na avaliação do curso e na avaliação docente.

2.1 Avaliação da Organização Didática Pedagógica

O instrumento denominado como simulação da avaliação do curso é uma planilha que apresenta os indicadores das três dimensões de avaliação contidas nos instrumentos da regulação para autorização, reconhecimento e renovação de reconhecimento de curso: organização didático-pedagógica, corpo docente e infraestrutura. O controle e o acompanhamento desses indicadores apresentam os seguintes objetivos:

- Auxiliar no dimensionamento do NDE, Núcleo Docente Estruturante (BRASIL, 2010), e na indicação das atividades de seus membros;
- Auxiliar na indicação de atividades que coloquem em prática as políticas pedagógicas previstas nos Projetos Pedagógicos dos Cursos;
- Auxiliar na indicação de ações preparatórias para os momentos da regulação, tanto no preenchimento dos Formulários Eletrônicos, quanto na apresentação de evidências nas visitas in loco das comissões de avaliação do INEP;
- Auxiliar a gestão da bibliografia dos cursos;
- Auxiliar a gestão do perfil do corpo docente dos cursos;

Para ilustrar, a Figura 3 apresenta imagem de parte de uma planilha de simulação da avaliação de curso. Esta planilha é composta pelos indicadores das 3 dimensões: organização didático pedagógica, corpo docente e infra-estrutura além dos requisitos legais estabelecidos pelo INEP nos instrumentos de avaliação. Estes indicadores são seguidos por critérios de avaliação, indicação de ações corretivas no período vigente, por atribuição de conceitos e justificativas. Esta simulação é utilizada pela gestão do curso como uma ferramenta adicional no planejamento das atividades relacionadas com o PPC, Projeto Pedagógico do Curso.

1	A	B	D	E	SIMULAÇÃO DE CONCEITO NOS INDICADORES			I	
					F	G	H		
2	Dimensão 2: Corpo docente		CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	Ações corretivas para 2010 (curtíssimo prazo)	Ações corretivas para 2010 (medio prazo)	ENG COMP.	ENG PROD.	ADM	JUSTIFICATIVA
3	2.1. Composição do NDE Núcleo Docente Estruturante	30% do corpo docente + coordenador	Adequação do número de docentes e CH total do NDE dos cursos de bacharelados	Otimizar o NDE para os tecnólogos, além de estudo de readequação do plano de carreira.	4	4	4		
4	2.2. Titulação e formação acadêmica do NDE	36% do NDE é Mestre e 24% Dr			3	3	3		
5	2.3. Regime de trabalho do NDE	75% do NDE é parcial e 25% Integral	sem indicação de ação		3	3	5		
6	2.4. Titulação e formação do coordenador do curso	graduação na área do curso, mestre e experiência de no mínimo 3 anos no magistério superior			3	3	3		
7	2.5. Regime de trabalho do coordenador do curso	1 hora para 30 vagas (considerando o somatório das vagas anuais do curso)	atribuição de mais 8 aulas para o coordenador (somatório vagas/numero de horas de dedicação do coordenador ao curso= 1000/32, isso significa 1 hora para 31,25)		3	3	3		
8	2.6. Composição e funcionamento do colegiado de curso ou equivalente	qualitativo	Melhorar a participação dos discentes no órgão Mudança na necessidade de Dr (de conceito 4 com 30% mestres)	Melhorar a participação dos discentes no órgão	3	3	3	Falta de interesse pela participação	

Figura 3: Detalhe de uma de planilha de simulação da avaliação de curso nas três dimensões – Organização didática pedagógica, corpo docente e infra-estrutura além dos requisitos legais.

2.2 Avaliação do Curso

Questionário de avaliação de curso por docente e discente é o instrumento que o docente e o discente avaliam o curso e sua contribuição na formação do profissional. As perguntas são elaboradas dentro das especificidades dos PPCs e também contam com perguntas abrangentes como as do questionário disponibilizado para respostas de estudantes na época do ENADE. Seu objetivo precípua é acompanhar a implantação e/ou implementação das políticas institucionais no contexto do curso. Assim os resultados são utilizados não só pelo coordenador do curso, mas também pelos professores do NDE como uma ferramenta adicional para auxiliar na gestão do curso.

2.3 Avaliação Docente

Questionário de avaliação docente é formado por perguntas relacionadas com as dimensões organizacional, funcional e individual das atividades dos docentes. Na dimensão organizacional são elencadas perguntas relacionadas com práticas padrão estabelecidas pela IES como, por exemplo, a apresentação e a aplicação do Plano de Ensino da Disciplina, pois neste documento são apresentados os objetivos, metodologias, bibliografia e formas de avaliação da disciplina. Na dimensão funcional, as perguntas são relacionadas com as habilidades para o ensino como, por exemplo, na demonstração de organização e preparação dos conteúdos, no incentivo e estimulação do aluno na realização das tarefas e na condução dos trabalhos em sala de aula. Na dimensão individual, as perguntas são relacionadas com a interatividade com os alunos, na manutenção de ambiente propício ao ensino e aprendizagem na sala de aula. Essa avaliação tem os seguintes objetivos:

- a) Caracterização do desempenho docente nas disciplinas.
- b) Proposição por professor de recuperação de pontos de baixo desempenho e fortalecimento de comportamentos positivos.
- c) Constituir material de consulta auxiliar na atribuição de aulas.
- d) Constituir subsídio para elaboração de plano de ação para o grupo de professores com menor desempenho nas dimensões tomadas em consideração.

A metodologia aplicada na realização dessa parte da avaliação conta com um planejamento que contenha a declaração de objetivos e indicadores em cada item, de procedimentos e instrumentos a serem empregados, de cronograma e planilha de acompanhamento e controle da realização das ações, e também a previsão da forma de comunicação dos resultados com as respectivas análises e proposição de ações corretivas (ABRAMOF et al, 2009).

