



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



Brazilian Journal of
Production Engineering

BJPE - Revista Brasileira de Engenharia de Produção



Campus São Mateus

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS (FMEA) COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM OPERAÇÕES COM USOS DE PONTES ROLANTES

USE OF FAILURE AND EFFECTS MODE ANALYSIS (FMEA) AS A TOOL FOR PREVENTION OF ACCIDENTS IN OPERATIONS WITH THE USE OF SLOPING BRIDGES

Yaggo Chrystian Kaik Gomes Pacheco¹, Rennatha Kerolyne Pereira Ribeiro² & André Luís de Oliveira Cavaignac³

^{1,2,3} Universidade CEUMA - Campus Imperatriz. ² Universidade Federal do Maranhão, Campus Imperatriz, Faculdade Vale do Aço, Campus Açailândia.

¹ yaggoicksiconv@gmail.com ² rennathapereira@hotmail.com ^{3*} andreluiscavaignac@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido em: 06/06/2019

Aprovado em: 23/08/2019

Disponibilizado em: 20.09.2019

PALAVRAS-CHAVE:

Pontes Rolantes; Segurança Ocupacional; FMEA.

KEYWORDS:

Overhead Travelling Crane; Occupational safety; FMEA.

*Autor Correspondente: Cavaignac, A.L.de O.

RESUMO

Pontes Rolantes são equipamentos utilizados no transporte e elevação de cargas, geralmente com altas capacidades e elevados ciclos de trabalho. No que tange à segurança quanto ao uso do equipamento, as Normas Regulamentadoras de número 11 e 12 estabelecem alguns procedimentos a serem cumpridos, e abrangem itens voltados a segurança na instalação e na operação deste tipo de equipamento. Este artigo tem como objetivo fazer uma análise, com a utilização da ferramenta FMEA (Análise de Modos de Falhas e Efeitos), a respeito da segurança dos operadores que utilizam pontes rolantes no processo de produção de uma empresa. O artigo apresenta, inicialmente, o estudo bibliográfico no que diz respeito ao tema. Em seguida, mostra que muitas vezes nas

operações, não são verificados ou monitorados os requisitos mínimos que os operadores precisam ter para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho na movimentação e manuseio das pontes rolantes. Para os processos identificados, foi observada a falta de treinamento e de manutenção como as principais causas de falhas.

ABSTRACT

Rolling bridges are used and unloaded equipment, with high capacities and high duty cycle. With respect to safety for the use of equipment, such as Regulatory Standards Nos. 11 and 12 establish some procedures to be followed, and cover the items focused on safety in the installation and operation of this type of equipment. This article aims to make an analysis, using the FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) tool, for the purpose of analyzing the productive processes of a company. The article presents, initially, the bibliographic study on the subject. It then showed that sometimes operations are monitored or monitored, which are more accurate than those required for the prevention of accidents and diseases at work and the movement of cranes. For the identified processes, lack of training and maintenance as the principal failures causes.



1. INTRODUÇÃO

Pontes Rolantes são amplamente utilizadas na indústria, para o transporte de cargas ou equipamentos em geral, que ficam inviáveis por via terrestre, utilizados tanto em galpões fechados ou em áreas abertas (NBR 8400, 1984). As pontes rolantes são equipamentos robustos e versáteis que operam com autos ciclos de trabalho. Sua característica principal é a movimentação de materiais em locais onde outros maquinários e o trabalho braçal se torna limitado (Sordi, 2016). De acordo com (Rudenko, 1976), as máquinas de elevação e transporte devem ser mecanizadas ao máximo possível, de modo a empregar um pequeno número de trabalhadores para controle, manutenção e serviços auxiliares.

Entretanto, os operadores que trabalham com pontes rolantes, por diversas vezes, não são sensibilizados quanto a necessidade de medidas de segurança, para evitar possibilidades de provocar acidentes. Por exemplo, a manutenção de pontes rolantes deve ser executada por profissionais especializados, habilitados e treinados, com conhecimento técnico e funcional do equipamento. É responsável pela segurança da operação, pessoas e demais bens ligados a ela (Sordi, 2016). Normas de segurança para operadores de pontes rolantes devem ser preparadas para orientar os operadores, estabelecendo procedimentos necessários no desenvolvimento de um trabalho correto e seguro - uso de todos os EPI's, por exemplo - pois propicia ao operador ficar ao nível do piso, junto da carga, mantendo um nível maior de segurança, policiando para que ninguém passe por onde estiver com movimento de cargas (Rudenko, 1976).

