



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RAVELANE ALEXANDRE ROCHA**

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE  
PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM BETONEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO**

**SUMÉ - PB  
2019**

**RAVELANE ALEXANDRE ROCHA**

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE  
PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM BETONEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO**

**Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Produção.**

**Orientadora: Professora Dr.<sup>a</sup> Maria Creuza Borges de Araújo.**

**SUMÉ - PB  
2019**

R672a Rocha, Ravelane Alexandre.  
Aplicação das ferramentas FTA e FMEA como suporte para a gestão da manutenção em betoneiras: um estudo de caso. / Ravelane Alexandre Rocha. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

67 f.

Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup> Maria Creuza Borges de Araújo.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Gestão da manutenção. 2. Manutenção. 3. Betoneiras. 4. Fabricação de concreto – máquina. 5. Árvore de falhas – FTA. 6. Análise de modos de falhas e efeitos – FMEA. 7. FTA. 8. FMEA. I. Araújo, Maria Creuza Borges de. II. Título.

CDU: 62.7(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**RAVELANE ALEXANDRE ROCHA**

**APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS FTA E FMEA COMO SUPORTE  
PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM BETONEIRAS: UM  
ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**BANCA EXAMINADORA:**

Maria Creuza Borges de Araújo  
**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo**  
Orientadora – UAEP/CDSA/UFCG

Cecir Barbosa de Almeida Farias  
**Professora Dra. Cecir Barbosa de Almeida Farias.**  
Examinador I – UAEP/CDSA/UFCG

Fernanda Raquel Roberto Pereira  
**Professora Ma. Fernanda Raquel Roberto Pereira.**  
Examinador II – UAEP/CDSA/UFCG

**Trabalho aprovado em: 10 de dezembro de 2019.**

**SUMÉ - PB**

*Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram em tudo, sonharam comigo e nunca me deixaram desistir. Aos meus familiares que de certa forma contribuíram para que esse sonho fosse concretizado.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu Deus, que tem me sustentando todos os dias e que me mostrou que estava comigo nos momentos em que pensei estar só.

Agradeço de uma maneira muito especial aos meus pais, Claudinete e Alexandre, pela educação que me deram e por lutarem comigo para que esse sonho fosse realizado, por serem meu suporte e terem me dado força, essa conquista não é apenas minha, mas sim, nossa, também ao meu irmão Alex, que sempre me apoiou.

Aos meus familiares, em especial minha família paterna que é minha base, ao meu primo Felipe por partilhar do mesmo sonho de ser engenheiro comigo e está concretizando também o tão almejado diploma. Ao meu primo materno Geovany, por todos os conselhos e cumplicidade de anos.

Agradeço aos meus amigos de jornada que fiz durante esse longo período. A Thayse que foi uma grande amiga, me acolheu de braços abertos e foi a minha família fora de casa, junto com Alessandra, amiga que dividi apartamento nos últimos anos de curso, que passou altos perrengues comigo. Agradeço também a Gustavo que foi ímpar com seus conselhos e companheirismo.

Aos meus amigos de São José do Egito, que de certa forma torceram por mim, em especial a Natanny que está presente em minha vida há longos anos e que viveu esse sonho comigo desde o início. A Letícia por se fazer presente mesmo estando longe e a minha prima Tamires, pela paciência e atenção de sempre. Agradeço também aqueles que chegaram em minha vida nessa etapa final (Tamires Bezerra e Felipe Jessé) que sem dúvida contribuíram de forma positiva para que juntos realizássemos esse sonho de ser Engenheiro de Produção.

Em especial, a minha orientadora, Maria Creuza Borges de Araújo, pela paciência e compromisso. A todo corpo docente da UFCG por todo conhecimento adquirido ao longo dos anos. E a todas as pessoas que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram, o meu muito obrigada.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”*

*(Marthin Luther King).*

## RESUMO

A Gestão da Manutenção é de grande importância na construção civil devido a alta mecanização deste ramo, a longa jornada de trabalho a qual as máquinas são submetidas e a diversidade de equipamentos que são utilizados. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo a utilização da FTA e FMEA para o desenvolvimento de um plano de manutenção para uma máquina da construção civil, responsável pela fabricação de concreto, a betoneira. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica para conhecimento dos conceitos referentes ao tema e estudo dos modos, causas e efeitos das falhas, em seguida foi realizada a construção das Árvores de Falhas para determinar as causas raízes das falhas e, por fim, a elaboração do FMEA para avaliar o Número de Prioridade ao Risco e determinar quais ações devem ser realizadas para minimização das falhas. Desse modo, foi possível identificar as causas raízes e solucionar-las através da elaboração de POPs e do período de manutenção proposto, atingindo os principais resultados: a diminuição de custo com manutenção corretiva, aumento da confiabilidade e disponibilidade do equipamento e, conseqüentemente, melhoria do nível de serviço ao cliente.

**Palavras-chave:** Gestão da Manutenção. FTA. FMEA. Construção civil.

## **ABSTRACT**

Maintenance Management is of great importance in civil construction due to the high mechanization of this branch, the long working hours to which machines are subjected and the diversity of equipment that is used. In this sense, this paper has objective the development of a maintenance plan for a construction machine, responsible for the concrete manufacture, the concrete mixer. Firstly, a literature review was made to understand the concepts related to the theme and study the modes, causes and effects of failures, the fault trees were then built to determine the root causes and finally the FMEA was elaborated to assess the Risk Priority Number and to determine what actions should be taken to minimize the faults. Thus, it was possible to identify the root causes and solve them through the elaboration of SOPs and the proposed maintenance period, reaching the main results: the cost reduction with corrective maintenance, increase of equipment reliability and availability and, consequently, improvement customer service level.

**Keywords:** Maintenance Management. FTA FMEA. Construction.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Caracterização da Pesquisa.....	<b>16</b>
<b>Figura 2</b>	Etapas da Pesquisa.....	<b>18</b>
<b>Figura 3</b>	Fluxograma de Manutenção.....	<b>23</b>
<b>Figura 4</b>	Estrutura de uma árvore de falha.....	<b>28</b>
<b>Figura 5</b>	Betoneira.....	<b>38</b>
<b>Figura 6</b>	Subsistemas da Betoneira.....	<b>39</b>
<b>Figura 7</b>	Árvore de Falhas para cremalheira.....	<b>41</b>
<b>Figura 8</b>	Árvore de Falhas para o redutor de volante.....	<b>42</b>
<b>Figura 9</b>	Árvore de falha para o chassi.....	<b>43</b>
<b>Figura 10</b>	Árvore de falha para o tambor.....	<b>44</b>
<b>Figura 11</b>	Árvore de falha para o motor.....	<b>45</b>
<b>Figura 12</b>	Etapas do Plano de Manutenção.....	<b>51</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Evolução da Manutenção.....	<b>20</b>
<b>Quadro 2</b>	Principais eventos utilizados em uma árvore de falha.....	<b>28</b>
<b>Quadro 3</b>	Operadores lógicos utilizados em árvore de falha.....	<b>29</b>
<b>Quadro 4</b>	Escala de Avaliação de Ocorrência.....	<b>32</b>
<b>Quadro 5</b>	Escala de Avaliação de Severidade.....	<b>33</b>
<b>Quadro 6</b>	Escala de Avaliação de Detecção.....	<b>34</b>
<b>Quadro 7</b>	Comparativo FTA versus FMEA.....	<b>36</b>
<b>Quadro 8</b>	Formulário FMEA para Betoneira.....	<b>47</b>
<b>Quadro 9</b>	Formulário FMEA para Betoneira (continuação).....	<b>48</b>
<b>Quadro 10</b>	Formulário FMEA para Betoneira (continuação).....	<b>49</b>
<b>Quadro 11</b>	Formulário FMEA para Betoneira (continuação).....	<b>50</b>
<b>Quadro 12</b>	Relação dos itens e seus Modos de Falhas.....	<b>52</b>
<b>Quadro 13</b>	Plano de Período de Manutenção.....	<b>53</b>
<b>Quadro 14</b>	Plano de Período de Manutenção (continuação).....	<b>54</b>
<b>Quadro 15</b>	Procedimento de Manutenção.....	<b>55</b>
<b>Quadro 16</b>	Formulário de Controle de Manutenção.....	<b>56</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ABRAMAN** – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

**FMEA** – Análise de Modos de Falhas e Efeitos

**FTA** – Árvore de Falhas

**FGV** – Fundação Getúlio Vargas

**NBR** – Normas Brasileiras

**NPR** – Número de Prioridade de Riscos

**PIB** – Produto Interno Bruto

**POP** – Procedimento Operacional Padrão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS.....	13
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivo específico.....</b>	<b>13</b>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.....	14
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
3.1	DEFINIÇÃO E HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO.....	19
3.2	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	22
3.3	MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	23
3.4	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	24
3.5	MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	25
3.6	MANUTENÇÃO DETECTIVA.....	26
3.7	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO.....	26
3.8	ÁRVORE DE FALHA.....	27
3.9	ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS.....	29
3.10	OCORRÊNCIA.....	32
3.11	SEVERIDADE.....	33
3.12	DETECÇÃO.....	34
<b>3.12.1</b>	<b>Número de prioridade ao risco.....</b>	<b>35</b>
3.13	RELAÇÃO ENTRE A FTA E O FMEA.....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA.....	37
4.2	ANÁLISE DAS FALHAS DOS SUBSISTEMAS.....	40
4.3	ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS.....	45
4.4	PROPOSTA E PLANO DE MANUTENÇÃO.....	51
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, as organizações demonstram uma busca por melhores índices de produtividade e qualidade, com o intuito de produzir mais e melhor, trazendo a necessidade de maior confiabilidade no processo produtivo. Porém, a ênfase nos processos de produção tem intuito de aperfeiçoar os recursos e equipamentos utilizados, aumentar a produtividade da mão de obra e reduzir ao máximo as perdas e paradas da linha, assim evitando a diminuição na capacidade de trabalho, onde ocasionaria queda de produtividade nos diversos setores de serviços.

Segundo Silva (2011), nos últimos anos, a indústria da construção civil vem apresentando mudanças significativas em seus processos construtivos. Com o crescimento da concorrência, torna-se necessário uma mão-de-obra cada vez mais especializada e um melhor gerenciamento dos processos, pois o mesmo é essencial para o sucesso de qualquer organização, junto com uma boa gestão de manutenção que permite programar o trabalho de forma eficiente, controlar os custos e garantir a qualidade dos produtos e serviços, aumentando assim a importância do seu planejamento e das inovações tecnológicas para a execução dos serviços com maior produtividade e qualidade.

Neste sentido, a manutenção tem grande importância nos resultados da empresa, pois quanto mais eficaz for a gestão da manutenção, melhores serão os resultados obtidos com: controle de custos, agendamento do trabalho de forma eficiente, garantia da conformidade e qualidade do serviço. De acordo com notícias da ABRAMAN (2012), o Brasil apresenta um custo de manutenção por faturamento bruto de 4,7% do PIB (Produto Interno Bruto), os gastos com manutenção de empresas da indústria de base e infraestrutura chegaram a R\$145 bilhões em 2011. João Ricardo Lafraia, presidente da ABRAMAN, ainda afirma que “É importante entender que investir em manutenção aumenta o faturamento”.

Através das inspeções periódicas é possível obter informações necessárias para o plano de manutenção, provavelmente com custos reduzidos, pois um cronograma de manutenção quando é alinhado à escala de produção pode evitar custos e perdas desnecessárias, além de permitir também ajustes nas datas ou períodos de manutenção. Diante disso, mostra-se quão importante é que as organizações estejam sempre buscando melhorias para sua gestão de manutenção.

Dentre as ferramentas para apoio à manutenção está a FTA (Fault Tree Analysis – Árvore de Falha), que segundo Pinto (2013) trata-se de uma análise dedutiva, com abordagem top-down, onde o diagrama permite detalhar uma falha em sucessíveis níveis e o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análise de Modo de Falha e Efeitos), que visa identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do processo (LAFRAIA, 2001; PALADY, 2004), permitindo conhecer todos os subsistemas dos equipamentos ou máquinas e suas possíveis falhas. Em sequência, proporciona também sugerir uma ação recomendada para as causas eventuais impossibilitando avarias e interrupções.

