

Mapeamento sistêmico da aplicabilidade da análise de confiabilidade em sistemas de monitoramento estrutural

Systemic mapping of applicability of reliability analysis in structural monitoring systems

Renan Garcia Rosa¹, Camila Pereira da Silva², José dos Reis Vieira de Moura Júnior³

RESUMO

O método de monitoramento da integridade estrutural (SHM – do inglês Structural Health Monitoring) tem sido amplamente utilizado em processos de detecção, localização e quantificação de danos em sistemas mecânicos. Essa área de estudo visa, principalmente, analisar a integridade estrutural dos sistemas mecânicos abrangendo não somente o processo de identificação do dano, mas também ações de correção e controle. De forma paralela, a análise de confiabilidade teve um aumento em pesquisas não só em estruturas, mas também nos materiais compósitos para auxiliar nas probabilidades de falha estrutural de acordo com seus modos de falhar. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura quanto ao desenvolvimento e a aplicabilidade da análise de confiabilidade no monitoramento de falhas em componentes estruturais. Para realização do mapeamento sistemático, utilizou-se as bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), SCOPUS e Web Of Science. Ressalta-se que a execução do processo de mapping study possibilitou a otimização do estudo realizado, bem como possibilitou a identificação dos principais GAP's referentes ao assunto abordado. Os resultados demonstraram que existem estudos quanto a aplicação prática dessa ferramenta em estruturas do cotidiano industrial, porém há uma grande carência de estudos voltados a sistemas ativos de monitoramento.

Palavras-chave: Monitoramento da Integridade Estrutural. Análise de Confiabilidade. Previsão de Falhas

ABSTRACT

The structural integrity monitoring method (SHM - Structural Health Monitoring) was widely used in processes of detection, location and quantification of damage in mechanical systems. This study area aims, mainly, to analyze the structural integrity of mechanical systems, covering not only the damage identification process, but also correction and control actions. In parallel, a reliability analysis has seen an increase in research not only in structures, but also in composite materials to assist in the probabilities of structural failure according to their failure modes. This work presents a systematic review of the literature regarding the development and applicability of the reliability analysis in the monitoring of component failures corrects. To carry out the systematic mapping, databases of the Portal of Journals of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), SCOPUS and Web of Science were used. It is noteworthy that a study of the execution of the mapping process enabled the optimization of the study carried out, as well as made it possible to identify the main GAP's regarding the subject addressed. The results showed that there are studies on the practical application of this tool in everyday structures, but there is a great lack of studies focused on active monitoring systems.

Keywords: Structural Integrity Monitoring. Reliability Analysis. Failure Prediction

¹ Bacharel em Matemática Industrial e Mestrando em Modelagem e Otimização, Universidade Federal de Goiás-Regional Catalão.

E-mail: renangarcia@gmail.com

² Bacharel em Matemática Industrial e Mestranda em Modelagem e Otimização, Universidade Federal de Goiás-Regional Catalão.

³ Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Catalão.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas como aviões, pontes, navios e estruturas mecânicas em geral estão sujeitas a cargas que podem levar qualquer rachadura inicial a uma falha catastrófica. Idealmente, qualquer plano de controle de danos deve ser baseado na probabilidade aceitável de falha. A taxa de propagação de trincas, a inspeção em campo e a qualidade do material estão sujeitas a incertezas que dificultam um estudo de confiabilidade determinístico para o caso (PROVAN, 2006).

Muitos dos parâmetros e variáveis usados no controle de danos têm um fator de dispersão que deve ser contabilizado na previsão da integridade estrutural. Todas as propriedades do material têm variabilidade. Na maioria dos casos, as cargas estruturais são variáveis estatísticas. A capacidade de detecção de rachaduras também é governada por estatísticas. Por esse motivo, em uma curva de crescimento de trincas, um fator de dispersão sempre deve ser considerado para determinar os intervalos de inspeção, que depende da precisão dos dados utilizados e da especificação que deve ser atendida.

Quando as incertezas são significativas para a resolução de um problema, pode-se optar por dois caminhos: realizar uma estimativa de forma conservadora através de coeficientes de segurança ou tratar as variáveis como aleatórias, levando em consideração suas incertezas em forma de distribuição probabilística.

A confiabilidade estrutural tem por objetivo avaliar a probabilidade de falha de um sistema mecânico segundo um cenário. Esse método permite a estimativa da probabilidade de falha para um único componente, para o sistema como um todo, na análise da influência de cada variável aleatória envolvida no problema e na estimativa da probabilidade de falha (BAROTH et al, 2011).

A probabilidade de falha pode ser encontrada através da integral da função de densidade de probabilidade conjunta sobre um domínio de falha. Para resolver essa integral, existem três técnicas: resolução direta da integral, métodos de transformação e simulação de Monte Carlo (SILVA, 2010).