A avaliação da aprendizagem é realizada, por sua vez, em outros três momentos: na avaliação da pertinência do conteúdo com as Diretrizes Curriculares Nacionais, DCN, na avaliação da eficácia do conteúdo ministrado e avaliação de conhecimento.

2.3 Avaliação do Conhecimento

O instrumento utilizado é a própria prova final da disciplina que é realizada em formato que permite a correção por leitura óptica das respostas dos alunos. As questões têm previamente identificação de qual seção do conteúdo se refere permitindo a análise dos resultados do desempenho do estudante por disciplina, por turma e por seção do conteúdo (MOTA et al, 2009). O desempenho dos estudantes individualmente ou por turma nas seções dos conteúdos dos componentes curriculares pode ser verificado por meio de relatórios gráficos como exemplares mostrado na Figura 4.

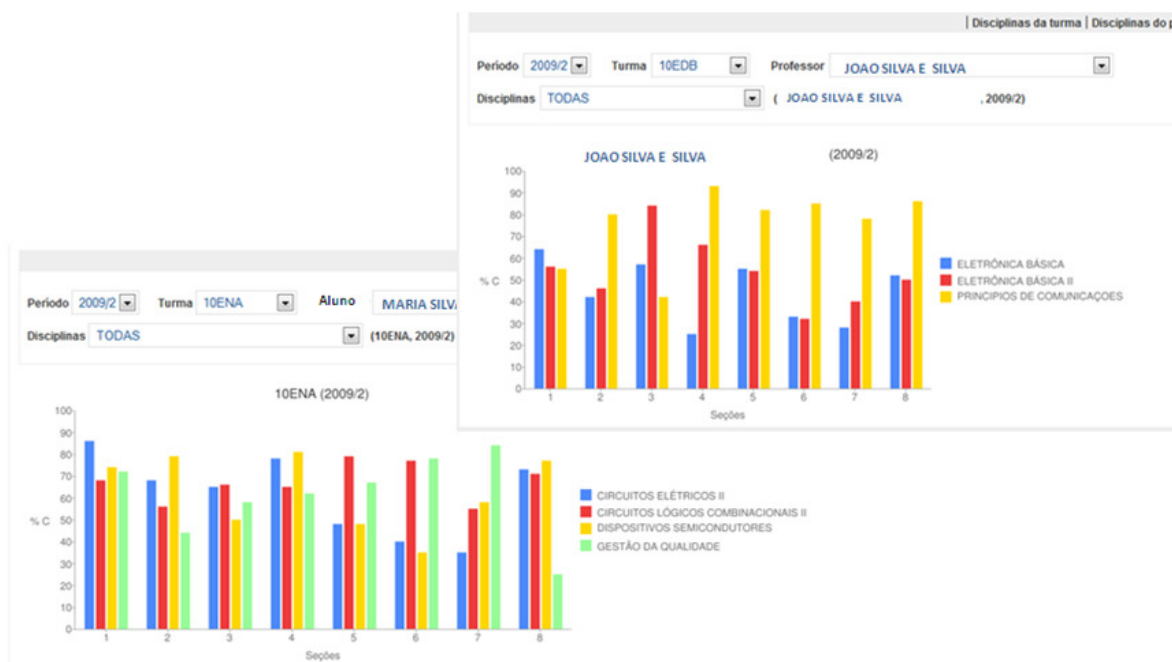


Figura 4: Imagens de exemplos de relatórios gráficos do desempenho dos estudantes nos conteúdos nas disciplinas selecionadas por aluno por turma e por professor.

2.4 Avaliação da Pertinência do Conteúdo com as DCN

Esse tipo de avaliação é realizado pelo Núcleo Docente Estruturante do curso com base nas Diretrizes Curriculares Nacionais específicas, nas diretrizes do ENADE e nas orientações do mercado de trabalho. Essa avaliação de pertinência tem o objeto principal de acomodar as atualizações dos conteúdos levando em consideração as tendências e demandas do mercado de trabalho sem, no entanto, distanciar das diretrizes para o curso. Dessa análise é indicado ou não a atualização ou revisão do projeto pedagógico do curso.

2.5 Avaliação da Eficácia do Conteúdo Ministrado

Esta parte desafiadora do processo avaliativo consiste em promover a avaliação da eficácia do conteúdo ministrado por meio de um índice de desempenho acadêmico que leve tanto o desempenho do estudante quanto o desempenho do professor nas disciplinas envolvidas no período.

A Figura 5 apresenta detalhe do mapa do segundo bloco da auto-avaliação institucional referente à avaliação institucional, que é composta pela avaliação de infraestrutura e serviços e pela avaliação institucional nas 10 dimensões do SINAES. A integração da avaliação institucional com o IGC e CPCs é também realizada por meio de treinamentos em processos de regulação com base nas Portarias Normativas do Marco Regulatório e nos relatórios anuais referentes ao IGC e CPCs oferecidos a professores, funcionários e dirigentes com o objetivo de promover o conhecimento da comunidade sobre a questões relacionadas com a supervisão, regulação e avaliação da educação superior no Brasil.

A avaliação de infraestrutura e serviços é realizada por meio de pesquisa de satisfação dos docentes e discentes em relação à IES e também individualmente em relação às disciplinas. O instrumento de avaliação é um questionário com perguntas relacionadas à infraestrutura comum a todos os cursos, à biblioteca, ao acervo, aos serviços de secretaria e portal além da avaliação da atuação da CPA. Esse questionário é aplicado anualmente por meio do Portal da Instituição com acesso restrito aos respondentes por meio do *login*. A pesquisa de satisfação com a infraestrutura específica de cada disciplina é realizada por meio de questionário contendo os serviços e infraestrutura previstos no PPC para desenvolvimento do curso. Este questionário é respondido semestralmente por alunos e professores de forma que permita o saneamento de fragilidades observadas se um período letivo para o outro.