A norma regulamentadora de número 11 deixa explícito que os equipamentos utilizados na movimentação de materiais - tais como ascensores, elevadores de carga, guindastes, monta-carga, pontes-rolantes, talhas, empilhadeiras, guinchos, esteiras-rolantes, transportadores de diferentes tipos - serão calculados e construídos de maneira que ofereçam as necessárias garantias de resistência e segurança e conservados em perfeitas condições de trabalho. Já a norma regulamentadora de número 18, expressa que as administrações, de planejamento e de organização, devem implementar medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na indústria da construção.

As ferramentas da qualidade dispõem de procedimentos gráficos numéricos analíticos, são métodos que facilitam a implantação da qualidade nas organizações (Paladini, 2008). Estas são usadas na manutenção e na melhoria dos resultados dos processos da empresa, principalmente no que diz respeito a qualidade e conseqüentemente segurança, sendo instrumentos que coletam fatos e dados, atuam na disposição e no processamento das informações. A aplicabilidade das ferramentas deve ser fundamental de forma concisa e estruturada para analisar profundamente situações e exigem entendimentos entre as partes interessadas e que a decisão tomada ao final tenha fundamentos em resultados da análise dos registros de informação, reuniões técnicas, inquéritos e entrevistas, entre outros (Mata-Lima, 2007).



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

As ferramentas de qualidade classificadas como avançadas são: FMEA (*failure modes and effects analysis*), *brainstorming* (tempestade de ideias), *benchmarking* (Referência de Excelência), 5S's, 5W2H, *empowerment* (descentralização de poderes), matriz GUT, *kaizen*, TPM – gestão produtiva total e 6 Sigma (ISO, 2002). As ferramentas podem ser utilizadas isoladamente ou em conjunto, sendo importante ter dados suficientes para a solução dos problemas detectados (Ribeiro Neto, et al., 2019).

Siqueira (2005) afirma que o FMEA é utilizado com o intuito de documentar, avaliar, e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional visando definir formas de prevenção ou correção.

A ferramenta FMEA surgiu por volta de 1949 e destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos do exército americano, onde era avaliada a sua eficiência baseando-se no impacto sobre uma missão ou no sucesso de defesa pessoal de cada soldado. Na década de 60, foi aprimorado e desenvolvido pela NASA, quando foi tomando espaço nos setores aeronáuticos (Cavaignac & Forte, 2018).

No ambiente industrial, a ferramenta FMEA pode ser entendida como uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam. O objetivo é eliminar os modos de falha ou reduzir os riscos associados (Back, 1983).

Para Lafraia (1997), o primeiro passo para a elaboração do FMEA é identificar todos os modos de falha que podem levar a falha funcional. Não se deve tentar listar todos os modos de falha possíveis e sim levar em consideração sua probabilidade de ocorrência.

A aplicação do FMEA visa diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos; diminuir a probabilidade de falhas potenciais (que ainda não tenham ocorrido) em produtos ou processos em operação; aumentar a confiabilidade de produtos ou processos em operação através da análise das falhas que já ocorreram; diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos (Palady, 2004).

A ferramenta FMEA analisa quantitativamente o risco através do uso de três índices: severidade (S); ocorrência (O); e detecção (D) (Stamatis, 2003). A severidade (S) é a hierarquização que aponta a gravidade de uma potencial falha, medida de 1 a 10, que vai de consequências sem danos até danos trágicos ou irreparáveis. A detecção (D) quantifica a dificuldade de um possível cenário de falha ser identificado antes que a mesma ocorra, partindo da certeza de detecção, com índice 1, até a impossibilidade de detecção, com índice 10. Já a ocorrência (O) é a aproximação da frequência ou probabilidade do acontecimento do modo de falha (Jorge, et al., 2019).



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

A literatura científica cita dificuldades na aplicação do FMEA, como a imprecisão dos números de priorização de risco obtidos, a dependência da experiência anterior de membros da equipe e a quantidade de tempo necessária para a aplicação da ferramenta (LAURENTI, et al., 2012). A dificuldade de escolha dos índices S, O e D também é destacada por Cavaignac & Forte (2018).

