

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Collection: applied mechanical engineering

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Gilberto João Pavani

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering / Organizador  
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-860-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608220102>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João  
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied mechanical engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na mensuração da criticidade na manutenção de equipamentos, análise de desempenho de indicadores de manutenção, análise de modo e efeito de falha para o desenvolvimento de um plano de manutenção, estudo cinemático das velocidades de um mecanismo genérico, avaliação da eficiência e utilização de ventiladores com motores eletrônicos em sistemas de ar condicionado industrial, desenho de mecanismo e estrutura para animatrônicos, estudo da posição de um mecanismo de quatro barras por meio de uma interface gráfica, modelo matemático para obter a componente axial da velocidade absoluta nos impulsores de turbocompressores centrífugos, mensuração do aumento de eficiência de produção e energia elétrica usando o pré-resfriamento para o ultracongelamento de pães, requisitos metrológicos, ondas de Lamb e métodos estatísticos para detecção do limiar de dano aplicado à estruturas de aeronaves e uso da visão por computador para identificação de circuitos integrados em placas eletrônicas.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DE CRÍTICA DE DOS EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALHAS PLUVIAIS**

Pierre Breno Nunes de Assis  
Beatriz da Costa Lima  
Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior  
Matheus Gomes Lima  
Patric de Holanda Nogueira  
Ramon Rudá Brito Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201021>

### **CAPÍTULO 2..... 16**

#### **ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DO VALE DO JAGUARIBE**

José Guilherme Queiroz Sousa  
Patric de Holanda Nogueira  
James Rodrigo da Silva Lima  
Luan Victor Diniz Campos  
Ramon Rudá Brito Medeiros  
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201022>

### **CAPÍTULO 3..... 28**

#### **ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Vinícius Gomes Silva  
Daniel Levi Maia Matos  
João Víctor Nogueira Gonçalves  
Gilvan Antônio Cappi  
Ramon Rudá Brito Medeiros  
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201023>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

#### **APLICAÇÃO DIDÁTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS**

Vergara Hernández Erasto  
Pérez Millán Brenda Carolina  
Cea Montufar César Eduardo  
Torres Torres Yael Valdemar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201024>

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES**

## ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Abimael J. Urcino Junior

Samuel Mariano do Nascimento

Eliandro Barbosa de Aguiar

Alexandre Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201025>

### **CAPÍTULO 6..... 68**

#### **DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS**

Roberto Carlos García Gómez

Hernán Valencia Sánchez

Juan Carlos Niños Torres

Mario Alberto Cruz Padilla

Fernando Alfonso May Arrioja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201026>

### **CAPÍTULO 7..... 80**

#### **ESTUDO DA POSIÇÃO DE UM MECANISMO DE QUATRO BARRAS POR MEIO DE UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO**

Vergara Hernández Erasto

Pérez Millán Brenda Carolina

Cea Montufar César Eduardo

Yael Valdemar Torres Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201027>

### **CAPÍTULO 8..... 90**

#### **LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO COMO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA COMPONENTE AXIAL ( $C_{2U}$ ) DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LOS IMPULSORES DE LOS TURBOCOMPRESORES CENTRÍFUGOS**

Tena Verdejo Juan

Santiago Gabino Francisco

Tena Galván Sandra Zulema

Oropeza Ramírez Salvador

Gutierrez Pola Marlenne

Ordoñez Tapia Mayanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201028>

### **CAPÍTULO 9..... 98**

#### **MENSURAÇÃO DO AUMENTO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA USANDO O PRÉ RESFRIAMENTO PARA O ULTRACONGELAMENTO DE PÃES**

Leandro Fluvio Torno

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Sariah Torno

Darlo Torno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201029>

<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>110</b>
REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS PARA MEDIÇÃO FISCAL APLICADOS A UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE PETRÓLEO (FPSO): CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	
Hélio Damásio de Lima Filho	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antônio Robson Gurgel	
Antonio Rodolfo Paulino Fernando Pessoa	
André Luís Novaes Motta	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210</a>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>124</b>
SHM BASEADO EM ONDAS DE LAMB E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O LIMAR DE DETECÇÃO DE DANO APLICADO A ESTRUTURAS DE AERONAVES	
Lucas Altamirando de Andrade da Rocha	
Roberto Mendes Finzi Neto	
Valder Steffen Jr	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211</a>	
<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>138</b>
VISIÓN POR COMPUTADORA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	
Samuel Sotelo Martínez	
Raúl García García	
Rafael Ocampo Martínez	
Marco Antonio Olivo Flores	
Pablo Saúl Espinoza Aguirre	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212</a>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>148</b>
AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL	
Priscila Martta Rodrigues	
Cícero Coelho de Escobar	
Flávia Schwarz Franceschini Zinani	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>159</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>160</b>

## ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 03/12/2021

### Vinicius Gomes Silva

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/9032555493434983>

### Daniel Levi Maia Matos

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/8395037070552581>

### João Víctor Nogueira Gonçalves

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/9150520708534029>

### Gilvan Antônio Cappi

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/6628284588143386>

### Ramon Rudá Brito Medeiros

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/2280452807088183>

### George Luiz Gomes de Oliveira

Universidade Federal do Ceará  
Russas – CE  
<http://lattes.cnpq.br/5850293899287238>

**RESUMO:** Atualmente, as empresas pretendem otimizar sua produção, reduzindo gastos desnecessários, tempo perdido e aumentando

a produção e confiabilidade dos produtos, sendo essa perda de produtividade decorrente, principalmente, de falhas no projeto e processo de produção. Diante disso, urge a realização da manutenção, e este artigo irá desenvolver um estudo de caso com aplicação do FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) para desenvolvimento de um plano de manutenção sobre um sistema de pintura em uma empresa do setor automotivo, com o objetivo de reduzir a ocorrência de falhas e aumentar a confiabilidade do processo. Para isso foi realizada uma revisão da literatura, conceituando a evolução da manutenção e do FMEA, uma identificação e caracterização da empresa e do processo com análise do histórico de falhas e por fim, a construção do formulário FMEA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plano de Manutenção, Análise de Modo e Efeito de Falha, FMEA, Confiabilidade.

### FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF A MAINTENANCE PLAN FOR A CLEANING AND PAINTING SYSTEM IN A COMPANY IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

**ABSTRACT:** Currently, companies intend to optimize their production, reducing unnecessary expenses, wasted time and increasing the production and reliability of products, with this loss of productivity mainly due to failures in the design and production process. Therefore, maintenance is urgently needed, and this article will develop a case study with the application of FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) to develop a maintenance plan for a painting

system in a company in the automotive sector, with the objective to reduce the occurrence of failures and increase the reliability of the process. For this, a literature review was carried out, conceptualizing the evolution of maintenance and the FMEA, an identification and characterization of the company and the process with an analysis of the history of failures and, finally, the construction of the FMEA form.

**KEYWORDS:** Maintenance Plan, Failure Mode and Effect Analysis, FMEA, Reliability.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em escala mundial, várias empresas no mundo contemporâneo investem na procura de métodos que facilitem e melhorem suas linhas de produção, tanto empresas de grande porte como de pequeno porte. Vários são os métodos possíveis para aumentar sua produtividade, como reduzir o consumo de energia, reduzir a produção de lixo e até desenvolver máquinas mais eficientes, assim ganhando tempo e produzindo em maior quantidade. Entretanto, o principal motivo pela perda de produtividade são as falhas que podem gerar na utilização de um maquinário de forma errônea ou pela falta de uma manutenção correta no seu tempo correto. Porém, a exigência pela maximização da produtividade não abre espaço para perdas decorrentes de falhas em equipamentos. Portanto, a manutenção passa a ser uma função estratégica das empresas.

Segundo Simonetti (2010), o desenvolvimento e a evolução da confiabilidade dos produtos, processos, equipamentos e meios de manufatura fez-se indispensável para uma empresa que visa se destacar no mercado e impressionar os seus clientes, visto que esse fator tem uma influência cada vez maior na percepção e avaliação da qualidade de seus produtos ou serviços. A FMEA, Failure Mode and Effects Analysis ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha, surge, então, como uma técnica de análise de confiabilidade muito eficaz que pretende aumentar a excelência em projeto e processo (FOGLIATTO, 2009).

A FMEA pode ser definida, segundo Viana (2002), como um método para análise de falhas em processos e produtos que permite a análise do sistema com o objetivo de antecipar o surgimento de falhas e propiciar as melhores ações a serem tomadas para evitar a concretização da falha. A FMEA, quando bem adequada e implementada na empresa, possibilita a redução de custos em manutenção como reparos, substituições, acidentes, tempo perdido, bem como aumento da vida útil dos equipamentos e do envolvimento da equipe.

