

Análise de Riscos no Processo de Radiografia Industrial Utilizando as Ferramentas de Analytic Hierarchy Process (AHP) e Bayesian Belief Networks (BBN)

Renan Carlos de Oliveira Ventura
Engenheiro Mecânico e de Petróleo – UCP
renan.ventura@hotmail.com

José Cristiano Pereira
Professor Doutor em Engenharia de Produção – UFF
josec.pereira@ge.com

1. INTRODUÇÃO (RESUMO)

O Ensaio Não Destrutivo (END) é um processo essencial no diagnóstico da ocorrência de falhas em peças/produtos, portanto o END deve ter um alto nível de precisão e confiabilidade. A Radiografia Industrial (RI) é um processo de END com muitas variáveis que podem afetar o resultado final da inspeção. Na literatura pesquisada, não foram encontradas evidências sobre a avaliação do risco de falha na inspeção radiográfica devido à falta de controle das variáveis do processo. O objetivo deste estudo foi analisar os riscos potenciais de falha na inspeção por Raios X e priorizá-los com a utilização de AHP e BBN e responder a seguinte pergunta: Qual a ordem de priorização dos riscos e quais os riscos mais relevantes no processo de inspeção radiográfica? A inexistência de publicações científicas sobre análise de risco neste processo mostra que ainda não foi realizado um estudo sobre análise qualitativa da falha do processo. Como uma abordagem metodológica, cada etapa do processo de Raio X foi analisada para a identificação dos riscos e foi utilizado o Processo de Análise Hierárquica (do inglês: Analytic Hierarchy Process – AHP) para definir a prioridade de cada etapa do processo. A probabilidade dos fatores de risco (FR) de cada etapa foi carregada em um software livre de cálculo de Redes Bayesianas (do inglês: Bayesian Belief Networks - BBN) para obter a probabilidade de ocorrência de falha em cada etapa. Os resultados das análises de AHP e BBN foram combinados para definir as etapas mais críticas no processo. Na priorização dos riscos foi identificado que os riscos mais relevantes foram a preparação e definição de parâmetros da radiografia e processamento e revelação do filme. Com base neste resultado é possível propor respostas aos riscos para a melhoria e/ou criação de barreiras que possam evitar/mitigar a ocorrência de falhas.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os END são importantes na garantia da qualidade não só de produtos finalizados, mas também de produtos em produção, bem como suas matérias-primas. O END pode ser utilizado nas diversas etapas do processo de produção. Existem inúmeros métodos de END, alguns mais simples como a inspeção visual, no caso de falhas superficiais não visíveis são usados os processos de líquido penetrante e partículas magnéticas, e também há casos em que as falhas são internas a peça, assim pode-se utilizar os processos de ultrassom e radiografia industrial.

Apesar do seu relevante papel, os END não são perfeitos. Os resultados dependem de fatores incertos como: condição da estrutura a ser inspecionada e o ambiente de exposição, sensibilidade do equipamento de inspeção, imperfeições do material base da peça/estrutura, e a qualificação do operador. Negligenciar estas incertezas geraram decisões imprecisas, assim como retrabalho. A análise dos riscos potenciais se faz necessária para avaliar o grau de impacto no processo. Assumindo o grau destes riscos, deve-se agir preventivamente na correção/criação de barreiras para diminuir sua incidência.[1]

Com este trabalho pretende-se priorizar os riscos potenciais no END de RI, realizando esta classificação através das ferramentas probabilísticas AHP e BBN. Através do processo de AHP encontra-se o impacto de cada risco e o com BBN a probabilidade do risco de falha. Após definidas as etapas mais críticas da RI, estas serão aperfeiçoadas, alcançando resultados mais precisos e confiáveis.