Por esse motivo, é proposto neste trabalho um estudo da ocorrência de não conformidades e uma análise de falhas quanto ao requisito de segurança nas operações que fazem a utilização de pontes rolantes, e se estão de fato cumprindo o que estabelecem as Normas de Segurança, baseados nas aplicações e modelos-base dos autores Cavaignac & Forte (2018). O trabalho atua também na intenção de auxiliar o profissional no combate às falhas do processo, gerar aumento da confiabilidade do equipamento, desenvolver ações preventivas e corretivas para minimizar a ocorrência e consequência resultante das falhas e garantir uma maior qualidade dos produtos e dos serviços.

2. METODOLOGIA

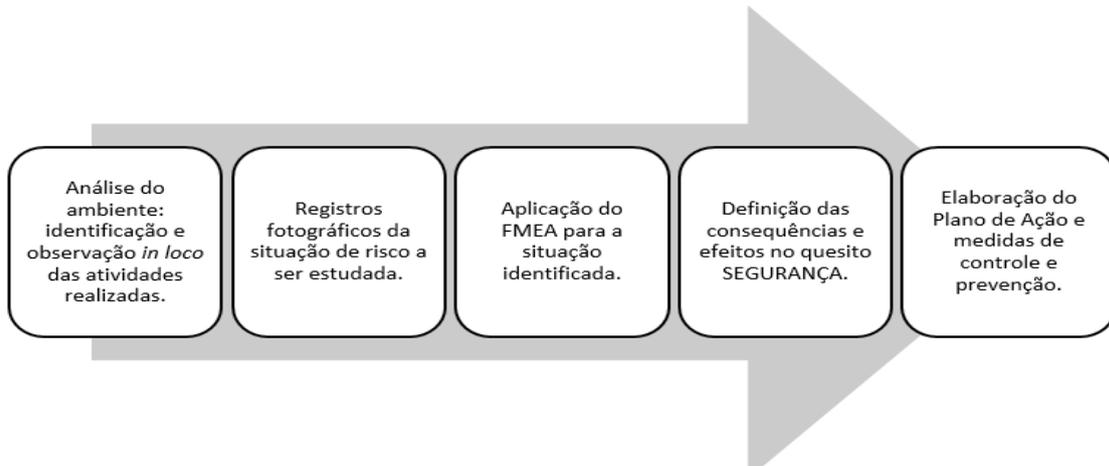
Utilizou-se para desenvolvimento deste estudo pesquisa bibliográfica/documental e pesquisa de campo. A bibliografia deste projeto foi desenvolvida com base em materiais publicados como livros, revistas, dissertações e material acessível ao público em geral. Em relação à pesquisa de campo fez-se uso da observação in loco, seguido de aplicação de questionários na empresa estudada para coleta de dados.

O estudo de caso feito, relatou as condições de riscos ocupacionais durante a utilização de pontes rolantes, em uma empresa de grande porte, situada na cidade de Imperatriz, no estado do Maranhão. Foram realizadas algumas visitas e foi mapeado alguns pontos críticos a serem melhorados de acordo com a observação realizada no cenário específico e coletados os dados para aplicação do FMEA no processo. Durante o processo de execução das atividades foram feitos registros fotográficos, avaliando cada atividade, identificando perigos e situações de risco, e posteriormente, avaliando causas e efeitos. Foram identificados os perigos de cada atividade observada, no final foram tabelados os riscos de cada processo propondo melhorias nos controles (ou novos controles) se necessário. Abaixo, na figura 1, segue um fluxograma que demonstra os passos seguidos para a execução desta pesquisa.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Figura 1: Fluxograma das Etapas de execução de pesquisa



Fonte: Autores, 2019

Para montagem e aplicação do FMEA ao longo do trabalho, foi utilizada a tabela 1, onde apresenta uma correlação de rápido acesso entre os índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), com seus conceitos qualitativos usualmente encontrados na segurança do trabalho (Cavaignac & Uchoa, 2018). É proposta como ferramenta de referência rápida aos profissionais que elaboram, executam e pesquisam sobre o tema de segurança do trabalho, com o intuito de diminuir a dificuldade da utilização do FMEA relatado por Laurenti, et al., (2012).

