



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

**Atena**  
Editora

Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

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

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

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2019

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

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

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>67</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 80**

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

*Bruno Barbieri*  
*Vinicius Segalla*  
*Marcio Catapan*  
*Maria Lúcia Okimoto*  
*Isabella Sierra*

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

**CAPÍTULO 8 ..... 91**

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

*Silas Fernandes Caze*  
*Lucas de Sousa Camelo*  
*Wictor Gomes de Oliveira*  
*Bruno de Oliveira Carvalho*

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

*Marcos José Mannala*  
*Marlon Elias Marchi*  
*Marcio Tonetti*

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

*Carlos Henrique da Silva*  
*Felipe Martins Silva*  
*Fernando Luiz Alhem dos Santos*  
*Jardson da Silva David*  
*Juliana Lopes Cardoso*  
*Milton Zanotti Junior*

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

**CAPÍTULO 11 ..... 114**

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

*Walter dos Santos Sousa*  
*Caroline Moura da Silva*  
*Érika Cristina de Melo Lopes*  
*Gilton Carlos de Andrade Furtado*  
*Lana Ritiele Lopes da Silva*  
*Michele da Costa Baía*

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>127</b>
<b>CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23</b>	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>135</b>
<b>TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA</b>	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>147</b>
<b>A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS</b>	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
<b>VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO</b>	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>185</b>
<b>MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS</b>	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>196</b>
<b>ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS</b>	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Edmar Antônio Onofre</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>221</b>
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i>	
<i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i>	
<i>Luís Felipe Furtado Pontes</i>	
<i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i>	
<i>Lucas Silva Soares</i>	
<i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>236</b>
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i>	
<i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<i>Roberto Outa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>245</b>
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i>	
<i>João Paulo Correia Teixeira</i>	
<i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i>	
<i>Tulio Rosine Martins De Souza</i>	
<i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050421</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>247</b>



## MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS

### **Isabella Fenner Rondon**

Acadêmica de Engenharia Elétrica, UFMS,  
Campo Grande-MS. Fone: (67) 99202-5442,  
isabella.fenner@gmail.com.

### **Josivaldo Godoy da Silva**

Doutor em Automação e Controle, UFMS, Campo  
Grande –MS. Fone: (67) 99957-7142, josivaldog@  
gmail.com.

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo determinar o teor de umidade em óleo lubrificante de mancais de turbina de usina hidrelétrica até 0,45% do volume total. A umidade no óleo lubrificante faz surgir ácidos, tais como o sulfúrico e o sulfídrico, que agredem o metal patente e prejudicam a lubrificação hidrodinâmica dos mancais. O transdutor capacitivo utilizado foi desenvolvido com quatro sensores capacitivos ligados em Ponte de Wheatstone e um circuito de condicionamento de sinais. O transdutor capacitivo apresentou boa resposta como um coeficiente de correlação de 0,9987, repetitividade de 0,03, resolução de 276 mV, sensibilidade de 5,53 V/ml, boa estabilidade com a temperatura até +55 °C e nenhuma histerese.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleo lubrificante; permissividade dielétrica; umidade.

### MOISTURE CONTENT MEASUREMENT IN LUBRICATING OIL TURBINES

**ABSTRACT:** This study aimed to determine the moisture content in lubricating oil power plant turbine bearings up to 0.45% of the total volume. Moisture in lubricating oil raises acids such as sulfuric acid and hydrogen sulfide, which harm the white metal and damage the hydrodynamic lubrication of bearings. O capacitive transducer used was developed with four capacitive sensors connected in Wheatstone bridge and a conditioning circuit signals. The capacitive transducer showed good response as a correlation coefficient of 0.9987, repeatability of 0.03, 276 mV resolution, sensitivity of 5.53 V/ml, good stability with temperature up to 55 °C

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Consequências da umidade no óleo lubrificante

O ambiente úmido de usinas hidrelétricas provoca alterações importantes nas propriedades do óleo lubrificante utilizado em mancais de turbinas de usinas hidrelétricas. O óleo lubrificante contém enxofre que ao se combinar quimicamente com a água na presença de calor gerado pelo movimento relativo das peças metálicas produzem ácidos, tais como o sulfúrico e o sulfídrico.