A integração direta é pouco utilizada, pois, dependendo da quantidade de variáveis aleatórias envolvidas, a integral se torna inviável em virtude da multidimensionalidade do problema. Além disso, há restrições ao uso da técnica como o conhecimento da função de densidade de probabilidade conjunta das variáveis aleatórias, a independência entre elas e sua igual distribuição de probabilidade (SILVA, 2010).

Na prática, raramente se possui observações suficientes para determinar a função conjunta das variáveis. Assim, os métodos de transformação realizam uma aproximação dessas funções utilizando informações já existentes. Entre os principais métodos estão: FOSM – First Order Second Moment, FORM – First Order Reliability Method, e SORM – Second Order Reliability Method.

O método FOSM transforma um vetor de variáveis Gaussianas em um vetor de variáveis aleatórias normais padrão. Este método representa a equação de estado limite por uma função linear através da média e do desvio padrão, admitindo distribuição normal à todas as variáveis aleatórias envolvidas no problema.

O FORM tem como base o método FOSM ao representar a equação de estado limite por uma função linear. No entanto, permite que sejam consideradas as informações estatísticas próprias das variáveis aleatórias, como as distribuições de probabilidade e a correlação entre as variáveis. O método SORM também permite utilizar as informações estatísticas das variáveis aleatórias, porém, representa a equação de estado limite como superfícies quadráticas.

Por fim, a abordagem do problema de confiabilidade através da simulação de Monte Carlo consiste na geração de valores aleatórios sintéticos para simular artificialmente o comportamento de um sistema. A modelagem de um processo físico pela simulação de Monte Carlo é realizada por meio de uma ou mais funções densidade de probabilidade, que podem ser originadas de dados experimentais ou modelos teóricos (CSEP, 1995).

Uma pluralidade de métodos e adaptações sistemáticas para estudo de confiabilidade estrutural pode ser encontrada na literatura. A confiabilidade estrutural permite sua aplicação à múltiplos problemas da engenharia envolvendo pontes, torres metálicas, mecânica dos solos e elementos estruturais submetidos a incertezas associadas a carregamentos e resistências.

Zaretsky, Hendricks e Soditus (2004) investigaram o efeito da distribuição de vida de cada componente individual na predição da vida de um motor aeronáutico com confiabilidades de 95 e 99,9%, ou seja, numa frota de 10000 unidades se aceita que 500 e 10, respectivamente, falhem antes do tempo previsto em projeto. Basicamente foi assumido uma relação inversa entre vida e empuxo para cada trecho do ciclo de vôo adotado e uma propagação linear do dano (regra de Palmgren-Miner). O estudo mostrou que predições de vida envolvendo probabilidades de pequenas falhas são menos susceptíveis a flutuações devidas aos parâmetros, quando coincidentes, de populações

dos componentes e que a vida de um sistema a uma dada confiabilidade será menor que aquela do componente mais prematuro sujeito à mesma probabilidade de sobrevivência.

Um procedimento de análise constante na literatura é aquele apresentado por Svensson, Johannesson e Maré (2005). Baseia-se na hipótese de crescimento de trinca como mecanismo de dano dominante durante um teste utilizando carregamento de amplitude constante e variável. Três aplicações industriais (peças automotivas fabricadas com solda, braços de suspensão de perfuratrizes sujeitas à fadiga e espécimes de aço doce submetido à solda) ilustram a obtenção de uma variação das curvas de Wöhler para o caso de amplitudes variáveis de carga calculadas pelo método de contagem de ciclos “rainflow” e representadas por uma amplitude equivalente.

Hatashita (2007) investigou e aplicou o método FORM na análise de confiabilidade de torres de transmissão de energia elétrica quando sujeitas à carga de vento. Utilizando as normas de projeto, definiu as cargas de peso próprio, peso dos cabos e cargas de vento a serem impostas à torre, a qual foi dimensionada no software SAP 2000. Para a variável de solicitação devido ao peso assumiu-se a distribuição normal, para a variável de resistência dos componentes da torre conferiu-se a distribuição LogNormal e para os esforços devido às forças causadas por ventos fortes, a distribuição de Gumbel.

Vanhazebrouck (2008) desenvolveu um procedimento para análise de confiabilidade estrutural em dutos pressurizados com defeitos de corrosão utilizando o método FORM, primeiramente considerando como variáveis aleatórias a profundidade inicial do defeito, o diâmetro da tubulação, o comprimento inicial do defeito, a pressão do fluido, a tensão de escoamento ou tensão última do material do duto, a espessura da parede da tubulação, a taxa de corrosão radial e a taxa de corrosão longitudinal. Através de uma análise do fator de importância de cada variável, concluiu que alguma dessas variáveis poderiam ser tratadas como variáveis determinísticas, poupando esforço computacional.