Os maiores beneficiados de um projeto sob a Análise de Modo e Efeito de Falha é o usuário final, já que ele poderá usufruir de um produto final mais confiável, livre de falhas previsíveis, sendo, portanto, o principal cliente do FMEA. Também são clientes os projetistas e engenheiros responsáveis pelos subsistemas e processos de manufatura ou assistência técnica do produto (FOGLIATTO, 2009).

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é analisar o histórico de falhas dos componentes de um sistema de limpeza e pintura eletrostática a pó, bem como sugerir a

implementação de um plano de manutenção, após a análise de modo e efeito de falha em uma empresa do setor automotivo.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Manutenção

No início do processo de manufatura, a manutenção não era considerada um item de importância, sendo na maioria das vezes realizada pelo próprio operador do processo. Era desconsiderando a sua interferência na produtividade. Com a criação de fábricas e a divisão das tarefas no processo produtivo, a manutenção industrial passou a ser considerada um item de relevante importância no procedimento, tornando-se um diferencial em relação à concorrência.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5462 (1994), a manutenção é definida como “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Manutenção industrial pode ser conceituada como um conjunto de ações necessárias para manter ou restaurar uma peça, equipamento, máquina ou sistema de forma a estabelecer uma condição operável e objetivando a máxima vida útil. Em busca de competitividade e excelência operacional, a manutenção assume cada vez mais uma função estratégica nas organizações, onde ela é a responsável direta pela disponibilidade dos ativos e acaba tendo uma importância capital nos resultados da empresa, sendo eles tão melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção industrial (SILVEIRA, 2015).

### 2.2 Análise de Modos e Efeitos de Falha - FMEA

A análise dos modos de falhas e seus efeitos - FMEA surgiu por volta de 1949 e destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos do exército americano, onde era avaliada a sua eficiência baseando-se no impacto sobre uma missão ou no sucesso de defesa pessoal de cada soldado. Foi inicialmente desenvolvida nos anos 60 pela NASA e mais tarde, na década de 70, foi muito utilizada nas indústrias aeronáutica e nuclear. A partir dos anos 80, passou a ser utilizada na indústria automobilística, estendendo-se posteriormente para seus fornecedores na indústria de autopeças. Conforme Miguel (1999), atualmente, esta técnica é considerada uma das ferramentas mais utilizadas na indústria automobilística para detecção de falhas. Como exemplo temos a norma americana QS 9000 que especifica a FMEA como técnica de análise e prevenção de falhas. Foi desenvolvida pelas grandes montadoras nos EUA, Ford, Chrysler e GM, conhecidas como as três grandes montadoras americanas (the big three).

Uma das principais funções do FMEA é auxiliar os operadores a identificarem possíveis falhas no processo, e assim, aumentar a confiabilidade e segurança de sistemas

complexos de produção, fornecendo informações que serão de grande ajuda nas tomadas de decisões a respeito da gestão de riscos. É uma ferramenta que avalia os riscos e pode mitigar potenciais falhas, seja em sistemas, processos, projetos ou serviços.

O FMEA objetiva a prioridade dos modos de falha com o intuito de atribuir recursos aos itens de risco grave, essa priorização é denominada Número de Prioridade de Risco (RPN), sendo esse o produto entre a gravidade/severidade (SEV); ocorrência (OCO) e Detectabilidade de uma falha (DET).

O processo FMEA é composto por cinco passos, os quais são: escolher um processo a ser estudado, montar uma equipe multidisciplinar, coletar e organizar as informações sobre o processo estudado, realizar a análise de falhas, e por fim, desenvolver medidas corretivas (CHIOZZA, PONZETTI, 2009; CICEK, CELIK, 2013).

Decorrente ao exposto acima, pode-se afirmar que a metodologia FMEA é de suma importância pois fornece à empresa uma maneira sistemática de catalogar dados sobre as falhas dos processos/produtos, além de aprimorar o conhecimento dos problemas nos mesmos, gerar ações que podem melhorar o projeto do processo/produto com base em informações recolhidas que foram devidamente monitoradas.

É pertinente se afirmar também que tal metodologia causa uma considerável diminuição dos custos de produção por meio da prevenção de se ocorrer eventuais falhas e também instaura dentro da empresa a noção de prevenção de falhas, da importância do trabalho em equipe e da preocupação com a satisfação dos clientes.

### **3 | ELABORAÇÃO DO FMEA**

Ookalkarm, Joshi e Ookalkar (2009) traz como sugestão que na elaboração do FMEA seja conduzida uma conversa detalhada com todos os que se envolvem no processo, tanto na fabricação, como na geração de serviço, para que seja feito um levantamento das possíveis causas de uma falha. Já McCain (2007) diz ainda que a técnica de brainstorming é bastante eficaz e deveria ser usada, pois essa técnica nada mais é que uma técnica de discussão em grupo que se vale da contribuição espontânea de ideias por parte de todos os participantes, no intuito de resolver algum problema ou de conceber um trabalho criativo.

