

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO FERNANDES RUIZ

**GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA:
ANÁLISE DE REDUÇÃO DE TAXA DE FALHA**

VIÇOSA
2017

BRUNO FERNANDES RUIZ

**GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA:
ANÁLISE DE REDUÇÃO DE TAXA DE FALHA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauro de Oliveira Prates.

VIÇOSA
2017

BRUNO FERNANDES RUIZ

**GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA:
ANÁLISE DE REDUÇÃO DE TAXA DE FALHA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 29 de Junho de 2017.

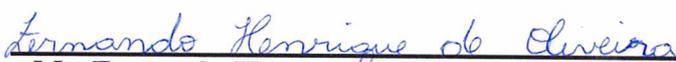
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Ms. Erick Silveira Brito - Membro
Universidade Federal de Viçosa



Ms. Fernando Henrique de Oliveira - Membro
Universidade Federal de Juiz de Fora

“O maior risco é não tomar risco!”

(Jorge Paulo Lehman)

Dedico este trabalho a Deus que me deu uma família maravilhosa, a meus pais que sempre estiveram ao meu lado, ao meu irmão meu melhor amigo e minha fiel companheira, Jessica.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha mãe, Rosemary, que sempre me apoiou e me incentivou, estando sempre ao meu lado. Ao meu pai, Luiz Carlos, figura empreendedora que me incentivou a buscar meu futuro e buscar a excelência, sempre moldando meu caráter e me ajudando a tomar escolhas na vida. Agradeço a vocês pela educação oferecida a mim, pelo apoio incondicional e por me ensinarem a buscar sempre crescer de forma ética e responsável, seja profissionalmente ou na vida pessoal. Ao meu irmão, Mateus, meu melhor amigo que me sempre me ajuda a enfrentar os desafios do dia a dia.

A Jessica, minha namorada, que sempre está ao meu lado oferecendo conforto e incentivo nas horas ruins e apoio durante toda minha jornada. Entendendo sempre os sacrifícios para que eu possa alcançar meus objetivos.

Agradeço de coração a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica por terem tido paciência na hora do ensino e também por sempre nos motivarem a buscar a excelência. Principalmente, gostaria de agradecer ao professor Mauro Prates, que foi um mentor durante a graduação e projetos de extensão, na busca pelo intercâmbio e pela orientação para o desenvolvimento desse estudo.

Levo em meu coração todos os meus amigos que fiz em Viçosa, em especial ao pessoal da Republica Five and a Half men, do maior time de futebol da elétrica da UFV, o Alambique de Lyohms, a galera do ano de 2010 e da coordenação. Por sempre estarem ao meu lado, e me mostrarem o significado da palavra amizade.

Resumo

A otimização de recursos é algo presente durante toda história da evolução da indústria, pois se faz necessário a eliminação de desperdícios em todas as etapas de um processo produtivo. E esse conceito é estendido para a gestão da Manutenção em uma planta industrial. Para uma gestão de excelência deve-se conhecer todas etapas dos processos de cada setor, de cada equipamento e também quando e por que aplicar-se cada tipo de manutenção, gerenciando de forma ativa os ativos visando sempre diminuir custos e aumentar a produtividade dos processos industriais.

Os recursos financeiros e de mão de obra devem ser distribuídos de forma estratégica para prevenir falhas dos equipamentos. Portanto, o planejamento de manutenção é fundamental para definir qual método de manutenção deve ser utilizado. Em grande parte é aplicado os conceitos de manutenção preventiva, por meio de planos de manutenção, inspeções em equipamentos para detecção de possíveis falhas. Mas também é aplicado a manutenção preditiva, conceito essencial para a detecção de comportamentos inadequados de equipamentos, pois detecta-se falhas potenciais e isso ocorre devido a análise de fatores específicos que indicam essa mudança de comportamento.

O presente estudo apresenta uma proposta de análise do macro processo da aplicação da manutenção preditiva em uma planta industrial, analisando todas as etapas. Sendo que o principal objetivo é desenvolver uma metodologia para a análise de causa raiz das potenciais falhas detectadas por técnicas preditivas, sendo elas: análise de óleo isolante, análise de óleo lubrificante, análise de circuitos de motores, análise de termografia elétrica, análise de termografia mecânica e análise de vibração. Logo, o intuito dessa análise de causa se faz necessário para diminuir a detecção de potenciais falhas e a recorrência das mesmas. A metodologia proposta apresenta conceitos de manutenção industrial, técnicas preditivas e conceitos de Lean Manufacturing.