Baseados no trabalho de Ellingwood (2005), Iqbal & Harichandran (2010) e Iqbal & Harichandran (2011) utilizaram uma análise de confiabilidade estrutural para a calibração de coeficientes de carga em situação de incêndio. Para este propósito, os autores utilizaram o programa computacional FERUM (Finite Element Reliability Using Matlab), na análise de vigas e pilares de aço, submetidos ao fogo, localizados em escritórios nos EUA. O trabalho considerou ainda a possível utilização de meios atenuadores de combate ao fogo para a redução da probabilidade de falha.

Salvatori et al (2015) descreveram a avaliação probabilística do desempenho sísmico de torres de alvenaria utilizando simulações de Monte Carlo para estimativa da probabilidade de falha da estrutura. Para tanto, consideraram como variável o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, o fator de ductilidade, a densidade de massa e como principal critério de falha, a tensão última de compressão. O trabalho trata da investigação da propagação das incertezas decorrentes das propriedades dos materiais, assim como, a aleatoriedade da intensidade do terremoto de forma estática e não linear, a fim de que a aceleração do leito rochoso seja a única medida de intensidade do sismo.

Na investigação de Kim (2016) foi avaliada a confiabilidade da rede de sensores inteligentes sem fio (WSS) usando indicadores disponíveis. Usando índices medidos de um WSS, um dos métodos mais populares, a análise de simulação de Monte Carlo (MCS) avaliou a probabilidade de falha da confiabilidade da rede, definida como falha na transferência de dados devido à perda excessiva de pacotes. O método proposto identificou primeiro as características de distribuição das duas variáveis aleatórias selecionadas, indicador de força do sinal de rádio e indicador de qualidade do link, e as relacionou à taxa de recepção de pacotes. A confiabilidade da medição foi aprimorada calculando a média de vários conjuntos de dados e executando um número extenso de conjuntos de testes. Em seguida, a taxa de recepção de pacotes foi estimada usando duas variáveis aleatórias e determinou o estado de falha da transferência de dados na função de estado limite.

Kang (2016) realizou análises de confiabilidade para estimar os índices de confiabilidade das margens de segurança atuais e propostas do AS 4324.1 para colunas de aço sob compressão axial ou flexão biaxial, atentando-se com incertezas nos parâmetros de projeto, cargas e modelos de resistência.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar o atual panorama de pesquisas que vêm sendo desenvolvidas sobre a aplicabilidade das técnicas de confiabilidade na análise estrutural de sistemas de monitoramento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As fases de elaboração deste artigo de revisão se fundamentaram na metodologia de mapeamento de pesquisas proposta por Bailey et al. (2007) e Volpato (2006), que consiste do levantamento sistemático da literatura composta em uma estrutura de busca por periódicos, mineração e análise de dados (BAILEY et al., 2007).

A revisão sistemática da literatura, também conhecida como mapping study, permite identificar a consistência de estudos existentes sobre determinado assunto, porém não se limitando apenas a reprodução dos resultados (COOPER, 2016). Assim sendo, o mapeamento realizado neste trabalho se baseou na pesquisa em bases de dados que possuem uma vasta quantidade de publicações e ferramentas de buscas, as quais possibilita o uso de expressões chave para a seleção dos artigos.

Utilizaram-se três bases de dados, a saber: Scopus, Web of Science e Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Embora existam outras bases de dados, a pesquisa limitou-se somente a essas, visto que elas já são capazes de contemplar um número significativo de artigos e periódicos.

Ademais, foram empregadas quatro expressões lógicas para à busca de periódicos que abordassem o uso da análise de confiabilidade em sistemas de monitoramento estrutural para a detecção e avaliação de falhas:

- P-C1 – "reliability centered maintenance AND structural health monitoring",
- P-C2 - "reliability analysis AND structural health monitoring AND damage detection",
- P-C3 - "reliability analysis AND damage detection AND smart materials",
- P-C4 - "reliability analysis AND structural integrity AND damage detection".

O processo de busca se restringiu somente à artigos de periódicos em língua inglesa cujas expressões lógicas estavam presentes no título, no resumo e/ou nas palavras-chave. Aplicados os filtros em cada base de dados, os artigos foram então classificados pelo título e ano de publicação, eliminando-se ao mesmo tempo as possíveis repetições entre as bases de dados.

Após a primeira fase de coleta, um banco de dados foi criado em um gerente de bibliografias de modo a excluir as possíveis duplicatas entre as distintas expressões-chave utilizadas e, subsequentemente, tornar a disposição dos dados mais compreensiva.