#### **3.1 Determinação do Item/Função do Equipamento**

O primeiro passo para dar início ao FMEA é a escolha do que será estudado, qual subsistema necessita de uma atenção mais a fundo, ou seja, qual componente está sujeito a algum tipo de erro em seu funcionamento. Qualquer tipo de situação seja simples ou complexo, se encaixa nesse quadro, como por exemplo, um consumo muito exagerado de água, onde vão ser estudadas e analisadas medidas que diminuem esse exagero no consumo de água, e entre outros vários tipos que podem ser candidatos a falha.

### 3.2 Desenvolvimento do Formulário FMEA

Nesta etapa, será feita a elaboração do FMEA em si, onde será realizada a identificação e documentação das funções e seus respectivos modos de falha do sistema o qual está sendo analisado, bem como os efeitos causados por elas, além de sua criticidade e severidade. O preenchimento das colunas “S”, “O” e “D” deve estabelecer a pontuação para cada efeito dos modos de falha, já na coluna “RPN” é calculado o risco, antes detalhado pela equação.

### 3.3 Identificação dos Modos de Falha

Neste grupo são listados de forma detalhada as possíveis maneiras que o processo, produto ou serviços, dependendo da situação estudada, podem falhar ao cumprir sua função determinada. Existem 5 modos de falhas: a falha completa, falha parcial, falha intermitente, falha devido ao excesso da função e a função indesejada. Um exemplo de modo de falha é quando um sistema de refrigeração demora mais que o esperado para resfriar um ambiente ou produto. Segundo Palady (1997), nesse grupo deve-se responder a seguinte pergunta: “como esse processo, produto ou serviço deixa de desempenhar todas as funções que se espera dele?”

### 3.4 Efeitos de Falha

São descritas as consequências das falhas nos processos ou produtos, e geralmente, é composto pela opinião do cliente, pois ele é o que mais vai sentir esses efeitos. Portanto, esses efeitos devem incluir a segurança e o corpo regulador; o cliente final; os clientes internos e manufatura; e as montagens e serviços. Nesse grupo, deve ser descrito desde o ponto em que o defeito pode ocorrer até quais seriam seus possíveis efeitos.

### 3.5 Grau de Severidade

Esse está relacionado ao nível de gravidade da severidade, onde ele pode variar de 1 a 10, conforme descrito no Quadro 01. Nesse grupo é feita uma análise de quão grave é a falha em questão, o quanto ela pode impactar no produto final em uma linha de produção. Através de uma tabela que quantifica a severidade, é feito um estudo para saber se essa falha pode trazer insegurança para o cliente ou pode fazer com que o produto perca sua funcionalidade total, ou se essa falha traz apenas pequenos inconvenientes ou pequenos efeitos.

<b>Escala de Avaliação de Ocorrência das Causas e Modos de Falha</b>	<b>Índice de Ocorrência</b>
Efeito não percebido pelo cliente	1
Efeito bastante insignificante, percebido por 25% dos clientes	2
Efeito insignificante, mas percebido por 50% dos clientes	3
Efeito moderado e percebido por 75% dos clientes	4
Efeito consideravelmente crítico, percebido pelo cliente	5
Efeito consideravelmente crítico, que perturba o cliente	6
Efeito crítico, que deixa o cliente um pouco insatisfeito	7
Efeito crítico, que deixa o cliente consideravelmente insatisfeito	8
Efeito crítico, que deixa o cliente totalmente insatisfeito	9
Efeito perigosa, que ameaça a vida do cliente	10

Quadro 01. Índice de severidade dos efeitos dos modos de falha.

Fonte: Adaptado de ROOS *et al.* (2007).

### 3.6 Causa das Falhas

Neste grupo, são dispostas todas as causas que podem ter gerado a falha do produto final. Nessa parte, é importante dar uma ênfase maior, pois a partir dela, vão avaliar as ações corretivas mais apropriadas para solucionar o problema, pois caso o cliente faça alguma reclamação sobre algumas falha, a empresa já tem a solução para tal, e seus próximos produtos, já virão com essa falha extinta, reduzindo assim custos e gerando produtos com mais qualidade.

