

LUCAS ESCADA MATHIAS

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS EM UMA  
INDÚSTRIA QUÍMICA COM APLICAÇÕES DE FERRAMENTAS DA  
MELHORIA CONTÍNUA.

Guaratinguetá  
2014

LUCAS ESCADA MATHIAS

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS EM UMA  
INDÚSTRIA QUÍMICA COM APLICAÇÕES DE FERRAMENTAS DA  
MELHORIA CONTÍNUA.

Trabalho de Graduação apresentado  
ao Conselho de Curso de Graduação  
em Engenharia de Mecânica da  
Faculdade de Engenharia do  
Campus de Guaratinguetá,  
Universidade Estadual Paulista,  
como parte dos requisitos para  
obtenção do diploma de Graduação  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Francisco Alexandre de Oliveira

Guaratinguetá  
2014

Mathias, Lucas Escada

M431a Análise da confiabilidade de equipamentos em uma indústria química com aplicações de ferramentas da melhoria contínua / Lucas Escada Mathias. - Guaratinguetá: [s.n.], 2013  
51 f.: il.

Bibliografia: f. 50-51

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica –  
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de  
Guaratinguetá, 2013

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira

1. Manutenção 2. Confiabilidade(Engenharia) I. Título

CDU 658.581



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS EM UMA  
INDÚSTRIA QUÍMICA COM APLICAÇÕES DE FERRAMENTAS DA  
MELHORIA CONTÍNUA.

LUCAS ESCADA MATHIAS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO PARA A OBTENÇÃO  
DO DIPLOMA DE  
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Antônio Wagner Forti  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Francisco Alexandre de Oliveira  
UNESP - FEG

Prof. José Roberto Dale Luch  
UNESP-FEG

Prof. Fabricio Maciel Gomes  
UNESP - FEG

Janeiro de 2014

## **DADOS CURRICULARES**

### **LUCAS ESCADA MATHIAS**

NASCIMENTO	09.09.1990 – GUARATINGUETÃ / SP
FILIAÇÃO	Roberto Mathias Vânia Cristina Reis Escada Mathias
2009/2013	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

dedico este trabalho à minha família; de modo especial aos meus pais, Roberto e Vânia, e meus irmãos Rodrigo e Thiago, que são a base e a razão do meu viver e sempre estiveram presente em todos os momentos da minha vida, me motivando a seguir em frente.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

Ao meu orientador Prof. Francisco Alexandre de Oliveira, o qual teve um papel fundamental no desenvolvimento desse trabalho;

a empresa química citada, em especial a área de Manutenção e todos os seus colaboradores, essenciais na elaboração deste trabalho;

a todos os meus amigos da *República Taj Mahal*, aos quais agradeço por toda aprendizagem que cada um proporcionou a sua maneira;

aos meus amigos de faculdade, sem exceção, principalmente Rafael Fernandes, Raphael Polydoro, Lígia Ogawa, Lucas Carneiro (Azedinho) e Myrian Castello sempre me incentivando tanto em aspectos acadêmicos como pessoais;

e em especial ao Rodrigo Mathias, Paulo Celso e José Augusto, que tiveram um papel intrínseco na minha formação, sempre motivando e apoiando minhas escolhas;

e a todos aqueles que não foram mencionados neste texto, mas que com certeza têm sua parcela de colaboração neste trabalho e na minha vida.

“No meio da dificuldade encontra-se a  
oportunidade.”

Albert Einstein



MATHIAS, L. E. **Análise da confiabilidade de equipamentos em uma indústria química com aplicações de ferramentas da melhoria contínua**. 2013. 51 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

## **RESUMO**

A busca constante por melhorias e pela sobrevivência das organizações faz com que as diretrizes estratégicas sejam desdobradas e executadas nos níveis operacionais. O presente trabalho consiste na abordagem para análise crítica dos equipamentos de uma indústria química através de um estudo de caso que se baseia na classificação de cada equipamento da fábrica através da análise qualitativa e quantitativa sob os pilares de gastos de manutenção, perda de produção, MTBF, Margem de contribuição, Saúde Segurança e Meio Ambiente (SSMA).

A partir desse estudo e futura coleta de dados, juntamente com o fluxograma apresentado mostrarão os principais equipamentos que se deve uma atenção especial. Para isto poderá ser elaborado um plano de ação com a determinação de prazos e responsáveis. Com os resultados podem-se mensurar os gastos de manutenção, perda de produção e disponibilidade técnica da planta, apresentando futuros ganhos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção, Melhoria contínua, Criticidade.

MATHIAS, L. E. **Analysis of reliability of equipment in a chemical industry with tools' applications of continuous improvement.** 2013. 51 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

### **ABSTRACT**

The constant search for improvements and the survival of organizations makes the strategic guidelines are deployed and executed at the operational levels. This work is the approach to critical analysis of the equipment of a chemical industry through a case study based on the classification of each equipment manufactures through qualitative and quantitative analysis on the pillars of maintenance costs, loss of production, MTBF, contribution margin, Health Safety and Environment (SHE).

From this study and future data collection, along with the flow diagram show the main equipment that should be special attention. To this can be prepared an action plan with deadlines and responsible. With the results one can measure the maintenance costs, loss of production and technical availability of the plant, with future gains.

**KEYWORDS:** Maintenance, Improvement continues, Criticality.

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01 – Principais ferramentas DMAIC e suas respectivas entradas. ....</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 02 – Critérios de análise e atribuição de notas para a severidade. ....</b>	<b>29</b>
<b>Quadro 03 – Critérios de análise e atribuição de notas para a ocorrência ....</b>	<b>29</b>
<b>Quadro 04 – Critérios de análise e atribuição de notas para a detecção.....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 05 – Lista com locais de instalação e nome dos equipamentos.....</b>	<b>38</b>
<b>Quadro 06 – Classificação dos riscos. ....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 07 – Algoritmo de riscos de Manutenção. ....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 08 – Algoritmo de riscos de Produção.....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 09 – Representação da análise Qualitativa. ....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 10 – Representação da análise Quantitativa.....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 11 – Ordenação dos equipamentos de acordo com a criticidade. ....</b>	<b>43</b>
<b>Quadro 12 – Lista dos equipamentos mais críticos. ....</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 13 – Principais riscos antes dos investimentos.....</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 14 – Principais riscos depois dos investimentos.....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 15 – Potencial do benefício.....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 16 – Representação de FMEA. ....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01- Fluxo do Processo DMAIC.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 02- Relação DMAIC/PDCA.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 03- Formulário FMEA e fluxograma de preenchimento. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 04 - Algoritmo de determinação da criticidade dos equipamentos.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 05 - Modelo da planilha GIO.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 06 – Equipamento mais críticos dentro do processo. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 07 – Relação custo de investimento x benefício. ....</b>	<b>46</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>SSMA</b>	-	Saúde, Segurança e Meio Ambiente
<b>RBM</b>	-	Risk Based Maintenance
<b>DMAIC</b>	-	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
<b>PDCA</b>	-	Plan, Do, Check, Action
<b>GIO</b>	-	Grau de Importância Operacional
<b>MTBF</b>	-	Mean Time Between Failure
<b>CM</b>	-	Margem de Contribuição

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	MÉTODO .....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA</b> .....	<b>16</b>
2.1	MANUTENÇÃO .....	16
2.2	TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	17
<b>2.2.1</b>	<b>Manutenção Corretiva</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Manutenção Preventiva</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Manutenção Preditiva</b> .....	<b>19</b>
2.3	CONFIABILIDADE .....	20
<b>3</b>	<b>FERRAMENTAS DA MELHORIA CONTÍNUA</b> .....	<b>21</b>
3.1	DMAIC .....	21
<b>3.1.1</b>	<b>Definir</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Medir</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Analisar</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Implementar</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Controlar</b> .....	<b>23</b>
3.2	FMEA .....	25
<b>3.2.1</b>	<b>Planejamento dos objetivos e definição da abrangência</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Análise de Falhas em Potencial</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Avaliação dos Riscos</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Melhoria</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Continuidade</b> .....	<b>31</b>
3.3	MTBF .....	31
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>32</b>
4.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	32
4.2	SISTEMA DE MANUTENÇÃO DA EMPRESA .....	33
<b>4.2.1</b>	<b>Estrutura e ciclo do serviço da Manutenção</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Atividades executadas pela Governança da Manutenção</b> .....	<b>34</b>
4.3	METODOLOGIA .....	35
<b>4.3.1</b>	<b>Metodologia - GIO</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Metodologia RBM</b> .....	<b>38</b>
4.3.2.1	Definir .....	38
4.3.2.2	Medir .....	39
4.3.2.2.1	Qualitativa .....	39
4.3.2.2.2	Quantitativo .....	41
4.3.2.3	Analisar .....	42
4.3.2.4	Implementar .....	46
4.3.2.5	Controlar .....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	49
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No atual contexto globalizado em que o mundo se encontra, tem-se o conhecimento da grande necessidade de, cada vez mais, possuir um produto de alta qualidade, com uma grande confiabilidade a um preço acessível, o qual os clientes estejam dispostos a pagar. E para isso estamos sempre à busca por excelência, otimização de processo e criação de novas ferramentas que possamos produzir mais utilizando menos recursos.

Mediante a este cenário uma das áreas que mais se destaca é a Manutenção que historicamente era responsável por cuidar dos equipamentos somente quando os mesmos falhavam. Com a demanda do mercado e a busca por melhorias, atualmente a manutenção é responsável pelo suporte da produção e por prever futuros problemas. A busca por melhorias dentro da manutenção é vital já que o nível da organização da manutenção reflete as particularidades do estágio de desenvolvimento industrial de um país. A partir do momento em que começa a ocorrer o envelhecimento dos equipamentos e instalações, surge a necessidade de uma racionalização das técnicas e dos procedimentos de manutenção.

Com o foco em melhoria contínua na manutenção, foi desenvolvido este trabalho com base em diversas análises, técnicas e ferramentas úteis que é intrínseco para o desenvolvimento da manutenção.