3. METODOLOGIA

Conhecendo o objetivo deste estudo, desenvolveu-se uma metodologia de análise de impacto, por meio de AHP, e probabilidade de ocorrência, por meio do BBN, aplicada à análise dos riscos de falha do processo de RI. Assim, duas ferramentas probabilísticas foram combinadas para a criação do método proposto. A metodologia se dividiu em: pesquisa de campo, análise qualitativa e análise quantitativa.

Durante a pesquisa de campo houve o primeiro contato e familiarização com o tema através de pesquisa literária. Após a pesquisa da literatura existente, não foram encontrados trabalhos que utilizam metodologia semelhante ao que este se propõe. Todavia foram estudados materiais científicos sobre o emprego destas ferramentas probabilísticas para a familiarização e compreensão do seu emprego em diversas áreas como: industrial naval [2-4], construção civil [5-10], mercado de ações [11], confiabilidade em produtos e processos [12-16], geração de energia [17], entre tantas outras aplicações.

A análise qualitativa forneceu uma visão clara do sistema e da relação entre seus elementos. Primeiramente foram definidas as etapas do processo, seus possíveis riscos e FR, assim criando uma inter-relação entre eles. Seguindo, foi criado um diagrama de blocos com estes itens, já pensando no conceito de BBN. Construiu-se uma rede híbrida, onde existam nós de variáveis contínuas que representem a probabilidade do risco em cada uma das etapas do processo de RI e nós de variáveis discretas que representem os FR. Para a construção da Rede Bayesiana foi utilizado um software livre de análise de risco e suporte à decisão, o AgenaRisk® [18].

Paralelamente foi confeccionada uma matriz de comparação par-a-par, para o processo de AHP que forneceu a etapa que causou maior impacto sobre o processo de RI.

Com a estrutura do BBN e AHP construídas, foram calculadas: as taxas de impacto e de ocorrência e a pontuação de risco e de impacto de cada etapa do processo de RI. Com estes valores calculou-se o valor da pontuação de risco e a sua classe.

Durante a análise quantitativa incluiu-se na BBN todas as probabilidades a priori dos nós raízes. Essas probabilidades foram estimadas pelos autores (levando em conta que este trabalho se apresenta como uma proposta de um modelo de análise de riscos no processo de RI). Em seguida foram preenchidas as tabelas de propriedades condicionais. Finalmente obtendo-se a probabilidade conjunta da rede para a variável de interesse.

Já para AHP, fez-se uso da escala fundamental de números absolutos para realizar a comparação par-a-par de cada etapa do processo. Posteriormente é realizada a normalização da matriz, os quais resultam na obtenção de autovetores de prioridades. [19]. Uma vez obtidos os autovetores expressando a importância relativa de cada etapa, foi aplicado um processo para se estabelecer as preferências pelas alternativas em cada critério. Tendo-se as importâncias relativas dos critérios e os níveis de preferência das alternativas, efetuou-se a valoração global, segundo o método da soma ponderada. Com o valor em mãos foi possível realizar a hierarquização das etapas e encontrar a etapa que mais impacta ao processo de RI.

Com os valores probabilísticos do BBN e AHP encontrados, foram calculadas a taxa de impacto e a taxa de ocorrência, sendo possível com estes valores descobrir-se os valores da Pontuação do nível de probabilidade e de impacto de cada etapa do processo de RI. Com os valores da pontuação de risco e probabilidade em mãos, pode-se calcular o valor da pontuação de risco. A pontuação de risco será dada pela multiplicação entre os valores das taxas de impacto e ocorrência. Para complementar o resultado-interesse foi analisado a classe do risco.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Após o cálculo probabilístico de ocorrência e impacto dos riscos com a ajuda das ferramentas de BBN e AHP, foi estimada a densidade de probabilidade do risco de falha no processo e o impacto do mesmo para cada uma das nove etapas do processo. Finalmente, foram apresentadas as etapas mais propensas a impactar no processo RI.

Para avaliar a probabilidade e o impacto, definiu-se previamente uma escala para pontuar cada um dos riscos através das tabelas de pontuação de níveis de probabilidade e impacto [20].