Deste modo, cada índice há a correlação com a natureza da severidade, partindo de um índice 1, onde não há impacto real, até o índice 10, onde há óbito de pessoas externas ao processo. Para a qualificação de ocorrência (O), para cada natureza da ocorrência, há a correlação com o índice respectivo, baseado na probabilidade definida por Ford (2011) e adaptada com os dados do Ministério da Fazenda (2016).

Para a qualificação da detecção (D), cada índice foi correlacionado com a dificuldade de detecção adaptada de Stamatis (2003), partindo de um índice 1, onde a causa primária da falha pode ser detectada com inspeções visuais simples, até um índice 10 onde se assume que não há técnicas disponíveis que assegure a detecção.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Tabela 1: Tabela de referência de índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D)

Severidade (S)		Ocorrência (O)		Detecção (D)	
Índice	Natureza da severidade	Índice	Natureza da ocorrência (O)	Índice	Método de detecção
1	Sem impacto real	6	Impacto sofrido	1	Inspeção Visual
2	Trauma irrelevante	5	Queda com diferença de nível	2	
3	Trauma que requer primeiros socorros	5	Impacto contra	3	Teste tátil/teste manual
4	Incapacidade temporária sem afastamento	5	Esforço excessivo ou inadequado	4	
5	Incapacidade temporária com afastamento curto	5	Prensagem ou aprisionamento	5	
6	Incapacidade temporária com afastamento longo	5	Queda em mesmo nível	6	Aplicação de checklist / sequência de testes antes da tarefa
7	Incapacidade permanente parcial	4	Exposição ao ruído	7	
8	Incapacidade permanente total	4	Contato com substância nociva	8	Inspeção instrumental/testes mecânicos
9	Óbito de envolvidos no processo	4	Choque elétrico	9	
10	Óbito de não envolvidos no processo	3	Atrito ou abrasão	10	Ausência de métodos efetivos

Fonte: Cavaignac & Uchoa (2018), Adaptado.

3. INCONFORMIDADES ENCONTRADAS NA OBRA

Durante as visitas técnicas em cada operação, foram analisadas e detectadas várias falhas nos processos quanto à forma de execução das tarefas e utilizações de pontes rolantes. Neste tópico serão abordados os resultados obtidos através dos registros fotográficos, que nos mostram a falta comprometimento com a segurança ocupacional, promovendo um ambiente com cenário de alto risco aos funcionários e com potencial catastrófico.



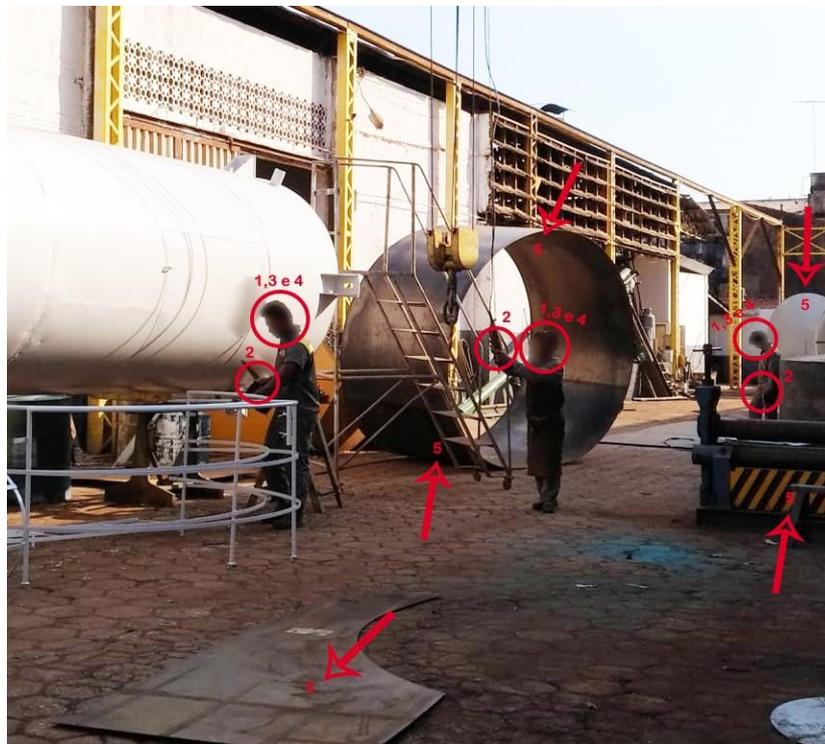
Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Figura 2. Observa-se falta de capacete [1], óculos [2], protetor auricular [3], ausência de luvas [4] e botas vestidas de forma inadequada [5]. O número [6] indica um objeto sendo transportados sem um guia adequado.



Fonte: Autores, 2019

Figura 3. Registro da movimentação de anilhas metálicas, onde se observa a falta de capacete [1], protetor auricular [3], e óculos de proteção [3], além de falta de luvas [2]. Os indicadores de número [5] mostram objetos que obstruem os espaços de trabalho podendo causa acidentes.



Fonte: Autores, 2019.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Figura 4. Pode-se observar a falta de capacete [1], óculos de proteção [2] e luvas [3]. No indicador [4], a ergonomia inadequada e no [5] um sistema de controle ultrapassado que pode ocasionar acidentes por ficar em meio ao transporte de cargas. O indicador azul nos mostra uma ponte rolante uni-viga estacionada.



Fonte: Autores, 2019

Figura 5. Na ponte se observa lacunas que causam infiltrações [1], correntes e engrenagens expostas [2], corrosão [3] e uma leve torção devido a sobrecargas [4] e a instalação elétrica do controle de operação entrelaçado à uma corrente metálica exposta [5].



Fonte: Autores, 2019.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Conforme mostrados nas figuras 2, 3, 4 e 5, durante a execução de algumas atividades nas pontes rolantes, os EPIs básicos, importantíssimos na segurança, como as luvas, óculos e capacetes não são utilizados como recomenda a NR N°6 (Brasil, 2017). As luvas têm como objetivo a proteção dos membros contra agentes cortantes e perfurantes. Os óculos de proteção e servem para barrar elementos agressivos e seus efeitos na região dos olhos. Os capacetes, garantem a proteção da cabeça contra impactos e ferimentos causados pela queda de materiais,

Na grande maioria, a não utilização dos EPIs por parte dos colaboradores e a falta de consciência dos mesmos acerca da importância de sua utilização para a prevenção de acidentes, alegando certo desconforto ao utilizarem os EPIs e até mesmo o esquecimento. A falta de fornecimento de EPIs por parte dos empregadores não foi citada pelos colaboradores e as não conformidades foram tratadas em todas as vezes com a realização de abordagem junto ao empregado, solicitando a utilização dos EPI's necessários para atividade conforme determina a NR 06 (Brasil, 2017).

4. APLICAÇÃO DO FMEA

Com base nos dados colhidos *in loco* a partir dos registros fotográficos, foram montadas duas tabelas de FMEA. Uma tabela apresenta os modos de falhas causados pela mão de obra, subdividida em falha humana, visto que um acidente é considerado falha humana quando não houve respeito às normas de segurança durante a execução de determinada tarefa. Também chamado de ato inseguro, este tipo de atitude pode provocar danos ao trabalhador, aos colegas de trabalho, às máquinas, aos materiais e aos equipamentos — em ações conscientes ou não, e falha na operação, que é basicamente um acidente causado nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, ou seja, durante toda a operação do processo.

Já a segunda tabela apresenta os modos de falhas causadas pelo uso (ou mal uso) da ponte rolante, subdividida em falha de manutenção, que é geralmente quando um componente não executa uma determinada tarefa conforme o esperado, ou ainda, quando não foi feito o que era esperado para o componente executar a tarefa, e falha de montagem, que é basicamente quando não foi feito o essencial (mesmo um aperto no parafuso, por exemplo) na montagem do equipamento para o melhor uso do mesmo.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Tabela 2: Aplicação do FMEA na Mão de Obra

Tipo da Falha	Modo de Falha Potencial	Natureza da Falha	Ocorrência (O)	Potenciais Consequências da Falha	Severidade (S)	Medidas de Controle	Deteção (D)	RPN (S x O x D)	Grau de Risco
Falha humana	Problemas na ergonomia	Esforço excessivo ou inadequado	5	Incapacidade temporária sem afastamento	4	Tátil	2	40	Moderado
	Imprudência no trabalho	Queda com diferença de nível	5	Óbito de envolvidos no processo	9	Visual	1	45	Moderado
	Desorganização do ambiente de trabalho	Impacto contra ferramenta, máquinas e aparelhos	6	Trauma que requer primeiros socorros	3	Checklist	5	90	Moderado
	Ausência de Epi's	Impacto contra ferramenta, máquinas e aparelhos	6	Incapacidade permanente total	8	Visual	1	48	Moderado
Operação	Excesso de carga	Queda e impacto sofrido de equipamentos	6	Óbito de envolvidos no processo	9	Checklist	5	270	Critico
	Excesso de velocidade no manuseio	Impacto sofrido, queda, rompimento	6	Óbito de não envolvidos no processo	10	Checklist	5	300	Critico
	Gancho inadequado	Impacto sofrido, queda, rompimento, torção	6	Óbito de envolvidos no processo	9	Visual	1	54	Moderado

Fonte: Cavainag & Uchoa (2018), Adaptado.

Conforme a Tabela 2, que trata do tipo de falha na falha humana, os modos de falhas dentro desse tipo que foram escolhidos foram problemas na ergonomia, imprudência no trabalho, desorganização do ambiente de trabalho e ausência de EPI's.

Problemas na ergonomia representado principalmente pelo esforço excessivo somado à repetitividade das atividades, pode se tornar um risco para o colaborador, comprometendo sua saúde física e psicológica, podendo levá-lo, inclusive, ao adoecimento. Por esse motivo, conforme tabela, representa um risco moderado ao trabalhador, visto que, com educação, ciência e cautela, pode-se reverter quaisquer problemas na postura ergonômica.

Já a imprudência no trabalho, também representado por um risco moderado, é basicamente a atuação intempestiva e irrefletida por parte dos trabalhadores. Consiste em praticar uma ação sem as necessárias precauções, isto é, agir com precipitação, inconsideração ou inconstância.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

A desorganização no ambiente de trabalho é um outro ponto crucial para quesito segurança dos trabalhadores, visto que, prejudica o desempenho e compromete a produtividade, criando um ambiente de verdadeiro caos para que os trabalhadores atinjam seus objetivos diários, por isso, é considerado um grau de falha moderado.

Por fim e não menos importante, dentro do tópico de falha humana, temos a ausência de EPI's. Considerado pelo grau de risco moderado, o Equipamento de Proteção Individual - EPI é todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado a proteção contra riscos capazes de ameaçar a sua segurança e a sua saúde, são dispositivos utilizados no ambiente de trabalho com o objetivo de proteger os trabalhadores dos riscos inerentes aos processos, tais como o enclausuramento acústico de fontes de ruído, a ventilação dos locais de trabalho, a proteção de partes móveis de máquinas e equipamentos, a sinalização de segurança, dentre outros. A sua não utilização pode acarretar graves problemas na segurança do trabalho.

Ainda na Tabela 2, outro tipo de falha analisado foram as falhas na operação, subdivididos em excesso de carga, excesso de velocidade no manuseio e gancho inadequado. O excesso de carga, considerado grau de risco crítico, diversos prejuízos, tanto para o equipamento quanto para o trabalhador, colocando sua vida em risco. Muitas vezes o erro acontece por desconhecimento dos riscos, outras vezes por erro na hora de carregar o veículo, seja por não saber como distribuir o peso por eixo ou não entender em que situações ocorrem as penalidades.

O excesso de velocidade no manuseio pode causar quedas, rompimentos e trazer graves consequências tanto ao trabalhador, quanto ao equipamento e por esse motivo, é classificada como um grau de risco crítico.

E por fim, o gancho inadequado, considerado de grau moderado, no manuseio do equipamento durante a operação, pode causar impacto, queda, torsão e causar graves danos à saúde e segurança do trabalhador e do equipamento em manuseio.

Tabela 3: Aplicação do FMEA na Ponte Rolante

Tipo da Falha	Modo de Falha Potencial	Natureza da Falha	Ocorrência (O)	Potenciais Consequências da Falha	Severidade (S)	Medidas de Controle	Deteção (D)	RPN (S x O x D)	Grau de Risco
Falha de Manutenção	Ausência de lubrificação	Atrito ou Abrasão	3	Incapacidade temporária de movimentação	5	Checklist	5	75	Moderado
	Quebra do rolamento	Queda	5	Incapacidade temporária	5	Checklist	5	125	Elevado
	Travamento do carrinho da ponte	Atrito ou Abrasão	5	Incapacidade de movimentação	4	Visual	1	20	Moderado



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

	Não funcionamento	Atrito ou Abrasão	5	Incapacidade de funcionamento	6	Visual	1	30	Moderado
Montagem	Dimensionamento	Queda	5	Incapacidade de funcionamento	6	Tátil	3	90	Moderado
	Folga de parafusos	Queda	5	Impacto, queda	6	checklist	6	180	Elevado

Fonte: Cavainag & Uchoa (2018), Adaptado.

Na Tabela 3, que trata do tipo de falha no equipamento estudado (Ponte Rolante), os modos de falhas dentro do tipo “Falha de Manutenção” escolhidos foram ausência de lubrificação, quebra de rolamento, travamento do carrinho da ponte e não funcionamento do equipamento. Já no tipo “Montagem” foram escolhidos o dimensionamento e a folga de parafusos.

A ausência de lubrificação, travamento do carrinho da ponte e o não funcionamento do equipamento, todas consideradas de grau de risco moderado, estão diretamente associadas a um ou mais mecanismos de falha, e pode causar parada do equipamento, atrito ou até mesmo abrasão.

A quebra de rolamento, na maioria das vezes, causa sérios problemas, interrompendo a função principal do equipamento, exigindo que a troca seja realizada, acarretando em hora de máquina parada como também aumento de custo para as empresas. Fora isso, pode ocasionar graves problemas, como a queda da ponte rolante, ocasionando falta de segurança, doenças e até mortes. Por esse motivo, possui um grau de risco elevado.

O dimensionamento do equipamento na hora da montagem também é um ponto importante a ser considerado, pois, além de representar grau de risco moderado, tem que ser considerado o Tipo de ponte – manual ou motorizada - a carga (principal e auxiliar), as dimensões (vão entre os centros dos trilhos em metros, altura máxima de elevação, altura piso-tesoura, distância trilho-parede, distância topo da ponte-tesoura, distância centro do guincho-tesoura), a Intensidade do trabalho (número de manobras e plena carga, por hora e número de horas de serviço por dia), o ambiente (aberto ou fechado, algumas condições especiais), o edifício (condições do prédio), as velocidades desejadas, entre outros.

Por fim, a folga de parafusos também é importante e representa um grau de risco elevado, pois pode ocasionar graves problemas, como a queda da ponte rolante, ocasionando falta de segurança, doenças e até mortes.

5. CONCLUSÃO

É importante observarmos que, de fato, o ambiente de trabalho com operação em pontes rolantes é muito arriscado para os colaboradores, no quesito segurança. Excesso na velocidade de manuseio, excesso de carga, alguns pontos no equipamento (como falta de parafusos) e ausência de EPIs, são observados como os principais riscos ocupacionais.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

A ferramenta utilizada ao logo do trabalho FMEA (*failure mode and effects analysis*) foi utilizada para quantificar os riscos em relação a suas causas e efeitos possíveis aos trabalhadores. Para a aplicação dessa ferramenta, foi realizada a escolha de alguns processos observados na obra estudada através de registros fotográficos. Foi observado que os processos de utilização de pontes rolantes possuem altos indícios de riscos. Como conclusão final deste trabalho, foi elaborado um plano de ações corretivas que engloba em ordem de prioridade os modos de falha que devem ser corrigidos com urgência, isto é, aqueles que obtiveram maior RPN, e as ações corretivas sugeridas para cada um deles. A tabela 4, modelo adaptado do Cavaignac & Forte (2018) traz o plano de ações corretivas organizado por ordem de prioridade.

Tabela 4: Plano de ações corretivas para os modos de falha identificados, por ordem de prioridade

Ordem de Prioridade	Modo de Falha	RPN	Ações Corretivas
1 ^a	Excesso de velocidade no manuseio	300	Placas com limites de velocidade e controle
2 ^a	Excesso de carga	270	Controle de peso antes da operação
3 ^a	Folga de parafusos	180	Verificação constante de manutenção
4 ^a	Quebra do rolamento	125	Verificação constante de manutenção
5 ^a	Desorganização do ambiente de trabalho	90	Treinamentos constantes sobre a importância desse tema
6 ^a	Dimensionamento	90	Queda em mesmo nível
7 ^a	Ausência de lubrificação	75	Verificação constante de manutenção
8 ^a	Gancho inadequado	54	Verificação constante de manutenção
9 ^a	Ausência de Epi's	48	Treinamentos constantes sobre a importância desse tema
10 ^a	Imprudência no trabalho	45	Treinamentos constantes sobre a importância desse tema
11 ^a	Problemas na ergonomia	40	Treinamentos constantes sobre a importância desse tema
12 ^a	Não funcionamento	30	Verificação constante de manutenção



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

13 ^a	Travamento do carrinho da ponte	20	Verificação constante de manutenção
-----------------	---------------------------------	----	-------------------------------------

Fonte: Cavainag & Forte (2018), Adaptado.

Além da obra estudada ao longo do trabalho, a principal contribuição deste trabalho é utilizar a ferramenta FMEA, uma ferramenta que contribui significativamente para a melhoria útil na análise de causa-e-efeito e para garantir que as causas de falha de um produto desapareçam, fornecendo uma abordagem sistemática e identificando, em um ambiente, para onde a atenção deve ser voltada a fim de reduzir o risco de fracasso. Percebe-se assim que esta ferramenta é extremamente importante, já que no estudo apresentado foi possível apresentar os riscos de forma quantitativa. Deste modo, o planejamento de melhorias de ações na gestão de segurança do trabalho pode tomar os resultados do FMEA para definir prioridades, tornando o processo cada vez mais eficaz. Vale ressaltar que o uso da tabela de referência proposta por Cavaignac & Uchoa, (2018), se mostrou possível para uma abordagem industrial – contudo há a necessidade de atualização com as novas edições do anuário da previdência social.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1984). NBR8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Rio de Janeiro.

Back, N. (1983). Metodologia de projeto de produtos industriais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois.

Brasil. NR 6 – Equipamento de proteção individual – EPI. (2017) Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf. Acesso em: 13 de agosto de 2019.

Cavaignac; A.L.de O. & Forte L.L.N. (2018). Utilização do FMEA para priorização de risco ocupacional: uma nova abordagem direcionada a construção civil. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 4(3), 132-149.

Cavaignac, A., & Uchoa, J. (2018). Obtaining FMEA's indices for occupational safety in civil construction: a theoretical contribution. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 558-565.

doi: 10.14488/BJOPM.2018.v15.n4.a9

Fazenda, M. D. (2017) Anuário estatístico da previdência social. Instituto Nacional do Seguro Social. Brasília, p. 917.

International Organization For Standardization. (2002). ISO/TS 16949:2002 – Quality Management Systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. Genebra.



Citação (APA): Pacheco, Y.C.K.G., Ribeiro, R.K.P. & Cavaignac, A.L.de O. (2019). Utilização da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) como ferramenta de prevenção de acidentes em operações com usos de pontes rolantes. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 10-24.

Jorge, G.P. do N., Sousa, M.J.A. de, & Cavaignac, A.L. de O. (2019). Priorização de risco em obra de médio porte por meio da utilização do FMEA: uma ferramenta de melhoria para segurança do trabalho em altura. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 35-53.

Lafraia, J.R.B. (2001). Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ.

Laurenti, R., Villari, B.D. & Rozenfeld, H. (2012). Problemas E Melhorias Do Método Fmea: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *Pesquisa & Desenvolvimento em Produção*, Itajubá, 10(1), 59-70.

Mata-Lima, H. (2007). Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas. Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactes Ambientais. Universidade da Madeira (Portugal).

Paladini, E.P. (2008). Gestão da qualidade: teoria e prática. 2 ed. São Paulo: Atlas.

Palady, P. (2004). FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. Imam, 4ª Ed. São Paulo.

Ribeiro Neto, J.B.M., Tavares J.C. & Hoffmann S. C. (2019). Sistemas de gestão integrados: Qualidade, meio ambiente, responsabilidade social, segurança e saúde no trabalho. Editora Senac São Paulo. 346p.

Rudenko, N. (1976), Máquinas de elevação e transporte. Livros Técnicos e Científicos editora, SA.

Siqueira, I.P. (2005) Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Quality mark.

Sordi, G. (2016), Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 28 jun. 2016. Retrieved Agosto 13, 2019, from

<http://hdl.handle.net/10737/1263>

Stamatis, D.H. (2003). Failure mode and effect analysis - FMEA: from theory to execution. 2nd ed. ed. Milwaukee: ASQ quality press.