### 1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho visa entender e analisar uma ferramenta de manutenção que impacta diretamente com os gastos de manutenção e a perda de produção, através da criticidades de cada equipamento.

Este objetivo principal desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

- Mensurar a confiabilidade dos equipamentos;
- Viabilizar a prática da ferramenta;
- Reduzir os gastos de manutenção;

- Identificar os equipamentos críticos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Historicamente a manutenção era lembrada perante a um chamado na falha de operação do equipamento, causando paradas nos processo, ou seja, quando algo ocorria.

Ao longo da história podemos visualizar o grande espaço que a manutenção vem conquistando, demonstrando sua importância através da redução de custos de manutenção e melhoria continua dos serviços prestados para seus clientes interno e externo.

Todo serviço deve ser executado com qualidade, e dentro da manutenção é indispensável tal preocupação além de disponibilizar o maior tempo possível para a produção levando em consideração os aspectos de segurança e meio ambiente, pelo menor custo.

A gestão da Qualidade tem que ser interpretada como uma meta pessoal por cada engenheiro, e ser tratada com sua devida importância, impactando sempre na melhoria continua.

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria química, situada na cidade de Guaratinguetá, no estado de São Paulo – SP. A empresa apresenta um portfólio de mais de oito mil produtos e é líder de mercado no seu segmento.

A ferramenta estudada neste trabalho impactou diretamente na análise dos principais equipamentos que causam problemas a manutenção e seus clientes, criando a oportunidade de concretizar os conhecimentos em melhoria continua.



### 1.3 MÉTODO

A princípio será feito um estudo de caso da atual ferramenta e a implementação de uma nova ferramenta que auxiliará na classificação dos equipamentos em relação a sua criticidade. Esta ferramenta procura focar-se na economia, atingindo os equipamentos que geram mais problemas.

Posteriormente, identificando suas características, conforme mencionado no resumo, foi criado um fluxo de análise através do software Microsoft Excel onde conseguimos visualizar, por uma análise qualitativa e quantitativa, os principais “vilões” da planta.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 será explorado conceitos sobre Manutenção, dando continuação com os conceitos de Estatísticas e de Melhoria Contínua. No Capítulo 4 disserta-se sobre as considerações iniciais e os parâmetros que são utilizados neste trabalho juntamente com um estudo de caso das ferramentas de criticidade utilizadas atualmente na indústria química em questão; No capítulo 5 será apresentado suas conclusões e futuras recomendações. Finalizando, seguem as referências bibliográficas, juntamente ao apêndice pertinente a compreensão do trabalho em questão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica está dividida de maneira a compreender os conceitos pertinentes a este trabalho, abordando temas pertinentes a Manutenção iniciando-se com a definição, evolução, os temas mais abordados na literatura e os temas mais intrínsecos ao desenvolvimento e compreensão do trabalho.

### 2.1 MANUTENÇÃO

No âmbito da manutenção entende-se que é o reparo dos equipamentos danificados realizando de uma maneira geral a conservação ou restabelecendo o mesmo em seu estado de funcionamento, com esforços na economia e eficiência.

Contudo, em uma visão global, o grande triunfo da manutenção é proporcionar que o equipamento continue funcionando de acordo com os parâmetros pré estabelecidos, ou seja, de acordo com as especificações do projeto, sempre se preocupando com o mínimo impacto possível ao processo produtivo. Mediante a este cenário podemos citar que a manutenção é vista desde serviços simples, rotineiros, inspeções periódicas, manutenção preventiva, preditiva, corretiva até controle das condições através do monitoramento diário.

Formalmente, o conceito de manutenção é a inter-relação de ações técnicas administrativas e de supervisão, com o foco de manter ou recolocar um equipamento no estado o qual desempenhe sua função original, ou seja, fazer o que for preciso para manter que um equipamento ou sistema opere dentro das condições mínimas de requerimentos e especificações fornecidas pelos fabricantes. (ABNT, 1994).

*Basicamente, as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso. Esta degradação se manifesta de diversas formas, desde a aparência externa ruim dos equipamentos até perdas de desempenho e paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade e poluição ambiental (Harilaus; Xenos, 1998).*

## 2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Xenos (1998), apesar dos termos a seguir já serem comumente utilizados por diversas pessoas em diversas empresas, é notável, que em muitas situações, falta um completo entendimento do real significado dos tipos de manutenção

De modo geral podemos classificar os tipos de manutenção em:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva.

### 2.2.1 Manutenção Corretiva

A Manutenção Corretiva é solicitada quando houver uma falha ou quebra do equipamento, tendo como objetivo corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema, após sua quebra.

Como a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência da falha pode impactar a paralisação na produção salvo em exceções que o sistema opere em paralelo, havendo assim somente um atraso na produção ao invés da parada como um todo.

Segundo Xenos (1998) a manutenção corretiva quando considerada isolada, ou seja, somente o seu custo é ela mais viável do que prevenir as falhas dos equipamentos através de manutenção preventivas e preditivas. Em contra partida gera grandes perdas pelas paradas no processo de produção.

A maioria das falhas é decorrente da deterioração ou desgastes dos equipamentos devido à incidência de agentes químicos ou quando expostas ao ambiente.

Segundo Pinto e Xavier (2003), manutenção corretiva pode ser dividida em dois segmentos:

- **Manutenção Corretiva Não Planejada:** É quando a manutenção é solicitada após o ocorrido ou quando é identificado o defeito. Acarretando em altos custos tal como perda de produção, qualidade e até mesmo custos indiretos de manutenção.

- **Manutenção Corretiva Planejada:** É a correção feita assim que detectado uma futura falha ou um mau funcionamento do equipamento ou até mesmo um desempenho menor na produção, sendo assim podemos optar por dois destinos casos.
  - Tratar o problema como uma manutenção preventiva, estabelecendo uma periodicidade adequada.
  - Caso não se enquadre uma manutenção preventiva, devendo optar pela corretiva, é válido deixar o sistema de substituição ou peça montadas em estoque, diminuindo assim os possíveis impactos, tendo ganhos em qualidades e segurança, em relação a manutenção corretiva não planejada.

É válido ressaltar que o simples fato de se optar pela manutenção corretiva por ser mais vantajosa, não leva em consideração que devemos nos conformar com a ocorrência de falhas com um evento já esperado, ou seja, natural. O grande triunfo da manutenção é o esforço para identificar precisamente a causa raiz dos problemas assim bloqueando-as evitando assim um novo sinistro.

### **2.2.2 Manutenção Preventiva**

Em resumidas palavras a manutenção preditiva é classificada como sendo uma intervenção periódica nos equipamentos, destinados a reduzir a probabilidade de falha dos equipamentos evitando assim a indisponibilidade da planta para a produção.

Segundo Xenos (1998), quando uma empresa optar pela manutenção preventiva deve ser obrigatório o uso da mesma, fazendo uma breve linha de raciocínio a manutenção preventiva quando comparada, a principio, com a corretiva chegar a ser mais cara, pois demanda de compra de peças gastos em estoque e realizar as trocas antes que o equipamento atinja sua vida útil. Porém se avaliar de uma maneira geral, contabilizando com todos os impactos que a manutenção preventiva evita, tal como as paradas indesejáveis na produção e serviços emergenciais acarretando também em qualidade do serviço e segurança. Em suma a manutenção preventiva acaba sendo mais viável, tanto de uma forma qualitativa quanto quantitativa.

### 2.2.3 Manutenção Preditiva

Este tipo de manutenção tem como foco de aperfeiçoar a troca de peças ou reforma dos componentes, estender o intervalo de manutenção, prevenindo quando o sistema ou equipamento estarão próximo do limite de vida útil.

De acordo com Xenos (1998), as técnicas da manutenção preditiva estão sendo cada vez mais divulgadas, até mesmo por entendedores de manutenção. A manutenção preventiva demanda grande uso de tecnologia avançada, sendo tratada de forma diferenciada em relação às demais, em algumas empresas são destinados times de engenheiro e técnicos em manutenção para elaborar um plano para esta manutenção.

De acordo com Osada e Takahashi (1993) existem oito medidas preditivas para determinar qual será o melhor período da intervenção, são elas:

- Reduzir o volume do trabalho de manutenção preventiva;
- Evitar avarias abruptas e reduzir o trabalho de manutenção não planejado;
- Aumentar a vida útil das máquinas, peças e componentes;
- Melhorar a taxa de operação eficaz do equipamento;
- Reduzir os custos de manutenção;
- Melhorar a qualidade do produto;
- Melhorar o nível de precisão da manutenção do equipamento.

As quatro técnicas mais utilizadas pela manutenção preditiva foram citada por Viana (2002), são elas:

- Ensaio por Ultra-Som;
- Análise de vibrações mecânicas;
- Análise de óleos lubrificantes;
- Termografia.

## 2.3 CONFIABILIDADE

*Por confiabilidade entende-se a probabilidade de um produto (peça, equipamento, circuito, máquina, sistema, componente, etc.) fabricado de conformidade com dado projeto operar durante um período especificado de tempo (eventualmente o tempo de vida útil) sem apresentar falhas identificáveis, desde que sujeito a manutenção de conformidade com as instruções do fabricante e que não tenha sofrido tensões superiores àquelas estipuladas por limites indicados pelo fornecedor, não tenha sido exposto a condições ambientais adversas de conformidade com os termos de fornecimento ou aquisição (Nepomuceno, 1989).*

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), foi observado um aumento significativo na demanda por produtos e equipamentos com um maior tempo de vida, ou seja melhor rendimento e mais viável mediante a custos. Concomitantemente, nasceu a necessidade drástica de redução na probabilidade de falhas de equipamentos, acarretando em uma crescente ênfase na sua confiabilidade.

De uma maneira simples, a confiabilidade é a relação entre o tempo de falha de um equipamento/sistema ou produto pela vida útil do mesmo, considerando que esteja dentro dos limites especificados pelos fornecedores.