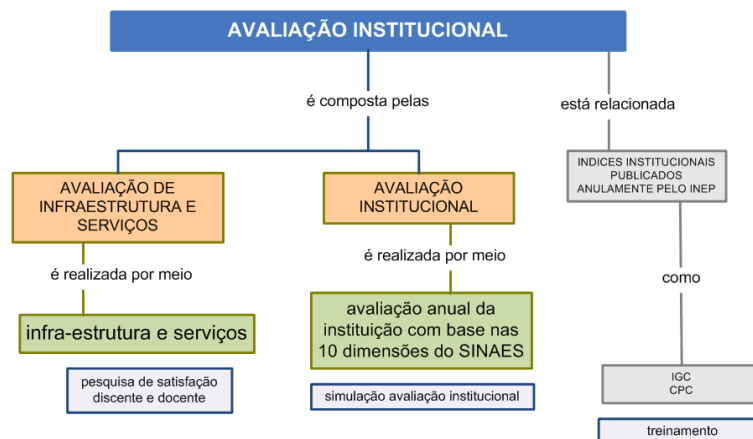


Figura 5: Detalhamento da avaliação institucional indicada na estrutura da auto-avaliação institucional.

A avaliação institucional é realizada em vários momentos e os instrumentos utilizados são planilhas que simulam processos avaliativos conforme os instrumentos de avaliação da regulação. Um instrumento é a simulação da avaliação da organização didático pedagógica do curso mostrada na Figura 3. Na realidade este instrumento é constituído por um conjunto de planilhas cada uma referente a um curso oferecido pela IES. Essa planilha serve a gestão do curso para a verificação de como está o desenvolvimento do curso dentro da perspectiva da regulação. Dessa planilha de gestão do curso outras planilhas foram geradas para controle, por exemplo, do perfil do corpo docente, do perfil e atividades do Núcleo Docente Estruturante e da bibliografia básica e complementar de cada curso.

A planilha de controle do perfil do corpo docente é uma planilha dinâmica que permite a avaliação do corpo docente que está lecionando e a previsão de ações corretivas para os próximos períodos letivos relacionadas com o atendimento dos indicadores de titulação, regime de trabalho, experiência acadêmica e profissional e produção acadêmica de cada docente. Outra planilha dinâmica associada à planilha de avaliação do curso é a planilha de gestão das bibliografias básicas e complementares por disciplina por curso. Nesta planilha o controle do acervo do curso pode ser feito tanto com base no número de vagas autorizadas quanto pelo número de alunos matriculados no curso, de forma que os gestores do curso poderão tomar decisões a partir da análise dos resultados da simulação. Outro subproduto da planilha de avaliação do curso é a planilha de controle do perfil e das atividades do NDE. Nesta planilha tanto o perfil quanto as atividades dos professores do NDE podem ser acompanhadas pelos gestores do curso com a finalidade de, se necessário, a alteração de atividades e/ou composição desse grupo de professores. A Figura 6 mostra detalhe da planilha de gestão do NDE e de suas atividades de acordo com os indicadores da legislação e das especificidades da IES e de seus cursos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M	N	O	P	T	X
1		Nome	TITULAÇÃO (DR, MSC, ESPECIALISTA)	Regime de Trabalho (INTEGRAL, PARCIAL)	AREA DE FORMAÇÃO	EXPERIENCIA (em anos)	CURSOS				Nº aulas semanais	MATRIZ DE ATIVIDADE					Total aula de atividade ^a
2						A	B	C	D	TCC		ESTÁGIO	PROJETOS	ENADE	CPA		
3	1	Professor 1															
4	2	Professor 2															
5	3	Professor 3															
6	4	Professor 4															
7	5	Professor 5															
8	6	Professor 6															
9	7	Professor 7															

Figura 6: Detalhe da planilha de gestão do perfil e atividades do Núcleo Docente Estruturante.

Outro instrumento importante é a planilha de simulação da avaliação institucional nas 10 dimensões do SINAES. Esta planilha de avaliação é aplicada anualmente a grupos segmentados da IES que atuam como avaliadores institucionais utilizando de metodologia parecida com a das avaliações in loco. Os resultados e considerações dos grupos são compilados em um único relatório que orientará a elaboração do relatório anual da auto-avaliação institucional juntamente com os resultados obtidos nos outros instrumentos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de avaliação, que deu origem a formação da estrutura de avaliação proposta neste trabalho, foi realizado tendo sempre como pressuposto que a avaliação é um empreendimento que busca a promoção da tomada de consciência sobre a instituição com o objetivo de promover melhorias. Isso significa que uma avaliação desse tipo pode ser muito mais que a aplicação de técnicas em processos de mera auditoria ou de cumprimento de obrigações legais.

A estrutura da auto-avaliação institucional proposta contém processos avaliativos de autoconhecimento e controle da qualidade dos cursos da IES integrados com os indicadores da regulação. O princípio desse tipo de avaliação está em aplicar as diretrizes do SINAES de forma útil, eficiente e eficaz na implantação, implementação e acompanhamento de cursos superiores da IES atendendo às especificidades da gestão da Instituição e dos Projetos Pedagógicos de seus cursos à luz da regulação.

Para isso a estrutura proposta conta com várias metodologias e instrumentos de avaliação nos âmbitos da IES, dos seus cursos e do ensino praticado atendendo não apenas o controle da qualidade da educação segundo a regulação, mas também em relação às demandas e orientações do mercado de trabalho.