Após a definição dos valores de BBN e AHP verifica-se a etapa mais crítica do processo de RI. Para a definição da etapa mais crítica, utilizou-se a combinação dos resultados dos dois métodos para que seja apresentada a que oferece o maior risco de falha.

Em posse dos resultados de BBN e AHP realizou-se a classificação e pontuação da probabilidade de ocorrência de falha. Esta classificação foi realizada com o auxílio das Tabela 1.

Tabela 1 - Pontuações de níveis de probabilidade e impacto.

Pontuações de níveis de probabilidade			Pontuações de níveis de probabilidade		
Pontuação	Nível de probabilidade	Probabilidade	Pontuação	Nível de impacto	Impacto
5	Esperado	Mais de 80%	5	Alto	Mais de 0,16
4	Muito provável	51% - 80%	4	Elevado	0,12 – 0,16
3	Provável	31% - 50%	3	Moderado	0,08 – 0,12
2	Não provável	11% - 30%	2	Baixo	0,04 – 0,08
1	Probabilidade quase nula	Menos de 10%	1	Limitado	Menos de 0,04

A última etapa do modelo propõe a avaliação do risco com base nos resultados da análise de risco usando BBN e AHP. A pontuação de probabilidade e de impacto de cada etapa foram multiplicadas, gerando assim a pontuação de risco. Com a pontuação do risco em mãos, a classe de risco foi determinada usando-se a matriz de pontuação de risco mostrada na Tabela 2.

Tabela 1 - Matriz de pontuação de risco.

			Impacto				
			Limitado	Baixo	Moderado	Elevado	Alto
			1	2	3	4	5
Probabilidade	Probabilidade quase nula	1	1	2	3	4	5
	Não provável	2	2	4	6	8	10
	Provável	3	3	6	9	12	15
	Muito provável	4	4	8	12	16	20
	Esperado	5	5	10	15	20	25

1-5 Insignificante 6-9 Tolerável 10-16 Indesejável 17-25 Intolerável

Após a realização da multiplicação e da classificação de risco de cada etapa, finalmente, encontrou-se os valores finais para o modelo proposto. Estes valores se encontram descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Pontuações de probabilidade, impacto e risco.

Etapa do processo de RI	Probabilidade	Impacto	Pontuação		
			Probabilidade	Impacto	Risco
Fazer testes de qualidade dos elementos usados no processo	0,0912	0,0510	1	2	2
Seleção dos elementos do ensaio	0,0613	0,1087	1	3	3
Posicionamento dos elementos do ensaio	0,0604	0,0253	1	1	1
Posicionamento e parâmetros da peça	0,0442	0,0745	1	2	2
Preparação e definição de parâmetros da radiografia	0,0399	0,3089	1	5	5
Processo de radiografia	0,0149	0,1543	1	4	4
Processamento e revelação do filme	0,0122	0,2241	1	5	5
Inspeção e laudo do produto radiografado	0,0090	0,0353	1	1	1
Registro dos resultados	0,0030	0,0180	1	1	1

5. CONCLUSÃO

O modelo apresentado neste trabalho apresentou 22 riscos e 66 FR para o processo de RI. Além dos riscos e FR, foi proposta uma análise de risco através BBN e AHP, considerando a probabilidade e o impacto dos riscos. Em resposta à pergunta da pesquisa apresentada inicialmente, a ordem de priorização dos riscos é apresentada na Tabela 3 e os riscos mais relevantes no processo de inspeção radiográfica foram identificados como sendo a preparação e definição de parâmetros da radiografia e o processamento e revelação do filme.

O modelo de análise de risco proposto consegue quantificar a probabilidade de ocorrência e seu impacto. Melhorias neste modelo serão consideradas, visto que cada instalação a qual será aplicada o modelo aumentará a precisão e consequentemente queda no risco real de falha no processo. Ou seja, diminuir a possibilidade de falha no processo de RI pode causar interferência na definição se uma peça/produto será ou não descontinuada/descartada. Assim, gerando-se menor qualidade e credibilidade na inspeção.

Por outro lado, existem algumas desvantagens relacionadas à possibilidade de existirem

inconsistências nos julgamentos. Entretanto, elas podem ser diminuídas, com o uso de especialistas da área, no momento do julgamento dos critérios em AHP/BBN, pois os mesmos considerarão os detalhes específicos para cada situação específica.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 ZHENG, R.; ELLINGWOOD, R. Role of non-destructive evaluation in time-dependent reliability analysis. *Structural Safety*. Vol. 20, 4ª Ed. Págs. 325-339. Elsevier, 1998.
- 2 ALMEIDA, P.P. *Aplicação do Método AHP - Processo Analítico Hierárquico - à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo "Offshore"*. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). UFSC. Rio de Janeiro, 2002.
- 3 LI, X. et al. Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network. *Process Safety and Environment Protection*. European Federation of Chemical Engineering. China, 2016
- 4 YANG, Y. Induced Failure Analysis of Subsea Pipeline. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol.156. Elsevier. 2016.
- 5 AHMED, M. et al. Integration of NDE Measurements and Current Practice In Bridge Deterioration Modeling. *33rd International Symposium on Automation and Robotics in Constructi (ISARC)*. Canadá, 2016.
- 6 DONG, L. et al. Simulation of heavy gas dispersion in a large indoor space using CFD model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.46. Lanzhou University. China. 2017
- 7 FARIA, D.G.M. *Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)*. Tese (Doutorado em Ciências). Escola de Engenharia, USP. São Paulo, 2011.
- 8 MARTINS, F. G.; COELHO, L. S. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Ano 7, nº 1, jan-mar/2012, Págs. 65-80. UNESP - São Paulo, 2012.
- 9 OMAR, T.; MONCEF, N. Evaluation of NDT Techniques for concrete bridge decks using Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *2016 Annual Conference of the Canadian Society of Civil Engineering*. Canadá. 2016
- 10 LEVANDOSKI, L.F. *Sistema de Análise de Investimentos em Inovação e Tecnologia*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, IEPR, Paraná, 2009.
- 12 GUIMARÃES, I.F. *Tomada de decisão com múltiplos critérios na seleção de equipamento Médico-Hospitalar*. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UNIFEI. Itajubá, 2007.
- 12 MARINS, C.S. et al. O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – Um Estudo De Caso. *XLI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Pág. 1778-1788. Porto Seguro - Bahia, 2009.
- 13 MENDES, F.S. et al. *Utilização da Metodologia Analytic Hierarchy Process (ahp) na Mensuração da Importância das Características Empreendedoras*. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende-RJ, 2014.
- 14 O'CONNOR, A.; MOSLEH, A. A general cause based methodology for analysis of common cause and dependent failures in system risk and reliability assessments. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 145. Elsevier. 2016.
- 15 PIEKARSKI, C.M. *Modelo multicritério para Apoio à Tomada de Decisão baseado em avaliação do Ciclo de Vida e Indicadores Corporativos*. Tese (Doutorado Em Engenharia De Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UTFPR. Ponta Grossa, 2015.
- 17 BONATTI, R.A. *A Gestão da Informação e o Processo Decisório no Setor Energético: Aplicação do método AHP na mensuração de critérios e alternativas*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação). Escola de Ciência da Informação da UFMG. Belo Horizonte - Brasil, 2015.
- 18 AGENA RISK. *AgenaRisk Desktop*. Disponível em: <<http://www.agenarisk.com/products/desktop.shtml>> 2017>. Acesso em: 12 de junho de 2017.
- 19 HYUN, K.C. et al. Analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Ano 49, Págs. 121-129. Elsevier, 2015.
- 20 SAATY, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1. Inderscience Enterprises Ltd, 2008-A.