Posteriormente, em uma terceira etapa de filtragem realizou-se a leitura prévia dos resumos com a finalidade de excluir os múltiplos trabalhos que não se relacionavam diretamente ao tema proposto. Ainda, os artigos que não possuíam acesso gratuito pelo IP do sistema de biblioteca da Universidade Federal de Goiás (UFG) foram igualmente desconsiderados.

Objetivando-se tornar o mapping study desenvolvido mais vigoroso, buscou-se em uma última etapa por artigos de referência na área e que não foram identificados ou selecionados no mapeamento sistemático, sendo esta etapa denominada por snowball sampling. A etapa de snowball foi realizada de maneira qualitativa, por meio da análise de referências utilizadas nos artigos classificados como aderentes em fases anteriores. Os dados finais foram então organizados e os resultados resumidos em forma de tabelas e gráficos sendo a revisão da bibliografia desenvolvida a partir do número final de estudos obtido.

3. RESULTADOS

Durante as etapas de mapeamento e filtragem, os resultados parciais encontrados foram armazenados em forma de gráficos e tabelas com o objetivo de tornar a sua compreensão mais sucinta e prática. A Tabela 1 apresenta a quantidade de artigos de periódicos encontrados para cada fase em relação as bases de dados utilizadas.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos entre cada base de dados e expressões-chave

Base de Dados	P-C1		P-C2		P-C3		P-C4	
	Número de Artigos							
	Inicial	Selecionado	Inicial	Selecionado	Inicial	Selecionado	Inicial	Selecionado
Portal CAPES	15	7	133	33	33	3	33	11
Scopus	5	4	42	16	0	0	10	5
Web Of Science	29	9	8	5	14	3	34	5
Total	49	20	183	54	47	6	77	21
Número de artigos sem repetições entre base de dados	19		47		6		21	
Número de Artigos selecionados após leitura do resumo	52							
Snowball Sampling	3							

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 1, observa-se que a string "reliability analysis" AND "structural health monitoring" AND "damage detection" foi a que teve maior retorno de artigos no mapeamento realizado. Além disso, não ocorreu uma grande quantidade de repetições entre as múltiplas palavras-chave. A Figura 1 apresenta a relação final entre as expressões-chave utilizadas após a fase de remoção de duplicatas e leitura dos resumos

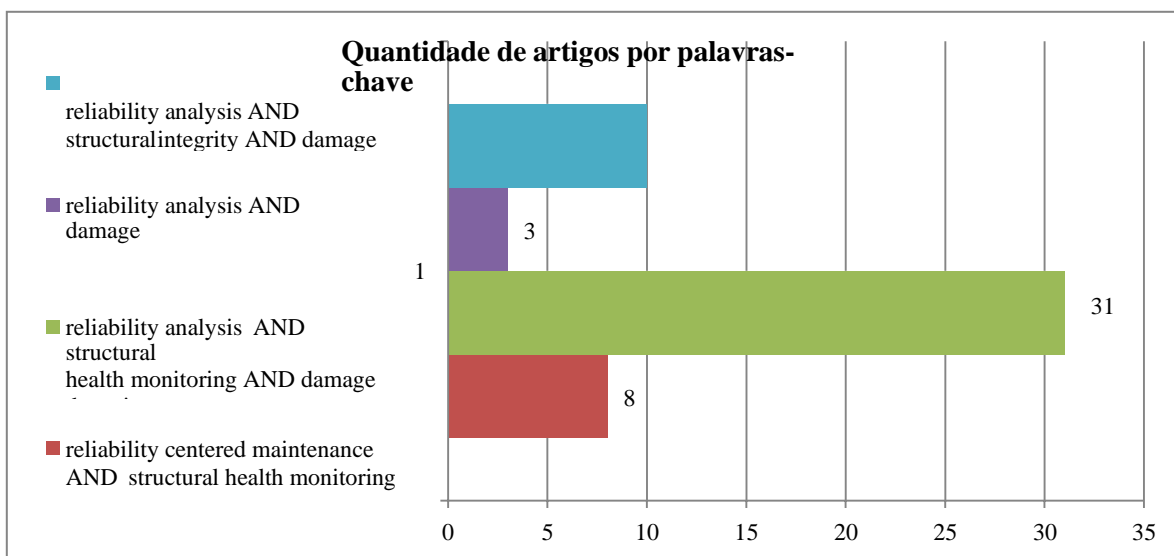


Figura 1. Relação entre a quantidade de artigos mapeados e as expressões-chave utilizadas.

Por intermédio da revisão sistêmica da literatura verificou-se que o tratamento realizado possibilitou uma filtragem significativa dos trabalhos, contribuindo para a otimização do estudo. A Tabela 2 exibe a relação da redução dos artigos analisados em cada etapa.