Finalmente, este trabalho apresenta a auto-avaliação institucional como uma ferramenta de gestão, cujas informações obtidas nos processos avaliativos são indicações fundamentais para a definição de ações institucionais, mesmo que em alguns casos as melhorias não sejam imediatas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOF, Patrícia Guimarães; DELPINO, Rosemar; MOTA, Ana Clara da; CARVALHO, José Antonio Dias de; GRECHI, Roberto. Auto-avaliação de curso: um instrumento do autoconhecimento institucional e da gestão acadêmica. CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA 2009, COBENGE 2009, Recife, Pernambuco, 2009.
- BELLONI, Isaura. Avaliação do Ensino de Graduação. Brasília: UNB, 1980.
- BRASIL. Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004. Institui o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES e dá outras providências. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/10861.pdf>>.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Portaria Normativa Nº 12 de 5 de setembro de 2008: Institui o Índice Geral de Cursos da Instituição de Educação Superior (IGC). Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://meclegis.mec.gov.br/documento/view/id/51>>.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS 'ANÍSIO TEIXEIRA'. Nota Técnica - Cálculo do Conceito Preliminar de Curso (CPC). Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/download/enade/2008/Nota_Tecnica_CPC_17_12_2009.pdf>
- BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Portaria Normativa nº 23, de 1º de dezembro de 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.pucpr.br/arquivosUpload/1237081891305554116.pdf>>
- MOTA, Ana Clara; CARVALHO, José Antonio Dias; DELPINO, Rosemar; ABRAMOF, Patrícia Guimarães; GRECHI, Roberto. Modelo de avaliação de ensino aplicado em cursos de engenharia: um processo contínuo de qualidade. CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA 2009, COBENGE 2009, Recife, Pernambuco, 2009.
- MURIEL, Roberta. Avaliação Institucional. Marco Regulatório: Portarias Normativas 40/2007 e 23/2010. Ed. Carta Consulta, Belo Horizonte, 2011.

Matheus Carlos da Silva

Universidade de Taubaté
matheus92carlosdasilva@hotmail.com

Mariângela Siqueira de Moraes

Universidade de Taubaté
marimoraes18@hotmail.com

Luiz Alberto Maurício

Universidade de Taubaté
betox@uol.com.br

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

RESUMO

A Universidade de Taubaté oferece aos alunos, no Instituto Básico de Exatas, no Departamento de Matemática e Física, o projeto Show da Física. Criado e coordenado por um docente do departamento, o projeto em questão visa apresentar a física de forma prática aos alunos ao demonstrar como a natureza se comporta diante das leis que a regem. Com isso, estende-se o conhecimento teórico adquirido em sala de aula, visando consequentemente a um maior rendimento dos alunos participantes das atividades. Estudantes do curso de Matemática e Física esses alunos são incentivados pelo professor a apresentar os experimentos aos próprios colegas de classe, auxiliando assim os futuros professores no desenvolvimento de explicações e na diversificação da didática. O projeto divide os assuntos a serem apresentados tais como: mecânica, magnetismo, eletricidade e ondulatória. No final de cada mês, é oferecido a cada aluno um certificado de conclusão, seja como assistente à apresentação, ou seja, como apresentador dos experimentos. Nos certificados constam a carga horária e assinatura do coordenador.

Palavras-chave: Projeto; Ensino; Física.

ABSTRACT

The University of Taubate offers to the students, in the Basic Institute of Exact, in the Department of Mathematics and Physics, the Project called the Physics show. Created and coordinated by the lecturer bory of the Department to present a practice vision for the students on how nature behaves on the laws that govern it. It extends the theoretical knowledge acquired in the classroom in order to consequently greater the income of the students involved in the activities. The students of mathematics and physics are encouraged by the professor to present the experiments to their own classmates, giving support to the future teachers in their developing abilities of explanations and diversification of didactics. The Project divides the subjects to be presented such as: mechanics, magnetism, electricity and undulating. At the end of each month is offered to each student a certificate of conclusion, whether as an Assistant or as a presenter of the experiments. In the certificates are listed the load time and the signature of the Coordinator.

Keywords: Project; Education; Physics.

1 INTRODUÇÃO

É notória a dificuldade dos alunos com relação ao aprendizado de física, tanto em escolas públicas quanto nas particulares. Existem vários motivos que agravam essa dificuldade tais como a base matemática insuficiente que estes alunos trazem do ensino fundamental para o ensino médio ou a incompreensão na aplicação da física na vida cotidiana. Incompreensão marcada pela frequente pergunta feita pelos alunos: “onde eu uso isso?”.

Para diminuir esse tipo de dificuldade foram elaborados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e Lei de Diretrizes e Bases (LDB). Essas diretrizes indicam que o professor de física deve ensinar não só a física em seus conceitos, como também a utilização da ferramenta matemática para equacionar e solucionar os problemas propostos pelos livros didáticos e os problemas que surgem no cotidiano do aluno. As aulas experimentais são também de extrema importância para a compreensão desses conceitos físicos, elas mostram como aplicar a física em sua vida, indicando o quanto ela está presente nas atividades corriqueiras do ser humano.

1.1 O Sentido do Experimento

É indispensável que a oportunidade de experimentar esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências e habilidades em Física previstas pelos PCNs. Neles o importante é o fazer, o manusear, o operar, o agir, em diferentes formas e níveis. Desse modo acredita-se possibilitar a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável.

1.2 Resolução de Problemas

Muitas vezes o ensino de Física inclui a resolução de inúmeros problemas, em que o desafio central para o aluno consiste em identificar qual fórmula deve ser utilizada. Esse tipo de questão que exige, sobretudo, memorização, perde sentido se desejamos desenvolver outras competências.

Não se quer dizer com isso que seja preciso abrir mão das fórmulas. Ao contrário, a formalização matemática continua sendo essencial, desde que desenvolvida como síntese dos conceitos e relações, compreendidas anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa.

Substituir um problema por uma situação-problema, nesse contexto, ganha também um novo sentido, pois se passa a lidar com algo real ou próximo dele.

Ao analisar estas dificuldades levando em consideração as especificações propostas no ensino de física, o Prof. Luiz Alberto Maurício (mestre em ensino de física pela Universidade de São Paulo) criou em 2008 o projeto Show da Física na Universidade de Taubaté – UNITAU, que visa mostrar o lado fantástico e curioso da Física através de experiências que estimulem a curiosidade, despertem o interesse e demonstrem aos professores novas formas de se ensinar física. O projeto atualmente está dividido em três tipos de apresentação.