Palavras Chave: Taxa de Falha, Recorrência de Falha, Relatório de Diagnóstico e Prognóstico (RDP), técnicas preditivas.

Abstract

Throughout the industry, evolution of resource optimization has been an essential part because it is necessary to eliminate waste in all of the productive process steps. This concept is extended to the Maintenance management in an industrial plant. To achieve the excellency in this management, the knowledge about all the process in each area, each equipment and also the reason that each type of maintenance it is going to be applied, managing in an active way the resources always aiming to reduce costs and improve the productivity.

The financial resources and labor should be distributed in a strategic way to avoid failures in all the machinery. Therefore, the maintenance planning is essential to define the maintenance method. Usually, it is used the preventive maintenance concepts, by means of maintenance plans, equipment inspection to detect potential failures. In addition, it is largely applied the predictive maintenance, fundamental concept to detect inappropriate machinery behavior because it detects potential failures before they occur because it is analyzed some specific factors that show this variance.

This project shows a proposal of the application of predictive maintenance and analyze of its macro process in an industrial plant, analyzing all of the steps. The main objective is to develop a methodology to analyze the potential failures root causes by using predictive technics, which are: analyze of insulating oil, lubricant oil, motor circuits, electric thermography, mechanical thermography and vibration. Therefore, this root cause analyze is necessary to decrease the potential failures detection and recurrence of it. This methodology proposal shows industrial maintenance concepts, predictive technics and Lean Manufacturing concepts.

Keywords: Failure rate, failure recurrence, Diagnostic and Prognostic Report (RDP), predictive technics.

Sumário

1. Introdução.....	16
1.1 Justificativa.....	18
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Estrutura	19
2. Levantamento Bibliográfico.....	20
2.1 Tipos de Manutenção	20
2.1.1 Manutenção Corretiva	20
2.1.1.1 Manutenção Corretiva Não Programada	20
2.1.1.2 Manutenção Corretiva Programada	20
2.1.2 Manutenção Preventiva	20
2.1.3 Manutenção Preditiva.....	21
2.1.3.1 Análise de Óleo	23
2.1.3.2 Análise de Circuitos Motores	23
2.1.3.3 Análise de Vibração	23
2.1.3.4 Análises de Termografia.....	24
2.2 Lean Manufacturing	24
2.3 Lean Maintenance	24
3. Metodologia.....	25
3.1 Business Case	25
3.2 Roadmap.....	26
3.2.1 Project Charter.....	27
3.2.2 SIPOC.....	28
3.2.3 Voice of Customer (VOC).....	29
3.2.4 Time Series	29
3.2.4.1 Taxa de Falha Inicial	30
3.2.4.2 Taxa de Falha inicial para análise de Óleo Isolante	31
3.2.4.3 Taxa de Falha inicial para análise de Óleo Lubrificante	32
3.2.4.4 Taxa de Falha inicial para análise de Circuitos de Motores	33
3.2.4.5 Taxa de Falha inicial para análise de Termografia Elétrica	34
3.2.4.6 Taxa de Falha inicial para análise de Termografia Mecânica	35
3.2.4.7 Taxa de Falha inicial para análise de Vibração	35
3.2.5 Coleta de Dados.....	36
3.2.5.1 Histograma da análise de Óleo Isolante	36
3.2.5.2 Histograma da análise de Óleo Lubrificante	38
3.2.5.3 Histograma da análise de Circuitos Motores.....	39