Assim, neste estudo fez-se a aplicação conjunta da FTA e FMEA, na qual foi possível determinar as causas raízes através das Árvores de Falhas e em seguida as mesmas foram avaliadas no FMEA, com intuito de dá suporte para a elaboração de um plano de manutenção com o propósito de prevenir falhas e promover soluções adequadas em uma máquina na construção civil, a betoneira.

## 1.1 OBJETIVOS

Com a finalidade de solucionar o problema, determinou-se os seguintes objetivos:

### 1.1.1 Objetivo geral

Aplicar a Árvore de Falhas e a Análise de Modo de Falha e Efeitos, a fim de desenvolver um plano da manutenção em uma máquina utilizada na construção civil para fabricação de concreto.

### 1.1.2 Objetivo específico

- a) Definir os subsistemas da betoneira;
- b) Propor a FTA para a betoneira encontrando as possíveis causas para cada falha dos subsistemas;
- c) Propor o FMEA para a betoneira;
- d) Propor um plano de manutenção pertinente.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A falta da execução de um plano de manutenção em máquinas que exercem trabalhos pesados pode levar o equipamento à queda da produtividade e ainda ocasionar paradas inesperadas por quebras ou falhas de suas partes. Moubrey (1996) afirma que a manutenção tem procurado novos modos de pensar, técnicos e administrativos, já que as novas exigências de mercado tornaram visíveis as limitações dos atuais sistemas de gestão.

Deste modo, ter controle e planejamento no processo construtivo é benéfico para toda gestão, como afirmam Rocha e Castro (2013) “O planejamento é visto como uma função de apoio as micro e macro atividades de um escopo de trabalho, é um método de decisão adotado, cujo objetivo é reduzir custos e o tempo de execução dos projetos, bem como as suas incertezas e facilitar o processo de tomada de decisão”.

Com o avanço da tecnologia e a maior preocupação com relação a manutenção de equipamentos, tem-se um leque de ferramentas de gestão de manutenção que bem utilizada possibilita a uma máquina a capacidade de suprir a demanda sem queda de produtividade, com paradas planejadas dentro de períodos de tempos preestabelecidos.

Com isso, o presente trabalho tem intuito de prover um plano de melhoria para a máquina em estudo, evitando paradas indesejadas durante o processo e gastos excessivos com troca de peças. Qualquer máquina precisa estar sempre submetida a um plano de manutenção específico, mantendo assim boas condições de funcionamento e conservação, tornando o equipamento seguro e inserido nos parâmetros de qualidade, tendo foco na confiabilidade dos seus sistemas.

Para tal, foram analisados os resultados obtidos através das metodologias utilizadas. O modelo do presente estudo pode ser usado por outras empresas de qualquer seguimento. Para observação as possíveis falhas no projeto ou processo, pois as ferramentas utilizadas apresentam alta flexibilidade.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em cinco partes. O capítulo 1 apresenta a contextualização da temática estudada, exhibe como as ferramentas, FTA e FMEA, irão contribuir como base da elaboração de um plano de manutenção em betoneiras, o objetivo geral e os objetivos específicos. O capítulo 2 apresenta uma

revisão metodológica, retratando a caracterização da pesquisa quanto a sua natureza, abordagem, objetivos e procedimento, assim como as etapas da mesma.

O capítulo 3 esboça a apresentação do referencial teórico, que engloba os conceitos fundamentais da Gestão da Manutenção, da FTA, do FMEA e a relação entre as duas ferramentas utilizadas nesse estudo.

Os resultados da pesquisa estão apresentados no capítulo 4, com a descrição e detalhamento da máquina em estudo, junto a elaboração das Árvores de Falhas e aplicação do formulário FMEA para betoneiras. Logo após, expõe-se a estruturação do plano de manutenção.

Finalmente, o capítulo 5 aponta as considerações finais do estudo, apresentando os resultados gerais atingidos com relação à análise de falhas em betoneiras.

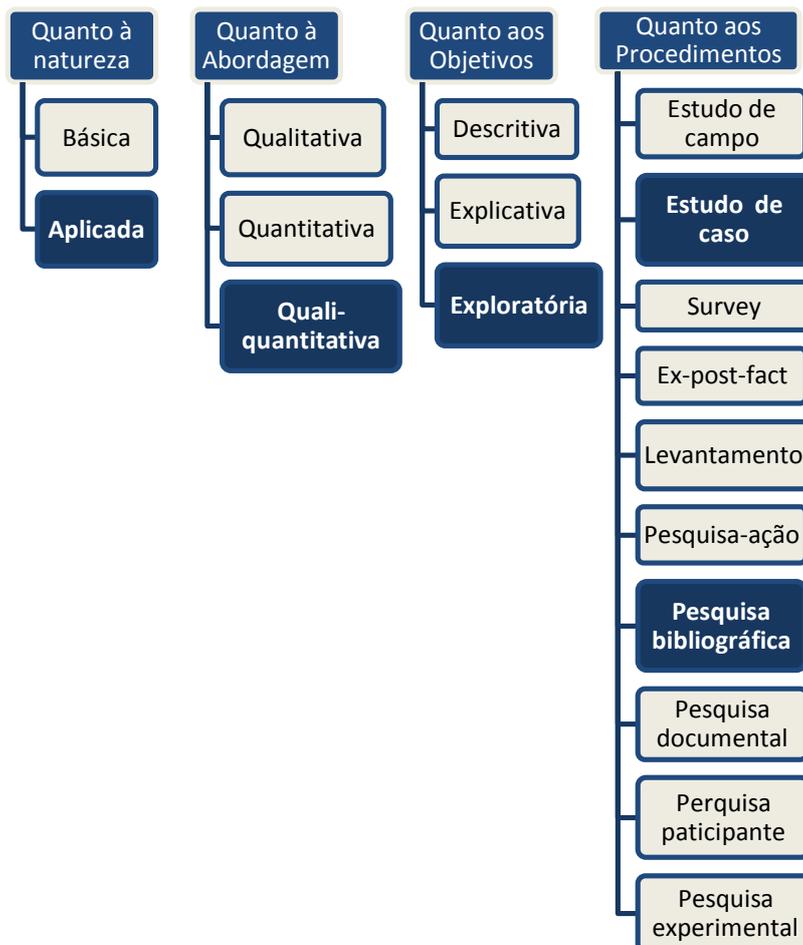
## 2 METODOLOGIA

Esta seção expõe como foi caracterizado o estudo quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Em seguida, apresentam-se as etapas realizadas para o prosseguimento da pesquisa.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa consiste em um conjunto de ações que tem como objetivo encontrar respostas. Podendo ser caracterizado da seguinte forma: quanto sua natureza, a forma de abordagem do problema, aos seus objetivos e por fim, os procedimentos técnicos, como mostra a Figura 1 abaixo.

**Figura 1** - Caracterização da Pesquisa.



**Fonte:** Autor (2019).

Em relação à natureza, a pesquisa pode ser classificada de dois tipos: aplicada ou básica. Neste estudo, a mesma se classifica como uma Pesquisa Aplicada, que é definida por Gil (2010) como uma pesquisa que se volta para aquisição de conhecimentos, com aplicação em uma situação específica. Gerhardt e Silveira (2009) confirmam dizendo que o método gera conhecimentos para aplicação prática e que envolve verdades e interesse locais. Desse modo, serão criadas as árvores de falhas e o formulário FMEA, para identificação de falhas potenciais em betoneiras, com o intuito de realizar um plano de manutenção adequado.

Quanto a sua abordagem, a pesquisa pode ser vista como qualitativa, quantitativa e quali-quantitativa. Para Deslaurieis (1991), a pesquisa qualitativa tem como objetivo produzir informações aprofundadas e ilustrativas. Fonseca (2001) define a pesquisa quantitativa como aquela que centra na objetividade, que usa a linguagem matemática para descrever a causa de um fenômeno. O autor ainda ressalta que a aplicação conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que poderia conseguir isoladamente.

Desse modo, este estudo se classifica como quali-quantitativo, pois usa linguagem matemática para tomada de decisão, com o cálculo do NPR, além de ser baseado em aspectos reais, centrado na compreensão e explicação de fatos.

No que se refere aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, explicativa e exploratória. Esta se caracteriza como exploratória, pois foi realizado um levantamento acerca de informações sobre as betoneiras, o que torna a pesquisa muito específica e, de acordo com a definição de Gil (2010), a pesquisa exploratória é aquela que têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses.

Por fim, do ponto de vista dos procedimentos, podendo ser caracterizada como: estudo de campo, survey, ex-post-facto, levantamento, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa participante e pesquisa experimental; esta constitui-se em uma pesquisa bibliográfica e de campo. Segundo Fonseca (2002), se define uma pesquisa bibliográfica aquela que é feita a partir do levantamento de referências já analisadas. O mesmo autor caracteriza a pesquisa de campo pelas investigações, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas.

Desde modo, houve a consulta bibliográfica de materiais publicados, livros, artigos, a fim de agregar informações, e realização da coleta e análise de dados com pessoas que possuem entendimento e trabalham com a máquina analisada.

## 2.2 ETAPAS DA PESQUISA

A Figura 2 expõe as etapas do método de pesquisa. Inicialmente, para o encadeamento do estudo, foram realizadas consultas sobre a Gestão da Manutenção, através de pesquisas bibliográficas, para a fundamentação teórica e, em seguida, a coleta de dados e informações sobre as betoneiras com operadores e locadores da máquina, onde foi possível conhecer cada subsistema que a compõem e levantar perguntas sobre o processo de utilização, falhas do equipamento, custos de peças e período de manutenção, observando o funcionamento e como era realizado o preparo do material.

**Figura 2** - Etapas da Pesquisa.



**Fonte:** Autor (2019).

Após coleta de dados, foi possível desenvolver um plano de manutenção para betoneiras, através de ferramentas da gestão da manutenção.

Contando com a experiências dos operadores, foram criadas as Árvores de Falhas identificando as causas raízes para cada tipo de falha presente na betoneira, em seguida com os resultados obtidos, foi elaborado o formulário FMEA afim de propor um método adequado de manutenção, levando em consideração a identificação das falhas, das causas e seus efeitos, sobrepondo-as através do NPR. Assim, o plano de manutenção foi elaborado com base nas falhas potenciais dos subsistemas, além de levar em consideração o tempo de desgaste de suas peças, necessidade de lubrificação, período de trabalho e vida útil de cada parte.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta um levantamento bibliográfico da literatura, elaborado para o embasamento teórico da pesquisa. Serão abordados os principais conceitos relacionados à Gestão da Manutenção, que posteriormente serão aplicados no estudo de caso proposto.

#### 3.1 DEFINIÇÃO E HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Podemos entender manutenção como o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários ao bom funcionamento e também ao reparo de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas. (ALMEIDA, 2014). Slack (2000) define manutenção como o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas ao cuidar de suas instalações físicas. É uma parte importante da maioria das atividades de produção, especialmente aquelas cujas instalações físicas têm papel fundamental na produção de seus bens e serviços. O mesmo ainda diz que em operações como centrais elétricas, hotéis, companhias aéreas e refinarias petroquímicas, as atividades de manutenção serão responsáveis por parte significativa do tempo e da atenção da gerência de manutenção.

Pinto e Xavier (2001) afirmam que a manutenção começou a ser realmente conhecida na Europa em meados do século XVI. Esta nova postura inclui uma crescente conscientização de quanto uma falha de equipamento afeta a segurança, o meio ambiente e os resultados da empresa; maior conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto; necessidade de garantir alta disponibilidade e confiabilidade da instalação, ao mesmo tempo em que se busca a otimização de custos (KARDEC; NASCIF, 2012). Assim, com o passar dos anos, foram ocorrendo mudanças na área de manutenção como exibido no Quadro 1, que mostra a evolução da manutenção em cinco gerações.