Tabela 2. Relação dos resultados parciais obtidos

	QT	% FASE ATUAL	% REDUÇÃO
Quantidade Inicial:	356	100%	0%
Quantidade após 1ª Fase:	101	28%	72%
Quantidade após 2ª Fase:	93	92%	8%
Quantidade após 3ª Fase:	52	56%	44%

Ao final do tratamento aplicado, um banco de dados com 55 referências aderentes ao tema foi elaborado. Essas, posteriormente, foram agrupadas de acordo com o seu período de publicação a fim de se compreender o processo de evolução de cada expressão-chave

utilizada. A Figura 2 apresenta a evolução das publicações dos artigos em periódicos, referentes a cada palavra-chave limitando-se em dezembro de 2019 e janeiro de 2020.

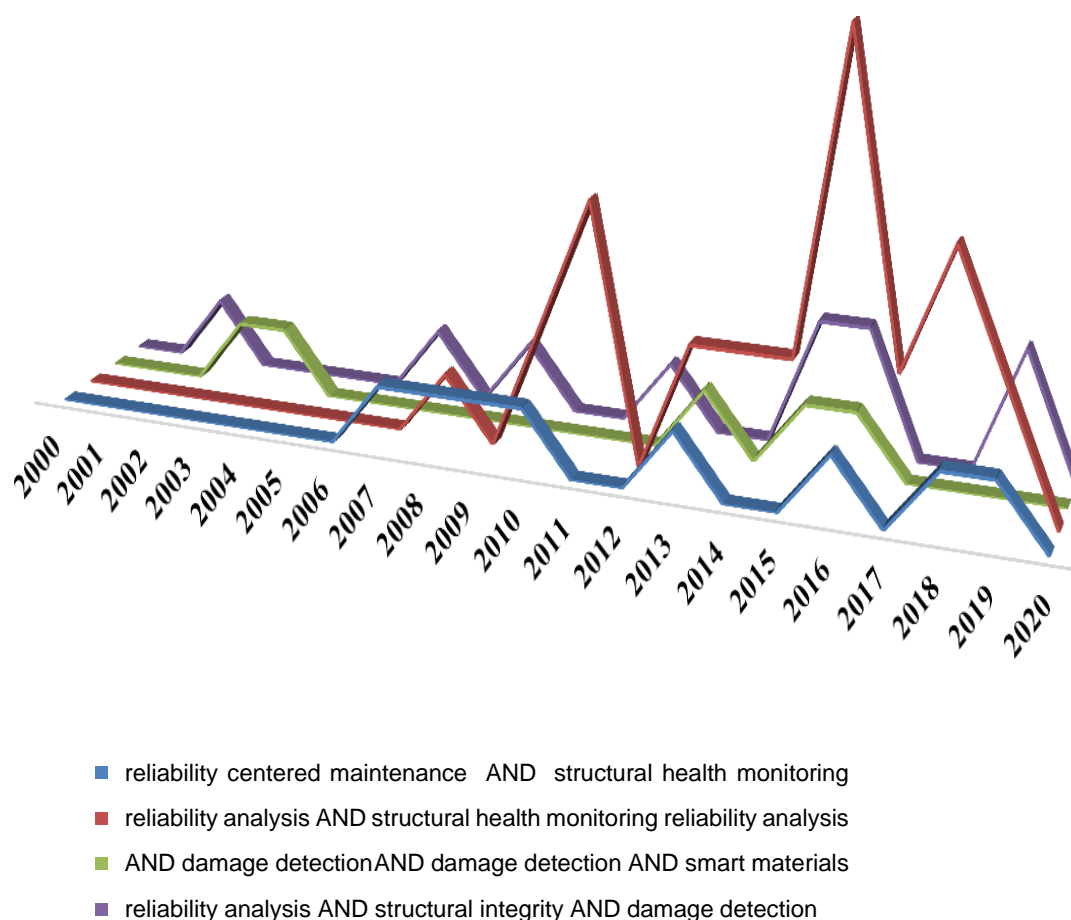


Figura 2. Evolução das publicações dos artigos levantados em função das expressões chave utilizadas no mapeamento sistemático.

Nota-se pela Figura 2, que os artigos encontrados sobre o assunto abordado foram publicados nas últimas duas décadas, sendo o ano de 2002 o marco inicial para as publicações de periódicos. Através da leitura e análise dos trabalhos mapeados, percebe-se que se trata de um tema com grandes possibilidades e campos a serem explorados. É importante ressaltar que, dentre os dados utilizados para contagem histórica, não foram contabilizados os trabalhos encontrados na fase de snowball sampling. Os principais periódicos empregados para publicações dos artigos podem ser visualizados na Figura 3.