Atualmente este tema vem ganhando cada vez mais espaço devido ao advento da economia globalizada, cresceu-se a demanda do mercado e de novos fornecedores resultando em uma maior competição pelos clientes, logo para manter um equipamento ou produto no mercado deve-se aumentar ao máximo a confiabilidade do produto

No âmbito da manutenção quanto maior a confiabilidade dos sistemas ou equipamentos melhor para o time da manutenção, pois minimiza as manutenções corretivas e minimiza os impactos como paradas de produção inesperadas.

### 3 FERRAMENTAS DA MELHORIA CONTÍNUA

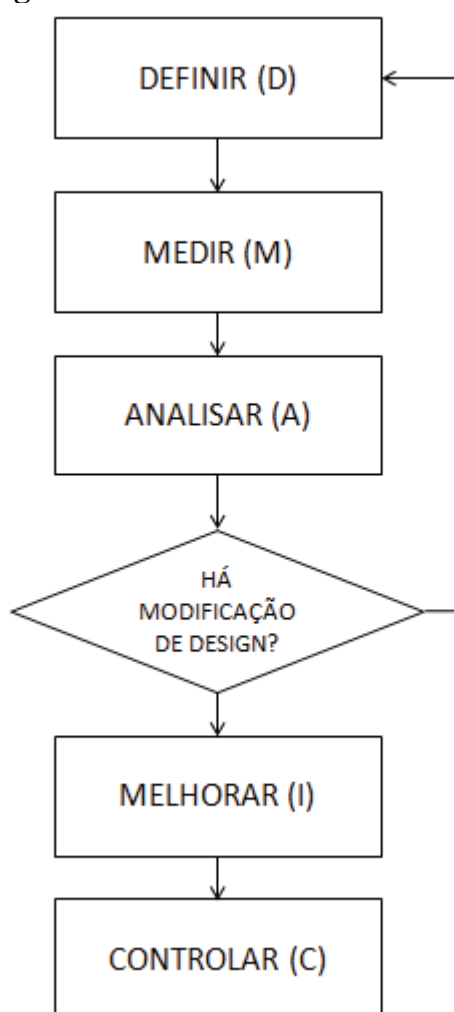
Serão descritos neste capítulo ferramentas de estatística e de melhoria contínua que auxiliarão o desenvolvimento deste projeto e futuros estudos.

#### 3.1 DMAIC

*Como pode ser verificado, o método DMAIC, que dá maior ênfase à medição e aos resultados, é na verdade, uma versão modificada do ciclo PDCA. Este método é a espinha dorsal da estratégia Seis Sigma, que foi concebida na Motorola, no início dos anos 1980, com o objetivo de tornar a empresa capaz de competir com seus concorrentes, que fabricavam produtos de qualidade superior com menores custos. O sucesso desta estratégia foi logo reconhecido, pois logo após sua implementação, a Motorola obteve a premiação Malcom Baldrige (KELLER, 2005).*

Com a chegada ao Brasil, as primeiras empresas que adotaram esta estratégia, enviaram suas respectivas equipes para os Estados Unidos da América a fim de receberem o treinamento. General Electric Plastics, Brasmotor, Asea Brown Boveri, Motorola, são umas das principais empresas que exportaram suas equipes para introduzirem a metodologia.

Para KELLER (2005), conforme a Figura 2, o fluxo do processo DMAIC serve como um mapa para resolução dos problemas e as melhorias de processos. KELLER (2005) salienta também que através do DMAIC obtemos definições precisas para processos de clientes e suas expectativas e requisitos.

**Figura 01- Fluxo do Processo DMAIC**

**Fonte: (Adaptado de KELLER, 2005).**

A seguir serão descritos os cinco passos da ferramenta DMAIC que se mostra ser bem estruturada, disciplinada e de rigorosa abordagem acarretando a melhoria do processo.

### 3.1.1 Definir

A priori na fase Definir, deve alimentar o projeto com informações preliminares estabelecendo critérios, tais como: a missão, o escopo, o time, o prazo e o impacto financeiro que se pretende, devesse definir o desenho do projeto, os CTQ's (*Critical to Quality*, do inglês, crítico para a qualidade) e os indicadores que serão utilizados.



### **3.1.2 Medir**

Nessa fase o objetivo é determinar a situação do processo até o momento, acessando e ou investigando o desempenho do processo, através de indicadores e métricas.

Com este acompanhamento do sistema de medição também podemos garantir que o trabalho está sendo realizado conforme explicitado na primeira fase, e garantindo que os dados sejam confiáveis. É válido ressaltar que neste passo coleta-se o maior número de dados para que seja estabelecida a capacidade inicial do processo.

### **3.1.3 Analisar**

Nessa etapa, é utilizada para analisar todas as informações coletadas até o devido momento e quais serão as oportunidades que os dados trarão para uma análise crítica do projeto. Neste ponto deve-se analisar se terá alguma alteração no projeto, seguindo novamente o fluxo de Definir, Medir e Analisar, caso não haja necessidade de alteração o projeto deve seguir para a próxima fase de Implementar.

### **3.1.4 Implementar**

Neste passo o processo é revisado, de execução de planos de ação e atividades relevantes ao projeto. Através do planejamento, projeto, testes e análise das possibilidades, os processos serão corrigidos ou melhorados, e o *gap* será minimizado.

### **3.1.5 Controlar**

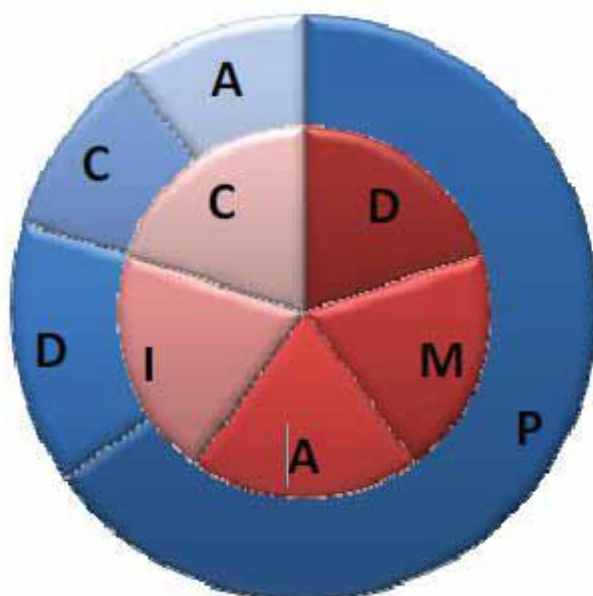
Finalmente, é necessário monitorar o sistema para parametrizar às metas de melhorias, trabalhando de uma forma de prever deterioração, estabilizar controles e procedimentos afim de manter a capacidade de desempenho do Seis Sigma e a satisfação total do cliente assim como ganhos pertinentes ao processo.

Quadro 01 – Principais ferramentas DMAIC e suas respectivas entradas.

Estágio DMAIC	Ferramentas	Entregas
Definir (D)	<i>Project Charter</i> , Mapa do processo com funções e desdobramentos, benchmarking (melhores práticas), Análise Kano.	Objetivo do Projeto, CTQs, Variáveis desenhadas, recursos, plano do projeto.
Medir (M)	Coleta de dados, amostragem, medições de trabalho, cálculo do comportamento $\sigma$ do processo.	Desempenho medido, variação do processo (valor do $\sigma$ definido), medições de capacidade do processo.
Analisar (A)	Análise estatística, análise de causa-raiz, desenho do piloto/ experimento.	Definida oportunidade de melhoria, fontes de variação, plano de ação.
Melhorar (I)	Criação da otimização, robustês, brainstorming, validação.	Seleção das melhores soluções, mudanças em desenvolvimento, ajustes nas variáveis do processo.
Controlar (C)	Sistemas a prova de falha, análises de falha e efeito, controle estatístico do processo, padrões.	Plano de monitoramento, desempenho mantido, documentação, transferência do proprietário do processo.

Fonte: (adptado, KELLER, 2005).

Figura 02- Relação DMAIC/PDCA



Fonte: (Adptado Werkema, 2004)

Nas figuras acima, podemos ver as fases detalhadas por KELLER (2005), e mostrando também a relação do DMAIC com o PDCA, Segundo AGUIAR (2007), este, quadro 01, e muitos outros métodos de resolução de problemas estão alicerçado na logica do PDCA (Plan, Do, Check, Action, ou seja Planejar, Executar, Verificar, Agir). Na figura 2 tem-se a visão das etapas de resolução dos problemas, fazendo uma comparação com o PDCA/DMAIC.

Segundo SETA (2007), essa comparação mostra que o DMAIC é uma ferramenta derivada do PDCA, porém é uma ferramenta mais robusta uma vez que utiliza ferramentas estatísticas com um maior poder analítico.

### 3.2 FMEA

Segundo Fogliatto e Duarte (2009), a garantia da qualidade exige cada vez mais excelência nas áreas de projetos e processo, implicando diretamente no potencial da qualidade. A excelência no processo transformam o potencial em qualidade real. E alguma das técnicas para a busca de excelência é a ferramenta FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha).

A FMEA é uma técnica bastante utilizada para aumentar a confiabilidade que tem três principais objetivos:

- Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um processo ou produto;
- Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência de falhas;
- Documentar o estudo, criando assim um referencial técnico auxiliando futuras revisões e desenvolvimento de novos projetos e processos.

*Essa técnica revelam os pontos fracos do sistema e, assim, fornecem subsídios para as atividades de melhoria contínua. FMEA têm a vantagem de sistematizar o diagnóstico de produtos e processos. Essa técnica auxiliam a detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha e fornecem uma hierarquia de prioridades para as ações (Fogliatto e Duarte, 2009).*

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA aplica-se das seguintes maneiras:

- Aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação, por meio da análise das falhas que já ocorreram;
- Ajudar na avaliação objetiva das alternativas;
- Fornecem um formato aberto de análise, que permite rastrear as recomendações e ações associadas com a redução de risco;
- Diminuir falhas de produtos e processos já existentes;

- Diminuir probabilidade de falhas em processos administrativos;
- Analisar fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos.