3.2.5.4	Histograma da análise de Termografia Elétrica	39
3.2.5.6	Histograma da análise de Termografia Mecânica	40
3.2.5.7	Histograma da análise de Vibração	40
3.2.6	VSM	41
3.2.7	Cause and Effect.....	41
3.2.8	Prioritization	41
3.2.9	Action Plan	41
3.2.10	Results Check	41
4	Resultados e Discussões.....	42
4.1	Value Stream Mapping.....	42
4.2	Análise de Causa e Efeito, Matriz de Criticidade e Plano de Ação	43
4.2.1	Óleo Isolante.....	43
4.2.2	Óleo Lubrificante.....	45
4.2.3	Circuitos de Motores	46
4.2.4	Termografia Elétrica.....	47
4.2.5	Termografia Mecânica.....	48
4.2.6	Vibração	50
4.3	Resultados Obtidos	51
4.3.1	Óleo Isolante.....	52
4.3.2	Óleo Lubrificante.....	52
4.3.3	Circuitos de Motores	55
4.3.4	Termografia Elétrica.....	56
4.3.5	Termografia Mecânica.....	58
4.3.6	Vibração	59
4.4	Resultado Geral	61
5	Conclusões.....	62
6	Referências Bibliográficas	63

Lista de Figuras

Figura 1: Intervalo entre a falha potencial (P) e a ocorrência da falha (F) (MOUBRAY, 1999).....	22
Figura 2: Business Case.....	25
Figura 3: Fluxograma do processo de Gerenciamento de Manutenção Preditiva.....	26
Figura 4: Project Charter.....	27
Figura 5: SIPOC do processo de obtenção das análises preditivas.....	28
Figura 6: Voice of Customer do processo de manutenção preditiva.....	29
Figura 7: Cenário inicial da Taxa de Falha.....	30
Figura 8: Cenário inicial de Taxa de Falhas dividido pelas técnicas de análises preditivas.....	31
Figura 9: Taxa de Falha inicial da análise de óleo isolante.....	32
Figura 10: Panorama inicial da análise de Óleo Lubrificante.....	33
Figura 11: Taxa de Falha inicial da análise de Circuitos Motores.....	34
Figura 12: Perspectiva inicial da análise de Termografia Elétrica.....	34
Figura 13: Análise inicial de Termografia Mecânica.....	35
Figura 14: Análise de Vibração.....	36
Figura 15: Distribuição de falhas de análise de Óleo Isolante do ano anterior.....	38
Figura 16: Histograma da análise de Óleo Lubrificante do ano anterior.....	38
Figura 17: Histograma da análise de Circuitos Motores do ano anterior.....	39
Figura 18: Histograma da análise de Termografia Elétrica do ano anterior.....	40
Figura 19: Histograma da análise de Termografia Mecânica do ano anterior.....	40
Figura 20: Histograma da análise de Vibração do ano anterior.....	41
Figura 21: Value Stream Mapping da Manutenção Preditiva.....	42
Figura 22: Matriz de causa fundamental para a análise de Óleo Isolante.....	44
Figura 23: Matriz de causa fundamental da análise de Óleo Lubrificante.....	45
Figura 24: Matriz de causa fundamental da análise de Termografia Elétrica.....	47
Figura 25: Matriz de causa fundamental da análise de Termografia Mecânica.....	49
Figura 26: Matriz de causa fundamental da análise de Vibração.....	50
Figura 27: Comparação entre os anos de 2015 e 2016 para a técnica de Óleo Isolante.....	53
Figura 28: Histograma da análise de Óleo Isolante.....	53
Figura 29: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Óleo Lubrificante.....	54
Figura 30: Histograma e Boxplot da análise de Óleo Lubrificante.....	54
Figura 31: Comparação entre panorama final da análise de Circuitos de Motores.....	55
Figura 32: Histograma da análise de Circuitos de Motores.....	56
Figura 33: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Termografia Elétrica.....	57
Figura 34: Histograma e Boxplot da análise de Termografia Elétrica.....	57

Figura 35: Comparação entre o panorama inicial e final da análise de Termografia Mecânica.	58
Figura 36: Histograma e Boxplot da análise de Termografia Mecânica.	59
Figura 37: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Vibração.	60
Figura 38: Histograma e Boxplot da análise de Vibração.	60
Figura 39: Cenário final de Taxa de Falhas	61