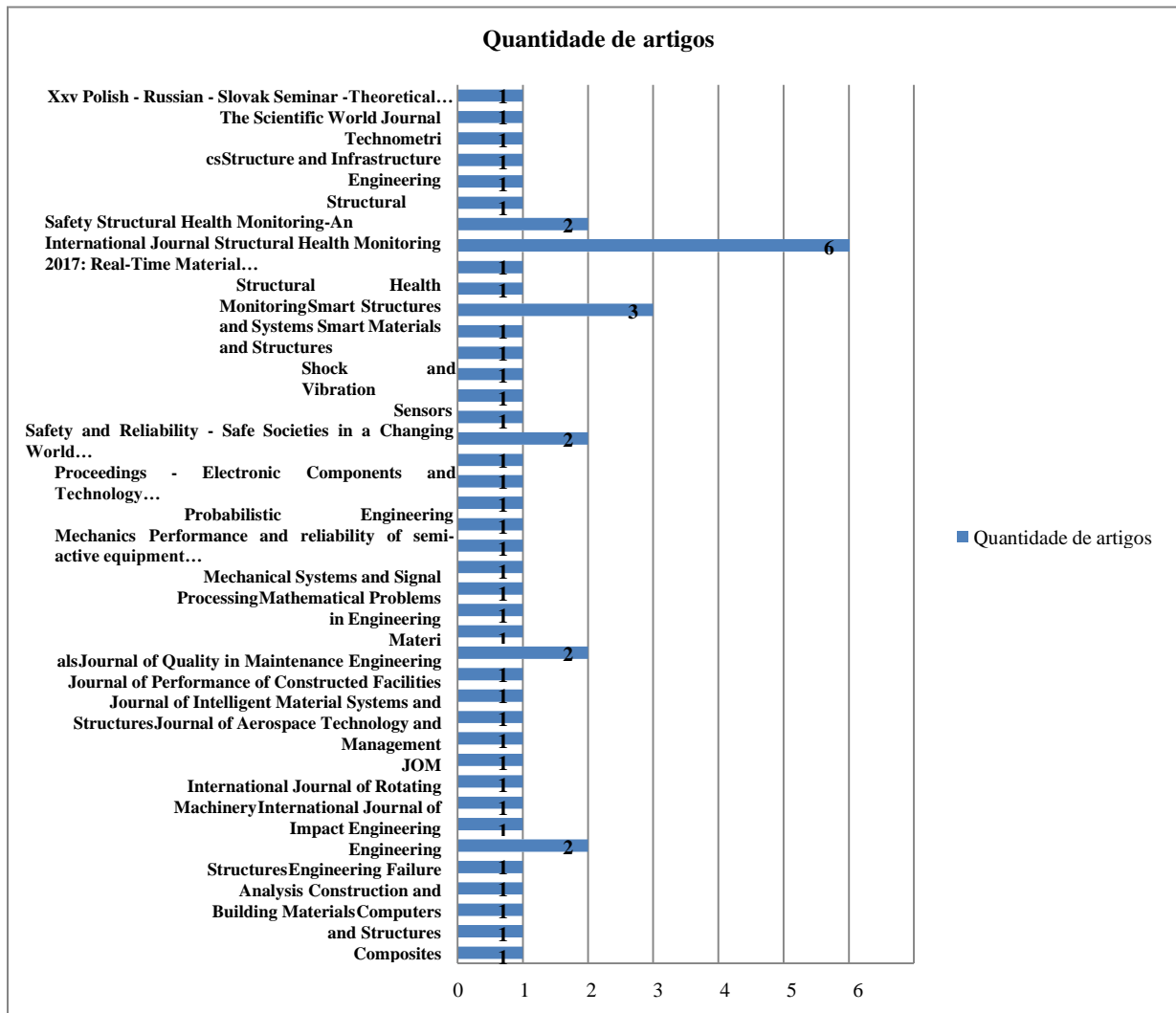


Figura 3: Principais periódicos internacionais com publicações sobre o tema tratado.

O periódico Structural Health Monitoring foi o que apresentou a maior quantidade de publicações aderentes ao tema, possuindo ao todo seis trabalhos publicados entre os anos de 2002 a 2019. A Figura 4 apresenta os principais países que possuem pesquisas sobre o tema: aplicação da análise de confiabilidade em sistemas de monitoramento da integridade estrutural.