1.2 Divisão das Apresentações do Projeto Show da Física

1. Apresentação no Instituto de Ciências Exatas e no Departamento de Matemática e Física cujo objetivo é atrair os alunos de graduação da área de exatas para aplicações das teorias aprendidas diariamente em sala de aula. Nessa forma de apresentação o projeto abre espaço também para os alunos que queiram desenvolver seus próprios experimentos auxiliando assim na prática e na diversificação didática dos graduandos e dos futuros professores.
2. Apresentação no UNITAU na Praça. Nesse projeto de extensão vários projetos são levados às praças de Taubaté e cidades vizinhas. Neste tipo de apresentação o objetivo do Show da Física é levar ciência a pessoas carentes.
3. A Comissão Permanente de Seleção Acadêmica (COPESA) uma seção da UNITAU financia o projeto Show da Física em apresentações nas escolas de Taubaté e região. Essas divisões serão detalhadas mais a frente neste trabalho.

2 OBJETIVO

Os Objetivos gerais do projeto podem ser divididos em:

- Promover a integração entre os três pilares da universidade (ensino, extensão e pesquisa), possibilitando a institucionalização da extensão, que engloba a flexibilização curricular e a realização de programas, projetos, ações e eventos em conjunto entre essas três áreas.
- Reafirmar a Extensão Universitária como um processo indispensável na formação e motivação do aluno, na qualificação do professor e no intercâmbio com a sociedade;
- Reafirmar a ação de extensão como um processo acadêmico definido e efetivado em função das exigências da realidade;
- Empreender esforços para viabilizar, do ponto de vista administrativo e financeiro, a prática da Extensão;
- Assegurar a relação bidirecional entre a Universidade e a sociedade, possibilitando a troca de saberes e tecnologias;
- Enfatizar a utilização da tecnologia “disponível” para ampliar a oferta e melhorar a qualidade da educação.

Objetivos específicos:

- Desenvolver a cultura científica da sociedade através da divulgação de exposições interativas na área de física;
- Apresentar o Show da Física em eventos internos (Encontro de Iniciação Científica - ENIC, Seminário de Extensão - SEMEX) e externos, com o intuito de divulgar o ensino de Física;
- Realizar levantamento das concepções espontâneas de alguns conceitos de física que o público em geral possui;
- Realizar apresentações bimestrais do Show da Física no anfiteatro do Instituto Básico de Exatas;
- Realizar apresentações semanais no Laboratório de Instrumentação para o Ensino de Física para alunos da UNITAU, escolas públicas e privadas, professores e o público em geral;

- Estabelecer parcerias com outras universidades que desenvolvem projetos semelhantes;
- Buscar apoio financeiro de empresas da região para a produção / aquisição de novas exposições interativas.

3 METODOLOGIA

Para a confecção dos experimentos utilizados no Show da Física a prioridade é dada aos materiais de baixo custo, presentes no cotidiano dos alunos, extremamente simples e de fácil acesso justamente para incentivar os participantes do projeto a reprodução destes experimentos para os alunos de ensino médio e fundamental.

O projeto conta com a participação de seu coordenador Prof. Luiz Mauricio e três alunos de graduação como monitores: Matheus Carlos (graduando em Física), Mariângela Moraes (graduando em Física) e Fabiana Farias (graduando em Matemática) que auxiliam nas apresentações e manutenções dos experimentos. O projeto proporciona a esses alunos de graduação um contato maior com a futura docência e uma oportunidade de identificar as dificuldades de aprendizagem dos alunos de ensino médio.

3.1 Show da Física no Departamento de Matemática e Física

O Projeto funciona numa sala onde são armazenados e confeccionados os seus experimentos. Nela há 20 cadeiras para os alunos espectadores, uma mesa para a apresentação dos experimentos e uma lousa que auxilia também na demonstração da matemática dos conceitos físicos. As apresentações auxiliam os alunos na compreensão da teoria de Física desenvolvida em sala de aula e ao mesmo tempo desperta um maior interesse no aprender a aprender esta disciplina, ou seja, as exposições são um suporte na formação didática dos futuros professores.

São feitas três apresentações durante a semana letiva da universidade sendo que em cada uma um novo experimento é estudado. O tempo médio de duração da apresentação é aproximadamente 30 minutos, tempo viável à maioria dos alunos (Fig. 1).

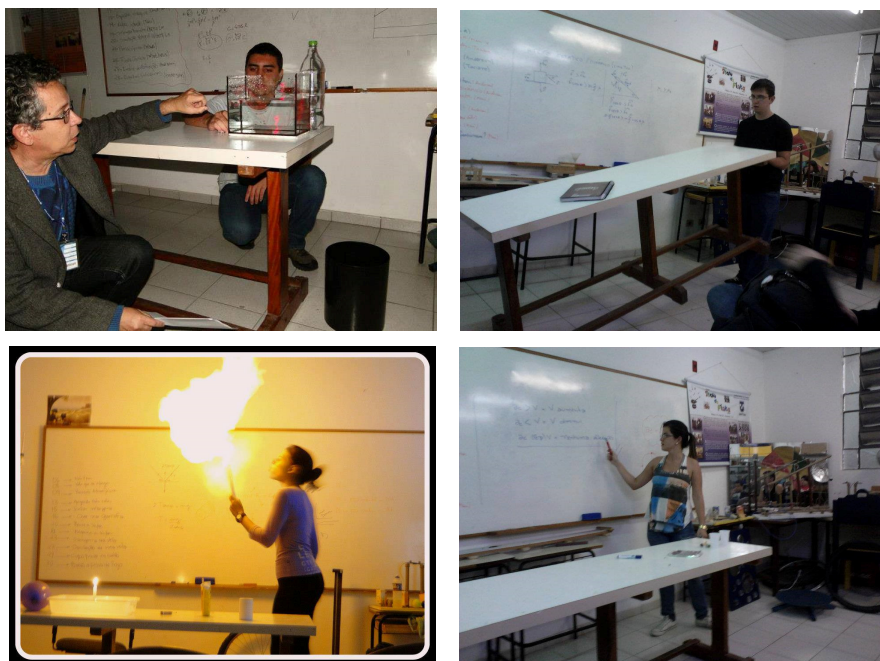


Figura 1: Apresentação dos experimentos pelos graduandos.