Lista de Tabelas

Tabela 1: Cronograma de evolução da manutenção ao longo dos anos (KARDEC; NASCIF,2001).....	17
Tabela 3: Plano de coleta de dados.....	21
Tabela 3: Plano de coleta de dados.....	36
Tabela 4: Tabela de criticidade padrão.....	42
Tabela 5: Matriz de Criticidade da análise de Óleo Isolante.	43
Tabela 6: Plano de ação para análise de Óleo Isolante.....	44
Tabela 7: Matriz de Criticidade da análise de Óleo Lubrificante.....	45
Tabela 8:Plano de ação para a análise de Óleo Lubrificante.	45
Tabela 9: Matriz de criticidade da análise de Termografia Elétrica.....	47
Tabela 10: Plano de ação para a análise de Termografia Elétrica.	47
Tabela 11: Matriz de Criticidade da análise de Termografica Mecânica.	48
Tabela 12: Plano de ação para análise de Termografia Mecânica.....	49
Tabela 13: Matriz de criticidade da análise de Vibração.	50
Tabela 14: Plano de ação da análise de Vibração.....	50

1. Introdução

Historicamente o setor industrial tem interpretado a manutenção como uma atividade de rotina, para conserto em máquinas, indo na direção oposta ao real significado: mantê-las em funcionamento. A falta de gerenciamento nas atividades, pesquisas e estudos na área resultava em impactos profundos em cumprimento de prazos, controle de custos, qualidade de serviços e também a imagem do setor.

A Manutenção vem evoluído desde 1930, sendo dividida em 4 gerações. A primeira geração é iniciada antes da Segunda Guerra, e a indústria possuía equipamentos simples e robustos. Conseqüentemente, eram realizados apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após quebra, pois a mentalidade em relação às falhas dos equipamentos era de que o desgaste era inevitável ao longo do tempo, resultando assim em falhas ou quebras.

Já a Segunda Geração ocorre entre os anos de 50 e 70 do século passado, após a Segunda Guerra. Logo, a indústria recebeu uma demanda maior por todos os tipos de produtos e seu contingente estava consideravelmente reduzido no período pós-guerra. Com isso, aumentou-se a complexidade das instalações industriais, e exigiu-se uma maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade dos equipamentos. Adotou-se a manutenção preventiva, intervenções de intervalos fixados. Elevou-se assim o custo da manutenção em relação com custos operacionais, sendo assim se fez necessário a criação de um sistema de planejamento e controle de manutenção.

A Terceira Geração iniciou-se a partir da década de 70, e durante esse período a automação e a mecanização apresentou um crescimento de utilização em indústrias, indicando que a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos tornou-se um objetivo comum de diversos setores industriais. Esse crescimento da automação significava que falhas cada vez mais comuns afetassem a capacidade de manter padrões de qualidade e serviços. Também desenvolveu-se nesse período uma cobrança maior em relação a áreas de segurança e meio ambiente, áreas diretamente afetadas por falhas recorrentes de equipamentos ou processos. Durante essa geração, o conceito de manutenção preditiva foi implementado em indústrias, o avanço da informática permitiu a utilização de softwares potentes para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção. E também aplicou-se o conceito de confiabilidade pela Engenharia e também na Manutenção. No entanto, percebeu-se que era necessária uma interação entre as áreas de engenharia, manutenção e a operação, pois a taxa de falhas prematuras, mortalidade infantil de um equipamento, eram elevadas.

A Tabela 1 representa um cronograma de quando cada geração foi iniciada assim

como suas principais modificações. Pode-se perceber que a quarta geração iniciou-se na segunda metade da década de 1990. Portanto, a Quarta Geração continuou a busca por uma maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, passando a focar em diminuir falhas prematuras. Adotou-se assim a análise de falhas, pois é uma prática capaz de melhorar a performance dos equipamentos e da empresa. As práticas de manutenção preditiva e monitoramento de condição de equipamentos e do processo foram cada vez mais utilizadas, reduzindo-se assim a aplicação da manutenção preventiva ou programada, pois ela impacta diretamente na disponibilidade dos equipamentos, e o mesmo ocorre para manutenção corretiva não planejada, que indica ineficácia da manutenção (KARDEC; NASCIF, 2001).

A evolução, crescimento e globalização da economia transformou o ambiente industrial muito mais competitivo, fazendo com que as empresas adquirissem uma cultura de preservar o aperfeiçoamento contínuo de seus processos e produtos (SIQUEIRA, 2005).