O ácido sulfúrico diminui a rugosidade do

metal patente que ocupa a superfície do mancal que é o principal responsável pela lubrificação hidrodinâmica e a espessura da película de óleo que separa as partes metálicas que têm movimento relativo, resultando na aproximação das mesmas (DELFORGE, 2000). Além disso, ele arranca o metal patente de algumas regiões do mancal e expõe o bronze que se encontra em sua camada inferior.

A região que contém metal patente possui coloração cinza escuro e deveria cobrir toda a superfície do mancal, a região dourada expõe o bronze que se encontra na camada inferior do mancal e a região com coloração branca indica a presença de sulfeto de cobre. O sulfeto de cobre é um sal gerado pelo contato do ácido sulfídrico com o bronze e é prejudicial, pois inutiliza o mancal e exige a substituição do mesmo (DELFORGE, 2000).

A Figura (1) mostra um mancal danificado em decorrência da presença de umidade no óleo lubrificante.

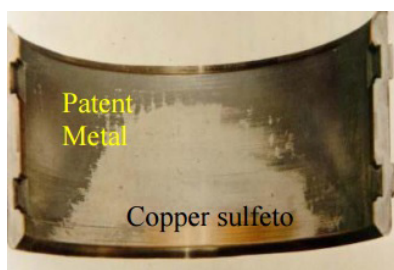


Figura 1 – Mancal inutilizado

Fonte: Extraído da apostila de (DELFORGE, 2000)

## 1.2 Importância da determinação do teor de umidade

Devido aos problemas provocados pela presença de água no óleo lubrificante é importante realizar um monitoramento do teor de umidade no óleo de forma contínua, não destrutiva e em linha. Este monitoramento tem como objetivos: planejar manutenções, trocar ou recuperar o óleo contaminado em épocas adequadas, reduzir custos e riscos de paradas não programadas e permitir a obtenção de informações por meio de métodos físico-químicos (HIGUTI 2001).

O teor de umidade que deve ser detectado no óleo lubrificante é menor que 0,5% em volume, sendo desejável um método de medição que apresente resolução de 0,1%. Assim, verifica-se uma demanda considerável por instrumentos capazes de realizar uma caracterização de líquidos homogêneos e não-homogêneos com elevada sensibilidade e acurácia (HIGUTI 2001).

## 1.3 Técnicas desenvolvidas para a medição de umidade

Uma metodologia precisa e robusta para medir a quantidade de água em óleo lubrificante por meio de técnicas ultra-sônicas foi desenvolvida utilizando uma célula de medição com um transdutor duplo-elemento que elimina o problema da difração

acústica. Foram realizados experimentos para medir concentrações que variam de 0% a 10% em volume de água em óleo. Entretanto, devido às dificuldades de controlar todas as condições o método tornou-se insensível para detecção de pequenas concentrações de água em óleo (HIGUTI, 2001).

A Petrobras desenvolveu fontes de variações em diferentes tipos de medidores de Bottom Sedimentary and Water (BS&W). A medição da vazão de água salgada e do óleo produzido é fundamental para o controle da depleção do reservatório e otimização da produção de petróleo (PETROBRAS, 1998).

Nestes experimentos foram utilizados sensores de Ultra-Som, Coriolis e Gama-Densitômetro, sendo que os testes destes medidores indicaram o desempenho e a robustez em relação a diferentes fontes de variações, bem como, suas combinações (efeito sinérgico).

O Ultra-Som mede a velocidade do som nos hidrocarbonetos e na água e possui uma forte dependência em relação à temperatura. Na faixa de temperaturas que variam entre +20 oC a +50 oC, o comportamento da velocidade do som no fluido é linear em relação à temperatura. O Coriolis apresentou bom desempenho com erro relativo de 2%. A distribuição espacial das fases não comprometeu os resultados. O Gama-Densitômetro apresentou bom desempenho com erro relativo de 5%. O comportamento em relação ao escoamento óleo-água foi considerado homogêneo (CÁRDENAS, et al. 1999).

Cárdenas et al. desenvolveram um sensor capacitivo para detectar a água existente em um tanque contendo óleo cru, pois o óleo ao ser extraído de fontes subterrâneas é acompanhado de água. O sensor foi testado em campo e obteve-se bom desempenho (CÁRDENAS, et al. 1999).

Um microsensor capacitivo foi desenvolvido com técnica de micromachine (MEMS) para a determinação de umidade. O dispositivo é constituído basicamente por um resistor de platina na forma de um filme fino e de uma microestrutura de nitrito/silicone recoberta com um filme de polímero (poliamida). Os dados experimentais indicaram baixa histerese para umidade relativa (> 65%), coeficiente de linearidade de 0,9989 e grande estabilidade (LEE, 2003).

A empresa Vaisala Group industrializou os modelos MMT 330 e MMT 318 de sensores de umidade em óleo. A série MMT 330 mede a umidade e a transmissão de temperatura em óleo MMT 330. O dispositivo considerado “inteli-gente” realiza medidas contínuas de umidade, apresenta configuração versátil e armazena o histórico de um ano do óleo monitorado. O sensor opera na faixa de -40 oC a +180 oC e a série MMT 318 mede a umidade e a transmissão de temperatura para o óleo MMT 318. O sensor foi desenvolvido para aplicação em sistemas de lubrificação hidráulica e em óleo de transformadores, indicando a margem de saturação do óleo. O sensor realiza medidas na faixa de -70 oC a +180 oC e possui pequeno tamanho (VAISALA GROUP, 2009).

Arregui et al. realizaram um estudo sobre a sensibilidade óptica de quatro diferentes hidrogéis em relação à umidade. Os hidrogéis investigados foram de

poli-hidroxietil metacrilato, poliacrilamida, poli-N-vinil pirolidinome e agarose sendo depositados sobre a superfície de uma fibra óptica por meio de polimerização direta e os materiais foram analisados com diferentes fontes de luz, temperatura e umidade relativas. O aumento do tamanho dos poros dos hidrogéis melhora significativamente a sensibilidade e o tempo de resposta destes materiais com a umidade (ARREGUI, et al. 2003).

Wang et al. desenvolveram dois sensores de umidade, sendo um construído com material compósito nanocristalino de LaFeO<sub>3</sub> e o outro com resina de acrílico com polímero quaternário. Ambos os sensores foram avaliados e comparados entre si em relação à sensibilidade, histerese e tempo de resposta. Com isto, verificou-se que a frequência influencia a linearidade das curvas de resistência com a umidade relativa e também a relação entre a capacitância e a umidade relativa (WANG, et al. 2004).

Kharaz e Jones desenvolveram um sistema multi-ponto distribuído de detecção de umidade desenvolvido com base no princípio da utilização do espectro de absorção de um reagente colorimétrico (cloreto de cobalto), imobilizado sobre a superfície do núcleo de uma fibra óptica multimodo, empregando uma fina película de gelatina. Dois comprimentos de onda de detecção são utilizadas para fornecer a intensidade de referenciamento. A atenuação da luz no comprimento de onda de referência é somente 0,2 dB. O sistema foi testado na faixa de umidade de 20-80% RH e temperatura 25-50 °C. A resolução conseguida foi de 2% RH e a constante de tempo foi 1s. A repetibilidade foi tão boa quanto a resolução da medição (KHARAZ, 1995).

Os trabalhos apresentados indicam a importância do assunto, mas fica claro que nenhuma pesquisa atendeu de forma plena os requisitos de custo, desenvolvimento nacional e faixa de operação. Desta forma, implementou-se um transdutor capacitivo com custo reduzido, projeto simples e de excelente potencial para aplicação industrial com objetivo de oferecer uma contribuição nacional.

## 2 | FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A Equação (01) mostra a variação de permissividade dielétrica e a variação da capacitância devido a contaminação do óleo lubrificante à temperatura constante considerando apenas um sensor capacitivo.

$$C_f = C_0 + \frac{A}{D} (\xi_f - \xi_0) \quad (01)$$

Sendo  $C_f$ : a capacitância equivalente do dielétrico contendo óleo lubrificante contaminado com água;  $C_0$ : a capacitância do dielétrico contendo apenas óleo lubrificante puro;  $\xi_f$ : a permissividade dielétrica equivalente de óleo lubrificante contaminado com água;  $\xi_0$ : a permissividade do óleo lubrificante puro.

A Equação (02) define o volume de água  $V_A$  nos dielétricos de sensores capacitivos idênticos à temperatura constante.

$$V_A = \frac{V_D}{N} \left( \frac{\xi_F - \xi_0}{\xi_0} \right) \cdot n \quad (02)$$

Sendo  $V_A$ : o volume de água total;  $V_d$ : o volume do dielétrico sujeito a variação de temperatura;  $N$ : a relação entre a permissividade relativa de água pura e do óleo lubrificante puro;  $n$ : o número de sensores capacitivos contendo umidade.

Fazendo-se:

$$k_1 = \frac{V_d}{N} \cdot \frac{1}{\xi_0} \cdot n$$

Obtém-se a Equação (03).

$$V_A = k_1 (\xi_f - \xi_0) \quad (03)$$

Entretanto, verificou-se que  $V_d$  sofre alteração devido a variação da temperatura adulterando a resposta na Equação (02).

Para garantir a estabilidade com a temperatura, desenvolveu-se o transdutor capacitivo constituído de matriz com quatro sensores capacitivos  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  ligados em Ponte de *Wheatstone*. Estes sensores foram submetidos à mesma variação de temperatura devido à proximidade no transdutor. Além disso, os sensores  $c_1$  e  $c_4$  foram submetidos ao óleo lubrificante contaminado com água, enquanto os sensores  $c_2$  e  $c_3$  foram submetidos ao óleo lubrificante puro. A Figura (2) apresenta a Ponte de *Wheatstone* de sensores capacitivos.

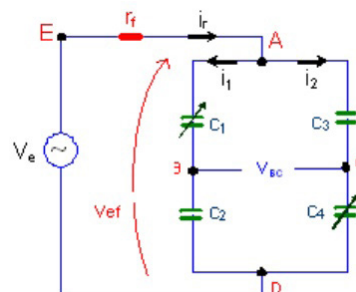


Figura 2 – Transdutor capacitivo

Fonte: Circuito elaborado para simulação

Sendo  $V_e$ : a tensão de alimentação por meio de um oscilador de Wien;  $r_f$ : a resistência elétrica inserida em série com a ponte de sensores para evitar curto-

circuito;  $V_{BC}$ : a diferença de potencial (ddp) entre os terminais de saída B e C da ponte de sensores capacitivos;  $i_r$ : a corrente elétrica do circuito;  $i_1$  e  $i_2$ : as correntes elétricas nos ramos ABD e ACD;  $V_{ef}$ : a ddp entre os pontos A e D.

Determinação de  $V_{BC}$ , considerando as permissividades dielétricas de  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  segundo a Equação (04).

$$V_{BC} = V_{eF} \left( \frac{\xi_2 \xi_3 - \xi_1 \xi_4}{\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4} \right)$$

$$\xi_1 = \xi_4 = \xi_f \pm \Delta \xi_{fT}$$

e

$$\xi_2 = \xi_3 = \xi_0 \pm \Delta \xi_{0T}$$
(04)

Sendo  $\Delta \xi_{fT}$ : a variação da permissividade dielétrica equivalente devido a variação de temperatura e  $\Delta \xi_{0T}$ : a variação da permissividade dielétrica do óleo puro devido a variação da temperatura.

Substituindo as permissividades dielétricas sujeitas a variação de temperatura na Equação (04), obtém-se a Equação (05).

$$V_{BC} = -\frac{V_e}{2} (\xi_r - \xi_0)$$
(05)

Fazendo-se:

$$k_2 = \frac{V_e}{2}$$

Obtém-se a resposta VBC do transdutor capacitivo segundo a Equação (06).

$$V_{BC} = -k_2 (\xi_r - \xi_0)$$
(06)

Verifica-se que VBC não é afetado pela variação da temperatura nos sensores capacitivos devido a compensação da Ponte de *Wheatstone*.

Encontrando uma relação entre  $V_A$  na Equação (02) e  $V_{BC}$  na Equação (06) obtém-se a Equação (07).

$$V_A = -\frac{k_1}{k_2} V_{BC}$$
(07)

### 3 I MATERIAIS E MÉTODOS

Este transdutor capacitivo foi desenvolvido utilizando-se uma estrutura mecânica de sustentação, quatro câmaras para a inserção tanto de óleo lubrificante puro de

referência, quanto de óleo lubrificante contaminado com água, quatro sensores capacitivos  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$ , quatro pivôs móveis e um circuito de condicionamento de sinais microcontrolado.