Quadro 1 - Evolução da Manutenção.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO									
Geração	Primeira Geração		Segunda Geração	Terceira Geração		Quarta Geração		Quinta Geração	
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2015
Aumento das expectativas em relação à manutenção	- Conserto após a falha		- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Melhor relação custo benefício - Preservação do meio ambiente		- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Preservação do meio ambiente - Segurança - Gerenciar ativos - Influir os resultados dos negócios		- Gerenciar ativos - Otimizar o ciclo de vida dos ativos - Influir nos resultados dos negócios	
Visão quanto à falha do ativo	- equipamentos se desgastam com a idade e por isso falha		- equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	- Existência de 6 padrões d falhas (Nowlan & Heap e Moubray)		- Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F. (Nowlan & Heap e Moubray)		- Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas	
Mudança nas técnicas de manutenção	- Habilidades voltadas para o reparo		- Planejamento manual da manutenção - Computadores grandes e lentos - Manutenção preventiva	- Monitoramento da condição - Manutenção preditiva - Análise de risco - Computadores pequenos e rápidos - Softwares potentes - Grupos de trabalho disciplinares - Projetos voltados para a confiabilidade		- Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição - Redução nas manutenções preventivas e corretivas não planejadas - Análise de falhas - Técnicas de confiabilidade - Manutenibilidade - Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade - Contratação por resultados		- Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição <i>on e off-line</i> - Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos ativos - Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência - Implementar melhorias objetivando redução de falhas - Excelência em engenharia da manutenção - Consolidação da contratação por resultados	

Fonte: Kardec e Nascif (2012).

Com a evolução da manutenção têm-se a necessidade de manter um bom desempenho no todo e em qualquer equipamento, ferramenta ou dispositivo utilizado, exigindo assim, a elaboração de novos serviços e maior competência dos profissionais envolvidos.

Na Primeira Geração a restauração era feito após a avaria, Tavares (1999) afirma que a manutenção era vista como atividade secundária, pois suas estratégias eram totalmente corretivas. Pinto e Xavier (2007) asseveram que a segunda geração teve início na Segunda Guerra Mundial até os anos 60 e concordam com a afirmação de Moubray (1997), que assegura que houve um aumento na demanda por todo tipo de produto, de forma que nesse período existiu forte expansão da mecanização e como consequência extensão na complexidade das instalações industriais.

Kardec e Nascif (2012) afirmam que ao mesmo tempo em que possuíam pouca mão de obra nas indústrias, queriam aumentar a demanda por todo tipo de produto, e assim a preocupação pelo tempo fez com que pensassem na ideia de uma manutenção preventiva, de modo que as pausas nos equipamentos ocorressem em tempo fixos e iguais para todos. Tavares (1999) ainda diz que os responsáveis formavam equipes especializadas com intuito de realizar a parada fixa.

Já a terceira geração iniciou-se na década de 70, com uma ideia mais centrada nas falhas. Nunes (2001) descreve que novas técnicas de manutenção eram suportadas por computadores de grande porte, e que sistemas de planejamento e controle surgiram nesse período visando um melhor controle das ações de manutenção. Neste sentido, com o objetivo de prever as falhas, foi então criada a manutenção preditiva, que utiliza técnicas que possam monitorar os equipamentos, seja da forma sensível ou através de instrumentos de medição (PERES; LIMA, 2008).

Fatores importantes apresentados na terceira geração se estendem pela quarta geração. Finalmente, uma das grandes mudanças nas práticas da Manutenção é o aprimoramento da contratação ou da terceirização, buscando contratos de longo prazo, em uma relação de parceria, com indicadores que medem os resultados que interessam ao negócio – disponibilidade e confiabilidade (KARDEC; NASCIF, 2012).

Por fim, a quinta e atual geração da manutenção, com a crescente exigência de qualidade dos produtos por parte dos consumidores, a manutenção foi obrigada a responder por suas intervenções com maior rigor e confiabilidade, diminuindo retrabalhos e falhas na produção. Neste contexto, a Manutenção assumiu papel não

apenas importante, mas estratégico dentro das empresas (FILHO, 2008; ALMEIDA, 2016).

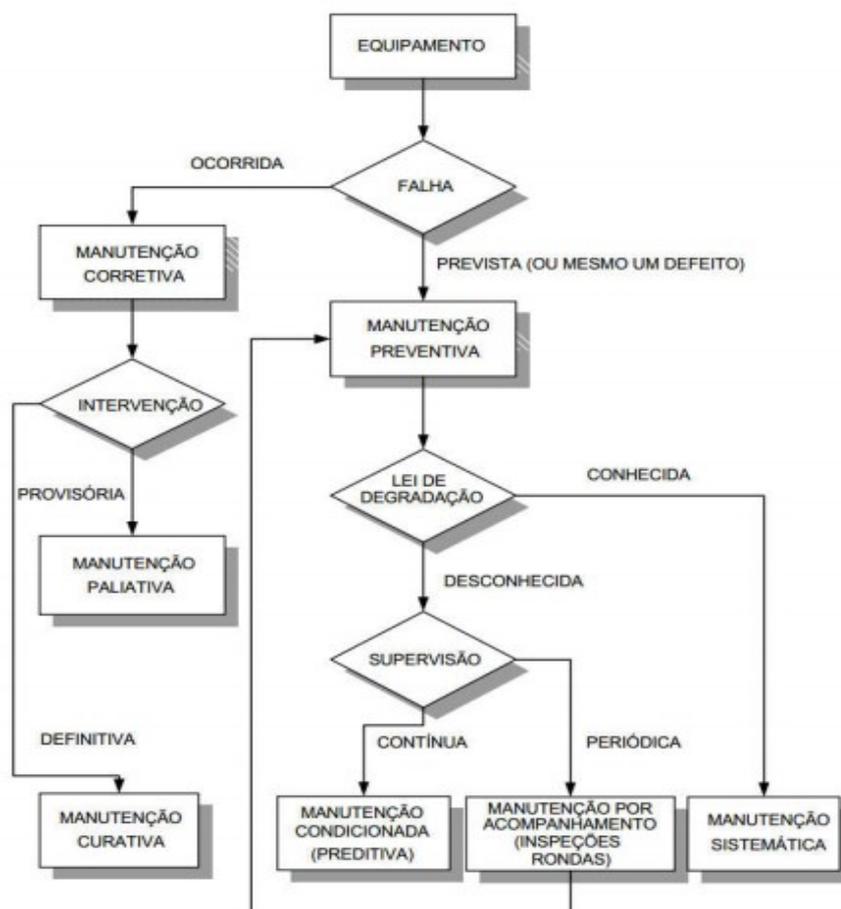
Apesar de Maubray (1997) dividir as gerações em três, a terceira geração traz toda a mentalidade que se encontra na quinta geração proposta por outros autores, na qual se possui monitoramento, confiabilidade e manutenibilidade, computadores rápidos, modelos de falhas e análises dos mesmos, sistemas bastante avançados e trabalho em equipe.

Independentemente da ideia clara e eficiente das gerações, todos os dias surgem novas conceitos ou os existentes são aperfeiçoados, fazendo com que o termo manutenção se torne cada vez mais amplo, não mantendo somente o foco em fazer o equipamento funcionar, e sim tendo uma visão estratégica desta área.

### 3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção se diferenciam pelas formas como são conduzidos os procedimentos deste setor. Como afirma Xenos (2004), a melhor manutenção é aquela que mais se adequa a combinação dos variados métodos, de acordo com a natureza dos equipamentos. Monchy (1989) apresenta um diagrama, estruturado como um fluxo, no qual, com base em cada situação define a forma de manutenção a ser adotada, como mostra a Figura 3.

**Figura 3** - Fluxograma de Manutenção.



Fonte: Monchy (1989, p. 35)

### 3.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA

É a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462:1994). Kardec e Nascif (2012) afirmam que existem duas condições específicas que levam a realizar uma manutenção corretiva, que são: desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais ou de funcionamento do equipamento (mecânicas, elétricas, etc.) e a ocorrência da falha.

A manutenção corretiva, segundo Almeida (2014), trata de procedimentos executados com intuito de atender imediatamente a produção, a máquina ou o equipamento que parou.

A dita Manutenção Corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente; se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores, sendo mais conhecida nas fabricas como “apagar incêndios”. (VIANA, 2002). Essa pratica pode causar alto custo para as empresas, a quebra de um equipamento interfere no sistema produtivo, causando a parada da linha de produção, o que faz com que haja perda de tempo para reparo do maquinário, diminuindo em um número bastante significativo a sua produção e ainda acarretando o custo da manutenção corretiva.

### 3.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

É a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou de degradação do funcionamento de um item (NBR 5462:1994). Já que, acompanhando a era da industrialização, fez-se necessário evitar os diversos problemas causados pelas falhas e paradas inesperadas de máquinas (ALMEIDA, 2014).

Como alegam Kardec e Nacif (2012), nem sempre os fabricantes disponibilizam dados necessários para que seja elaborado um plano de manutenção preventiva eficaz, além das condições ambientais e operacionais que influenciam no desgaste do equipamento, a definição de periodicidade e substituição deve ser realizada em particular para cada item.

Logo, pode acarretar a ocorrência de falha antes do período previsto ou troca de algum componente precocemente. Por isso, ainda se faz necessário que haja uma manutenção por ronda ou sistemática, realizada periodicamente por ainda não conhecer a fase de degradação do equipamento e os pontos falhos da linha de produção.

A manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade da reposição; quanto mais alto forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal, operacional e ambiental (KARDEC; NASCIF, 2012).

### 3.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Viana (2002) diz que esse tipo de manutenção determina a necessidade da interferência, evita a desmontagem desnecessária do equipamento para inspeção, utilizando os componentes até o máximo de sua vida útil. O mesmo ainda afirma existir quatro técnicas preditivas, que são utilizadas nas indústrias, sendo: Ensaio por Ultrassom, Análise de vibrações mecânicas, Análise de óleos lubrificantes e Termográfica.

Com a manutenção preditiva é possível indicar as reais condições de funcionamento da máquina de acordo com os dados obtidos, a partir dos fenômenos apresentados por ela quando alguma peça ameaça se desgastar ou alguma regulagem é necessária, ou o que os mecânicos popularmente definem como “ouvir a máquina”. (ALMEIDA, 2014)

Osada (1993) conceitua a mesma como sendo “uma filosofia que evita a tendência à supermanutenção (por exemplo, a manutenção e os reparos excessivos) a que estão propensos os enfoques convencionais de manutenção preventiva. Também é uma filosofia de promoção de atividades econômicas de manutenção com base principalmente em uma pesquisa de engenharia sobre os ciclos de manutenção otimizados”.

O próprio ainda definiu oito metas para manutenção preditiva:

- Determinar o melhor período de manutenção;
- Reduzir o número de vezes que é realizada uma manutenção preventiva;
- Reduzir avarias abruptas e por consequência a manutenção não planejada;
- Aumentar a vida útil dos equipamentos e máquinas utilizadas;
- Melhorar a taxa de operação;
- Reduzir os custos com manutenção
- Melhorar a qualidade dos produtos;
- Melhorar o nível de precisão da manutenção;

Já Almeida (2000) afirma que a manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva acionada por condições. Baseando-se em estatística de vida média na planta industrial, como, por exemplo, tempo médio para falhar e para programar atividades de manutenção, a manutenção preditiva usa monitoramento direto

das condições mecânicas, rendimento do sistema, e outros indicadores para determinar o tempo médio para falha real ou perda de rendimento para cada máquina e sistema na planta industrial.

### 3.6 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Essa prática de manutenção é definida por Kardec e Nascif (2012) como uma atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, que buscava detectar falhas ocultas ou não perceptíveis. A identificação dessas falhas é primordial para garantir a confiabilidade dos equipamentos e máquinas. Segundo Araújo e Santos (2019) existem várias tarefas que podem ser executadas para garantir o funcionamento de um sistema de proteção, como um botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

Ferreira (2009) cita um exemplo de aplicação da manutenção detectiva, de maneira a aumentar a confiabilidade do processo:

“Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha, o gerador não entra. Por isso, este circuito é testado/acionado de tempos em tempos, para verificar sua funcionalidade”.

Por tanto, as indústrias com altos níveis de automação ou com processos que não suportam falhas, têm uma necessidade de fazer utilização da manutenção detectiva, já que a mesma atua em sistema de proteção.

### 3.7 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Xavier (2008, apud Ferreira, 2009, p. 24) afirma que a engenharia de manutenção permite a garantia da confiabilidade e disponibilidade das atividades. Kardec e Nascif (2012) ainda confirmam dizendo que “Praticar a Engenharia de manutenção significa uma mudança cultural”. Ou seja, na qual a ideia principal é consolidar a rotina e implantar melhorias.