A identificação das falhas e especificações das ações corretivas necessárias é um processo no qual raramente é estruturado de forma adequada. As tecnologias de diagnóstico (vibrações, análise de lubrificantes, termografia, ferrografia, análise de corrente, entre outras) são fundamentais para a identificação de sintomas que conduzem a defeitos ou falhas, porém nem sempre essas informações de identificação de falhas são de fácil compreensão. Garantindo uma análise de diagnóstico, a interpretação de falhas de forma adequada atingirá diretamente a eficiência de ativos de produção, pois assim o nível de confiabilidade dos equipamentos será elevado e um menor investimento em componentes de reposição e mão de obra será realizado. Portanto, a identificação automática de sintomas de defeitos ou falhas, realizar diagnósticos e o processo de tomadas de decisão é fundamental para estruturar uma gestão de manutenção.

Tabela 1: Cronograma de evolução da manutenção ao longo dos anos (KARDEC; NASCIF,2001).

Evolução da Manutenção				
	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração	4ª Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	- Conserto após 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 - Influir nos resultados do negócio - Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade, e por isso, falham	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	- Existência de padrões de falhas	- Reduzir drasticamente falhas prematuras
Mudança nas técnicas de Manutenção	- Reparo	- Planejamento manual de manutenção - Computadores grandes e lentos - Manutenção Preventiva	- Monitoramento da condição dos equipamentos - Manutenção Preditiva - Análise de risco - Computadores pequenos e rápidos - Softwares potentes - Grupos de trabalho multidisciplinares - Projetos voltados para confiabilidade - Contratação por mão de obra e serviços	- Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da condição - Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não planejada - Análise de Falhas - Técnicas de confiabilidade - Manutenibilidade - Engenharia de Manutenção - Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo de ciclo de vida. - Contratação por resultados

1.1 Justificativa

Para se adaptar aos níveis competitivos, ao avanço e utilização da tecnologia dentro das indústrias, os conceitos do gerenciamento de produção tiveram que evoluir, ou seja, as antigas “verdades absolutas” foram revisadas. Dessa forma, novas práticas, sistemas e inovações foram surgindo em vários setores. Portanto, o setor de Manutenção sofreu uma grande alteração em seus paradigmas.

O elevado número de oportunidades no setor de Manutenção justifica a proposta deste

trabalho, a julgar pelo fato de que a gestão estratégica desse setor ainda não é difundida no Brasil. Com o intuito de diminuir o número de falhas, as recorrências e até o tempo de solução de anomalias é necessário elevar a confiabilidade de equipamentos na indústria, pois uma indisponibilidade operacional representa, financeiramente, um custo muito mais elevado que o próprio reparo. Dessa forma, além da estratégia de manutenção alavancar os resultados produtivos também otimizará os custos de manutenção e aumentará consideravelmente a vida útil de seus equipamentos, evitando assim a obsolescência.

Além de que, há uma grande motivação por parte do autor em se aprofundar no assunto, tendo em vista o fato de que o assunto não foi abordado durante sua graduação e que tal tema é de grande importância para o mercado de trabalho. Dessa forma, a relação entre estágio e este trabalho é uma etapa fundamental antes da colação de grau.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é propor uma análise metodológica para o tratamento de indicadores provenientes de um sistema de manutenção preditiva em um sistema industrial.

Como objetivos específicos têm-se:

- Apresentar conceitos e metodologias das técnicas preditivas;
- Análise do panorama inicial de Manutenção Preditiva em uma indústria de bebidas;
- Analisar as causas raiz das falhas detectadas;
- Propor ações para minimizar a quantidade de falhas detectadas por técnicas preditivas;
- Propor ações para minimizar a quantidade de recorrência de falhas detectadas por técnicas preditivas.

Logo, este trabalho visa otimizar a utilização de técnicas preditivas de modo a minimizar falhas para assim estruturar a gestão estratégica de manutenção.

1.3 Estrutura

O segundo capítulo desse trabalho apresenta conceitualmente todos os métodos de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) e outros conceitos importantes para o bom entendimento do texto, por meio de um levantamento bibliográfico.