3.2 Show da Física no Projeto de Extensão UNITAU na Praça

O projeto UNITAU na praça baseia-se em atividades assistenciais e educativas a serem desenvolvidas por docentes e discentes da Universidade de Taubaté. A proposta é de deslocar os discentes acompanhados pelos docentes, até a Praça escolhida para o evento, com atividades previamente elaboradas por um cronograma e nesta praça exercer ações de lazer, educativas e assistenciais em saúde, toda primeira quarta-feira de cada mês, no horário das 8h30 às 11h30.

O Show da Física é parte permanente e essencial neste projeto e tem especificamente o objetivo de levar ciência às pessoas em seu cotidiano. Como o projeto é aberto ao público e executado também em uma praça, recebe-se pessoas de todas as idades e classes sociais contando então com uma grande diversificação de público. Frequentemente a prefeitura ou a universidade da cidade também sugerem que as escolas participem do projeto, isso faz com que haja uma maior concentração do público alvo do projeto (Fig. 2).



Figura 2: Participação de escolas no Show da Física no UNITAU na Praça.

3.3 Show da Física nas Escolas

O projeto realiza também apresentações nas escolas de Taubaté e região onde os diretores interessados entram em contato com a coordenação por intermédio de uma setor da UNITAU denominado Comissão Permanente de Seleção Acadêmica (COPESA) que financia o projeto, pois existem alguns custos que precisam ser ressarcidos, como por exemplo, as compras do Nitrogênio líquido que é usado em uma bateria de experimentos que demonstram como corpos se comportam em temperaturas extremamente baixas, pois para manter o Nitrogênio na forma líquida a temperatura deve ser mantida a 198°C negativos.

As apresentações nas escolas são de extrema importância para o projeto, pois os graduandos colocam em prática sua didática e associam os conceitos aprendidos pelos alunos no ensino médio com aplicações práticas do cotidiano, obtendo excelentes resultados tais como maior interesse pela disciplina (Fig. 3).



Figura 3: Show da Física nas Escolas.

3.4 Show da Física na Feira de Profissões

O evento, que conta com estandes dos 47 cursos oferecidos pela Universidade, em diversas áreas, busca auxiliar os estudantes na escolha da futura carreira acadêmica. Com o intuito de auxiliar os jovens, professores, alunos e profissionais da área falam sobre suas experiências e aprendizagem em seus respectivos cursos, ajudando assim os vestibulandos a concretizar suas decisões.

Dentre tantos cursos o estande de Física é um dos mais visitados na feira de profissões, pois o Show da Física tem exatamente o propósito de despertar a curiosidade das pessoas que passam à sua volta. Vários experimentos ficam expostos aos visitantes, experimentos estes de interação que fazem da aprendizagem da física uma interação com a prática cotidiana resultando uma estratégia pedagógica de grande sucesso.



Figura 4: Show da Física na Feira de Profissões.

Desse modo pode-se afirmar que, o show da Física está conseguindo atingir seus objetivos e alcançando seu público – alvo interno e externo à Universidade especificado como: Alunos de todos os cursos de graduação da Universidade de Taubaté interessados em estender sua cultura científica. Especificamente alunos dos cursos de Licenciatura de Matemática e de Física e de qualquer área das Ciências Exatas. Alunos de escolas públicas e privadas da região de Taubaté desmotivados com a aprendizagem de Física e/ou interessados em conhecer em conhecer mais experiências fantásticas e curiosas de Física. O projeto alcança o público em geral interessado na educação continuada.

4 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Existem alguns experimentos característicos do Show da Física, ou seja, frequentemente são apresentados. Estes experimentos serão brevemente detalhados a seguir, quando serão demonstradas suas equações e seus conceitos físicos.

4.1 Cadeira de Pregos

A cadeira de pregos é utilizada para demonstrar o conceito físico de pressão (Eq. 1). Quando a superfície de contato é pequena a pressão aumenta, e quando a superfície de contato aumenta a pressão diminui. Assim pede-se para o aluno sentar na cadeira e experimentar este conceito, colocando-o a prova com seu próprio corpo (Fig. 5).

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

P = Pressão.

F = força aplicada (no caso a força peso).

A = área de contato (corpo do aluno com os pregos).



Figura 5: Cadeira de Pregos.

4.2 Movimento Pendular

O pêndulo consiste em uma bola de boliche que possui um gancho em sua superfície onde é amarrada uma corda e suspensa de maneira que possa ocorrer um movimento pendular. Esta bola de boliche é aproximada ao rosto do aluno e liberada (Fig. 6). Assim que a bola completar seu período (ida e volta) observa-se que não toca no rosto do aluno, pois há uma perda de energia por atrito com o ar (Eq. 2).

$$E_{mt} = E_{mi} + E_a \quad (2)$$

Onde:

E_{mf} = Energia mecânica final (ao chegar ao rosto).

E_{mi} = Energia mecânica inicial (ao soltar a bola).

E_a = Energia dissipada pelo atrito com o ar.



Figura 6: Movimento Pendular.

4.3 Equilíbrio de Forças

Para esta demonstração é necessário que quatro alunos se sentem nas cadeiras um de costas para o outro e em seguida que se deitem um no colo do outro (formando um quadrado). Então devem forçar as costas e os pés, ambos para baixo para que se possa retirar as cadeiras (Fig. 7). O esquema funciona como uma mesa em que a soma das forças é zero (em equilíbrio).