De acordo com Silva e Antonietti (2003), o primeiro método associado à aplicação formal do FMEA se deu na década de 60 pelas indústrias e agências de pesquisa aeroespacial o qual foi intrínseco ao programa Apollo. Em 1994, criou-se a Norma QS-9000, pelas as empresas General Motors Corporation; Chrysler Corporation e Ford Motor Comapany, a qual contemplou o FMEA com pequenas alterações no âmbito das definições dos critérios de pontuação. A norma foi estabelecida com o objetivo de criar um único sistema os requisitos de qualidade a serem utilizadas na cadeia de fornecedores.

Atualmente as empresas do ramo automotivo utilizam a normal ISSO/TS 16949:2002 para a qualidade nos sistemas, que foi fundamentada no antigo sistema QS 9000.

No figura 03 é um exemplo de formulário/fluxograma baseado em perguntas que precisam ser realizadas pelo grupo envolvido devendo seguir cada etapa do fluxograma preenchendo o formulário por inteiro. As respostas adequadas deve ser um consenso do grupo, deve ser ressaltado por quem está conduzindo as discussões e reflexões, que está são intrínseca ao projeto uma vez que está sendo debatidas as possíveis falhas em potencial nos processos e/ou produtos e propostas de melhorias.

Figura 03- Formulário FMEA e fluxograma de preenchimento.

<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto																	
Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____	Descrição do Produto/ Processo	Função(s) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices			Ações de Melhoria							
							S (6)	O (7)	D (8)	R (9)	Ações Recomendadas (10)	Responsável/ Prazo (11)	Medidas Implantadas (12)	S (13)	O (14)	D (15)	R (16)
		(1) Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex.: Suportar o conjunto do eixo.	(2) Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas. Ex.: Desbalanceado, Rugoso, Trincado....	(3) Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex.: vazamento de ar, ruído, desgaste prematuro, etc....	(4) Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex.: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc....	(5) Medidas Preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos da empresa.	(6) S E V E R I D A D E	(7) O C O R R Ê N C I A	(8) D E T E C Ç Ã O	(9) R I S C O S	(10) Ações recomendadas para a diminuição dos riscos	(11) Responsável e Prazo	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

**FLUXOGRAMA**

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos

Fonte (www.gepeq.dep.ufscar.br).

### **3.2.1 Planejamento dos objetivos e definição da abrangência**

O planejamento se enquadra na primeira fase de implementação do FMEA.

Nessa fase moderada pelo responsável do grupo ele deve se preocupar em:

- Aplicar a ferramenta contemplando sua abrangência, identificando quais serão os produtos e processos a serem analisados;
- Formação dos grupos de trabalho, definindo integrantes de diversas áreas como qualidade, desenvolvimento e produção;
- Planejar as reuniões, levando em conta que a antecedência de agendar uma reunião minimiza as paralisações no desenvolvimento do projeto;
- Preparar a documentação necessária, lembrar que o FMEA é um arquivo físico e que deve ser consultado com frequência.

### **3.2.2 Análise de Falhas em Potencial**

Fase de discussão e preenchimento do formulário, na Figura 06:

- Coluna 1: Definir funções e características do produto e/ou processo;
- Coluna 2: Definir os tipos de falhas potenciais para cada função;
- Coluna 3: Definir os efeitos do tipo de falha;
- Coluna 4: Possíveis causas de falhas;
- Coluna 5 : Controles atuais.

### **3.2.3 Avaliação dos Riscos**

Nesta fase devemos definir juntamente com o grupo de trabalho, os índices de Severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos, como mostra os quadros 2, 3 e 4 respectivamente.

Após estabelecido os valores dos índices conseguimos obter a prioridade de risco (R), através da multiplicação dos três índices apresentados anteriormente.

Quadro 02 – Critérios de análise e atribuição de notas para a severidade.

Efeito	Severidade do efeito	Rank
Perigoso	Falha é perigosa, e ocorre sem aviso. Capaz de suspender a operação dos sistemas e/ou envolve aspectos não complacentes com regulamentações governamentais.	10
Sério	Os efeitos podem ser perigosos e/ou envolvem aspectos não complacentes com regulamentações governamentais.	9
Importante	Produto inoperável, com perda da função básica. Sistema inoperante.	8
Impactante	Desempenho do produto sofre impacto. Sistema pode não operar.	7
Significativo	Desempenho do produto é degradado. Funções atreladas ao conforto podem não operar.	6
Moderado	Moderado efeito no desempenho do produto. Produto requer reparos.	5
Baixo	Moderado efeito no desempenho do produto. Produto requer reparos.	4
Desprezível	Efeito desprezível no desempenho do produto ou sistema.	3
Muito desprezível	Efeito muito desprezível no desempenho do produto ou sistema.	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

Fonte: (Aguiar, 2007).

Quadro 03 – Critérios de análise e atribuição de notas para a ocorrência

Probabilidade de Falha	Possíveis taxas de falhas	Rank
Extremamente alta	$\geq 1$ em 2	10
Muito alta	1 em 3	9
Repetidas falhas	1 em 8	8
Alta	1 em 20	7
Moderadamente alta	1 em 80	6
Moderadamente alta	1 em 400	5
Relativamente baixa	1 em 2000	4
Baixa	1 em 15000	3
Remota	1 em 150000	2
Quase impossível	1 em 1500000	1

Fonte: (Aguiar, 2007).

Quadro 04 – Critérios de análise e atribuição de notas para a detecção.

<b>Detecção</b>	<b>Probabilidade de detecção da causa da falha</b>	<b>Rank</b>
Absolutamente incerta	A manutenção não detecta a causa da falha potencial, ou não existe manutenção	10
Muito remota	Chance muito remota de se detectar a causa da falha	9
Remota	Chance remota de se detectar a causa da falha	8
Muito Baixa	Chance muito baixa de se detectar a causa da falha	7
Baixa	Chance baixa de se detectar a causa da falha	6
Moderada	Moderada chance de se detectar a causa da falha	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta a chance de se detectar a causa da falha	4
Alta	Chance alta de se detectar a causa da falha	3
Muito alta	Chance muito alta de se detectar a causa da falha	2
Quase certa	A manutenção quase certamente detectará a causa da falha.	1

Fonte: (Aguiar, 2007).

### 3.2.4 Melhoria

Nesta etapa o grupo deve listar todas as ações que julguem pertinentes, através de todo o conhecimento, criatividade e técnicas como *brainstorming*, obtendo assim o melhor resultado para evitar e/ou diminuir os riscos como:

- Ações de prevenção total ao tipo de falha;
- Ações de prevenção total de uma causa de falha;
- Ações que dificultam a ocorrência de falhas;
- Ações que interrompem o efeito do tipo de falha;
- Ações que aumentam a probabilidade de detecção do tipo ou da causa de falha.

Nesse momento, serão estudadas e definidas as que serão implantadas de acordo com sua viabilidade. Uma maneira eficiente para o controle destas medidas é utilizar o próprio formulário, criando colunas onde registrem as iniciativas tomadas juntamente com prazos e nome dos executantes.



### 3.2.5 Continuidade

O formulário FMEA é um documento físico que deve ser continuamente revisado ocorrendo ou não alterações no produto/processo específico ou quando são notadas falhas reais que vêm ocorrendo no dia-a-dia, logo devesse realizar a reavaliação do processo.

### 3.3 MTBF

O MTBF (Mean Time Between Failures, ou seja, Tempo médio entre falhas) é uma metodologia que é utilizada para calcular a confiabilidade do equipamento, atualmente existem diversas maneiras de fazer o calculo, existindo casos de algumas empresas adotam uma metodologia própria de calculo.

Nesse trabalho se utilizará o valor de MTBF como o total de horas de funcionamento do equipamento até ocorrer o defeito.

Exemplo: Uma bomba é colocada para teste, e após 100 horas ela falha, seu MTBF = 100 horas.

Muitos entendedores do ramo não consideram o calculo do MTBF sendo confiável, pois depende da metodologia que está sendo empregada. Chegando a ser mais viável quando a empresa/fornecedor define uma metodologia e se estende para todas as áreas pertinentes.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será contemplado o desenvolvimento do projeto de graduação, iniciando-se por uma breve descrição da empresa química, apresentação do fluxo de trabalho da manutenção e o projeto.

### 4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa em questão é uma empresa química, líder mundial no ramo, de origem alemã com aproximadamente 150 anos no mercado. Contando com um portfólio de mais de 8.000 produtos contribuindo veementemente com produtos que vão desde tintas e vernizes, produtos químicos, plásticos, produtos de performance, para a agricultura e química fina até óleo cru e gás natural.

Fundada em 1865 em Ludwigshafen - Alemanha, atualmente conta com mais de 97.000 colaboradores em mais de 40 nações contando com mais de 150 centros produtivos atendendo clientes em mais de 170 países. Instalada em toda a América do Sul, com exceção das Guianas e Suriname. Contando com 5.000 colaboradores, sendo que 3.300 estão no Brasil.

Na América do Sul, iniciou suas atividades em 1911 com comercialização de anilina, alizarina e anil para a indústria brasileira de produtos têxteis e de couro, no Brasil já possuía um escritório comercial no Rio de Janeiro.

Em agosto de 1955 foi decidido estabelecer uma unidade produtiva no Brasil, logo começou à produção de inorgânicos, plásticos, monômeros, polímeros e Styropor® na cidade de Guaratinguetá que se situa em um local estratégico, entre o eixo Rio de Janeiro e São Paulo.

No Brasil, nos dias atuais, encontramos centros produtivos em Guaratinguetá (SP), Jaboatão (PE) e São Bernardo do Campo (SP) e para o próximo ano em Camaçari (BA).