O terceiro capítulo trata da metodologia para a identificação de todas as etapas e variáveis do projeto e também mostra o panorama inicial do problema. Já o quarto capítulo apresenta os resultados obtidos nesse trabalho prático, evidenciando as análises da manutenção no sistema industrial em estudo. Por fim, o último e quinto capítulo traz as conclusões obtidas.

2. Levantamento Bibliográfico

Será discutido nesse capítulo o embasamento teórico necessário para a utilização dos conceitos aplicados nesse trabalho.

2.1 Tipos de Manutenção

O modo como a intervenção é feita caracteriza o tipo de manutenção. Serão apresentados quatro métodos básicos de manutenção, sendo elas: manutenção corretiva não programada, manutenção corretiva programada, manutenção preventiva e manutenção preditiva. Para essa última prática será descrito as técnicas preditivas utilizadas no trabalho.

2.1.1 Manutenção Corretiva

Em um processo produtivo contínuo a interrupção sempre será indesejada, pois trará prejuízos financeiros e também prejudica a otimização da mão de obra, a programação de produção. Portanto a manutenção corretiva acontecerá em situações de parada de produção seja por falha do equipamento ou um desempenho menor do que a capacidade nominal do mecanismo. Analisando o custo de manutenção, geralmente a manutenção corretiva pode ser mais barata que a prevenção de falhas, mas se somado os custos provocados por perdas de produção seu custo passa a ser indesejado (XENOS, 1998). Sendo assim, para as falhas que possuem impactos em áreas de segurança ou meio ambiente, atividades preventivas somente valerão a pena se reduzirem a probabilidade de falha a nível de tolerância bem baixo (MOUBRAY, 1999). A manutenção corretiva é subdividida em:

2.1.1.1 Manutenção Corretiva Não Programada

Esse tipo de manutenção tem como principal objetivo colocar o equipamento em condições de voltar a exercer suas funções em estado nominal. Porém geralmente as falhas são inesperadas resultando assim na paralisação do processo produtivo, perdas de qualidade do produto, perdas de produção e aumento de custos indiretos (KARDEC; NASCIF, 2001).

2.1.1.2 Manutenção Corretiva Programada

Diferentemente da manutenção corretiva não programada, esse tipo de tratamento é efetuado em um período, intervenção e acompanhamento do equipamento programados, desde que o defeito não implique em parada total da máquina. Logo o planejamento é uma ferramenta fundamental desse tipo de manutenção e deverá considerar diversos fatores para não impactar o processo produtivo (KARDEC; NASCIF, 2001).

2.1.2 Manutenção Preventiva

Ao contrário da política de manutenção corretiva, a manutenção preventiva procura

evitar de forma incessante a ocorrência de falhas. Como já discutido anteriormente, a manutenção preventiva será cada vez mais conveniente quando os custos de falhas forem altos, a simplicidade de reposição de peças for alta, quando falhas apresentarem riscos para a segurança pessoal e operacional e quanto mais as falhas prejudicarem a produção (KARDEC; NASCIF, 2001).

A base da manutenção preventiva é a ferramenta conhecida com inspeção periódica, pois rotas serão traçadas de modo a identificar potenciais falhas, aumentando a vida útil dos equipamentos. Assim, a manutenção corretiva é transformada em uma manutenção pro ativa, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e conseqüentemente o aumento da produtividade e redução de custos (BIN, 2005). De acordo com SLACK et. Al. (2002, p.645), a manutenção preventiva “visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados.”

A gestão de manutenção deverá levar em conta as estatísticas de vida dos equipamentos, para assim poder programar as atividades preventivas de modo a recondicionar as máquinas, porém para essas intervenções deverão ocorrer paradas programadas para manutenção e para isso deverá haver uma interação entre as áreas produtivas e a manutenção (ALMEIDA, 2000).

2.1.3 Manutenção Preditiva

Sabe-se que a relação entre o tempo de funcionamento de um equipamento e sua probabilidade de falha são diretamente proporcionais, pois o desgaste aumenta gradativamente. No entanto, apesar de muitos modos de falhas não serem relacionados com a idade do equipamento, muitos deles fornecem certos avisos que estão em processo de ocorrer uma falha. Se houver visibilidade para a área de manutenção que algum equipamento está no estágio final de sua vida útil, possivelmente serão executadas ações preventivas para evitar que a falha aconteça e gere conseqüências indesejáveis (MOUBRAY, 1999).