Figura 7: Equilíbrio de Forças.

4.4 Disco Girante

No disco girante são apresentados dois experimentos. O primeiro é utilizado para demonstrar a conservação de momento angular, grandeza esta que é proporcional ao momento de inércia que demonstra como

uma determinada massa (corpo do aluno) se distribuiu em um raio (braços do aluno) em relação a seu eixo de rotação (Fig. 8).

Basicamente ao girar o aluno no disco, pede-se para que ele abra e feche os braços durante o movimento e descrever o que sentiu.

- Braços abertos = Menor velocidade.
- Braços fechados = Maior velocidade.

Isso para que o momento do corpo se conserve, ao mudar uma variável (raio) outra variável tem que mudar, ou seja, a velocidade (Eq. 3).

$$L = I\omega \quad (3)$$

Onde:

L = momento angular.

I = momento de inércia.

ω = velocidade angular.



Figura 8: Primeiro experimento – Disco Girante.

O segundo experimento no disco também demonstra o momento angular: o aluno segura uma roda de bicicleta em cima do disco, ao inserir uma determinada velocidade nesta roda, pede-se para que o mesmo incline para esquerda ou direita esta roda. Como estão em cima de uma plataforma girante, o eixo de rotação (corpo) irá girar também, para que se conserve este momento (Fig. 9).



Figura 9: Segundo experimento – Disco Girante.

4.5 Nitrogênio Líquido

Para o experimento do nitrogênio (Fig. 10) deve-se ter um cuidado especial, pois é necessário um recipiente específico para manter o elemento a 198°C negativos. Para demonstrar que não se sobrevive a uma temperatura tão baixa é utilizada uma flor como cobaia. A flor é mergulhada no líquido e congelada rapidamente, em seguida ela é quebrada ao ser jogada ao chão.

Também utilizado para demonstrar a lei dos gases, cujo processo demonstra que, ao diminuir a temperatura de um gás, seu volume também irá diminuir (Eq. 4). Para isso é mergulhado um balão cheio de ar no nitrogênio.

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad (4)$$

Onde:

V = Volume.

T = Temperatura do gás.



Figura 10: Nitrogênio líquido.

4.6 Looping

O *looping* (Fig. 11) é utilizado para demonstrar o funcionamento básico de uma montanha russa (brinquedo de parque de diversões). O experimento é composto de dois canos de ferro paralelos que tem o formato da letra V (subida e descida) com um lado menor que o outro. No centro deste percurso tem-se um *looping*. Uma pequena bola de aço é solta e seu movimento analisado em termos de energia (Eq. 5).

$$E_g = mgh \quad (5)$$

Onde:

E_g = Energia potencial gravitacional.

m = Massa da bola de aço.

g = Gravidade do local.

h = Altura onde a bola é solta.

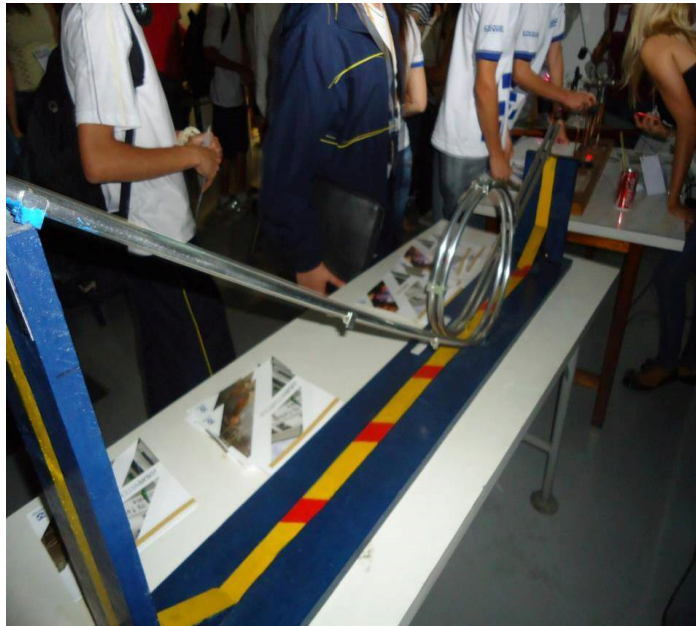


Figura 11: *Looping*.

4.7 Lâmpada de Plasma

Consiste basicamente em uma lâmpada com um plasma em seu interior carregado eletricamente. Quando os dedos tocam a lâmpada, as cargas carregadas irão migrar para o corpo neutro dando um efeito de raios saindo de seu centro para os dedos (Fig. 12). Também é possível acender uma lâmpada fluorescente ao aproximar desta lâmpada de plasma provando que em volta da mesma existe um campo elétrico.

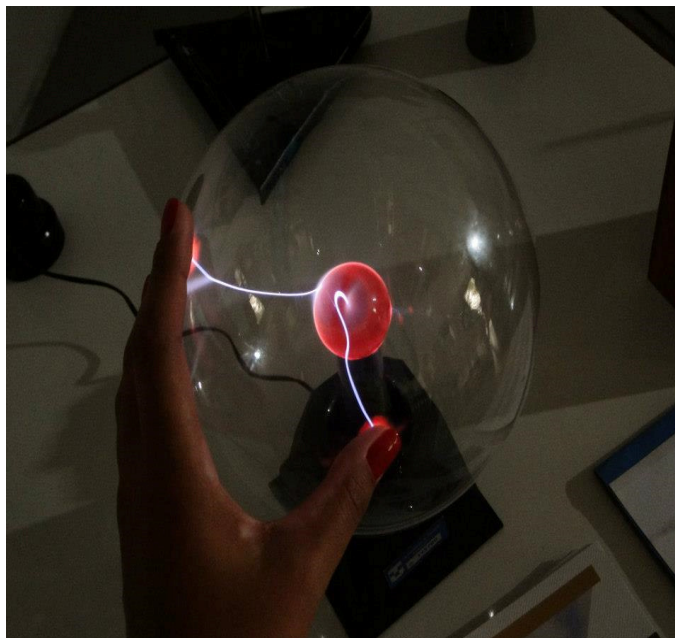


Figura 12: Lâmpada de plasma.