### 3.7 Ocorrências das Causas das Falhas

Nele se faz o preenchimento das frequências que um tipo de falha vem a acontecer. Os índices de ocorrência têm como base a probabilidade que uma causa de falha pode ocorrer, seja de acordo com falhas passadas ou performances de sistemas em aplicações similares. Elas são quantificadas também de 1 a 10, conforme detalhamento do Quando 02.

<b>Escala de Avaliação de Ocorrência das Causas e Modos de Falha</b>	<b>Índice de Ocorrência</b>
Extremamente remoto, altamente improvável	1
Remoto, improvável	2
Pequena chance de ocorrência	3
Pequeno número de ocorrência	4
Espera-se um número ocasional de falhas	5
Ocorrência moderada	6
Ocorrência frequente	7
Ocorrência elevada	8
Ocorrência muito elevada	9
Ocorrência certa	10

Quadro 2. Índice de ocorrência das causas e modos de falha.

Fonte: Adaptado de Roos et al. (2007).

### 3.8 Detecção das Falhas

Nessa etapa são analisadas a detecção das falhas, onde essa detecção é quantificada quanto ao seu grau de detecção. Alguns autores fazem essa quantificação apenas fazendo uma análise muito subjetiva, no qual esses graus vão variar de 1 a 10 (Quadro 03), já outros fazem essa detecção de forma probabilísticas, onde eles pontuam quanto a probabilidade de não detectar e a falha chegar ao cliente (Quadro 04).

<b>Detecção</b>	<b>Critério</b>	<b>Pontuação</b>
Absolutamente incerto	Quase certo de que não será detectado	10
Muito remota	Os controles provavelmente não vão detectar	9
Remota	Os controles provavelmente muito pequena de detectar	8
Muito baixa	Os controles têm uma chance pequena de detectar	7
Baixa	Os controles devem detectar	6
Moderada	Os controles devem detectar	5
Moderadamente alta	Os controles têm boa chance de detectar	4
Alta	Os controles têm chance muito boa de detectar	3
Muito alta	Os controles quase certamente vão detectar	2
Quase certeza	Os controles vão detectar	1

Quadro 03. Índice de detecção das falhas - escala quantitativa por uma análise subjetiva.

Fonte: Adaptado de Ookalkar, Joshi e Ookalkar (2009).

Pontuação	Probabilidade de não detectar e a falha chegar no cliente (%)
1	0-5
2	6-15
3	16-25
4	26-35
5	36-45
6	46-55
7	56-65
8	66-75
9	75-85
10	86-100

Quadro 04. Índice de detecção das falhas - Escala quantitativa por uma análise probabilística. Fonte: Adaptado de Ben-Daya e Raouf (1996).

### 3.9 Índice de Risco (NPR)

O índice de risco é proveniente dos valores de severidade, ocorrência e detecção, porque ela é o resultado do produto desses três fatores. Esse índice varia de 0 a 1000, onde quanto menor for esse índice, melhor. Após calculado esse NPR, são definidas novas medidas para tentar diminuir esse NPR, e depois é analisado e gerado outro índice de risco após adotarem essas novas medidas, e se esse novo NPR não for menor, essas ações não foram suficientes e a tabela do FMEA deve ser refeita.

### 3.10 Seleção das Tarefas de Manutenção e Elaboração do Plano de Manutenção

Nessa etapa, para cada modo de falha serão estabelecidos os tipos e identificadas as atividades de manutenção específicas para um determinado modo de falha, que seguem um processo estruturado de acordo com a adequação e a efetividade de cada tarefa. Esse processo será feito para cada tipo de efeito de falha determinado na FMEA, utilizando o Diagrama de Decisão para Seleção das Tarefas de Manutenção, ilustrado na Figura1 (ROSA, 2016).



Figura 01. Diagrama de seleção dos tipos de manutenção a serem aplicados.

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2010).

## 4 | APLICAÇÃO DO FMEA

### 4.1 Identificação da empresa e do processo

A empresa em que esse estudo foi realizado atua no setor automotivo, produzindo peças e acessórios para motocicletas, já estando a mais de 18 anos no mercado nacional brasileiro. Ela foi fundada no vale do Jaguaribe no estado do Ceará e possui âmbito nacional, possuindo representantes e fornecendo produtos para todas as regiões do Brasil, com exceção da região centro-oeste. Atualmente, esta empresa trabalha apenas com distribuidoras ou pessoas jurídicas, possuindo um volume de produção de aproximadamente 10 mil peças semanais.