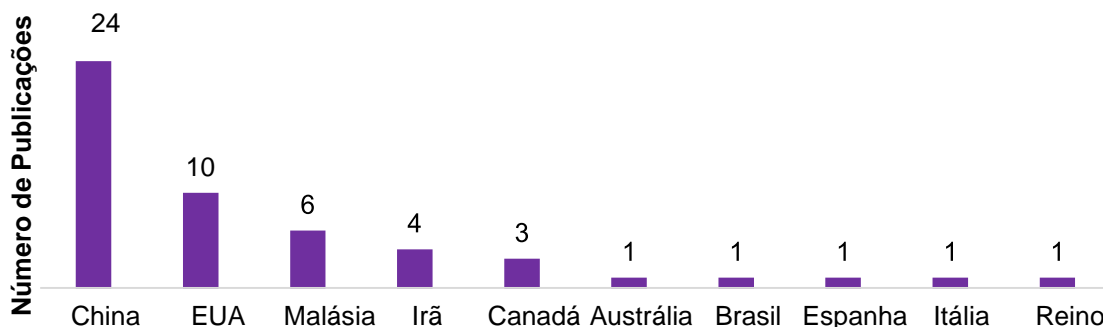


Figura 4: Principais países, dentre os artigos selecionados, com publicações sobre o tema abordado.

4. DISCUSSÃO

Com base na Figura 4, observa-se que a China é o maior centro de pesquisa referente ao tema proposto, possuindo expressamente a maior quantidade de artigos publicados dentre os que foram selecionados. Ainda, nota-se que o Brasil possui apenas um único trabalho publicado sobre o tema, demonstrando uma carência de pesquisas referente a este assunto. Após todas as etapas de filtragem ser realizadas e a partir da leitura dos artigos selecionados ser executada, pode-se perceber cinco vertentes principais adotadas pelos pesquisadores do assunto. A relação entre as vertentes identificadas e a quantidade de artigos de periódicos publicados é apresentada na Figura 5.

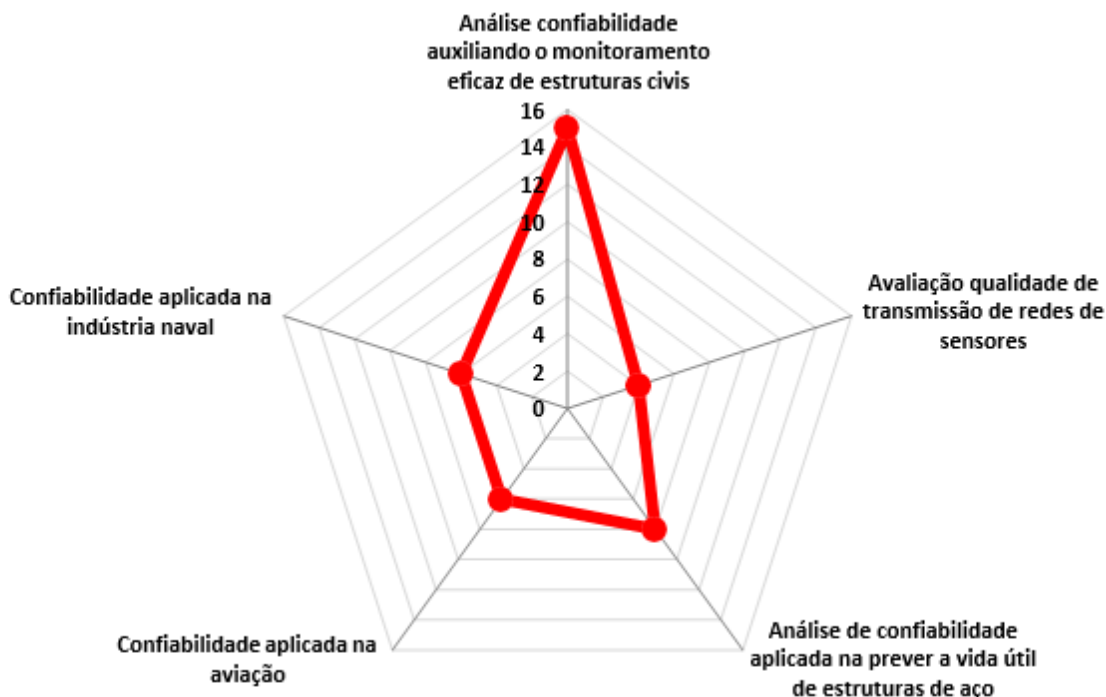


Figura 5: Principais vertentes encontradas nos artigos

Percebe-se que a pesquisa sobre a aplicabilidade da análise de confiabilidade no monitoramento de sistemas mecânicos possibilita uma ampla gama de temas a serem explorados. Dentre os trabalhos encontrados, a técnica foi pouco explorada e aplicada em sistemas mecânicos e pouco aplicada nas etapas do monitoramento da estrutura. A análise de confiabilidade é um tema que vem sendo integrado nas pesquisas de detecção de falhas estruturais, porém suas aplicações estão limitadas a estruturas civis, aeronáuticas, navais ou estruturas de aço.