A empresa em questão tem como objetivo principal transformar a química para um futuro sustentável e para atingir este objetivo, desenvolve-se uma estratégia que se embasei-a dentro de quatro pilares:

- Gerando valor como uma única empresa;
- Inovações para que os clientes atinjam ainda mais o sucesso;
- Direcionando soluções sustentáveis;
- Formando a melhor equipe.

No último ano, 2012, o balaço econômico de vendas foi contabilizado em € 72.1 bilhões, 7% a mais que o ano anterior, 2011, conforme previsto. As ações da BASF são negociadas nas bolsas de valores de Frankfurt (BAS), Londres (BFA) e Zurique (AN).

## 4.2. SISTEMA DE MANUTENÇÃO DA EMPRESA

### 4.2.1 Estrutura e ciclo do serviço da Manutenção

O time da manutenção é contemplado por:

- Engenharia de campo;
- Planejamento;
- Programação;
- Execução;
- Célula de informação;
- Governança.

Com início na Engenharia de campo emitindo as notas de serviços no SAP, contemplando a atividade a ser realizada como data de início e fim, prioridade e o escopo do serviço. A partir das notas cadastradas no SAP, o planejador inicia seu trabalho com um escopo detalhado da execução do serviço, abrangendo desde especificações como quantidade de Homem Hora (HH) até a disponibilidade de mão de obra e material para realizar o serviço. Em seguida a Programação fica encarregada de avaliar que irá executar o serviço e a data de início e fim, após o executante realizar

o serviço a nota é levada para a célula de informação onde o serviço é encerrado via SAP, sendo contabilizado todo o custo referente ao serviço. Desta maneira, temos todo o histórico das ordens de serviço com informações sobre matérias, executantes e custos incluso no SAP. A Governança da Manutenção é responsável pela área de qualidade e melhoria continua dentro de todo o processo. É importante ressaltar que quando o serviço solicitado pela engenharia de campo é uma emergência/urgência, não é passado pelo planejamento, sendo encaminhado às pressas para a programação onde é estabelecido o executante do serviço.

O comprometimento da manutenção é atender o cliente levando em consideração a qualidade e o prazo acordado, para que este objetivo se concretize é disponibilizado pela Governança, para a engenharia de campo, diversos indicadores e ferramentas que auxiliam o gestor a tomar a melhor decisão, a estabelecer qual tipo e qual a periodicidade da execução da manutenção da planta e seus equipamentos.

#### **4.2.2 Atividades executadas pela Governança da Manutenção**

Abaixo encontramos alguns exemplos de indicadores e ferramentas que são fornecidos pela Governança:

- Disponibilidade técnica;
- Grau de Importância Operacional (GIO);
- Fator de Manutenção;
- Variação do Budget;
- Wrench Time;
- Risk Based Maintenance (RBM);
- Bad Actor Treatment (BAT).

Disponibilidade técnica é um indicador que mostra quanto a manutenção disponibiliza a planta para a produção, levando em consideração paradas técnicas planejadas e paradas técnicas não planejadas, entendemos por parada técnicas quando um equipamento precisa de algum tipo de manutenção.

GIO é uma ferramenta utilizada pela engenharia de campo que retrata a criticidade dos equipamentos, este item será desenvolvido no decorrer deste trabalho.

Fator de Manutenção, um importante indicador onde leva em consideração para o calculo os gastos de manutenção e o ativo de reposição da planta, entende-se por gastos de manutenção os custos de mão de obra própria e terceirizada e materiais.

Variação do *Budget* é a relação entre o gasto efetivo, disponível, pelo gasto planejado.

*Wrench Time* é uma ferramenta do *Lean*, onde é aumentar a capacidade de execução de tarefas, ou seja, aumentar a produtividade.

RBM é uma ferramenta que mensura a criticidade dos equipamentos e quais precisam de maiores esforços, e levado em consideração do calculo o MTBF, Gastos de manutenção, Indisponibilidade do equipamento e Frequência de Falha, em seguida é realizado um estudo para descoberta da causa raiz seguindo de um plano de ação para solucionar o cenário anterior.

Bad Actors Treatment (tratamentos dos maus autores) é uma ferramenta onde classificamos os equipamentos ou sistemas que estão impactando mais a planta, leva em consideração dentro do período contemplado os custos de manutenção, quantidade de falhas e a indisponibilidade que o equipamento ou sistema apresentou, a partir desta análise é selecionado alguns equipamentos críticos para o processo, onde será buscada a causa raiz do problema assim desenvolvido um plano de ação para sanar o problema.

#### 4.3 METODOLOGIA

A empresa em questão utiliza a ferramenta GIO para classificar seus equipamentos, e atualmente estamos propondo uma ferramenta capaz de mensurar a criticidade dos equipamentos, através do RBM. A seguir irei apresentar ambas ferramentas com foco no RBM.

### 4.3.1 Metodologia - GIO

O GIO dos equipamentos é uma ferramenta que os classifica dentro de um critério técnico/estratégico, visando aplicar o conceito mais adequado de manutenção levando em consideração os seguintes critérios:

- Saúde, Segura e Meio Ambiente (SSMA)
- Qualidade
- Processo
- Custo

Os equipamentos são classificados de acordo com as classes abaixo:

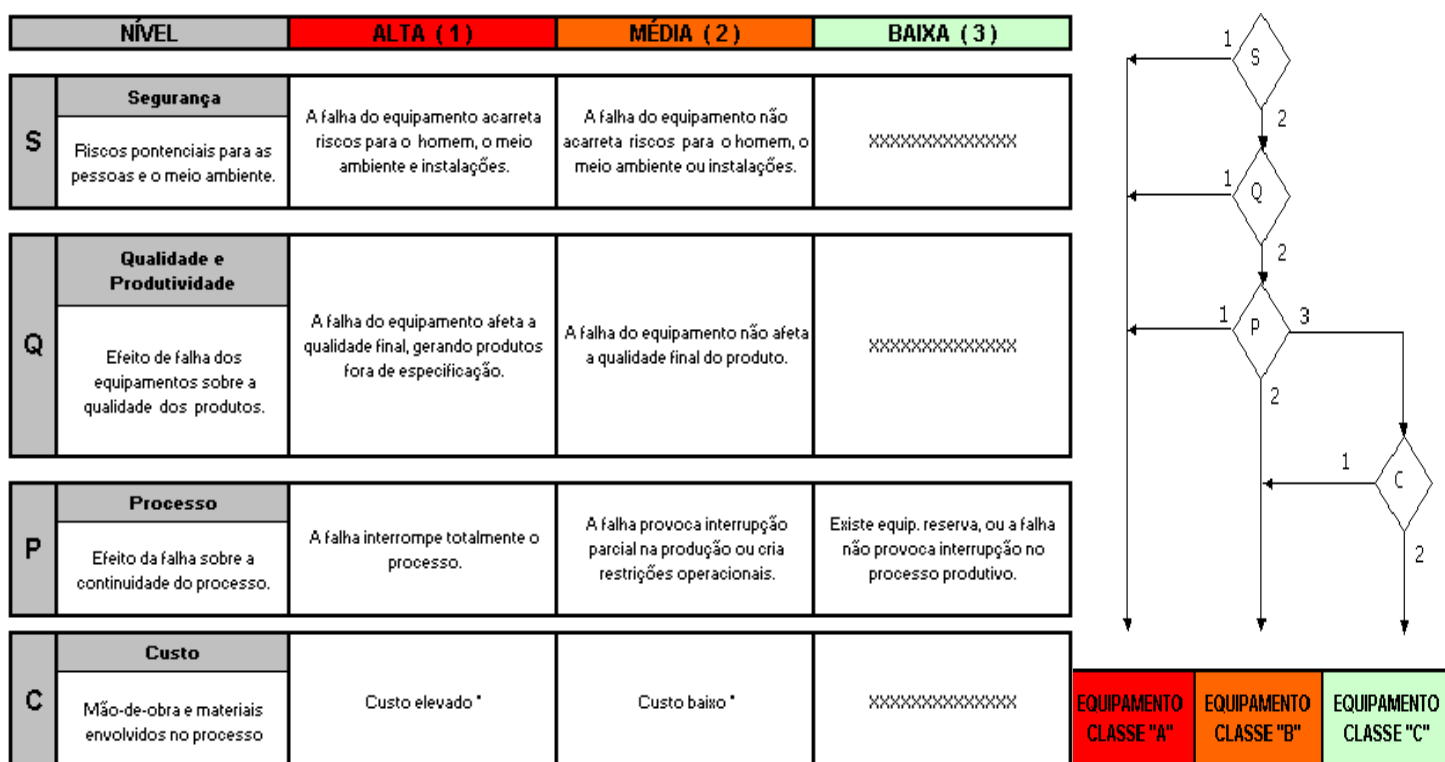
**Classe A:** São equipamentos de alta importância, com uma confiabilidade máxima, que quando falha impacta em todos os critérios, tais com segurança, qualidade, parada do processo e alto custo.

**Classe B:** São Equipamentos com grau de importância secundário, segundo parâmetros estabelecidos, impactando parcialmente na parada de processo ou custos intermediários.

**Classe C:** São equipamentos com menor grau de importância ou cuja falha não acarreta problemas com segurança, qualidade ou parada do processo, tendo um baixo custo e apresentando equipamentos reservas.

Os equipamentos são classificados de acordo com o algoritmo apresentado abaixo:

Figura 04 - Algoritmo de determinação da criticidade dos equipamentos.



Fonte: Autor.

Figura 05 - Modelo da planilha GIO.