O sistema foi selecionado a partir da sugestão do próprio dono da empresa que forneceu os dados e informações para realizar o estudo, através de uma entrevista com ele e uma visita de avaliação in loco.

O estudo do trabalho ficou concentrado no processo de limpeza e pintura eletrostática a pó das peças, que já passaram por processos de usinagem como furação e corte, conformação plástica e solda. O processo de limpeza e pintura ocorre em duas estufas, que funcionam como um forno contínuo são compostas por: a) quatro queimadores; b) uma corrente que circula continuamente carregando as peças que ficam suspensas nela para dentro e para fora da estufa; c) quatro motores que ficam recirculando o ar quente para manter a temperatura elevada em toda a estufa.

A escolha desse sistema foi devido à criticidade dele, visto que no caso de falha

mais de um motor, ou na corrente o sistema de produção completo irá parar, além do elevado custo de tempo e reparo, aliados a complexidade técnica devido ao difícil acesso ao motor além de potenciais riscos à segurança e à produção.

## **4.2 Manutenção dos componentes dos componentes no processo limpeza e pintura**

A empresa, cujo estudo foi realizado, possui um departamento de manutenção que é responsável por realizar a manutenção dos equipamentos responsáveis pelo funcionamento da estufa, para evitar o desgaste e a falha prematura destes.

Esse departamento realiza manutenções preventivas off-line, ou seja, realizada apenas com a parada total da linha de produção, sendo realizadas geralmente em horários fora do expediente de trabalho. O intervalo entre manutenções foi determinado a partir de um primeiro período de observação dos componentes até a sua falha, e então consolidados e padronizados a partir da experiência dos trabalhadores e da equipe de manutenção.

## **4.3 Escolha e capacitação da equipe de manutenção**

A empresa em questão possui, na presente concepção deste trabalho, um setor de manutenção com uma equipe composta por: a) Engenheiro; b) Eletricista; c) Mecânico; d) Torneiro e fresador; e) Auxiliar.

Para uma eficaz implementação das técnicas de manutenção e FMEA, é sugerido à empresa uma ampliação dessa equipe com a integração de mais 3 participantes, podendo ser 1 técnico de planejamento, 1 superintendente, e 1 facilitador. Aliado a isso é recomendado que haja um treinamento da equipe sobre os conceitos, além de reuniões com frequência a ser definida pela própria equipe, recomendado 1 por semana, para discutir as dificuldades e certificar o progresso da implantação.

## **4.4 Análise de modos e efeitos de falha**

Para realizar uma análise mais aprofundada sobre os modos e efeitos de falha na empresa, foi escolhido um subsistema para realizar esse trabalho, onde foram selecionados os rolamentos do motor, o motor, os queimadores a gás e a corrente, pois esses foram os componentes em que foi detectado as falhas mais críticas durante o processo de produção, logo após foram mostrado o modo de falha de cada um deles, além da causa dessas falhas.

A elaboração do FMEA foi feita através de revisão bibliográfica que, com a orientação do dono da empresa que se disponibilizou a fornecer os dados necessários, possibilitou o estudo e a criação do formulário e do plano de manutenção.

# **5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nessa seção será apresentado o formulário FMEA, Quadro 05, onde nele estará listado todas as ações recomendadas para solução e prevenção de cada modo de falha para todos os componentes no sistema especificado. Adiante será mostrado a classificação dos

tipos de atividades de manutenção seguido da frequência que elas devem ser realizadas.

As falhas identificadas se darão em grande parte devido à relação idade do equipamento x confiabilidade, significando que grande parte das ações recomendadas se enquadrem como manutenção preventiva e, no caso de possibilidade de monitoramento, manutenções preditivas.