Segundo Nunes e Valladares (2008, apud Ferreira, 2009, p. 24), Engenharia de Manutenção significa, dentre outras:

- Praticar a análise de falhas de modo a eliminar as causas de mau desempenho (atuar na causa básica);
- Atuar efetivamente em materiais e sobressalentes;
- Desenvolver procedimentos de trabalho (juntamente com a execução);
- Treinar o pessoal nos Padrões;
- Participar dos projetos de obras novas e melhorias (“sustaining”).

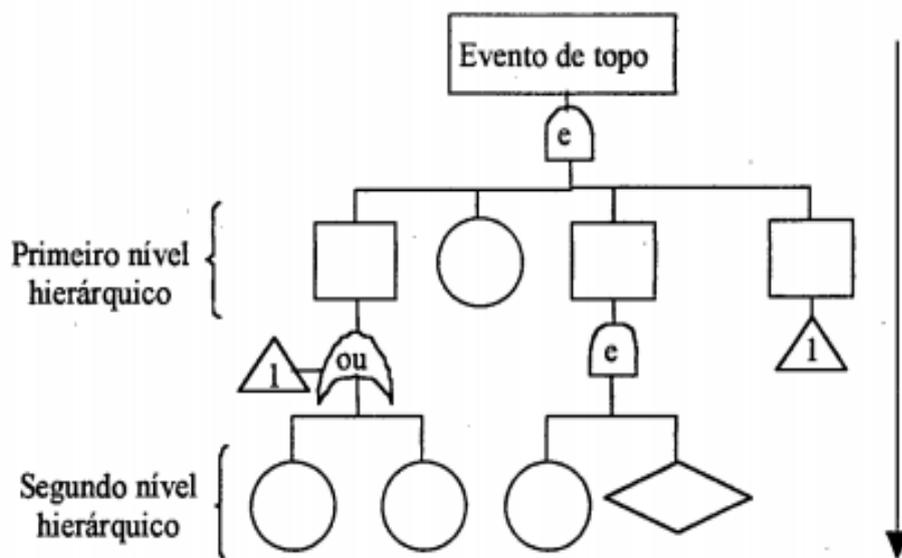
### 3.8 ÁRVORE DE FALHA

A Árvore de Falhas (FTA) apresenta suas particularidades diferenciando-a dos outros métodos utilizados para analisar eventuais de falhas, pois a mesma mostra o encadeamento de diferentes eventos associado a uma determinada falha. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) esse método começou a ser utilizada na verificação de projetos de aeronaves, e logo se estendeu à análise de processos, inclusive administrativos.

Guimarães (1997) afirma que a análise de um sistema é dividida em dois tipos, intuitivos e dedutivo, e a FTA é utilizada para análises dedutivas. Essa é um diagrama lógico que representa as combinações de falhas entre os componentes que acarretam um tipo determinado de falha do sistema global. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009)

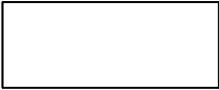
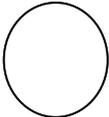
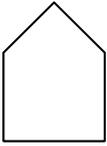
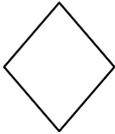
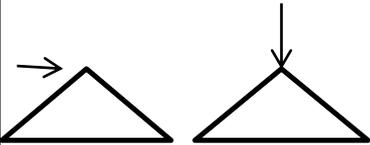
O método inicia-se com o uma falha particular do sistema a ser analisada, chamada por alguns autores “evento todo” ou “evento resultante”. Como afirma Oliveira et al. (2009) sua forma gráfica é representada através de símbolos, sendo os mais utilizados o retângulo e o círculo, aparecendo ainda condições, que são chamadas de operadores lógicos “ou” e “e” que servem para conectar eventos.

Para construção da Árvore de Falhas é feita do topo para baixa, seguindo um sistema *top-down*, como mostra a Figura 4. Os símbolos utilizados para representação são descritos no Quadro 2.

**Figura 4** - Estrutura de uma árvore de falha.

Fonte: Sakurada 2001.

**Quadro 2** - Principais eventos utilizados em uma árvore de falha.

	Retângulo	Evento que resulta da combinação de vários eventos básicos. Pode ser mais desenvolvido
	Círculo	Evento/ Falha básica, que não requer maiores desenvolvimentos.
	Casa	Um evento básico esperado de ocorrer em condições normais de operação
	Diamante	Como o retângulo, mas não há interesse ou não é possível desenvolvê-lo mais.
	Triângulo	Símbolo de transferência

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2001).

Sakurada (2001) assevera que a relação casual expressa pela porta lógica ou operadores lógicos “E” e “OU” é determinística porque a ocorrência dos eventos de saída é controlada pelos eventos de entrada. Já Fogliatto e Ribeiro (2001) afirmam que o operador lógico “E” representa uma condição mais segura e o “OU” uma situação menos segura. Onde segue a ideia de um sistema em paralelo quando utilizado o “E”, ou seja, inúmeras condições acontecem juntas para que ocorra a falha, já o operador “OU” segue a lógica de um sistema em série, cuja falha ocorra é porque um dos componentes falharam, como mostra o Quadro 3 de operadores lógicos.

**Quadro 3** - Operadores lógicos utilizados em árvore de falha.

	E	<i>Output (o) só ocorre se todos os inputs ocorrem</i>
	OU	<i>Output (o) só ocorre quando ao menos um dos inputs ocorreram</i>

Fonte: Adaptado Fogliatto e Ribeiro (2001).

A utilização da FTA junto com o FMEA é complementar, onde a FTA traz informações para o FMEA facilitando a elaboração do mesmo. Pode-se dizer que o FTA é uma ferramenta de melhoria para o FMEA, pois apresenta maior certeza no seu modo de falha, como afirma Scapin (1999).

### 3.9 ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise de Modos de Falhas e Efeitos) é uma ferramenta da gestão da manutenção que aumenta a confiabilidade de um projeto ou processo. Segundo Kardec e Nascif (2012), o FMEA se trata de um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais, fornecendo recomendações que devem ser tomadas como ações preventivas.

Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que essa técnica de confiabilidade possui objetivos como: reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir, identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e, documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros. Ainda comentam que essa técnica revela os pontos fracos de um sistema, sendo possível desenvolver atividades de melhoria contínua.

Além de detectar falhas, Lafraia (2001) expõe outras aplicações para o FMEA, sendo elas:

- Meio para identificar os testes necessários e os meios requeridos para certificar um projeto;
- Meio documentado de revisão de projeto;
- Sistema lógico para considerações, avaliações ou certificação de mudanças em projetos, processos ou materiais.

De acordo com Toledo e Amaral (2008, *apud* Ferreira 2009, p. 20) as análises FMEA's são classificadas em dois tipos:

- FMEA de produto: onde são consideradas as falhas que possivelmente irão ocorrer com o produto dentro das especificações que foram traçadas no projeto. A finalidade é evitar falhas no produto ou nos processos decorrentes do projeto. É designada também como FMEA de projeto.
- FMEA de processo: leva em consideração as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.

Um fator bastante importante para o sucesso do programa FMEA é a localização temporal dos estudos. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), quando possível, a realização do estudo deve ser feita antes do evento, e não após a ocorrência da falha, esse estudo agrega muito mais valor quando é feito antes que o modo potencial de falha seja inadvertidamente incorporado ao processo ou projeto.

Segundo Galvão e Amarante (2018) o FMEA também é utilizado em produtos/máquinas que já estão em funcionamento. Neste caso, busca-se achar a causa das falhas do sistema para propor soluções de melhoria. Assim, diferentemente do

FMEA realizado na fase de projetos, não há necessidade de prever possíveis falhas, pois neste caso analisa-se as falhas que já ocorrem no sistema.

Alguns dos principais conceitos necessários para a análise são: (KARDEC; NASCIF 2012)

- Causa – é o meio pelo qual um elemento particular do projeto ou processo resulta em um Modo de Falha.
- Efeito – é uma consequência adversa para o consumidor ou usuário. Consumidor ou usuário pode ser a próxima operação ou o próprio usuário.
- Modo de Falha – são as categorias de falha que são normalmente descritas.
- Frequência – é a probabilidade de ocorrer a falha.
- Gravidade da Falha – indica como a falha afeta o usuário ou cliente.
- Detectabilidade – indica o grau de facilidade de detecção da falha.

Miguel (2001) propõem uma sequência pra que possa ser aplicada a FMEA:

- a) A definição do responsável para o preenchimento da Tabela é primordial, onde será colocada as informações através dos conhecimentos e experiência do mesmo;
- b) Definir itens, do produto ou processo. Deve ser levado em consideração quais os componentes do produto/processo são mais críticos em relação ao seu funcionamento. Caso já esteja desempenhando sua função, levantar os itens que apresentam mais falhas;
- c) Definir dados. Coletar a maior quantidade de informação possível sobre o item analisado;
- d) Identificar modos de falhas e seus efeitos, afim de avaliar a sua gravidade. Os modos de falhas diminuem a função de um produto dentro de suas metas, já os efeitos da falha são as maneiras de como o modo de falha afeta no desempenho;
- e) Identificar as causas, pois elas são os eventos que geram o aparecimento da falha;
- f) Identificar modos de detecção, analisar como as possíveis falhas podem ser identificadas antes que cheguem a acontecer;

- g) Determinar o índice das falhas, onde são atribuídos valores ao grau de Severidade, a Ocorrência e a Detecção, para assim definir o NPR, obtido pelo produto dos índices anteriores;
- h) Após calculado é levantado o risco de cada falha e quais ações preventivas devem ser recomendadas;
- i) Depois das prevenções implantadas, as falhas devem ser reavaliadas.

O Apêndice A apresenta o exemplo de um formulário para aplicação do FMEA.

### 3.10 OCORRÊNCIA

É uma estimativa das probabilidades combinadas de ocorrência de uma causa de falha, e dela resultar o tipo de falha de produto/processo. (LAFRAIA, 2001). Miguel (2001) afirma que, se a FMEA do produto já for existente, poderão ser utilizado relatórios de falhas anteriores, dados oferecidos pelos fornecedores, e outros obtidos no histórico de manutenção. O Quadro 4 expõe os critérios para cada grau de ocorrência

**Quadro 4** - Escala de Avaliação de Ocorrência.

<b>Descrição</b>	<b>Critério</b>	<b>Grau</b>
Extremamente remoto, altamente improvável	Probabilidade remota	1
Remoto, chance muito baixa	Probabilidade baixa	2
Pequena chance de ocorrência		3
Pequeno número de ocorrência	Probabilidade moderada	4
Ocorrência ocasional de falhas		5
Ocorrência moderada		6
Ocorrência frequente	Probabilidade Alta	7
Ocorrência elevada		8
Ocorrência muito elevada	Probabilidade muito alta	9
Ocorrência máxima		10

**Fonte:** Adaptado de Yamada (2014).

### 3.11 SEVERIDADE

Severidade ou gravidade da falha é, segundo Lafraia (2001), o índice que reflete a gravidade do efeito da falha sobre o cliente e a atribuição do índice deve ser feita olhando o quanto essa falha pode incomodar o mesmo. A severidade da ocorrência pode ser classificada conforme o quadro abaixo:

**Quadro 5** - Escala de Avaliação de Severidade.

<b>Descrição</b>	<b>Critério</b>	<b>Grau</b>
Efeito não percebido pelo cliente	Sem gravidade	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente, mas não faz o que o mesmo procure o serviço.	Baixa gravidade	2
		3
Efeito insignificante, mas faz com que o cliente procure o serviço.	Gravidade Moderada	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente, mas não faz com que ele procure o serviço.		5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, mas faz com que ele procure o serviço.		6
Efeito alto, que prejudica o desempenho do projeto/produto levando a uma falha grave que pode impedir a execução do mesmo.	Gravidade alta	7
Efeito significativo resultante em falha grave, entretendo não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo.		8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, que interrompe as funções do projeto/produto, gera custo e impõem risco de segurança.	Gravidade muito alta	9
Perigoso, ameaça à vida do cliente e pode causar incapacidade permanente.		10

Fonte: Adaptada de Yamada (2014).

### 3.12 DETECÇÃO

Refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção. Também é usada uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado). (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009)

O índice de detecção deve ser atribuído olhando-se para o conjunto “modo de falha – efeito” e para os controles atuais exercidos. (LAFRAIA, 2001) À medida que o grau de detecção aumenta as chances de identificar o problema diminui.