Ressalta-se que poucos métodos foram encontrados quanto a aplicação das técnicas de análise de confiabilidade em estruturas mecânicas reais, bem como o seu estudo em outros tipos de sistemas. Indicando assim que esta técnica pode ser investigada de maneira mais aprofundada a fim de se descobrir melhor suas vantagens e desvantagens com relação aos outros métodos utilizados com maior frequência pela literatura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento bibliográfico realizado neste trabalho, foi possível verificar a expansão dos estudos e aplicações da análise de confiabilidade e monitoramento de estruturas, uma vez que foi desenvolvido inicialmente na indústria aeronáutica e, posteriormente, adaptado para as áreas civis e instituições militares.

Ainda, pode-se avaliar que embora existam alguns estudos quanto aplicação prática dessa ferramenta em estruturas do cotidiano industrial, há uma grande carência de estudos voltados a sistemas ativos de monitoramento. Nessa linha de raciocínio, é possível destacar que embora já introduzido o tema em ambientes de pesquisa o mesmo possui alguns GAP's que necessitam de melhor exploração e aperfeiçoamento, como a sua integração a sistemas de monitoramento estrutural de forma a desenvolver um processo de manutenção online, utilizando materiais inteligentes, além de aprofundar o estudo em utilizar as técnicas probabilísticas de confiabilidade, método Bayesiano ou FOSM, e realizar a aplicação em cada etapa do sistema de monitoramento da integridade estrutural, seja na rede de sensores, estrutura monitorada, técnica de coleta de dados ou no sistema completo, além de iniciar estudos aprofundados em estruturas complexas como jazidas de petróleo.

Por fim, cabe destacar que a aplicação do mapeamento sistemático na elaboração de revisão bibliográfica permite identificar as principais lacunas para o desenvolvimento de novas pesquisas. Principalmente, no direcionamento para as principais publicações ligadas ao estudo.

REFERÊNCIAS

BAILEY, J. et al. Evidence relating to object-oriented software design: A survey. In:IEEE, p. 482–484, 2007.

BAROTH, J.; BREYSSE, D.; SCHOEFS, F. Construction reliability: safety, variability and sustainability. **New Jersey: John Wiley & Sons**, 2011.

COMPUTATIONAL SCIENCE EDUCATION PROJECT (CSEP). **Introduction to Monte Carlo methods. U.S.** Department of Energy, 1995.

COOPER, I. D. What is a “mapping study?”. Journal of the Medical Library Association:JMLA, **Medical Library Association**, v. 104, n. 1, p. 76, 2016.

ELLINGWOOD, B. R. Load Combination Requirements for fireresistant structural design, **Journal of fire protection Engineering**, p. 42-61, 2005.

HATASHITA, L. S. Análise de confiabilidade de torres de transmissão de energia elétrica quando sujeitas a ventos fortes via método analítico FORM, XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2008.

IQBAL S.; HARICHANDRAN R. S. Capacity reduction and fire load factors for design of steelmembers exposed to fire. **J. Struct. Eng.** 136:1554–1562 9. 2010.

IQBAL S.; HARICHANDRAN R. S. Capacity reduction and fire load factors for LRFDF of steel columns exposed to fire. **Fire Saf. J.** 46:234–242. 2011.

KANG, W. H., Uy, B., Hawkes, D., & Morgan, R., Reliability analysis for load factors in steel bulk material handling structures with respect to AS4324. 1. **Australian Journal of Structural Engineering**, 17(2), 99-108, 2016.

KIM, R., MECHITOV, K., SIM, S. H., SPENCER, B., & SONG, J. Probabilistic assessment of high-throughput wireless sensor networks. **Sensors**, 16(6), 792, 2016.

PROVAN, J. W, “**Fracture, fatigue and mechanical reliability: An introduction to mechanical reliability**”, Department of Mechanical Engineering, University of Victoria, Victoria, B.C, 2006.

SALVATORI, L.; MARRA, A. M.; BARTOLI, G.; SPINELLI, P. Probabilistic seismic performance of masonry towers: General Procedure and a simplified implementation. **Elsevier – Engineering structures**, 94, p. 82-95, 2015.

SILVA, M. S. **Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos: teoría y**

aplicaciones em ingeniería. Bogotá: Universidad de Los Andes, 2010.

SVENSSON, T; JOHANNESSON, P.; MARÉ, J. Fatigue Life Prediction Based on Variable Amplitude Tests – Methodology. **International Journal of Fatigue.** V. 27, p. 954-965, 2005.

VANHAZEBROUCK, V. M. **Análise de dutos corroídos por meio de método de confiabilidade estrutural.** 2008. 139 p. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2008.

VOLPATO, G. L. **Dicas para redação científica,** Joarte Gráfica e Editora, 2^a. Ed. Bauru, São Paulo, 2006.

ZARETSKY, E.; HENDRICKS, R.; SODITUS, S.; Effect of Individual Component Life Distribution on Engine Life Prediction. **Journal of ASTM International.** V.1, 2004.