LOCALIZAÇÃO	TAG/ TIPO DE EQUIPAMENTO	S	Q	P	C	Grau de Importância Operacional	Política de Manutenção	Ferramenta de Monitoramento Utilizada	Periodicidade do Monitoramento
BR1G-P-ABCD-S001	Sistema 1 - Grinard					-			
BR1G-P-ABCD-S001-00001	R651 - Reator	1				CLASSE A	Inspeção NR13	Sistemática	02 / 04 / 08 anos
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01	RE651 - Agitador	2	2	3	1	CLASSE B	PREDITIVA	Insp.Correia/Análise Vibração	52 sem / 12 sem
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-01	RG651 - Redutor	2	2	3	1	CLASSE B	PREDITIVA	Análise Óleo/Análise Vibração	26 sem / 12 sem
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-02	RM651 - Motor Elétrico	2	2	3	2	CLASSE C	PREDITIVA	Análise Vibração	
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-03	SIS-A-4593 - MALHA	2	2	2	2	CLASSE B	CORRETIVA	*	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-04	RB651 - Termosifão	2	2	2	2	CLASSE B	CORRETIVA	TPM	SEMANAL
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-05	LS-A-4593 - Chave de Nível	2	2	2	2	CLASSE B	CORRETIVA		
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-06	PI4593 - Manômetro Simples	2	2	3	2	CLASSE C	CORRETIVA		
BR1G-P-ABCD-S001-00001-01-07	TI4593 - Termômetro	2	2	3	2	CLASSE C	CORRETIVA		
BR1G-P-ABCD-S001-00001-02	Y651 - Válvula de Segurança	1				CLASSE A	Preventiva	Sistemática	6 anos
BR1G-P-ABCD-S001-00001-03	FI31069 - Rotametro	2	2	3	2	CLASSE C	CORRETIVA	*	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-04-01	FQIS+4585 - Medidor Massico (BAS 505 F)	2	1			CLASSE A	Inspeção Q	Sistemática	5 anos
BR1G-P-ABCD-S001-00001-05	FQIS+4598 - MALHA	2	2	1		CLASSE A	EQ.VINCULADO	EQ. VINCULADO	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-05-01	FQIS+4598 - Medidor Massico	2	1			CLASSE A	Prev Insp / Rev Q	Sistemática	26 / 52 sem
BR1G-P-ABCD-S001-00001-06-01	FIC4600A - Estacao de Controle	1				CLASSE A	EQ.VINCULADO	EQ. VINCULADO	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-06-02	FIC4600A - Indicador (BAS 505 F)	2	2	3	2	CLASSE C	EQ.VINCULADO	EQ. VINCULADO	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-06-03	FV4600A - Válvula de Controle (BAS 505 F)	2	2	3	2	CLASSE C	CORRETIVA	*	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-07	FQIRS+-A+-31061 - MALHA	2	2	1		CLASSE A	EQ.VINCULADO	EQ. VINCULADO	*
BR1G-P-ABCD-S001-00001-07-01	FQIRS+-A+-31061 - Medidor Massico	2	1			CLASSE A	Inspeção Q	Sistemática	5 anos

Fonte: Autor.

Com o auxílio do software Microsoft Excel 2010 é classificado todos os equipamentos da planta, no exemplo, figura 05, mostra uma parcela de equipamentos.

Com essa planilha o time de Engenharia de campo classifica os equipamentos conforme o algoritmo apresentado acima e inclui qual deverá ser o tipo de manutenção, a ferramenta utilizada e a periodicidade desse monitoramento.

### 4.3.2 Metodologia RBM

A princípio o RBM irá auxiliar a Engenharia de campo mensurando a confiabilidade dos equipamentos, reduzir os gastos com manutenção, analisar e tratar os equipamentos críticos.

A apresentação desse estudo de caso será auxiliada pela metodologia DMAIC, onde é apresentado, a seguir, as fases com suas devidas descrições a seguir.

#### 4.3.2.1 Definir

Devemos escolher um time que irá conduzir o projeto, quais sistema e equipamentos serão levantados.

Neste estudo de caso o time que está conduzindo o projeto é a Engenharia de campo tendo o auxílio da Governança para algumas tomadas de decisões e da Produção para a validação dos equipamentos e alguns dados do sistema pertinentes ao processo.

Quadro 05 – Lista com locais de instalação e nome dos equipamentos.

Functional Location	Name
Locas de Instalação 001	Reactor 01
Locas de Instalação 002	Heat Exchanger 01
Locas de Instalação 003	Reactor 02
Locas de Instalação 004	Pump 01
Locas de Instalação 005	Heat Exchanger 02
Locas de Instalação 006	Reactor 03
Locas de Instalação 007	Pump 02
Locas de Instalação 008	Heat Exchanger 03
Locas de Instalação 009	Reactor 04

Fonte: Autor.



#### 4.3.2.2 Medir

Nesta etapa será levantado os seguintes dados dividido em dois segmentos:

Qualitativo:

- Frequencia de reparo;
- Custos de Manutenção;
- Perda de Produção.

Quantitativo:

- Falha por ano;
- Custos de Manutenção;
- Perda de Produção;
- Margem de Contribuição.

##### 4.3.2.2.1 Qualitativa

Com o auxilio dos quadros 6, 7 e 8 podemos classificar os equipamentos com os seus riscos de manutenção e riscos de produção.

Quadro 06 – Classificação dos riscos.

	<b>Risco</b>		
	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>
<b>Falhas por Ano</b>	<1	1 - 3	>3
<b>Custo de Manutenção</b>	<5mil€	5 - 20 mil€	>20mil€
<b>Perda de Produção</b>	<5horas	5-12horas	>12horas

Fonte: Autor.



tanto quanto o risco de manutenção ou de produção ele contem pelo menos um parâmetro Alto. Devemos inserir o tipo de estratégia de manutenção e de peças de reposição (*Spare Parts*) que é utilizado nesses equipamentos, conforme procedimento interno utiliza a seguintes condições para classificação:

Estratégia Atual de Manutenção:

- W – Manutenção Preventiva, reduzindo a possibilidade de falhas;
- T – Troca Preventiva do equipamento.
- K – Corretivamente, ocorrendo a reparação ou substituição após a perda;
- I – Inspeção, determinação da condição real.

Estratégia Atual de Peças de Reposição:

- A – Sem peças de reposição;
- S – Fornecimento de peças próximo da instalação tanto fornecedor quanto armazenamento central;
- Z – Armazenamento local da peça de substituição;
- V – Não necessária peça de reposição, ou seja, instalação redundante.

#### 4.3.2.2.2 Quantitativo

Dando sequência ao desenvolvimento do estudo, faremos uma análise quantitativa conforme é exemplificado no quadro 10:

Quadro 10 – Representação da análise Quantitativa.

Functional Location (FL)	Description	Failure per year	Shutdown	Repair in h	Startup	Prod. failure durat. in h	CM in \$ per h	Maint. cost in \$ per failure	Maint. risk in I per year	Product. risk in I per year	Σ Risk in \$ per year	ME strate gy actual	ME strate gy future	Spare parts actual	ME strate gy future	Mainten ance Risk	Produc tion Risk
											7.602.926						
Local de Instalação 001	Reactor 01	0,33		200,00		200	51000	10000	3300	3.366.000	3369300	W		A		C2	B0
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	0,50		100,00		100	20000	15000	7500	1.000.000	1007500	T		A		B0	C2
Local de Instalação 003	Reactor 02	0,12		50,00		50	10000	1000	120	60.000	60120	I		A		A0	A1
Local de Instalação 004	Pump 01	0,16		10,00		10	1000	5000	800	1.600	2400	K		S		A0	B1
Local de Instalação 005	Heat Exchanger 02	0,78		8,00		8	700	8000	6240	4.368	10608	K		A		A0	A1
Local de Instalação 006	Reactor 03	0,67		90,00		90	8000	3000	2010	482.400	484410	K		S		B2	A0
Local de Instalação 007	Pump 02	0,43		72,00		72	20000	2000	860	619.200	620060	W		Z		C2	C2
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	0,55		62,00		62	60000	4000	2200	2.046.000	2048200	T		V		B0	B0
Local de Instalação 009	Reactor 04	0,10		32,00		32	40	2000	200	128	328	K		V		C2	C2

Fonte: Autor.

As falhas por ano (*Failure per year*), é dado por  $F = 1/MTBF$ , onde o MTBF foi apresentado na seção 3.3.

A perda de produção em horas (*Prod. Failure durat. In h*), dado por Perda de Prod. em horas = Parada + Indisponibilidade do equipamento + Startup, é contabilizada através da Parada da planta (*Shutdown*), indisponibilidade do equipamento (*Repair in h*) e o (*Startup*), e estes dados são fornecidos pela Produção onde é feito um acompanhamento diário desses itens e reportado para a Governança mensalmente.

A Margem de Contribuição (*CM \$ per h*) é fornecida pela Controladoria local.

O risco de manutenção (*Maint. Risk in €/h*) é fornecido pelo o Custo de Manutenção e a Falha por ano, através da seguinte formula: Risco de Manutenção. = Gasto de Manutenção por falha \* Falhas por ano.

O risco de produção (*Product. Risk in €/h*) envolve a margem de contribuição e a perda de produção, conforme a seguinte formula Risco de Produção = Perda de Prod. Em horas \* CM.

Dando sequencia somamos ambos os riscos, manutenção e produção, isso mostra o quanto um equipamento ou um sistema está gastando, no quadro 10 encontram-se espaço para reavaliar as estratégias conforme foi apresentado na seção 4.3.2.2.1.

#### 4.3.2.3 Analisar

Nesse ponto iremos realizar uma análise gráfica, mostrando qual dos equipamentos que realmente deveremos focar esforços e os quais são os mais críticos.

A principio restabeleceu a lista de equipamentos ordenada em ordem decrescente pelo risco total por ano dos equipamentos, quadro 11.

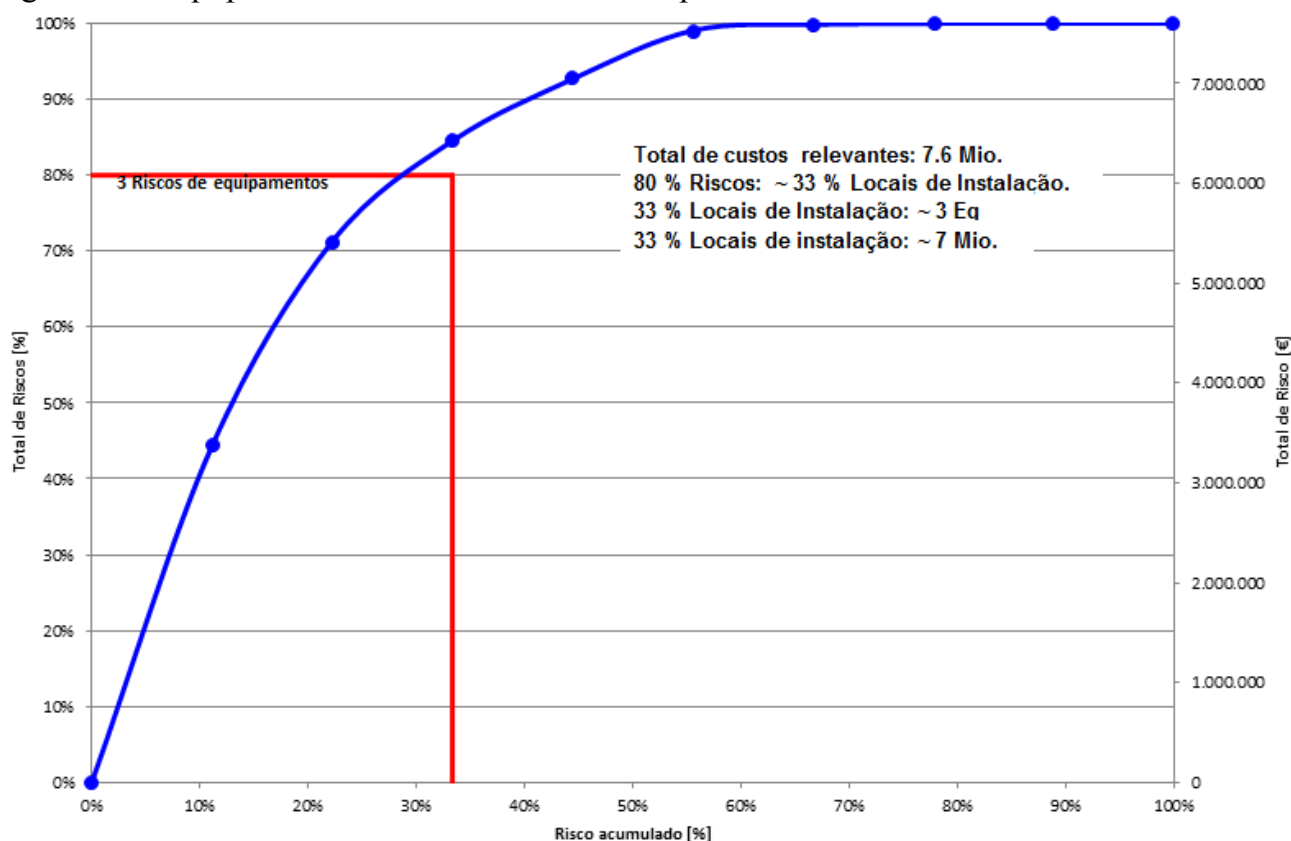
Quadro 11 – Ordenação dos equipamentos de acordo com a criticidade.

Functional Location (FL)	Description	Σ Risk in \$ per year	Risk	Risk % cummulated	Risk in \$ per year cummulated	Position number	cummulated in %
		7.602.926	0%	0%	0	0	0%
Local de Instalação 001	Reactor 01	3369300	44%	44%	3369300	1	11%
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	2048200	27%	71%	5417500	2	22%
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	1007500	13%	85%	6425000	3	33%
Local de Instalação 007	Pump 02	620060	8%	93%	7045060	4	44%
Local de Instalação 006	Reactor 03	484410	6%	99%	7529470	5	56%
Local de Instalação 003	Reactor 02	60120	1%	100%	7589590	6	67%
Local de Instalação 005	Heat Exchanger 02	10608	0%	100%	7600198	7	78%
Local de Instalação 004	Pump 01	2400	0%	100%	7602598	8	89%
Local de Instalação 009	Reactor 04	328	0%	100%	7602926	9	100%

Fonte: Autor.

Através desses dados conseguimos calcular quanto risco um equipamento traz perante todos, valor mostrado na coluna risco (*Risk*), para construção do gráfico utilizamos o risco acumulado %, o risco por ano acumulado com seus e também o acumulado das localizações (*cummulated in %*). Com esses dados conseguimos plotar o gráfico, figura 06, do quadro 11.

Figura 06 – Equipamento mais críticos dentro do processo.



Fonte: Autor.

Quadro 12 – Lista dos equipamentos mais críticos.

Functional Location	Description	Failure per year	Prod. failure durat. in h	CM in \$ per h	Maint. cost in \$ per failure	Maint. risk in € per year	Product. risk in € per year	Σ Risk in \$ per year
						23230	7.579.696	7.602.926
Local de Instalação 001	Reactor 01	0,33	200	51000	10000	3300	3.366.000	3369300
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	0,55	62	60000	4000	2200	2.046.000	2048200
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	0,50	100	20000	15000	7500	1.000.000	1007500
Local de Instalação 007	Pump 02	0,43	72	20000	2000	860	619.200	620060
Local de Instalação 006	Reactor 03	0,67	90	8000	3000	2010	482.400	484410
Local de Instalação 003	Reactor 02	0,12	50	10000	1000	120	60.000	60120
Local de Instalação 005	Heat Exchanger 02	0,78	8	700	8000	6240	4.368	10608
Local de Instalação 004	Pump 01	0,16	10	1000	5000	800	1.600	2400
Local de Instalação 009	Reactor 04	0,10	32	40	2000	200	128	328

Fonte: Autor.

Através do gráfico podemos observar que três pontos representam 85% dos riscos totais, com um valor de aproximadamente € 7 Milhões enquanto que os totais dos locais de instalações representam € 7,6 Milhões.

Nesta etapa do processo deve-se reunir a Produção junto com a Manutenção a fim de unir esforços verificando a possibilidade de redução de gastos ao longo do processo, tal como reduzir gastos de manutenção ou até mesmo diminuir a periodicidade de manutenção do equipamento, optando por uma manutenção preventiva ao invés da corretiva.

Neste estudo de caso, partiremos do principio da redução pela metade da falha por ano, o quadro 12 mostra o novo *status* dos três equipamentos juntamente com seu potencial de ganho, fazendo um investimento equivalente ao gasto de manutenção, evitando problemas que impactem na falha do equipamento.

Quadro 13 – Principais riscos antes dos investimentos.

Functional Location	Name	Risk before						
		Failures per year	Prd. Stop in h	CM in \$ in € pro h	Maint. Cost	Maint. risk in € per year	Product. risk in € per year	Σ Risk in \$ per year
						13000	6412000	6425000
Local de Instalação 001	Reactor 01	0,33	200	51000	10000	3300	3.366.000	3369300
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	0,55	62	60000	4000	2200	2.046.000	2048200
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	0,50	100	20000	15000	7500	1.000.000	1007500

Fonte: Autor.

Quadro 14 – Principais riscos depois dos investimentos.

Functional Location	Name	Risk After							Effort for Improvement in \$/a
		Failures per year	Prd. Stop in h	CM in \$ in € pro h	Maint. Cost	IS Risiko in € pro Jahr	Prod.-Risiko in € pro Jahr	Σ Risk in \$ per Year	
						6500	3206000	3212500	29000
Local de Instalação 001	Reactor 01	0,17	200	51000	10000	1650	1683000	1684650	10.000
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	0,28	62	60000	4000	1100	1023000	1024100	4.000
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	0,25	100	20000	15000	3750	500000	503750	15.000

Fonte: Autor.

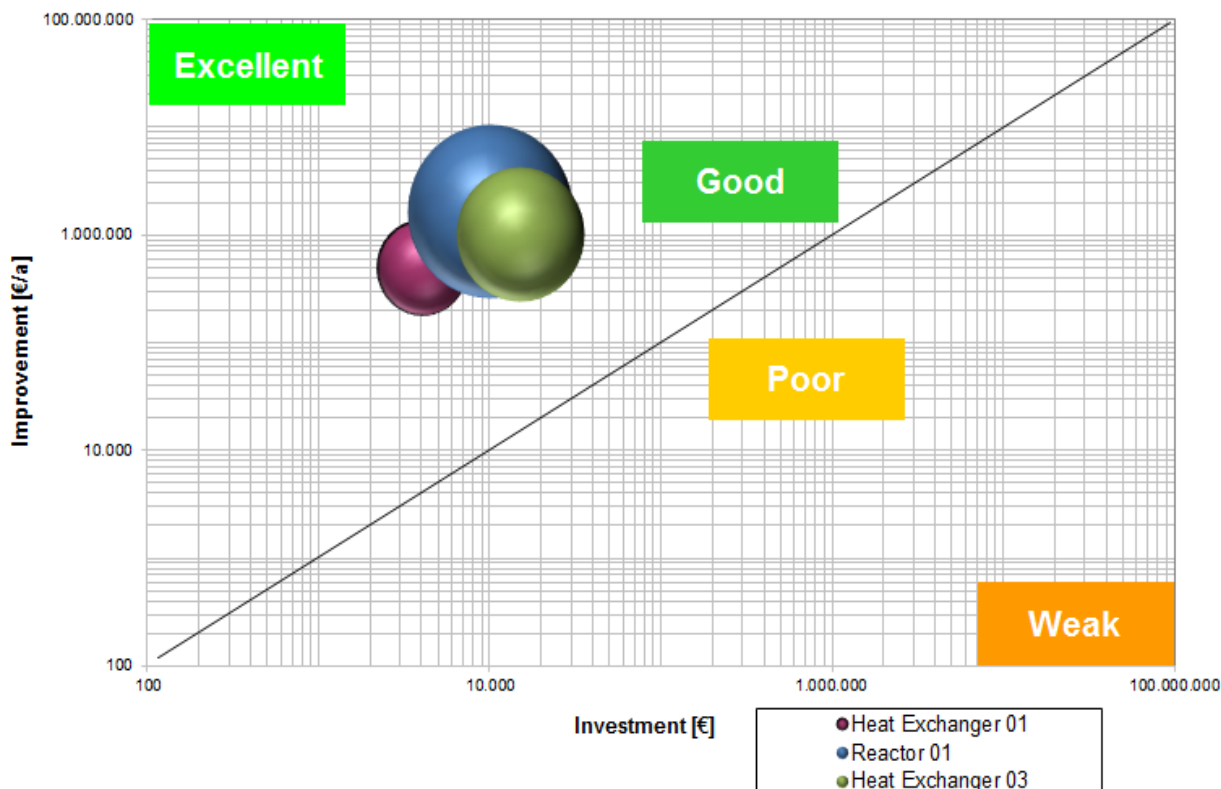
Conforme comentado acima e através dos quadros 13 e 14, podemos observar que com uma redução 50% das falhas por ano considerando a mesma disponibilidade dos equipamentos, conseguimos reduzir o custo total de riscos em 50%, para um investimento de mesmo valor nos gastos de manutenção.