**Quadro 6** - Escala de Avaliação de Detecção.

<b>Descrição</b>	<b>Critério</b>	<b>Grau</b>
A falha será certamente detectada durante o processo de projeto/fabricação/montagem/operação	Muito Alta	1
		2
Boa chance de determinar a falha	Alta	3
		4
50% de chance de determinar a falha	Moderada	5
		6
Não é provável que a falha seja detectável	Baixa	7
		8
A falha é muito improvavelmente detectável	Muito baixa	9
A falha não será detectável com certeza	Absolutamente indetectável	10

Fonte: Adaptada de Lafraia (2001).

### 3.12.1 Número de prioridade ao risco

O Número de Prioridade de Risco ou Índice de Risco (NPR), segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria. No cálculo leva-se em conta a severidade, a ocorrência e a detecção, o produto dos índices resultará no NPR. Como mostra a equação abaixo:

$$NPR = S \times O \times D$$

O índice de risco é uma maneira mais precisa de hierarquizar as falhas. Uma falha pode ocorrer frequentemente, mas ter pequena importância e ser facilmente detectável, nesse caso não apresentará grandes problemas (baixo risco), afirma Lafraia (2001).

De acordo com o grau de criticidade da falha, representada pelo NPR, são propostas algumas ações na tentativa de reduzir as falhas e aumentar assim a confiabilidade do equipamento. As ações propostas podem ser desde ações simples, como a utilização de componentes originais até o reprojeto do componente. (TOVAR, 2017)

### 3.13 RELAÇÃO ENTRE A FTA E O FMEA

Costa (2013) afirma que a FTA é bastante útil, ainda mais quando existe um evento topo muito bem definido. Outro aspecto bastante relevante da técnica é a consideração da combinação das falhas dos componentes, aspecto não considerado no FMEA. Diferente da FTA, a FMEA é uma ferramenta de análise *botton-up* que se inicia do modo de falha do sistema e de desdobra os seus efeitos.

Mas, apesar de toda diferença entre as ferramentas, Fogliatto e Ribeiro (2001) afirma que o FMEA e a FTA também tem muitos pontos em comum e podem ser usados em conjunto. Ambos buscam fazer uma previsão de falhas que podem surgir em produtos ou processos, de forma que o uso conjunto pode facilitar a análise. Os autores ainda citam um exemplo que faz viável sua afirmação:

“A análise de árvore de falha estabelece o encadeamento das falhas de um sistema. Uma vez entendido esse encadeamento, fica mais fácil preencher a tabela de FMEA: Causa -> Modo -> Efeito. Sendo também possível fazer o inverso, usar a tabela FMEA para levantar os efeitos indesejados”

O Quadro 7, expõe características das ferramentas utilizadas.

**Quadro 7** - Comparativo FTA versus FMEA.

FTA	FMEA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaciona-se de cima para baixo. A falha do sistema é denominada “evento topo” e é composta a partir do nível superior para o inferior, como galhos de uma árvore.</li> <li>• Parte do efeito e chega à causa raiz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examina a possibilidade de falha em nível mais elementar e quais as suas consequências nos nível hierárquicos do sistema.</li> <li>• O ponto problemático é focado a partir da causa, raciocinando na direção do efeito.</li> </ul>

**Fonte:** Autor 2019.

Neste sentido, estas ferramentas serão utilizadas de forma conjunta para que possam ser identificadas as causas raízes das possíveis falhas que ocorrem no maquinário em estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo a ferramenta FTA foi utilizada como apoio para a determinação das causas raízes a serem consideradas na Análise de Modos de Falhas e Efeitos nos principais componentes presentes em uma betoneira. Em seguida, foi aplicado o FMEA a fim de solucionar as falhas ocorrentes, de acordo com a frequência em que acontecem, onde essa frequência é determinada através do Número de Prioridade de Risco.

Para a aplicação do método o maquinário foi considerado como sistema, enquanto as partes que o compõem em subsistema.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

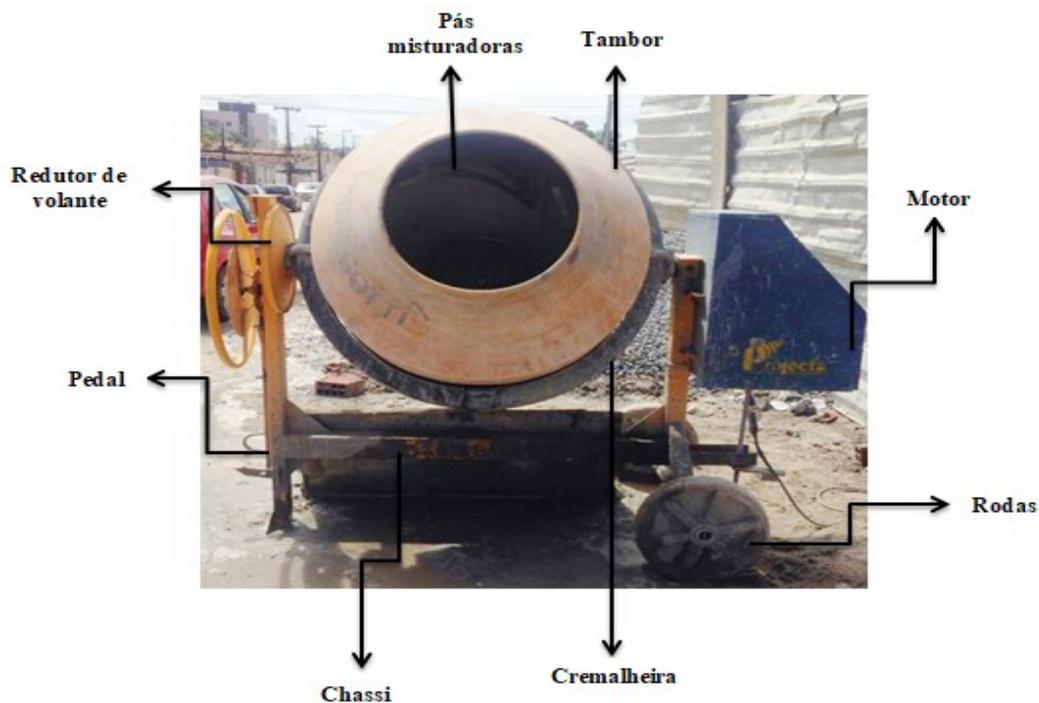
A máquina objeto de estudo consiste em uma betoneira, utilizada na construção civil, com capacidade nominal de 400 litros. A mesma foi escolhida para análise por ser um maquinário que realiza trabalhos pesados e durante um longo período de tempo, muitas vezes sem um plano de manutenção a ser seguido, o que pode prejudicar o andamento de projetos em casos de necessidade de manutenção não programada.

A betoneira é um instrumento projetado para trabalhos intensos, misturador e homogeneizador de materiais como concreto, reboque e argamassa, com vários modelos de acordo com sua função e mobilidade, tais como:

- A modelo móvel na forma de caminhão betoneira, que possui um sistema movido por uma correia de aço acoplada a um motor;
- A modelo fixa que possui baixa mobilidade;
- A modelo automática movida por um motor com esteiras rolantes;
- A modelo semifixa, que pode ser facilmente removida, pois possui rodas.

O aparato em análise é do modelo semifixa. A Figura 5 apresenta, de forma simplificada, a máquina avaliada, expondo seus principais componentes.

**Figura 5 - Betoneira.**



Fonte: Autor (2019).

Os componentes da betoneira são descritos detalhadamente, e, em seguida, expostos na Figura 6:

- Cremalheira segmentada – dividida em seis partes iguais intercambiáveis com a cremalheira inteira, contém 21 dentes cada peça, de forma que o modelo completo conta com 126 dentes. Possui facilidade de troca e ajuste com o pinhão e trabalha a seco, sem utilização de óleos ou lubrificantes. Responsável pelo movimento circular do tambor;
- Redutor do volante - Traz mais leveza e facilidade no basculamento do tambor, possui sistema fechado, garantindo a durabilidade e evitando acidentes;
- Pedal – Composto por uma mola de tração que quando utilizado pelo operador destrava o volante, permitindo o movimento do tambor;

Figura 6 - Subsistemas da Betoneira.



Fonte: Autor (2019)

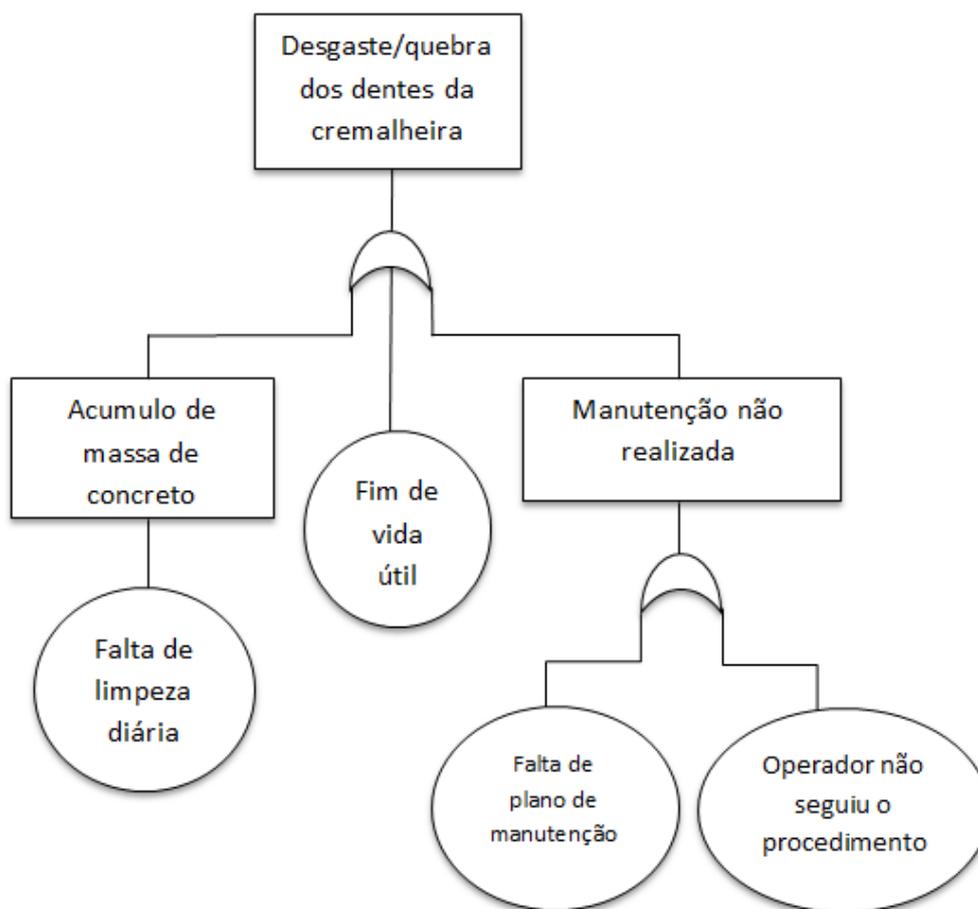
- d) Chassis – estrutura tubular quadrada com espessura de 2 mm, reforçada entre as junções proporcionando maior rigidez e estabilidade ao equipamento. Por ser um chassi único proporciona uma maior facilidade para descarga do concreto;
- e) Basculante – Composto por tubos retangulares e quadrados com espessura de 3 mm, dá sustentação ao tambor e seu movimento é feito através do volante para despejo do concreto;
- f) Tambor – Onde é despejado o material de uso. Tem o seu desenho e o ângulo das três pás misturadoras proporcionais para que haja maior eficácia, permitindo uma mistura mais homogênea do material.

## 4.2 ANÁLISE DAS FALHAS DOS SUBSISTEMAS

Nesta etapa foram elaboradas árvores de falhas para os subsistemas, a fim de identificar as falhas que podem ocorrer na máquina em estudo, assim como definir as causas raízes. As figuras a seguir expõem as FTAs para as principais falhas relacionadas aos subsistemas.