Item	Função	Modo de Falha	Efeito de falha	S	Causa da falha	O	Controles atuais do processo de prevenção	Controles atuais do processo de detecção	D	Ações recomendadas	NPR
<b>Rolamentos do motor</b>	Facilitar e apoiar a ação rotativa do eixo	Travamento dos rolamentos	Vibrações e parada total do motor	9	Lubrificação insuficiente	8	Nenhum	Inspeção visual	2	Realizar aplicação da graxa lubrificante	144
		Respingos do óleo sobre as peças	Contaminação das peças	2	Perda de propriedades do óleo lubrificante	3	Nenhum	Inspeção visual	5	Trocar a graxa lubrificante	30
<b>Motor</b>	Recircular o ar quente na estufa	Perda de potência	Redução da temperatura na estufa	8	Entupimento dos pistões	4	Utilização de filtros	Verificação da temperatura no painel de controle	5	Limpeza dos filtros de ar	160
<b>Queimador a gás</b>	Fornecimento de calor à estufa	Obstrução dos dutos de gás LP	Redução de eficiência do queimador	4	Impureza nos dutos	8	Utilização de filtros	Verificação da temperatura no painel de controle	3	Limpeza dos filtros de ar	96
		Vazamentos de gás na tubulação	Redução de eficiência do queimador	4	Furos e frouxidão nas tubulações e juntas	9	Vedação dos furos	Verificação da temperatura no painel de controle	3	Vedação dos furos, troca de tubulação apertado das juntas	108
<b>Corrente</b>	Suspensão e transporte das peças	Deslizamento ou desvio da corrente	Desalinhamento da pista	5	Excesso de contrapeso, baixo nível de tração, falha humana	4	Treinamento	Inspeção visual	3	Ajuste apropriado da tensão na corrente	60
		Travamento e fratura da corrente	Parada total do processo	9	Excesso de tração, baixa lubrificação	2	Treinamento	Inspeção visual	1	Ajuste apropriado da tensão na corrente, aplicação do óleo lubrificante	18

Quadro 05: Formulário de Análise dos Modos e Efeitos de Falhas.

Fazendo uma análise geral, podemos constatar através do formulário que para um mesmo item, pode haver mais de um modo de falha, cada um tendo seus modos de falhas próprios. Fazendo uma análise nas NPR de cada componente na tabela, vimos que poucos passam de 100, apenas em três situações, já que quanto maior o NPR, pior será, pois um NPR com valor 1000, representa a pior das hipóteses, e NPR com o valor 0, significa a melhor situação.

As falhas identificadas se darão em grande parte devido à relação idade do equipamento x confiabilidade, significando que grande parte das ações recomendadas se enquadrem como manutenção preventiva e, no caso de possibilidade de monitoramento,

manutenções preditivas.

As frequências indicadas no Quadro 06 foram estabelecidas após análise do histórico de falhas, observando o intervalo entre uma falha e outra, como para a lubrificação com graxa dos rolamentos, foi observado que com 3 meses os rolamentos travavam. A troca da graxa lubrificante deve ser realizada imediatamente para uma com melhor proteção contra corrosão e alta estabilidade a evaporação para aplicações de altas temperaturas, acima de 220°C.

Item	Modo de Falha	Tipo de manutenção	Ações Recomendadas	Frequência
Rolamentos do motor	Travamento dos rolamentos	Restauração preventiva	Realizar aplicação da graxa lubrificante	2 meses
	Respingos do óleo sobre as peças	Substituição preventiva	Trocar a graxa lubrificante	-
Motor	Perda de potência	Inspeção preditiva - Restauração preventiva	Limpeza dos filtros de ar	30 dias
Queimador a gás	Obstrução dos dutos de gás LP	Inspeção preditiva - Restauração preventiva	Limpeza dos filtros de ar	30 dias
	Vazamentos de gás na tubulação	Inspeção preditiva - Restauração preventiva	Vedação dos furos, troca da tubulação, aperto das juntas	30 dias
Corrente	Deslizamento ou desvio da corrente	Inspeção funcional - Restauração preventiva	Ajuste apropriado da tensão na corrente	30 dias
	Travamento e fratura da corrente	Inspeção funcional - Manutenção corretiva	Ajuste apropriado da tensão na corrente, aplicação do óleo lubrificante	45 dias

Quadro 06: Classificação e frequência das atividades de manutenção.

Os rolamentos do motor também devem ser substituídos preventivamente devido ao desgaste natural que estão submetidos, no entanto melhores avaliações devem ser feitas como identificação dos rolamentos e caracterização das condições de operação para determinação da vida dos rolamentos e, conseqüentemente, da frequência de substituição.

Há quatro sensores de temperatura distribuídos em quatro pontos dentro da estufa, sendo eles a entrada, dois pontos internos e a saída da estufa. Os sensores enviam o sinal para um mostrador em um painel externo. Esse mostrador é utilizado para verificar a temperatura continuamente e qualquer redução da temperatura indica que pode haver um modo de falha nos queimadores ou no motor.

## 6 | CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou como objetivo, a aplicação do método de análise de modos e efeitos de falhas (FMEA) combinado ao método do Número de Prioridade de Risco (RPN) como uma alternativa de plano de manutenção da empresa do setor automotivo localizada no município de Russas (CE).