Quadro 15 – Potencial do benefício.

Functional Location	Description	Risk before (Main. + Prod.) in €/a	Risk after (Maint+ Prod.) in €/a	Effort for Improvement in €/a	improvement = Risk (before) - Risk (after) in €/a
		6.425.000	3.212.500	29.000	3.212.500
Local de Instalação 001	Reactor 01	3369300	1684650	10.000	1.684.650
Local de Instalação 008	Heat Exchanger 03	2048200	1024100	15.000	1.024.100
Local de Instalação 002	Heat Exchanger 01	1007500	503750	4.000	503.750

Fonte: Autor.

Figura 07 – Relação custo de investimento x benefício.



Fonte: Autor.

Conforme o quadro 15 e a Figura 07, conseguimos uma visão do valor que poderemos ter, mediante ao investimento mencionado acima, na figura 07 temos uma leitura positiva do gráfico conforme as indicações nele presentes, no ponto excelente (excellent) são apresentados pequenos investimento com um grande retorno, esse caso ocorrem quando conseguimos tratar o problema reduzindo drasticamente seus gastos futuros. A magnitude das esferas apresentada na figura 07 representa o custo do risco total depois das melhorias, logo uma esfera menor representa menor gastos.

A partir desta análise faremos uma análise mais intensa nesses três locais de instalação, com o início da próxima etapa.

#### 4.3.2.4 Implementar

Esta fase e a próxima do DMAIC não serão aplicadas nesse trabalho de graduação, devido a falta de tempo hábil para a realização, no entanto mostrarei como deve ser o comportamento das mesmas.



A seguir devemos procurar identificar a causa raiz dos 3 equipamentos que apresentam maior criticidade ao processo. Para isso novamente contaremos com o time da Produção, Manutenção e também o apoio da Governança para auxiliar e tratar o problema com a melhor ferramenta disponível. Podemos utilizar ferramentas desde um brainstorm, 5W1H (Where, What, When, Who, Why, How often) diagrama de Ishikawa até FMEA, para este caso vamos apresentar o FMEA, para uma futura aplicação.

Quadro 16 – Representação de FMEA.

Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial - FMEA de PROCESSO														
FMEA: Reactor 01		Nº		Responsável:					Contato:					
Data de início		Revisão		Preparado por:										
Equipe de desenvolvimento: Reactor 01														
Função do processo	Modo de Falha potencial	Efeito(s) potencial(is) de Falha(s)	Causa(s) Mecanismo(s) Potencial(is) de Falha(s)	Plano de Ação	I m p o r t â n c i a	O c o r r ê n c i a	D e t e r m i n a ç ã o	Total = I*O*D.	Ação(ões) recomenda(s)	Responsável e Prazo	Resultado das Ações			Total = I*O*D.
											Ações realizadas	I m p o r t â n c i a	O c o r r ê n c i a	

Fonte: Autor.

Conforme mostra o diagrama de FMEA, depois da equipe realizar e encontrar a causa raiz do problema, será criado um plano de ação mostrando os responsáveis pelas implementações e os prazos.

#### 4.3.2.5 Controlar

Nesta etapa será mais plausível fazer um *follow up* do sistema após 6 meses, verificando se as ações que estão implementadas, e após 1 ano levantar os dados, para que possa contabilizar o real benefício, e iniciar novamente o processo.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi atingido uma vez que a meta era mensurar a confiabilidade dos equipamentos, identificar e analisar os principais “vilões”, no tema

de reduzir os gastos com manutenção, não foi possível devido a falta de tempo hábil para a implementação e futura análise, mas estipulou-se um valor, o qual impactou em 50% de redução com gastos de manutenção e também aumentou a disponibilidade dos equipamentos, uma vez que reduzimos a falhas em 50%.

Apesar do sucesso do estudo o projeto teve algumas dificuldades tal como a obtenção dos dados, uma vez que dependia do reporte de outra área, Produção, e também o fato que o projeto piloto não entrou em meta de nenhuma liderança. Outro obstáculo enfrentado foi a dificuldade em obter os dados por equipamentos, pois na presente empresa os dados são obtidos por sistemas ao invés de equipamentos, mediante a este cenário só era possível analisar em uma única fábrica da empresa, a qual possui os dados por equipamento, é válido ressaltar que no ano de implementação do projeto a fábrica permaneceu 2 meses em parada por manutenção e alguns atrasos com o retorno de suas atividades, impactando diretamente no cronograma da atividade. Ainda é válido ressaltar que a ferramenta em estudo é de origem Alemanha, ocasionando dificuldades na comunicação para possíveis dúvidas de como utilizar a ferramenta.

Conforme analisado a ferramenta é plausível para implementação porém devemos tomar algumas precauções tais como: Mensurar os parâmetros de entrada por equipamento ao invés do atual modelo, por sistema; Estreitar a comunicação entre as áreas envolvidas; Ter um maior esclarecimento da ferramenta para os envolvidos no projeto, uma vez que a ferramenta é vinda da sua sede da empresa, Alemanha.

Outro aspecto pertinente a esta conclusão é o fato que podemos ter uma boa visão em relação aos impactos que podem ser visualizado somente pelo fato da engenharia de campo possui as informações tais como: gastos de manutenção, perda de produção e as classificações dos equipamentos impactando desde disponibilidade técnica, redução de gastos com manutenção e redução da perda de produção, uma vez que sabemos a periodicidade dos equipamentos que falham e os sistemas/equipamentos que mais acarretam negativamente, podendo assim direcionar esforços em um estudo mais profundo em equipamentos que causem grandes impactos, ao invés de desperdiçar tempo em equipamentos que não agreguem grandes valores.

Vale-se dizer que a ferramenta RBM é muito utilizada na sede da empresa, Alemanha, o grande objetivo da manutenção não é o reparo rápido e eficaz do equipamento, mas sim não deixar ocorrer uma parada não planejada no sistema. Esta ferramenta está plenamente alinhada com este pilar da manutenção, além de aumentar a credibilidade da manutenção perante seus clientes e desenvolver um alinhamento em conjunto com as demais áreas envolvidas, possibilitando assim um objetivo único em prol da empresa como um todo.

Em suma, tanto o RBM quanto o GIO, são ferramentas que classificam os equipamentos de acordo com suas criticidades, porém é válido ressaltar que o GIO é uma ferramenta atrelada com *feeling* da equipe que está analisando os equipamentos, todavia o RBM traz resultados mais concretos com elaboração de planos de ações e demonstrativos de ganhos e perdas, embora o RBM seja uma ferramenta que envolva outras áreas e sua implementação seja complexo, conforme comentado a cima.

### 5.1. TRABALHOS FUTUROS

Com sugestões para trabalhos futuros, a mesma análise deva ser feita neste projeto podendo ser estendida com a realização de um projeto piloto, apresentando os reais valores, aqui não mensurados. Em relação ao processo possa se utilizar outra ferramenta da melhoria continua tal como a Carta de Controle e SIPOC.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Dimas Campos de. FMEA. Inc:\_\_\_\_. **Avaliação de Sistemas de Prevenção de Falhas em Processos de Manufatura da Indústria Automotiva com Metodologia de Auxílio à Decisão**. 2007. f 28-52. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica– Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:1994**. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

EL-HAIK, B. **Simulation-based lean six-sigma and design for six-sigma**. 1 ed. New Jersey, John Willey & Sons Inc. 2006. 411 p.

FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. R. **Confiabilidade e Manutenção industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009, 265p. (2 Tiragem)

KELLER, P. **Six Sigma demystified**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2005, 480 p.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001, 388p.

MAYNARD, H. B. **Manual de Engenharia de Produção**. 1 reimp. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.

NEPOMUCENO, L. X. **TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA**. Volume 1. 1. ed., São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1989, 501p. (4 reimpressão)

OSADA, Takashi; TAKAHASHI, Yoshikazu. **Manutenção Produtiva Total**. 1 ed. São Paulo: Instituto Iman, 1993. 322 p.

PEREZ-WILSON, Mário. **Seis Sigma: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2000. 286p.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitmark, 2003. 338p.

SETA D. GERENCIAL, **Material didático para Curso Green Belt das Cervejarias Kaiser**, 2009.

SILVA, C. E. S.; ANTONIETTI, L. E. **Análise específica das dificuldades de implementação do FMEA em uma indústria mecânica de autopeças**. 4º CBGPD. Gramado, RS. Out. 2003.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e Controle de Manutenção** - Rio de Janeiro, Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. d'Philippou. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998, 302 p.

WERKEMA, CATARINO M. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Série Seis Sigma. V 1. Nova Lima, Werkema Ed, 2004, 350 p.