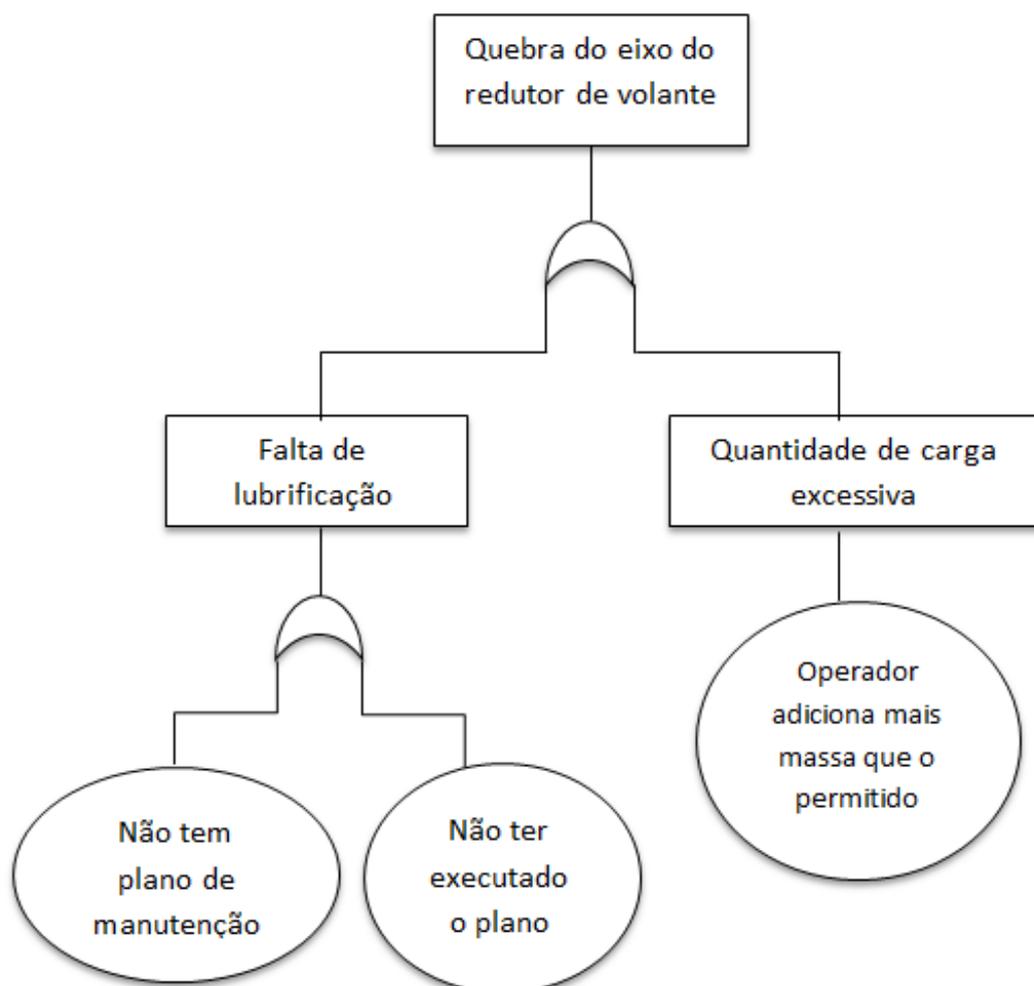
Na Figura 7, pode-se observar que as prováveis causas que impossibilitam o perfeito funcionamento da cremalheira segmentada são: falta de limpeza diária, fim da vida útil, falta de plano de manutenção ou o operador não seguiu o procedimento de manutenção. Por ser um maquinário que realiza trabalhos pesados e possui peças que necessitam de perfeito encaixe, tais como o pinhão e a cremalheira, após o desgaste pode acontecer em um determinado momento um “tranco”, ou seja, o encontro dos dentes do pinhão com a cremalheira, ocorrendo uma quebra instantânea da mesma. Logo, se faz necessário a elaboração, realização e comprometimento do operador com o plano de manutenção.

**Figura 7** - Árvore de Falhas para cremalheira.



**Fonte:** Autor (2019).

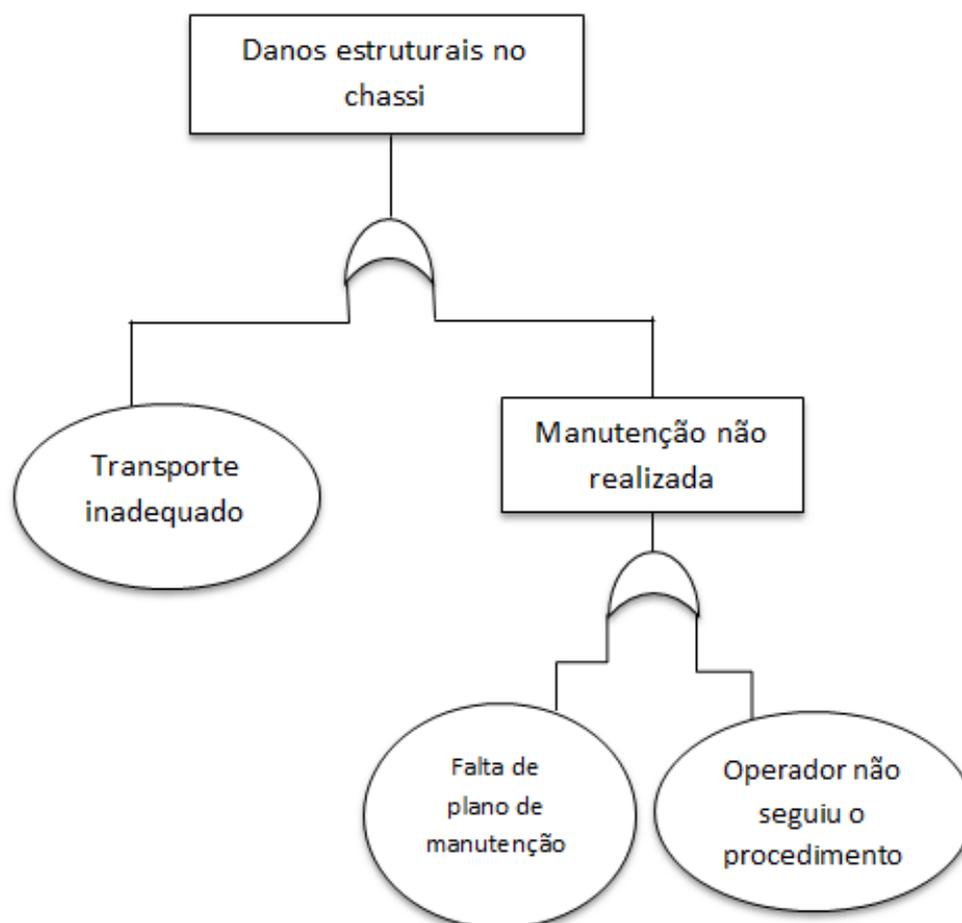
A betoneira possui pontos que necessitam de lubrificação, assim como outros onde não pode haver nenhuma proximidade com materiais pegajosos, como lubrificantes e óleos, por apresentar contato direto com os insumos utilizados na fabricação do concreto. A Figura 8 apresenta a falha no eixo do redutor do volante, onde é exigida lubrificação para o funcionamento adequado e para evitar desgaste. As causas raízes desta falha são: não ter um plano de manutenção ou esse plano não ser executado e o operador adicionar mais massa que o permitido, ultrapassando a capacidade nominal da máquina.

**Figura 8** - Árvore de Falhas para o redutor de volante.

Fonte: Autor (2019).

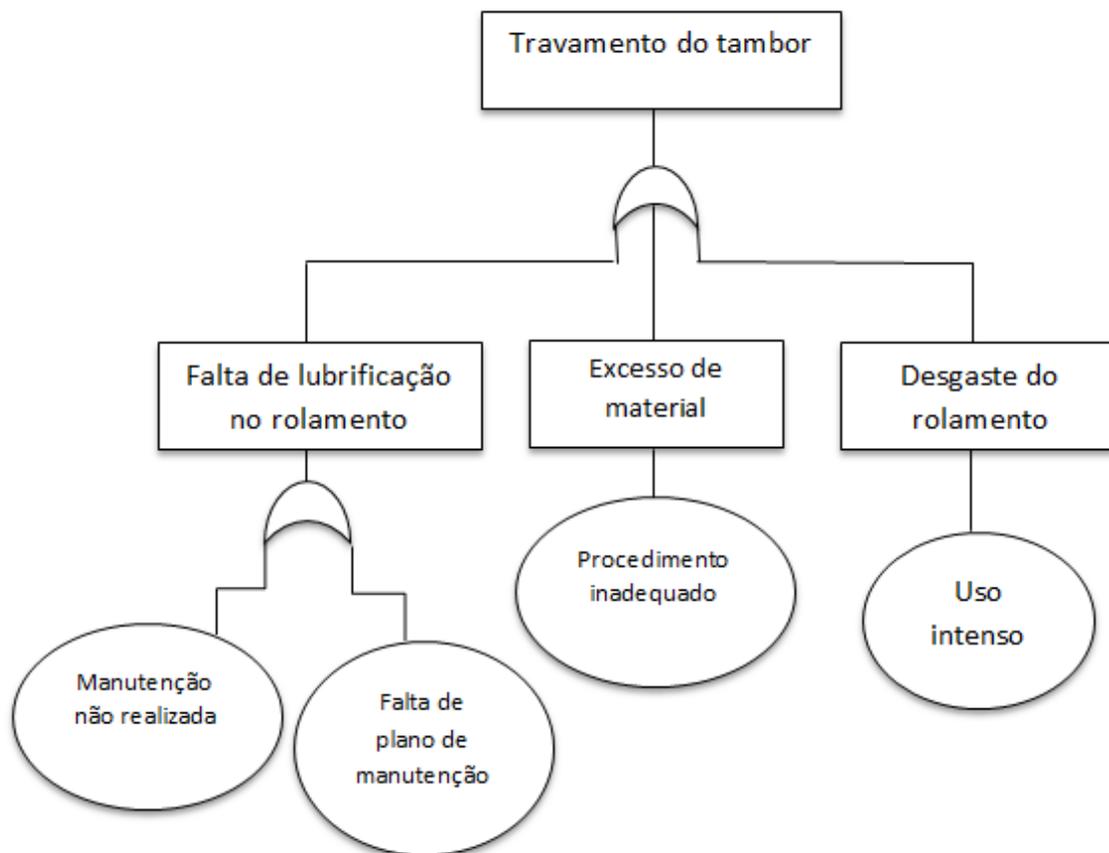
O chassi, que dá estrutura ao aparato em análise, apresenta como principais causas de falhas: transporte inadequado do maquinário, má conservação, a falta de plano de manutenção e operador não seguiu o procedimento de manutenção. Além disso, pode ocorrer corrosão em sua estrutura, acarretada por agentes naturais. A corrosão é de fato ocasionada pelo contato direto da água e oxigênio com a estrutura do maquinário, que junto as causas apresentadas levam à falha principal. Por ser a parte que dá sustentação a toda a máquina, deve ser realizada a manutenção preventiva, junto aos cuidados necessários do operador durante o transporte e limpeza diária. Como mostra a Figura 9 abaixo.

**Figura 9** - Árvore de falha para o chassi.



**Fonte:** Autor (2019).

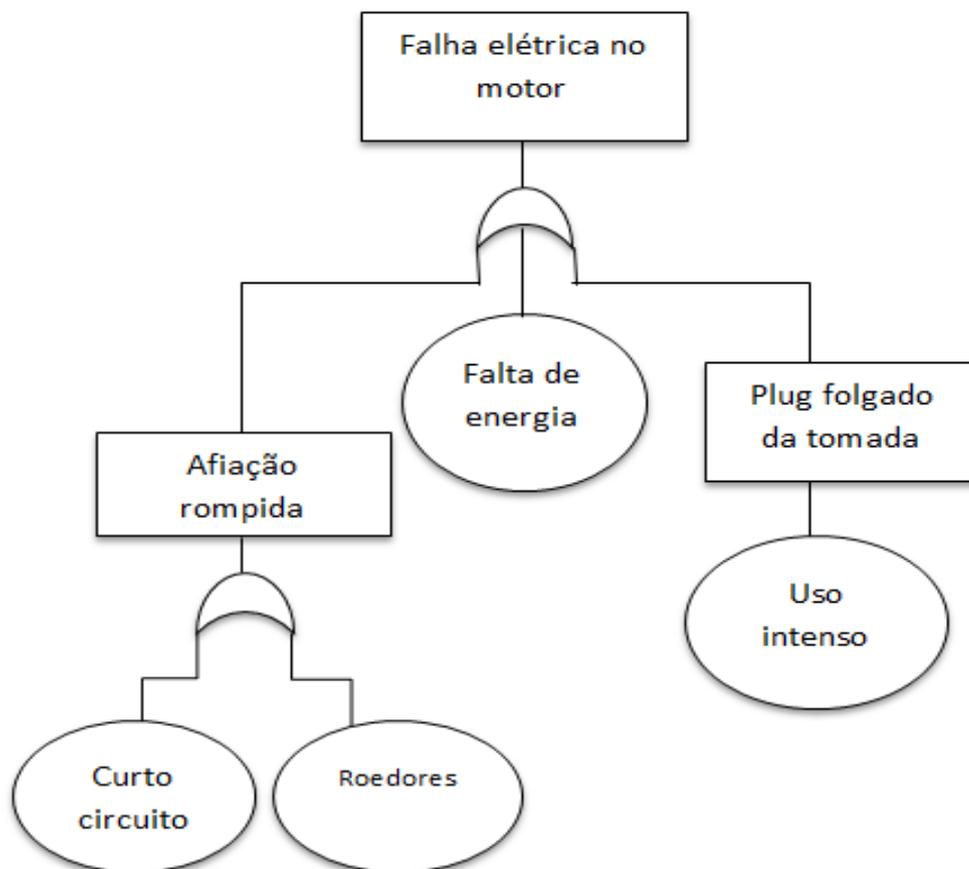
A Figura 10 expõe possíveis causas para o travamento do tambor, como: falta de plano de manutenção ou manutenção não realizada e o uso intenso no maquinário. O tambor é unido ao basculante por meio de um eixo e um rolamento. Os mesmos apresentam necessidades de lubrificação para que o tambor possa girar facilmente. O excesso de material durante a preparação do concreto também pode levar ao travamento do tambor.

**Figura 10** - Árvore de falha para o tambor.

Fonte: Autor (2019).

A falta de energia elétrica acarreta impossibilidade no uso do motor, além de roedores que podem romper com a afiação, curto circuito e uso intenso, como apresenta a Figura 11. Visto que o motor é a parte que possibilita o funcionamento da betoneira, assim como suas demais partes, é necessário que haja um cuidado especial durante a utilização da máquina para que fios e motor não entrem em contato com os insumos, evitando que a falha ocorra.

**Figura 11** - Árvore de falha para o motor.



Fonte: Autor (2019).

Com as árvores de falhas que foram mostradas, percebe-se que uma única falha pode abranger várias causas raízes, através de etapas que antecedem a mesma. Logo, ao determinar estas causas e implantar formas de evita-las, o sistema se apresentará com um maior nível de confiabilidade, visto que as providências relacionadas a manutenção serão tomadas com uma certa rapidez e diretamente na causa do evento topo.

#### 4.3 ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS

A elaboração do FMEA ocorreu após a identificação das causas raízes que foram determinadas através das FTAs para possíveis falhas nos subsistemas do aparato em análise. Junto as etapas dessa ferramenta, a avaliação das falhas encontradas equivale aos valores atribuídos durante a construção do formulário, de acordo com o Quadro 4, 5 e 6.

Como mostra o Quadro 8, a partir do formulário FMEA, foi identificado um modo de falha para cada subsistema da betoneira e suas causas básicas. Logo, foi possível propor um plano de manutenção.

Nesta perspectiva, os modos de falhas apresentaram os seguintes NPRs, para cada causa básica encontrada:

1. Quebra da cremalheira:
  - (i) Falta de limpeza diária, com NPR igual a 135;
  - (ii) Fim de vida útil, com NPR igual a 56;
  - (iii) Falta de manutenção, com NPR igual a 175;
  - (iv) Operador não seguiu o procedimento de manutenção, com NPR igual a 105.
2. Quebra do redutor do volante:
  - (i) Falta de plano de manutenção ou não ter sido executado, com NPR igual a 175;
  - (ii) Operador adiciona mais massa que o permitido, com NPR igual a 180.
3. Danos estruturais no chassi:
  - (i) Transporte inadequado, com NPR igual a 126;
  - (ii) Falta de plano de manutenção, com NPR igual a 175;
  - (iii) Operador não seguiu o procedimento de manutenção, com NPR igual a 105.
4. Falha mecânica no tambor:
  - (i) Falta de plano de manutenção ou o mesmo não ter sido executado no rolamento, com NPR igual a 175;
  - (ii) Uso intenso, com NPR igual a 120;
  - (iii) Procedimento Inadequado, com NPR igual a 180.
5. Falha elétrica no motor:
  - (i) Curto circuito, com NPR igual a 128;
  - (ii) Uso intenso, com NPR igual a 24;
  - (iii) Falta de energia, com NPR igual a 24;
  - (iv) Roedores, com NPR igual a 42.

**Quadro 8** - Formulário FMEA para Betoneira.

**ANÁLISE DE EFEITO E MODO DE FALHA**  
**FMEA DE PROJETO**  
**ORGANIZADO POR: RAVELANE ALEXANDRE ROCHA**  
**RESPONSÁVEL PELO PROJETO: MARIA CREUZA BORGES DE ARAUJO**

ITENS	FUNÇÃO	Modo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha	S	O	D	N P R	Ações Recomendadas	Responsável
<b>Cremalheira</b>	Converter movimento retilíneo em movimento rotacional	Quebra	Impossibilidade de realizar o movimento rotacional do tambor	Falta de limpeza diária	9	5	3	135	Sempre realizar limpeza diária posterior ao uso do maquinário, após manter a boca do tambor virada para baixo	Operador ou profissional de manutenção
				Fim de vida útil	7	4	2	56	Substituição da peça após verificação de desgaste excessivo	
				Falta de manutenção	7	5	5	175	Seguir minuciosamente o plano de manutenção	
				Operador não seguiu os procedimento de manutenção	7	5	3	105	Seguir o procedimento operacional padrão de manutenção	

Fonte: Autor (2019).

**Quadro 9** - Formulário FMEA para Betoneira (continuação).

<b>Redutor de volante</b>	Transferir o giro do volante para movimentar o tambor	Quebra	Travamento da operação ocasionando na quebra	Falta de plano de manutenção ou não ter sido executado	7	5	5	175	Criar e seguir o plano de manutenção	Operador ou profissional de manutenção
				Operador adiciona mais massa que o permitido	9	5	4	180	Utilizar a quantidade de material adequado para preparação do concreto, segundo o Procedimento Operacional Padrão	
<b>Chassis</b>	Estrutura da betoneira	Danos estruturais	Trincas, empenamento e corrosão na estrutura	Transporte inadequado	6	3	7	126	Transportar corretamente o equipamento, verificar amarrações e estabilidade, esta deve se manter estável, não permitindo o contato do mesmo com outros materiais durante o transporte.	Operador ou profissional de manutenção
				Falta de plano de manutenção	7	5	5	175	Criar plano de manutenção	

Fonte: Autor (2019).

**Quadro 10** - Formulário FMEA para Betoneira (continuação).

<b>Chassis</b>	Estrutura da betoneira	Danos estruturais	Trincas, empenamento e corrosão na estrutura	Operador não seguiu os procedimento de manutenção	7	5	3	105	Seguir o procedimento de manutenção e Verificando fixação da máquina, que deve permanecer imóvel e estável em sua operação	Operador ou profissional de manutenção
<b>Tambor</b>	Receber e preparar mistura do material	Falha mecânica	Impossibilidade de preparo do concreto	Falta ou não realização do plano de manutenção no rolamento	7	5	5	175	Criar e seguir o plano de manutenção	Operador ou profissional de manutenção
				Procedimento Inadequado	9	5	4	180	Utilizar a quantidade de material adequado para preparação do concreto, segundo o Procedimento Operacional Padrão	
				Uso intenso do maquinário	6	5	4	120	Trabalhar de acordo com a capacidade de funcionamento do maquinário	

Fonte: Autor (2019).

**Quadro 11** - Formulário FMEA para Betoneira (continuação).

<b>Motor</b>	Ativar o funcionamento do equipamento	Falha elétrica	Equipamento não funciona	Curto circuito	9	2	8	128	Verificar a fiação da máquina antes de liga-la, se os fios estão desencapados e se existe risco de molhar as partes elétricas.	Operador ou profissional de manutenção
				Uso intenso	6	2	2	24	Conferir em que estado se encontra a fiação para quando necessário ser realizada a manutenção	
				Queda de energia elétrica	6	2	2	24	Fazer uso do kit elétrico para betoneiras	
				Roedores	7	2	3	42	Armazenar maquinário em local adequado, evitando roedores nos fios.	

Fonte: Autor (2019).

#### 4.4 PROPOSTA E PLANO DE MANUTENÇÃO

Com o intuito de assegurar maior desempenho e reduzir o número de falhas em betoneiras, foi realizada uma proposta de plano de manutenção após a aplicação da ferramenta FMEA, de acordo com as etapas expostas na Figura 12.

**Figura 12** - Etapas do Plano de Manutenção.



**Fonte:** Autor 2019.

Inicialmente, para que o plano de manutenção seja bem executado, os responsáveis por desempenhar essa atividade devem entender as etapas de verificação e inspeção no equipamento, organizando os itens de acordo com o modo de falha e seus NPRs. Assim, foi definido para as betoneiras a manutenção preventiva, pois essa possibilita elevar e garantir os índices de disponibilidade e confiabilidade do equipamento e ainda reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do item, já que o mesmo é submetido a uma longa jornada de trabalho pesado. O Quadro 12, apresenta a relação entre os itens e seus modos de falhas.

**Quadro 12** - Relação dos itens e seus Modos de Falhas.

<b>ITEM</b>	<b>MODO DE FALHA</b>
<b>Cremalheira</b>	Quebra
<b>Redutor de Volante</b>	Quebra
<b>Tambor</b>	Mecânica
<b>Chassi</b>	Estrutural
<b>Motor</b>	Elétrica

**Fonte:** Autores (2019).

A determinação do período de tempo para manutenção preventiva das betoneiras é um procedimento de grande importância para assegurar a eficácia da estratégia utilizada, uma vez que grandes períodos sem manutenção levarão a degradação de suas partes. A definição desse período foi baseada de acordo com o tempo de trabalho da betoneira, que por sua vez deve ser submetida a manutenção a cada 40 horas trabalhadas, para repasse de lubrificação em pontos específicos.

Sendo assim, em uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, o plano de manutenção indica que essa inspeção deve ser feita a cada 7 dias, além de levar em consideração para elaboração desse plano a severidade dos itens, de modo que a atividade de manutenção seja realizada de acordo com os subsistemas que apresentam intervalos de manutenção iguais como mostra do Quadro 13.

Com o intuito de minimizar ainda mais os modos de falhas e priorizando o NPR obtido atrás do FMEA, para os modos de falha no redutor do volante e no tambor, foi elaborado um POP - Procedimento Operacional Padrão, para a fabricação de concreto, exposto no Apêndice B dessa forma as falhas potenciais causadas pelo excesso de material utilizado, ultrapassando a capacidade nominal da máquina, serão solucionadas. Vale ressaltar a importância do domínio do operador em relação as técnicas de fabricação, sabendo empregar o equipamento com eficiência, o resultado se apresenta em forma de melhorias significativas no preparo da mistura.

**Quadro 13** - Plano de Período de Manutenção.

	<b>ATIVIDADE</b>	<b>AÇÃO/RECOMENDAÇÃO</b>	<b>PERÍODO</b>
<b>Máquina</b>	Limpeza	Ao final da jornada de trabalho, retirar todo material que tiver dentro da betoneira e lavá-la totalmente com água deixando o tambor voltado para baixo ao final da lavagem. Não fazer a limpeza deste equipamento com o motor quente, esperar esfriar e nunca jogar água diretamente no motor. Antes de usar a betoneira, pulverizar com óleo diesel todo o equipamento, para facilitar a limpeza diária e conserva-la.	Diariamente
<b>Motor</b>	Verificação	Verificar condições da correia, se apresentar desgaste realizar a troca. Verificação do motor elétrico, caixa de ligações e conexões, testar botão de emergência, fios e plugues de tomadas	Diariamente
<b>Pontos de lubrificação</b>	Lubrificação	Lubrificar juntas de desgastes como: pinhão, cremalheira, rolamentos e mancais, limpando excessos de óleos e graxas.	7 dias

**Fonte:** Autor (2019).

**Quadro 14** - Plano de Período de Manutenção (continuação).

<b>Chassis, Basculante e Tambor</b>	Inspeção	Inspeccionar deformações na estrutura, trincas ou corrosão, realizar a lixagem, retirando ferrugem e cimento acumulado. Passar um convertedor de ferrugem em toda estrutura e reforçar juntas com solda, se necessário.	7 dias
<b>Rolamento</b>	Substituição	Efetuar a troca dos rolamentos. A cada manutenção se faz necessário a troca da porca de fixação autotravante, localizada no eixo central, para garantir máximo aperto e segurança	2 anos
<b>Cremalheira</b>	Substituição	Substituir a cremalheira segmentada após verificação de desgaste excessivo	4 anos
<b>Pinhão</b>	Substituição	Realizar substituição do pinhão (o desgaste causa interferência do giro do tambor)	4 anos
<b>Tambor</b>	Substituição	Realizar a substituição do tambor. Após a manutenção deste item é necessário passar cola trava rosca no parafuso que segura o tambor, evitará que oxide os filetes de rosca e dará mais segurança a montagem.	4 anos

**Fonte:** Autor (2019).

Pode-se observar que os itens expostos no plano de manutenção apresentam funcionalidades diferentes, porém o procedimento para execução da manutenção é o mesmo, referindo-se a lubrificações e trocas de peças. Por esse motivo, é de grande importância a contratação de um profissional da área, com intuito de fazer verificações e realizar a manutenção de forma correta. Diante disso, o objetivo é detalhar os procedimentos de manutenção como mostra o Quadro 15.

**Quadro 15** - Procedimento de Manutenção.

<b>ITEM: BETONEIRA</b>	
<b>ROTINA</b>	<b>PROCEDIMENTO</b>
Contratação de profissional/técnico	Acompanhamento do serviço
Avaliação/Inspeção visual	Utilização de ferramentas adequadas
Limpeza	Inspeccionar
Correções	Em caso de danificações, realizar manutenção corretiva.

**Fonte:** Autor (2019).

Além da manutenção preventiva, deve ser realizada uma inspeção de garantia diária antes de iniciar o uso do equipamento, como: confirmar funcionamento do botão de emergência e assegurar que a voltagem da rede é a mesma da máquina, essa atividade foi detalhada no Apêndice C, como um Procedimento Operacional Padrão a ser seguido diariamente, além de posicionar equipamento em local firme e plano para evitar falhas inesperadas, prevalecendo assim a eficiência das betoneiras em toda sua vida útil.

Dessa forma, foi proposto um checklist diário como mostra o Apêndice D, para ser preenchido antes de dar início a utilização da betoneira e um formulário de controle de manutenção exposto pelo Quadro 16.



Assim, o plano de manutenção preventiva irá ajudar na diminuição da possibilidade de falhas, custo excessivo com trocas de peças, tempo de paradas para manutenção corretiva, deterioração dos itens da betoneira, entre outros.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Gestão da Manutenção é fundamental para a produtividade das organizações, devido a questões como aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, assim como da diminuição dos custos de operação. Neste sentido, a presente pesquisa faz uma análise sistemática, utilizando as ferramentas FTA e FMEA, com o objetivo de detectar falhas em betoneiras.

Os resultados apresentados comprovam que a aplicação da ferramenta FTA junto ao formulário FMEA é bastante pertinente, pois foi possível constatar os modos de falhas, seus efeitos e suas causas básicas, que interferem na confiabilidade do maquinário e no seu tempo de vida útil.

Inicialmente, utilizou-se a metodologia da Árvore de Falha por ser uma ferramenta que proporciona um resultado mais distintivo, promovendo assim causas raízes para cada subsistema da betoneira. Em seguida, tendo como base as causas encontradas, foi utilizado a ferramenta FMEA, que possibilitou obter os cálculos que quantificam quais os riscos mais críticos que o maquinário apresenta, conseguindo assim oferecer a devida atenção. Sendo possível ainda, propor ações de melhorias.

A elaboração do plano de manutenção se fez necessário para evitar falhas que podem acontecer durante o seu funcionamento, onde no presente estudo foram criados POPs e check-list para solucionar as causas que apresentaram maior NPR, que foram respectivamente no tambor e redutor de volante. Se seguido o plano proposto as melhorias serão visíveis, cooperando assim na redução dos custos, dificultando a degradação prévia do equipamento e prolongando sua durabilidade.

Por fim, vale ressaltar que a pane de qualquer parte dos subsistemas da betoneira leva a parada total do equipamento. Logo, nenhum subsistema é independente, a confiabilidade, a qualidade e eficiência, transparecem no equipamento como um todo, tornando a decomposição das falhas algo primordial. A análise teve uma abordagem prática e as ações que foram sugeridas são de simples adoção e execução.

Considerando os resultados alcançados através desse Trabalho de Conclusão de Curso sobre gestão da manutenção em betoneiras, considera-se possível a oportunidade de futuras pesquisas examinarem mais a fundo sobre este assunto.

Durante o estudo não foi encontrado nenhum registro voltado para manutenção de betoneiras, o que torna ainda maior a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre essa máquina, envolvendo empresas de fabricação, junto ao plano de manutenção

proposto. Assim, a qualidade do presente estudo teria uma notável contribuição, levando em consideração uma eficaz providência para as falhas nas betoneiras, já que desse modo, existem vários modelos da máquina analisada nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção). **Gasto com Manutenção Muda o Foco**, 2012. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/noticias/gasto-com-manutencao-muda-o-foco>. Acesso em: 04 de dez. 2019.
- ALMEIDA, T. **O que é Manutenção Corretiva**. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/o-que-e-manutencao-corretiva>. Acesso em: 20 de dez 2019.
- ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2000.
- ARAÚJO, Igor Mateus de; SANTOS, Crisluci Karina Souza. **Manutenção elétrica industrial**. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/05%20-%20Cap%EDtulo%203.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462:1994: **Confiabilidade e mantabilidade** - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- COSTA, Valdecir. **Análise de Risco, FMEA ou FTA?**. 2013. Disponível em: <https://valdecircosta.wordpress.com/2013/08/31/analise-de-risco-fmea-ou-fta/>. Acesso em: 16 fev. 2019.
- FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Universidade Estadual Do Ceará, UEC. Fortaleza, 2002.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GUIMARÃES, Antonio Cesar Ferreira. **Uma metodologia para Análise de Confiabilidade baseada em Árvore de Falhas e Lógica Fuzzy**. 1997. Tese (Doutor em Ciência em Engenharia Civil) - UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **MANUTENÇÃO: Função Estratégica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Mantabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MOUBRAY, J. **Realiability centered maintenance**. 2ª Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

MONCHY, François. **A função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Durban Ltda., 1989.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. Florianópolis, 2001. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, Ualison Rebula de; PAIVA, Emerson José de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas**. São Paulo, 28 jun. 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/prod/2010nahead/aop\\_200701003.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/2010nahead/aop_200701003.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2007.

PINTO, J. P. **Manutenção Lean**. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 285p, 2013.

PERES, Carlos Roberto Coelho; LIMA, Gilson Brito Alves. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v15n1/a13v15n1>. Acesso em: 1 fev. 2019.

ROCHA, Ariane Araújo; CASTRO, Nara Linhares . **A Importância do Planejamento na Construção Civil**. 2013. Disponível em: [http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/1773](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1773). Acesso em: 04 dez. 2019.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - UFSC, Florianópolis, 2001.

SCAPIN, C. A. **Análise sistêmica de falhas**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial. 1999.

SILVA, Marize S. T. C. **Planejamento e Controle de Obras**. 2011. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 747 p.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Instituto Iman, 1993. 322 p.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 1999.

TOVAR, Pedro Henrique Heringer. **Análise FMEA para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade**: Estudo de Caso em Motor Hidráulico Poclair. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - UFES, Vitória, 2017.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2004.

YAMADA, Michele Mieko. **Padronização do Processo de Revisão do Produto Acabado com Aplicação de FMEA em uma Indústria de Confecção**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - UEM, Paraná, 2014.

# APÊNDICES



## APÊNDICE B

<b>PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO</b>
TAREFA: PREPARO DO CONCRETO
EXECUTOR: OPERADOR DE MÁQUINA

<p><b>RESULTADOS ESPERADOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar o preparo da massa de concreto, seguindo os procedimentos corretos de preparação, que assegurem a padronização e preservação da qualidade da mistura.</li> </ul>
<p><b>MATERIAL NECESSÁRIO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água</li> <li>• Lata de 20L</li> <li>• Areia</li> <li>• Pedra brita, nº 1 ou 2</li> <li>• Cimento</li> </ul>
<p><b>ATIVIDADES:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ligar a betoneira conectando o plugue na tomada depois de seguir os pops de inspeção de voltagem e de confirmação de funcionamento do botão de emergência.</li> <li>2. Despejar 6 latas de 20L de pedra brita no tambor da betoneira já ligada, totalizando 120L do material.</li> <li>3. Despejar uma lata de 20L de água.</li> <li>4. Esperar 1,30 minutos para que toda a brita fique molhada.</li> <li>5. Após espera, começar o despejo de 50kg de cimento. O material deve ser despejado pouco a pouco.</li> <li>6. Despejar 6 latas de 20L de areia, totalizando 120L do material</li> <li>7. Despejar mais 20L de água.</li> <li>8. Esperar 3 minutos para que a mistura fique bem homogênea.</li> <li>9. Após espera, o material deve ser retirado da betoneira ainda com a máquina ligada.</li> <li>10. Pisar e manter pressionado o pedal para destravar o volante.</li> <li>11. Realizar o giro do tambor através do volante.</li> <li>12. Soltar o pedal para travar novamente.</li> <li>13. Esperar o despejo de toda a mistura.</li> <li>14. Pisar e manter pressionado o pedal para destravar novamente o volante.</li> <li>15. Voltar o tambor para posição inicial.</li> <li>16. Soltar o pedal para travar o tambor.</li> </ol>
<p><b>CUIDADOS ESPECIAIS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Somente um operador de cada vez pode operar a máquina;</li> <li>2. Não deixar o equipamento sozinho quando estiver em funcionamento;</li> <li>3. Sempre que operar o equipamento usar EPIs – Equipamento de Proteção Individual – como: capacete, protetor auricular, luvas de borracha, calçados apropriados e roupas de proteção.</li> <li>4. Mantenha as mãos, cabelos, roupas soltas e ferramentas longe das partes móveis do equipamento;</li> <li>5. Sempre limpe o equipamento após o uso e antes de armazená-lo.</li> <li>6. Quando estiver em funcionamento, pessoas não autorizadas devem ser mantidas a uma distância segura de 1,5 metros da máquina.</li> </ol>

## APÊNDICE C

### PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO

**TAREFA: INSPEÇÃO DE VOLTAGEM DA MÁQUINA E FUNCIONAMENTO DO BOTÃO DE EMERGÊNCIA**

**EXECUTOR: OPERADOR DE MÁQUINA**

**RESULTADOS ESPERADOS:**

- Realizar e confirmar a compatibilidade da voltagem da máquina com a voltagem rede elétrica onde a mesma será ligada e garantir funcionalidade do botão de parada de emergência.

**MATERIAL NECESSÁRIO:**

- Manual da máquina
- Formulário de Check List

**ATIVIDADES:**

1. Pegar manual da betoneira
2. Verificar no manual se a tensão de alimentação do motor da betoneira está de acordo com a voltagem da rede elétrica (110V / 127V; 220V)
3. Se compatível, conectar o plugue na tomada e ligar a betoneira no botão verde.



4. Com a máquina ligada acionar o botão de emergência (vermelho) para teste.



5. Se a máquina desligar significa que o botão de emergência está com função estável.

**CUIDADOS ESPECIAIS:**

1. A inspeção deve ser feita pelo profissional/técnico
2. Utilizar EPIs, como botas de borracha e luvas.