4.8 Juramento de Iniciação do Show da Física

Como todos os experimentos do Show da Física são voltados para interação com o público, é preciso que se tenham voluntários para participar das brincadeiras, logo foi elaborado um juramento de iniciação para declarar que todos que assistem a apresentação sejam voluntários (Fig. 13).

Todos devem ficar de pé e levantar a mão direita e repetir com o apresentador(a): “ Eu, por amor a Física e de maneira irrestrita declaro que sou voluntário.” E assim , para todos os experimentos tem-se vários voluntários que concretizam a preocupação maior do show: a interação da física com os alunos dentro de uma proposta de se fazer as apresentações sempre lúdicas e didáticas.



Figura 13: Juramento de Iniciação.

5 RESULTADOS

5.1 Show da Física no Departamento de Exatas

Para demonstrar os resultados, foi elaborada uma tabela (Tab. 1) da participação dos alunos da graduação no Show da Física na universidade.

Tabela 1 – Número de participantes do projeto em relação a suas respectivas datas

Mês	Local	Apresentações	Presentes	Total
março	Departamento Mat/Fís	9	139	
abril	Departamento Mat/Fís	11	122	1522
	Unitau na Praça	2	1440	
maio	Departamento Mat/Fís	12	118	1878
	Unitau na Praça	1	800	
	Escolas	7	960	
junho	Departamento Mat/Fís	9	89	2389
	Unitau na Praça	1	1300	
	Eventos	4	1000	
agosto	Departamento Mat/Fís	12	143	793
	Unitau na Praça	1	150	
	Escolas	2	500	
setembro	Departamento Mat/Fís	10	95	2895
	Unitau na Praça	1	300	
	Escolas	2	500	
	Eventos	1	2000	

É possível notar pela análise da tabela o aumento da participação de espectadores nos últimos anos. Esse aumento é resultado de comentários positivos de colega para colega graduando que convidam uns aos outros para assistir a apresentação. Como o Show da Física oferece aos estudantes a liberdade de apresentação e confecção dos experimentos atrai a atenção dos jovens estudantes e é modelo para os futuros professores. As apresentações auxiliam também os estudantes na resolução de questões de provas, pois quem assiste as apresentações frequentemente tem um desempenho melhor nas matérias que concernentes à física.

5.2 Show da Física no Projeto de Extensão UNITAU na Praça

Para o Show da Física UNITAU na Praça os resultados são excelentes, mas inseridos em um contexto diferente. Para esta modalidade do projeto nota-se que a física amplia os conhecimentos dos participantes, uma vez que o tipo de cultura-científica utilizada é aquela que está presente no cotidiano de várias pessoas.

O exemplo a seguir é o que mais surpreende o público presente nas apresentações. O experimento das roldanas (Fig. 14) demonstra que quanto mais roldanas móveis você tem no seu sistema menor será a força aplicada para levantar o objeto.

Exemplos: Uma roldana móvel, a força que se deve fazer é metade da força peso do objeto.

Três roldanas móveis, a força que se deve fazer é um oitavo da força peso do objeto. E assim sucessivamente.

Com este exemplo de máquina extremamente simples, vários pedreiros que visitam o estande do show da física se surpreendem com o funcionamento e levam para aplicar em suas vidas. Princípio que os mesmos usam

frequentemente em seu cotidiano para trabalharem, quando têm de puxar objetos em níveis superiores aos de uma construção de casas por exemplo.



Figura 14: Show da Física no Projeto de Extensão UNITAU na Praça.

5.3 Show da Física nas Escolas

Para o contexto escolar, o show da física tem se destacado no sentido de aplicar o ensino de física de uma maneira inesperada e inovadora (Fig. 15). Para isso as apresentações têm o objetivo de demonstrar aos alunos que a física está presente muito mais do que se pensa e compreende em seu cotidiano.



Figura 15: Show da Física nas Escolas.

6 CONCLUSÃO

Devido ao excelente resultado que se tem obtido em razão das várias apresentações junto a um público bastante diversificado (Desde crianças até idosos) e diante da realização dos objetivos estipulados, pode se concluir que o projeto Show da Física possibilita ao cidadão estabelecer uma relação entre conhecimento científico e os fenômenos físicos que ocorrem em seu cotidiano de maneira lúdica.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos às bolsas concedidas pela Universidade de Taubaté aos graduandos. Os autores agradecem também ao coordenador do projeto Prof. Ms. Luiz Alberto Maurício por sua dedicação e importância fornecida ao projeto Show da Física e para com seus alunos graduandos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA. Parâmetros nacionais de qualidade para a educação infantil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF), 2006 v.I; il. (pag. 37-39)
- FERNANDES, F.C.R. ; BARBOSA,C.L.D.R. ;CARDOSO,L.E.C. ; et al. Subprojeto PIBID-FÍSICA da UNIVAP: uma metodologia complementar no ensino não-formal de física contextualizado pela astronomia. I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, Rio de Janeiro, 2011.
- KRAPAS, M.C.S. Controvérsia ação à distância/ação mediada: abordagens didáticas para o ensino das interações físicas. Revista Brasileira de Física, São Paulo,Vol.29, Num.3, 2007.
- MORAES, J.U.P. O Livro Didático de Física e o Ensino de Física: suas relações e origens. Lagrato-SE: Scientia Plena, Vol. 7, Num. 9, 2011.
- SILVA, M.C. Projeto Show da Física: um diferencial para estimular os alunos aos conhecimentos da física. XVII Encontro de Iniciação Científica da Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2012.