É pertinente afirmar que a pesquisa atingiu seu propósito de sistematizar, com ajuda do FMEA, a gestão dos riscos técnicos, a fim de colaborar com o processo de tomada de decisões, apesar das limitações geradas pela necessidade de informações para uma maior validação no âmbito proposto pela indústria automobilística.

Com a FMEA foi possível identificar os modos de falha que ocorrem e que poderão vir a ocorrer, determinando-se qual dos modos de falha deve ser prioritário para as ações de manutenção. Além disso, possibilitou a classificação dos tipos de atividades de manutenção que devem ser seguidas e frequência que elas devem ser realizadas.

Através dos resultados obtidos do formulário de análise dos modos e efeitos de falhas (FMEA), foi possível determinar ações recomendadas para solucionar e prevenir cada modo de falha para todos os componentes no sistema especificado, e aumentar a sua confiabilidade. Deve-se destacar que segundo o método aplicado, as falhas identificadas se darão em grande parte devido à relação idade do equipamento x confiabilidade.

Mesmo com as limitações é possível concluir que a utilização do FMEA representa um avanço ao sistematizar e disponibilizar dados antes não disponíveis para o processo decisório junto da análise comparativa entre os valores encontrados para o NPR.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. RIO DE JANEIRO. **NBR 5462, Confiabilidade e Manutenibilidade – terminologia**. Rio de Janeiro, Nov/1994.

BEN-DAYA, M., RAOUF, A. **A revised failure mode and effects analysis model**. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Glendale (USA).

CHIOZZA, M.L., PONZETTI, C. **FMEA: A model for reducing medical errors**. *Clinica Chimica Acta*, v. 404, n. 1, p. 75-78, 2009.

FOGLIATTO, F.S., RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2009.

KARDEC, A., NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2010.

MCCAIN, C. **Usando o FMEA no ambiente de serviços**. *Revista Banas Qualidade*. São Paulo, 2007.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: Princípios, Técnicas e Gestão**. Editora Unimep: Piracicaba, 1999.

OOKALKAR, A.D., JOSHI, A.G.; OOKALKAR, D, S. **Quality Improvement in haemodialysis process using FMEA**. International Journal of Quality & Reliability Management. Nagpur (India), 2009.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos**. 5ª edição. São Paulo, IMAM. 1997.

ROOS, C., Diesel, L., Moraes, J.A.R., Rosa, L.C. **Ferramenta FMEA: uma abordagem voltada para a melhoria da qualidade nos serviços de transporte**. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2007, Foz do Iguaçu (Brasil).

ROSA, R. N. **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em um processo da indústria automobilística**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS. Porto Alegre, 2016.

SILVEIRA, C. B. **Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático**. Citisystems, 2015.

SIMONETTI, M.J., De SOUZA, A.L., LEANDRO, C.R., TRABACHINI, A., ELL, S.M., **A Manutenção Centrada na Confiabilidade uma Prática Contemporânea**; 2010.

VIANA, H.R.C. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA 29

Análise estatística 124, 125, 131, 135

### C

Calha 7, 15

Cinemática 42, 43, 90, 91, 92

Circuito integrado 138, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Confiabilidade 14, 25, 28, 40, 41

Criticidade 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 66

### D

Desenho 151

### E

Estrutura 7, 23, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 150

### F

Ferramenta da qualidade 22

Floating Production Storage and Offloading - FPSO 111, 112

### I

Impulsor 91, 92, 93, 94, 95

Indústria têxtil 16

Interface gráfica 80

### M

Manutenção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 112

Manutenção corretiva 1, 3, 4, 5, 8, 11, 18, 19, 39

Manutenção preventiva 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 18, 19, 38, 61

Mecanismo 10, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 71, 74, 75, 76, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 152

Mecanismo de quatro barras 80

Medição fiscal 110, 111, 112, 113, 114, 118

Monitoramento da integridade estrutural 125

## **O**

Ondas de Lamb 124, 125, 126, 129

## **P**

Petróleo 43, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 123

Placa eletrônica 61

Plano de manutenção 4, 5, 7, 12, 13, 22, 28, 30, 35, 37, 40, 54, 63, 64

Pré-resfriamento 98

## **Q**

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 29, 33, 40, 41, 99, 101, 122

## **R**

Rendimento térmico 98

Requisitos metrológicos 110, 111

## **T**

Tempo Médio de Reparo - MTTR 17, 24

Tempo Médio entre Falhas - MTBF 17, 22

Triceratops 68, 69, 77

## **U**

Ultracongelamento 98, 102, 107, 108

## **V**

Ventilador 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING