

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 17/01/2019.

ODAIR FERNANDES DA CUNHA FILHO

**DETECÇÃO DE FALHAS EM PLACAS DE KIRCHHOFF ATRAVÉS
DA METODOLOGIA DE OBSERVADORES DE ESTADOS**

Ilha Solteira

2017

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ODAIR FERNANDES DA CUNHA FILHO

**DETECÇÃO DE FALHAS EM PLACAS DE KIRCHHOFF ATRAVÉS
DA METODOLOGIA DE OBSERVADORES DE ESTADOS**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, como cumprimento de requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Gilberto Pechoto de Melo
Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C972d Cunha Filho, Odair Fernandes da.
Detecção de falhas em placas de Kirchhoff através da metodologia de observadores de estados / Odair Fernandes da Cunha Filho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
122 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Mecânica dos Sólidos, 2017

Orientador: Gilberto Pechoto de Melo
Inclui bibliografia

1. Placa de Kirchhoff. 2. Placa trincada. 3. Elementos finitos. 4. Observador de estados. 5. Detecção de falhas.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Detecção de Trincas em Placas de Kirchhoff através da Metodologia de Observadores de Estados

AUTOR: ODAIR FERNANDES DA CUNHA FILHO

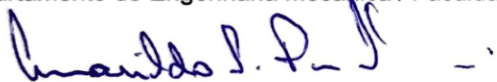
ORIENTADOR: GILBERTO PECHOTO DE MELO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA MECÂNICA, área: MECANICA DOS SÓLIDOS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. GILBERTO PECHOTO DE MELO

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. AMARILDO TABONE PASCHOALINI

Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. EDSON HIDEKI KOROISHI

Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ilha Solteira, 17 de julho de 2017

AGRADECIMENTO

À minha mãe Ana Paula Navarrete Munhoz da Cunha e meu pai Odair Fernandes da Cunha, que nos momentos de medo e vitória, sempre estiveram ali para me auxiliar com todo seu conhecimento, apoio, amor, experiência e paciência. Não seria nada se vocês.

Às minhas irmãs Ana Carolina Navarrete Munhoz Fernandes da Cunha e Ana Paula Navarrete Munhoz da Cunha, e ao meu irmão Ricardo Vinícius Fiorentino Cunha por estarem ao meu lado em qualquer situação, desconsiderando qualquer aspecto de distância, saudade, saúde ou trabalho.

À minha namorada Ana Letícia Seller Bolzan, por estar ao meu lado em momentos de tristeza e alegria, sempre me fortalecendo para enfrentar qualquer desafio, além de oferecer um abrigo sempre que era necessário.

À minha tia Luciana Braga, meu tio Adriano Arantes, minha afilhada Polianna Braga e as minhas primas, Ana Laís e Ana Beatriz, por compartilharem vários jantares de comida japonesa para aproveitar os pequenos momentos de folga.

Aos meus amigos de Ilha Solteira, Cláudio Ubeda, Danilo Gomide, Danilo Yshinkawa, Lucas Pierobon, Ronaldo Sasaki, Thulio Rodrigues, Rafale Cabral, Amanda Alves, Lais Monique, Gustavo Villani e muitos outros que não consegui colocar aqui, estando ao meu lado e compartilhando as alegrias e festas durante esse período da minha vida.

Aos meus amigos de Votuporanga, Sami Machado, Jéssica Silva, Eder Horita, Yuri Moleiro, Audrei Julião, Lucas Ito, Jorge Galhardi, Renan Santos, Iara Aimê, André Waiteman, Guilherme Mecelis, Leonardo Matos, Mayni Ruana e aos alunos do IFSP, que estavam ao meu lado quando finalizava todo este trabalho

Ao meu orientador, amigo e conselheiro, Prof. Dr. Gilberto Pechoto de Melo, que de todas e mais variadas dúvidas que surgiam, ele estava lá, a todo momento para aconselhar e orientar pro melhor caminho. Este trabalho tem parte do senhor.

E finalmente a Deus, senhor todo poderosos que me iluminou e me deu forças até agora.

“It matters not how strait the gate,
How charged with punishment the scroll,
I am the master of my fate,
I am the captain of my soul.”

- William Ernest Henley

RESUMO

No decorrer dos anos, alguns métodos de manutenção têm sido desenvolvidos para evitar que falhas em estruturas e maquinários possam ocorrer e desencadear paradas inesperadas ou desnecessárias. Os observadores de estado podem reconstruir os estados não medidos do sistema, desde que o mesmo seja observável, tornando possível, desta forma, estimar as medidas nos pontos de difícil acesso. A técnica dos observadores de estado consiste em desenvolver um modelo para o sistema em análise e comparar a estimativa da saída com a saída medida, a diferença entre os dois sinais presentes resulta em um resíduo que é utilizado para análise. Neste trabalho foi montado um banco de observadores associado a um modelo de trinca em placa de Kirchhoff de modo a acompanhar o progresso da mesma. Foram analisados quatro sistemas mecânicos contendo placas, sendo estes um sistema computacional de placa sobre elementos de molas e amortecimento, um sistema computacional de placa engastada livre com ausência ou presença de trinca, um sistema experimental de placa engastada livre com ausência ou presença de entalhe e um sistema experimental de placa engastada livre com ausência ou presença de massa extra. Novamente, o banco de observadores é utilizado para detecção da falha na estrutura. Os resultados obtidos através de simulações computacionais em uma viga engastada discretizada pela técnica dos elementos finitos e as análises experimentais realizadas foram bastante satisfatórios, validando a metodologia desenvolvida.

Palavras-Chaves: Placa de Kirchhoff. Placa trincada. Elementos finitos. Observador de estados. Detecção de falhas.

ABSTRACT

Over the years, some maintenance methods have been developed to prevent failures in structures and machinery from occurring and triggering unexpected or unnecessary shutdowns. State observers can reconstruct the unmeasured states of the system, as long as it is observable, thus making it possible to estimate the measurements at hard-to-reach points. The technique of state observers is to develop a model for the system under analysis and compare the estimation of the output with the measured output, the difference between the two signals present results in a residue that is used for analysis. In this work, an observer bank associated with a Kirchhoff plate model was set up to monitor the progress of the same. Four mechanical systems containing plates were analyzed, being a computer system of plate on elements of springs and cushioning, a computer system of set free plate with absence or presence of crack, an experimental system of free set plate with absence or presence of notch and A free set plate experimental system with absence or presence of extra mass. Again, the observer bank is used to detect structure failure. The results obtained through computational simulations in a crimped beam discretized by the finite element technique and the experimental analyzes performed were quite satisfactory, validating the methodology developed.

Key-Words: Kirchhoff's plate. Cracked plate. Finite element method. Observer state. Failure's detection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Deformação da Placa de Kirchhoff.....	24
Figura 2 - Elemento Finito de Placa de Kirchhoff contendo 12 graus de liberdade	25
Figura 3 - Forças elementares numa placa retangular	29
Figura 4 – Sistema com as 9 forças nodais independentes.....	30
Figura 5 - Modos de Carregamentos	32
Figura 6 - Elemento finito com trinca central e suas doze forças elementares	33
Figura 7 - Elemento finito com trinca central e suas nove forças nodais.....	33
Figura 8 - Zona plástica ao redor da ponta da trinca	35
Figura 9 - Funções de Correções	38
Figura 10 - Flexibilidade não-dimensional c_{33} devido a trinca como função do comprimento relativo $2l/b$ e a razão plástica σ_x/σ_Y	40
Figura 11 - Flexibilidade não-dimensional c_{73} devido a trinca como função do comprimento relativo $2l/b$ e a razão plástica σ_x/σ_Y	40
Figura 12 - Flexibilidade não-dimensional c_{77} devido a trinca como função do comprimento relativo $2l/b$ e a razão plástica σ_x/σ_Y	41
Figura 13 - Flexibilidade não-dimensional c_{99} devido a trinca como função do comprimento relativo $2l/b$ e a razão plástica σ_x/σ_Y	41
Figura 14 - Variação da razão de amortecimento em função da frequência natural	45
Figura 15 - Diagrama de Blocos de um sistema de controle linear de tempo contínuo, em espaço de estados.....	56
Figura 16 - Modelo Ilustrativo de Observador de Estado	59
Figura 17 - Primeiro Banco de Observadores	62
Figura 18 - Segundo Banco de Observadores	63
Figura 20 - Organograma do Trabalho da Placa sobre molas e amortecedores.	65
Figura 21 - Placa Fina sobre Molas e Amortecimento com 16 Elemento.....	66
Figura 22 - Modelo de Matriz Global para 16 Elementos.....	67
Figura 23 - Posição dos nós analisados.	71
Figura 24 - SIM 1: Deslocamento do nó 1.	71
Figura 25 - SIM 1: Deslocamento do nó 13 (CENTRAL).	72
Figura 26 - SIM 1: Deslocamento do Sistema para o nó 1 x Deslocamento do Observador Global para o nó 1.	73

Figura 27 - SIM 1: Deslocamento do Sistema para o nó 13 x Deslocamento do Observador Global para o nó 13.	73
Figura 28 - SIM 1: Sinal Coletado x Observador Global.	74
Figura 29 - SIM 1: Sinal Coletado x Observador Global e Modelo Sem Falha x Observador Global.	75
Figura 30 – Posição dos nós analisados.	75
Figura 31 - SIM 2: Sinal Coletado com 75% de Falha na mola do nó 1 x Observador Global.	76
Figura 32 - SIM 2: Sinal Coletado x Observador Global e Modelo Sem Falha x Observador Global.	76
Figura 33 - SIM 2: Banco de Observadores Robusto. (a) Falha em k1, (b) Falha em k2, (c) Falha em k3 e (d) Falha em k4.	77
Figura 34 - SIM 2: (a) Banco de Observadores e (b) Alarme de Identificação de Falhas.	78
Figura 35 - Posição dos nós analisados.	78
Figura 36 - SIM 3: Sinal Coletado com 20% de Falha no nó 1 e 20% de Falha no nó 21 x Observador Global.	79
Figura 37 - SIM 3: Sinal Coletado x Observador Global e Modelo Sem Falha x Observador Global.	79
Figura 38 - SIM 3: Banco de Observadores Robusto. (a) Falha em k1, (b) Falha em k2, (c) Falha em k3 e (d) Falha em k4.	80
Figura 39 - SIM 3: (a) Banco de Observadores e (b) Alarme de Identificação de Falhas.	81
Figura 40 - Placa engastada livre.	82
Figura 41 - Nó de coleta do sinal.	83
Figura 42 - SIM 4: Deslocamento no nó 10.	84
Figura 43 - SIM 4: Sinal Coletado x Observador Global e Modelo sem Falha x Observador Global.	85
Figura 44 - Placa engastada e com trinca no elemento 4.	86
Figura 45 - SIM 4: Deslocamento do nó 10 da placa.	86
Figura 46 - SIM 5: Sinal Coletado x Observador Global e Modelo Sem Falha x Observador Global.	87
Figura 47 - SIM 5: Sinal Coletado e Observador Robusto 1ele.	88
Figura 48 - SIM 5: Sinal Coletado e Observador Robusto 2ele.	88
Figura 49 - SIM 5: Sinal Coletado e Observador Robusto 3ele.	89
Figura 50 - SIM 5: Sinal Coletado e Observador Robusto 4ele.	89

Figura 51 - SIM 5: Sinal Coletado e Observador Robusto 5ele.	90
Figura 52 - SIM 5: (a) Banco de Observadores e (b) Alarme de Falhas.	91
Figura 53 - Placa de aquisição de dados VibPilot m+p.	93
Figura 54 - Canais de aquisição.	93
Figura 55 - Área de Trabalho da placa VibPilot m+p SO Analyser.	94
Figura 56 - Acelerômetro PCB Piezotronics®.	94
Figura 57 - Martelo de impacto.	95
Figura 58 - Pontas do martelo de impacto.	95
Figura 59 - Fluxograma com as etapas das análises experimentais.	96
Figura 61 - Dimensão da placa experimental.	97
Figura 62 - Placa engastada sem falha.	97
Figura 63 – EXP 1: Deslocamento do nó 10 no tempo.	99
Figura 64 – EXP 1: Força do martelo no nó 9.	99
Figura 65 – EXP 1: Ponteira Azul em sistema sem entalhe.	100
Figura 66 – EXP 2: Deslocamento do nó 10 no tempo.	101
Figura 67 – EXP 2: Força do martelo no nó 9.	101
Figura 68 – EXP 2: Ponteira Preta em sistema sem entalhe.	102
Figura 69 - Placa com Entalhe.	103
Figura 70 - EXP 3: Deslocamento no nó 10.	104
Figura 71 - EXP 3: Força do martelo no nó 9.	104
Figura 72 – EXP 3: Ponteira Azul em sistema com entalhe.	105
Figura 73 - EXP 4: Deslocamento no nó 10.	106
Figura 74 - EXP 4: Força do martelo no nó 9.	106
Figura 75 - EXP 4: Ponteira Preta em sistema com entalhe.	107
Figura 76 - Nova placa de Kirchhoff para experimental de massa extra.	108
Figura 77 - EXP 5: Deslocamento do nó 10.	109
Figura 78 - EXP 5: Força aplicada no nó.	109
Figura 79 - EXP 5: Placa sem massa extra.	110
Figura 80 - Massa extra de 44,27g	111
Figura 81 - EXP 6: Deslocamento no tempo do nó 10.	111
Figura 82 - EXP 6: Força aplicada no nó 9.	112
Figura 83 - EXP 6: Placa com massa extra de 44,27 gramas.	112
Figura 84 - EXP 6: Localização da Massa Extra.	113
Figura 85 - EXP 6: Alarme de massa extra.	114

Figura 86 - Placa com massa extra de 100g.	115
Figura 87 - EXP 7: Deslocamento no tempo do nó 10.....	115
Figura 88 - EXP 7: Força aplicada no nó 9.	116
Figura 89 - EXP 7: Placa com massa extra de 100 gramas.	116
Figura 90 - EXP 7: Localização da Massa Extra.....	117
Figura 91 - EXP 7: Alarme de Massa Extra	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros da Placa Fina de Kirchhoff.	68
Tabela 2 - Frequências naturais do sistema sobre molas e amortecedores: Modelo e Software de modelagem.	69
Tabela 3 - Numeração das Simulações de Sistemas	70
Tabela 4 - Parâmetros da placa fina de Kirchhoff para simulação numérica.	82
Tabela 5 - Simulações para placa engastada livre.	83
Tabela 6 - Frequências naturais dos modelos e sistema real.	84
Tabela 7 - Experimentais Coletados.	98
Tabela 8 - Parâmetros da placa fina de Kirchhoff para experimentos de massa extra.	108
Tabela 9 - Experimentais com massa extra.	108

LISTA DE SÍMBOLOS

- $[M_{Local}]$ - Matriz de Massa de um elemento finito de placa pela teoria de Dawe
- $[M_{Global}]$ - Matriz de Massa Global do Sistema
- $[K_{Local}]$ - Matriz de Rigidez de um elemento finito de placa pela teoria de Dawe
- $[K_{Global}]$ - Matriz de Rigidez Global do Sistema
- $[C_{Local}]$ - Matriz de Amortecimento Proporcional de Rayleigh de um elemento finito de placa
- $[C_{Global}]$ - Matriz de Amortecimento Global do Sistema
- $[K_{Local-PRZEMIENIENCKI}]$ - Matriz de rigidez de um elemento finito de placa pela teoria de Przemieniencki
- $[K_{Trincada}]$ - Matriz de rigidez de um elemento finito de placa trincado pela teoria de Dawe
- $[Flex_{Local}]$ - Matriz de Flexibilidade Local
- $[Flex_{Trincada}]$ - Matriz de Flexibilidade Local com presença de Trinca
- $[Flex_{Total}]$ - Matriz de Flexibilidade Total
- $[Aux]$ - Matriz Auxiliar para determinação da Matriz de Flexibilidade de Dawe
- $[T]$ - Matriz de Transformação das Forças Elementares em Forças Linearmente Independentes
- $[A]$ - Matriz Dinâmica do Sistema
- $[A + \Delta A]$ - Matriz Dinâmica Alterada do Sistema
- $[C_{me}]$ - Matriz de Medidas
- $[B]$ - Matriz de Entradas
- $[D]$ - Matriz de Transmissão Direta
- $[H]$ - Matriz de Hankel
- $[I_d]$ - Matriz Identidade
- $[L]$ - Matriz do Ganho do Observador
- $[Q]$ - Matriz Hermitiana representando a importância do erro
- $[R]$ - Matriz Hermitiana representando o consumo de energia dos sinais de controle

$[W_o]$ - Matriz de Observabilidade

$[W_C]$ - Matriz de Controlabilidade

$\{Y_k\}$ - Parâmetros de Markov

$\{F\}$ - Vetor das Forças Linearmente Independentes

$\{S\}$ - Vetor das Forças Elementares atuante na placa

$\{\delta\}$ - Vetor de deslocamento nodal

$\{\phi\}$ - Autovetor normalizado

$\{\xi\}$ - Vetor de deslocamento da nova coordenada transformada

$\{\beta_i^{(i)}\}$ - Vetor de Resposta do Impulso

$\{y(t)\}$ - Vetor de Saída do Sistema

$\{\hat{y}(t)\}$ - Vetor de Saída do Observador

$\{x(t)\}$ - Vetor de Estados do Sistema

$\{\hat{x}(t)\}$ - Vetor de Estados do Observador

$\{u(t)\}$ - Vetor de Entrada do Sistema

$\{e(t)\}$ - Erro entre o vetor de estado do sistema com o vetor de estado do observador

$\{q_i\}$ - Deslocamentos das Coordenadas Generalizadas do Sistema

$\{Q_i\}$ - Força Generalizada nas Coordenadas Generalizadas

T - Energia Cinética do Sistema

V - Energia Potencial do Sistema

D - Função de Dissipação de Rayleigh

U^1 - Energia de Deformação para tensões planas

K_I - Fator de Intensidade de Tensão de Tração

K_{Ie} - Fator de Intensidade de Tensão de Tração Puramente Elástico

K_{II} - Fator de Intensidade de Tensão de Cisalhamento

K_{III} - Fator de Intensidade de Tensão de Cisalhamento Perpendicular

c_{ij}^1 - Elemento da Matriz de Flexibilidade Trincada não dimensional

σ_x - Tensão Normal na direção x

σ_y - Tensão Normal na direção y

σ_z - Tensão Normal na direção z

τ_{xy} - Tensão de Cisalhamento no plano xy

σ_y - Tensão de Escoamento do Material na direção y

Y - Função de Correção considerando agora qualquer tensão nominal aplicada

Φ_I - Parâmetros de Correção para o modo I de abertura de trinca

Φ_{II} - Parâmetros de Correção para o modo II de abertura de trinca

r_p - Raio da ponta de trinca da zona plástica

α - Coeficiente de Amortecimento Proporcional para Matriz de Massa

β - Coeficiente de Amortecimento Proporcional para Matriz de Rigidez

w - Deslocamento nodal na direção z

ϕ - Rotação nodal na direção x

θ - Rotação nodal na direção y

A - Área da Ponta da Trinca

ρ - Densidade do material da placa

k - Constante Elástica da Mola

c - Constante de Amortecimento

a - Comprimento da placa

b - Largura da placa

h - Espessura da placa

l - Comprimento da trinca

E - Módulo de Young do material

ν - Coeficiente de Poisson

ζ_i - Fator de Amortecimento do GDL i

ω_i - Frequência Natural do GDL i

fs - Frequência de Amostragem

$e_i(t)$ - Erros dos valores dos RMS dos deslocamentos.

Inversa - Inversa da Diferença entre os Valores RMS da saída do Sistema com a saída do Observador.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1	INTRODUÇÃO	17
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.3	OBJETIVO.....	21
1.4	DIVISÃO DO TRABALHO.....	21
2	MODELAGEM MATEMÁTICA POR ELEMENTOS FINITOS	24
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	24
2.2	MATRIZES DE MASSA E RIGIDEZ DO ELEMENTO DE PLACA	25
2.3	PROPRIEDADES DE FLEXIBILIDADE DE UM ELEMENTO FINITO	28
2.4	MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM ELEMENTO TRINCADO	32
2.5	MATRIZ DE AMORTECIMENTO PROPORCIONAL	42
2.6	IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DE UMA PLACA ENGASTADA	47
3	METODOLOGIA DE OBSERVADORES DE ESTADO	54
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	54
3.2	ESPAÇO DE ESTADOS	54
3.3	CONCEITO DE OBSERVADORES	56
3.4	CONSTRUÇÃO DE UM OBSERVADOR DE ESTADO.....	58
3.5	MONTAGEM DO BANCO DE OBSERVADORES DE ESTADO: GLOBAL E ROBUSTO	60
4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	64
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	64
4.2	PLACA FINA DE KIRCHHOFF SOBRE ELEMENTOS DE MOLA E AMORTECIMENTO.....	65
4.3	PLACA FINA DE KIRCHHOFF ENGASTADA LIVRE COM PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE TRINCA	81
5	VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL	93

5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	93
5.2	PLACA FINA DE KIRCHHOFF ENGASTADA LIVRE COM AUSÊNCIA OU PRESENÇA DE ENTALHE.....	96
5.3	PLACA FINA DE KIRCHHOFF ENGASTADA LIVRE COM AUSÊNCIA OU PRESENÇA DE MASSA EXTRA.....	107
6	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIA	117

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 INTRODUÇÃO

Com a evolução tecnológica nos dias atuais, a comercialização e produção de quaisquer tipo de mercadoria desenvolveu-se significativamente para atender as demandas mundiais. Desde a revolução industrial, impulso inicial para a mecanização das operações, busca-se por equipamentos e produtos mais duradouros, conseqüentemente novos meios de modernização, com a finalidade de diminuir o tempo de produção e aumentar o escoamento da indústria.

Tendo em mente esse pensamento, a utilização de maquinários tem sido cada vez mais empregados por períodos mais longos e com menores tempo de manutenção ou reparo, no qual acarretava na deterioração ou perda do equipamento, resultando na parada da produção da indústria (PINTO; XAVIER, 2009).

Devido a tal motivo, uma maior preocupação sobre análises de falhas, seus comportamentos, tipos e influências, começaram a ser estudadas para que a parada não ocorresse. Metodologias foram desenvolvidas para que mesmo com a existência destas no maquinário, medidas possam ser adotadas previamente sem que haja perda na produtividade do equipamento.

Geralmente as falhas mecânicas estão presentes em qualquer equipamento e são decorrentes ou agravadas devido ao desgaste de seus componentes (MONTE ALEGRE, 2009) levando a perda parcial ou total do maquinário. Dentre os tipos de falhas existentes, podem-se citar falhas de desbalanceamento e desalinhamento, ocorrentes em sistemas rotativos (OLIVEIRA, 2015), além de falhas como trincas, que são internas a estrutura da máquina, podendo ou não o maquinário desenvolver suas funções.

Embora as ferramentas para a localização, tais quais o infravermelho, ensaios magnéticos e ultra som, tenham evoluído, as análises para identificação de falhas de sistemas mais elaborados ainda apresentam grandes dificuldades. Isso ocorre muitas vezes porque a medição de algumas variáveis do sistema estudado, sejam essas por precisão dos resultados do modelo teórico ou pela dificuldade de localização, prejudicando a determinação do sistema (WATANABE, 2010).

Assim, utilizando a teoria de controle e a metodologia de observadores de estados (LUENBERGER, 1964), pode-se reduzir grande parte da complexidade e dificuldades presentes em sistemas mecânicos, caso o modelo matemático for projetado corretamente,

predizendo ou reconstruindo comportamentos das variáveis medidas e não medidas. (MELO, 1998).

Outros métodos de localização e identificação de falhas pela metodologia de observadores de estado podem ser melhores visualizado em: Ogata (1998), Marano (2002), Christofides (2008). Sobre o aspecto da influência e comportamento da trinca num maquinário foi estudado: Guan-Liang et al. (1991) Mello Júnior (1998), Krawczuk et al., (2003), Zacarias (2008), Bachene et al., (2009).

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou avaliar a eficiência da metodologia de observadores de estados para reconstrução, identificação, localização e quantificação de falhas em sistemas mecânicos contendo placas finas de Kirchhoff.

Dentro das condições impostas para classificar uma placa como aquela de Kirchhoff, foi realizado quatro testes, dois simulados numericamente e dois elaborados experimentalmente de sistemas contendo a placa. Nestes testes realizados, quatro tipos de irregularidades impostas em cada caso, para comprovar a veracidade da trabalho.

Na análise dos teste de placas sobre elementos de molas e amortecimento, verificou-se que devido a perca de rigidez em algumas das molas do sistema, o banco de observadores conseguiu detectar que o sistema não condizia com seu funcionamento ideal, coletando apenas cinco sinais do sistema e reconstruindo todos os demais. Também conseguiu-se localizar qual das molas apresentava o mal funcionamento e quantificar qual seria o a gravidade do defeito.

No aspecto da placa engastada livre, produzida por simulação numérica, verificou-se a presença de trincas num determinado elemento da placa discretizada, e com a ajuda do banco de observadores, foi possível localizar a falha em no elemento trincado, e quantificar o tamanho desta dentro do elemento.

Na parte experimental da placa engastada, conseguiu-se determinar que o sistema continha falhas em sua estrutura, ou seja, com a reconstrução de todos os estados, conseguiu-se de maneira eficiente detectar que o sistema estava falhado.

E na última parte do trabalho, verificou-se a existência de uma massa atípica no sistema somente com a coleta de um sinal. O banco de observadores conseguiu analisar toda a placa e apontar a posição da placa do nó onde a massa extra estava alocada. Fora isso, conseguiu também identificar o tamanho da mesma na posição localizada.

Assim conclui-se que, de acordo com a modelagem correta do sistema, a metodologia de observadores é eficiente para reconstrução e identificação dos demais estados do sistema, apontando e quantificando suas falhas, caso for modelado de maneira que se busca.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S.; WOODHOUSE, J. Identification of damping: part 1, viscous damping. **Journal of Sound and Vibration**, London, v. 243, n. 1, p. 43-61, 2001.
- AMPOLINI, A. B.; KUDLANVEC, V. L.; GRUBER, Y. A. **Aplicação do método dos elementos finitos no estudo da teoria das placas**. 2012. 143 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- AZEVEDO, Á. F. M. **Método dos elementos finitos**. [S. l.: s. n.], 2011.
- BACHENE, M.; TIBERKAK, R.; RECHAK, S. Vibration analysis of cracked plates using the extended finite element method. **Archive of Applied Mechanics**, Heidelberg, v. 79, n. 3, p. 249-262, 2009.
- BALACHANDRAN, B. MAGRAB, E. Sistemas de um Grau de liberdade: equações governantes. In: _____. **Vibrações mecânicas**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. Cap. 3, p. 81-83.
- CAWLEY, P.; ADAMS, R. D. The location of defects in structures from measurements of natural frequencies. **The Journal of Strain Analysis for Engineering Design**, London, v. 14, n. 2, p. 49-57, 1979.
- CHOWDHURY, I.; DASGUPTA, S. P. Computation of Rayleigh damping coefficients for large systems. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, Stillwater, v. 8, n. 0, 2003.
- CHRISTOFIDES, P. D. et al. Fault-detection and isolation and fault-tolerant control of nonlinear process systems using asynchronous measurements. In: **The 2008 Annual Meeting**. 2008.
- DAWE, D. J. **Matrix and finite element displacement analysis of structures**. Oxford: Oxford University, 1984.
- GUAN-LIANG, Q.; SONG-NIAN, Gu; JIE-SHENG, Jiang. A finite element model of cracked plates and application to vibration problems. **Computers & Structures**, Kidlington, v. 39, n. 5, p. 483-487, 1991.
- JUANG, Jer-Nan; PHAN, Minh Q. **Identification and control of mechanical systems**, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- KRAWCZUK, M.; PALACZ, M.; OSTACHOWICZ, W. The dynamic analysis of a cracked Timoshenko beam by the spectral element method. **Journal of Sound and Vibration**, London, v. 264, n. 5, p. 1139-1153, 2003.
- LEMOES, G. F. **Deteção de falhas via observadores de estado em sistemas rotativos, considerando-se as suas fundações**. 2004. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2004.

LUENBERGUE, D. G. Observing the state of a linear system. **IEEE Military Electronics**, Piscataway, v. MIL-8, n. 1, p. 74-80, 1964.

LUENBERGUE, D. G., Observers for Multivariable Systems, **IEEE Transaction on Automatic Control**, Piscataway, v. AC11, n. 2, p. 190-197, 1966.

MARANO, J. H. **Localização de falhas via observadores de estado em sistemas com variação de parâmetros**. 2002. 130 f. (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2002.

MEIROVITCH, L. **Dynamics and control of structures**. New York: John Wiley & Sons, 1990.

MELLO JÚNIOR., A. W. S. **Modelo de crescimento de trinca para estruturas sujeitas a cargas de amplitude variável**. 1998. 114 f. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico Aeronáutica, São José dos Campos, 1998.

MELO, G. P. **Deteção e localização de falhas via observadores de estado de ordem reduzida**. 1998. 125 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MIN, Cheon-Hong et al. Sensitivity-based finite element model updating with natural frequencies and zero frequencies for damped beam structures. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**, Seoul, v. 6, n. 4, p. 904-921, 2014.

MONTE ALEGRE, D. **Metodologia dos Observadores de Estado para diagnose de falhas em sistemas contendo elementos finitos de placas de Kirchoff**. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2009.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Ed. Pearson, 2010.

OLIVEIRA, C. A. de M. et al. **Projeto de observadores de estado utilizando algoritmo genético**. [S. l.: s. n.], 2014.

OLIVEIRA, L. R. **Identificação de parâmetros em sistemas rotativos utilizando funções de otimização e observadores de estado**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

PRZEMIENIECKI, J. S. **Theory of matrix structural analysis**. Courier Corporation, 1985.

RIBEIRO, V. H., **Diagnose de Falhas utilizando observadores de estados em placas de Kirchoff com absorvedores dinâmicos de vibrações**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2015.

SILVA, S.; LOPES JÚNIOR, V.; BRENNAN, M. J. Design of a control system using linear matrix inequalities for the active vibration control of a plate. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, London, v. 17, p. 81-93, 2006.

SZILARD, R. **Theories and applications of plate analysis: classical, numerical and engineering methods**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.

TIMOSHENKO, S. P.; WOINOWSKY-KRIEGER, S., **Theory of plates and shells**. New York: McGraw-Hill, 1959.

WATANABE, L. **Utilização de modelos de falhas e observadores de estado em estruturas reticuladas**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

ZACARIAS, A.T. **Determinação da variação de rigidez em placas, através da metodologia dos observadores de estado**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2008.

ZAK, S. H., **Systems and control**. New York: Oxford University, 2003.