A estrutura mecânica de sustentação do transdutor capacitivo foi desenvolvida em acrílico por apresentar boa isolamento elétrica, resistência mecânica suficiente, além de permitir a usinagem e a colagem de peças entre si. A cola utilizada foi a S330 com catalisador.

Foram desenvolvidas quatro câmaras idênticas de acrílico para a inserção de óleo. Cada uma das câmaras possui quatro lados e formato cônico que tem a função de direcionar a água para o fundo da mesma onde se localiza o sensor capacitivo.

Em duas câmaras receptoras (1 e 4) introduziu-se óleo lubrificante contaminado com água, enquanto nas outras duas câmaras (2 e 3) introduziu-se óleo lubrificante puro para servir de referência.

As câmaras receptoras dos sensores capacitivos  $c_1$  e  $c_4$  foram coladas lado a lado e o mesmo se fez com as duas câmaras dos sensores capacitivos  $c_2$  e  $c_3$ . As quatro câmaras possuem medidas idênticas apresentando 10 cm de altura, 9 cm de largura (na parte superior), bem como, possui quatro lados iguais. Além disso, as câmaras podem conter diversos volumes de óleo até o limite de 300 ml cada uma delas.

Na fase seguinte, desenvolveram-se quatro sensores capacitivos idênticos  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  utilizando-se aço inox ABNT tipo 304. Cada sensor capacitivo possui duas placas (superior e inferior) planas e paralelas. A placa metálica superior mediu 12 mm de comprimento, 8 mm de largura e 1,5 mm de espessura e encontra-se fixada a um pivô móvel. A placa metálica inferior do sensor capacitivo contém 14 mm de comprimento, 10 mm de largura e 2,5 mm de espessura. Além disso, esta mesma placa possui um rebaixo central para captação de água que mede 12 mm de comprimento, 7 mm de largura e 1,0 mm de profundidade.

Os sensores capacitivos  $c_1$  e  $c_4$  foram imersos em óleo lubrificante contaminado com água, enquanto os sensores capacitivos  $c_2$  e  $c_3$  foram imersos no mesmo tipo de óleo lubrificante, mas em estado puro, para fornecer sinal de referência. O óleo lubrificante empregado foi o Móbil DTE-HM utilizado nos mancais de turbinas e reguladores de velocidade da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira - SP.

A contaminação de cada amostra de óleo lubrificante utilizada foi realizada com auxílio de uma pipeta com escala adequada.

As contaminações das amostras de óleo foram aumentadas progressivamente em valores padronizados iniciando em 0% e terminando em 0,45% do volume total da câmara receptora que foi de 300 ml.

Nos experimentos, utilizou-se água mineral para misturar ao óleo lubrificante mantendo-se a marca e o fornecedor, com objetivo de eliminar diferenças na composição da água.

Foram desenvolvidos quatro pivôs móveis em acrílico sendo fixada na extremidade de cada um deles a placa superior de cada um dos sensores capacitivos. Estes pivôs

foram desenvolvidos para permitir a regulagem da abertura entre as placas do sensor considerando a viscosidade e a sensibilidade desejada do transdutor capacitivo.

A Figura (3) mostra a foto dos quatro pivôs e das quatro placas metálicas superiores desenvolvidos.



Figura 3 – Fotos do pivôs e das placas metálicas superiores

Fonte: Foto obtida da implementação do projeto

Sendo A, B, C e D: os quatro pivôs móveis; E, F, G e H: as quatro placas metálicas superiores dos sensores capacitivos.

Cada pivô móvel mede 304 mm de diâmetro e 140 mm de comprimento. Além disso, eles permitem realizar um ajuste fino de espaçamento de 1 a 4 mm entre as placas metálicas de cada sensor capacitivo. A regulagem de espaçamento permite alterar a sensibilidade, fazer a compensação de capacitância da ponte e mesmo utilizar óleos com viscosidades diferentes. Cada um destes pivôs móveis foi travado individualmente na parte superior do transdutor capacitivo com objetivo de evitar que se deslocassem durante a calibração e garantir a realização dos experimentos.

A Figura (4) mostra uma câmara receptora de óleo lubrificante, o pivô móvel, o óleo lubrificante e o sensor capacitivo.

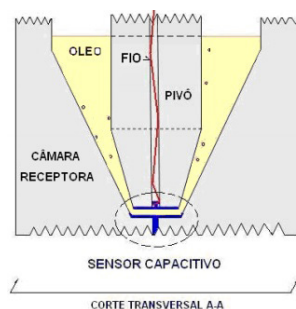


Figura 4 – Câmara receptora de óleo

Fonte: Desenho elaborado para desenvolvimento da teoria

A Figura (5) apresenta a foto das quatro câmaras de óleo bem como as quatro placas inferiores dos sensores capacitivos.



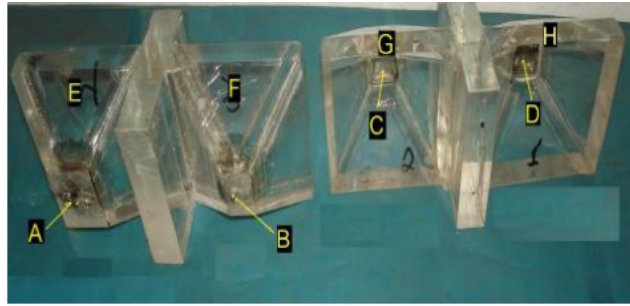


Figura 5 – Foto das câmaras de óleo e das placas metálicas inferiores

Fonte: Foto extraída da implementação do projeto

A alimentação da ponte de sensores capacitivos foi realizada por meio de um oscilador de Wien capaz de gerar tensão de 13,8 V com uma frequência de 27,4 kHz. A resposta da ponte de *Wheatstone* ( $V_{BC}$ ) foi conectada ao circuito de condicionamento de sinais constituído por um buffer desenvolvido com CI OPAGP (Burr-Brown) e um amplificador de instrumentação desenvolvido com CI INA 129P (Burr-Brown) que provocou um ganho de 300. Foi utilizado o CI OPAGP no detector de pico, pois este apresenta baixo ruído e baixas correntes de polarização e *offset*.

A saída do circuito de condicionamento foi desenvolvido com microcontrolador ATMEGA8 (Atmel) e com objetivo de apresentar em *display* o teor de umidade no óleo lubrificante. À medida que se aumentou o teor de umidade no óleo lubrificante ocorreu a variação da resposta do circuito de condicionamento de sinais.

A Figura (6) mostra a foto do transdutor capacitivo implementado.

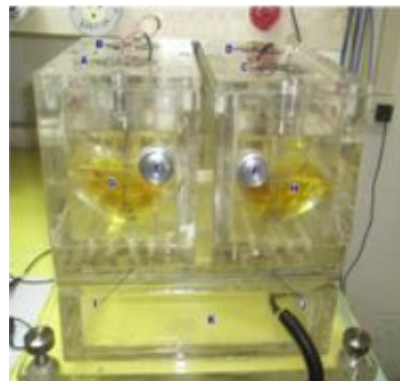


Figura 6 – Transdutor capacitivo

Fonte: Foto extraída da implementação do projeto (2012)

## 4 | RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela (1) apresenta os resultados obtidos com o transdutor capacitivo.

A(%)	$V_1(V)$	$V_2(V)$	$V_3(V)$	$V_4(V)$	$V_m(V)$	DP	Re
0,00	5,98	6,00	5,99	5,98	5,98	0,01	0,03
0,05	5,72	5,74	5,75	5,73	5,74	0,01	0,03

0,10	5,53	5,54	5,57	5,55	5,55	0,02	0,06
0,15	5,41	5,42	5,43	5,43	5,42	0,02	0,06
0,20	5,13	5,14	5,17	5,16	5,15	0,01	0,03
0,30	4,46	4,48	4,49	4,49	4,48	0,01	0,03
0,45	3,50	3,50	3,52	3,51	3,51	0,01	0,03

Tabela 1 – Resposta do transdutor capacitivo.

Fonte: Resultados obtidos da calibração do transdutor (2012)

Sendo  $A$ : a concentração de água adicionada ao óleo lubrificante;  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$ : as tensões de resposta do circuito de condicionamento conectado à saída da ponte de sensores capacitivos;  $V_m$ : a tensão média aritmética das medidas  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$ ;  $DP$ : o desvio padrão e  $Re(95\%)$ : a repetitividade. A Figura (7) mostra a resposta do transdutor capacitivo em relação a umidade.

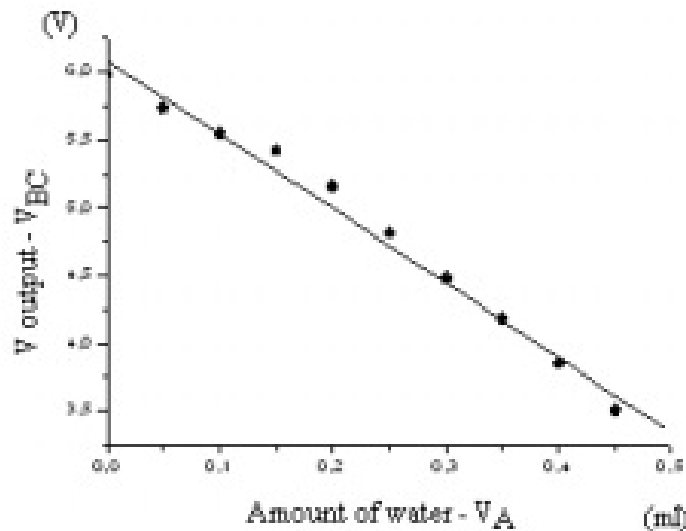


Figura 7 – Resposta do transdutor acoplado ao circuito de condicionamento de sinais

Fonte: Gráfico obtido a partir dos resultados tabelados (2012)

A resposta do transdutor capacitivo apresentou boa linearidade na faixa de interesse, com coeficiente de correlação linear de 0,9987. Além disso, verificou-se boa estabilidade com a temperatura na faixa de +15 °C a +55 °C, pois acima desta temperatura o acrílico utilizado começa a derreter.

## 5 | CONCLUSÃO

A proposta de implementar um transdutor capacitivo capaz de medir o teor de umidade na faixa de 0% a 0,45% em óleo lubrificante utilizado em mancais de turbinas e de reguladores de velocidade de usina hidrelétrica atendeu aos requisitos.

O transdutor pode operar com tensões superiores a 27,6 Vac geradas por um circuito de oscilação, provocando o aumento da sensibilidade da ponte de sensores

capacitivos e a redução do ganho do amplificador do circuito de condicionamento de sinais. Além disso, esta ponte poderá operar com frequências diversas segundo a conveniência.

Com o sistema de medição, obteve-se um coeficiente de correlação de 0,9987, resolução de 276 mV, repetitividade de  $\pm 0,03$  e sensibilidade de 5,53 V/ml. Em relação à faixa de operação, o dispositivo apresentou boa estabilidade térmica na faixa de +15 °C a +55 °C devido à temperatura suportada pelas peças de acrílico.

O transdutor capacitivo apresentou diversas vantagens, tais como: facilidade de implementação, custo reduzido comparado aos equipamentos importados e boa precisão. Além disso, os resultados mostraram que o transdutor capacitivo poderá contribuir significativamente para a coleta de dados industriais em tempo real, sendo necessário substituir o acrílico utilizado por um polímero de alta estabilidade térmica.

## REFERÊNCIAS

HIGUTI, R. T. Caracterização de Líquidos por Ultra-Som. São Paulo, Brasil, 2001. p.1 a 4. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo – USP.

PETROBRAS. Estudo teórico experimental do impacto de fontes de variações em quatro tipos de medidores de BS&W, 1998. Disponível em: <[http://www2.petrobras.com.br/tecnologia2/port/boletim\\_tecnico/v41\\_n3-4\\_jul-dez-1998/pd/art5integra.pdf](http://www2.petrobras.com.br/tecnologia2/port/boletim_tecnico/v41_n3-4_jul-dez-1998/pd/art5integra.pdf)>. Acesso em: 10/08/2006.

CARDENAS, R. PEFIA, R. RUB, J. R.; VILLEGAS, S.; SERPA, S; NAHUELQUIN, J. Detection of oil in water and water in oil emulsions inside a phase separator washing tank. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1999. IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE p. 332 a 337, v.3, Issue, 1999.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-246-3