A Figura 1 apresenta um gráfico que explicita a diferença prática entre a falha potencial P e a falha funcional F, que realmente acontecerá. Logo a falha potencial P é uma condição identificável que indica que uma falha funcional está prestes a acontecer ou em processo de quebra. Como o eixo y indica o estado do equipamento, ou seja, a saúde da máquina, e se quanto mais perto estiver do eixo x mais rápido quebrará. Já o eixo x, correlaciona o tempo de funcionamento de um equipamento. Portanto, o intervalo P-F nos mostra o tempo entre uma falha potencial, que ainda não ocorreu, até uma falha real e a

intenção das técnicas preditivas é a detecção de potenciais falhas, pois assim medidas preventivas poderão ser tomadas para impedir o acontecimento de falhas funcionais (MOUBRAY, 1999). Por exemplo, se um técnico mecânico utilizar a audição para detectar ruídos em um equipamento, ele está utilizando uma técnica preditiva para identificar uma falha potencial.

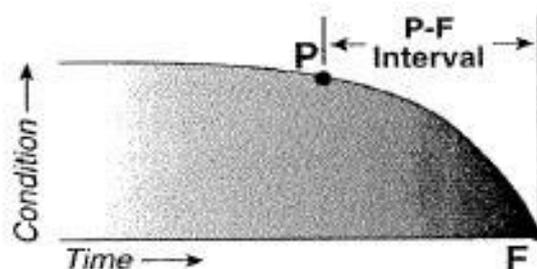


Figura 1: Intervalo entre a falha potencial (P) e a ocorrência da falha (F) (MOUBRAY, 1999).

Portanto a manutenção preditiva acompanha parâmetros e variáveis de desempenho das máquinas, buscando sempre o momento ideal para intervenção, porém deve-se destacar que o objetivo principal deverá detectar potenciais falhas proporcionando a maior vida útil do equipamento (OTANI; MACHADO, 2008). Dessa forma, as técnicas preditivas são monitoramentos da condição dos equipamentos e a partir disso, ações corretivas são geradas. Com isso, são realizadas manutenções corretivas programadas (KARDEC; NASCIF, 2001).

Para uma melhor compreensão do texto, as técnicas preditivas utilizadas nesse trabalho são apresentadas na Tabela 2. Os detalhes dessas técnicas estão nas subseções a seguir.

Tabela 2: Técnicas Preditivas utilizadas.

Análise de Óleos Lubrificantes ou Isolantes	Análise de Temperatura
Viscosidade, Número de neutralização (acidez ou basicidade), Teor de água, Insolúveis, Contagem de partículas metálicas por espectrometria por infravermelho, Cromatografia gasosa, Tensão Interfacial, Rigidez dielétrica, Ponto de Fulgor	Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
Ensaio de Circuitos de Motores	Análise de Vibrações
Corrente, Tensão, Isolação, Perdas dielétricas, Rigidez dielétrica, Espectro de corrente ou tensão.	Nível global, Espectro de Vibrações, Pulso de choque

2.1.3.1 Análise de Óleo

Essa técnica preditiva coleta e analisa o grau de degradação e contaminação para identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente, a partir do estudo das partículas sólidas geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato dos óleos, ou seja, essa análise detecta sujidades nas amostras de óleo, pois assim diminuem as propriedades do óleo seja ele lubrificante ou isolante. Também detecta a presença de água, e a presença de partículas ferrosas. Essas análises avaliam propriedades como viscosidade, acidez, alcalinidade, ponto de fulgor, ponto de congelamento, contaminação por água, resíduos de carbono, partículas metálicas e não metálicas.

Quando estuda-se a presença de água (livre, emulsionada ou dissolvida) em óleo percebe-se alterações químicas como a oxidação e depleção de aditivos, assim como alteração da viscosidade por emulsão. Para os equipamentos os efeitos são a cavitação e desgaste, pois a resistência da partícula lubrificante torna-se menor. Assim como a água, os sólidos presentes em óleos impactam em oxidação e depleção de aditivos, pois a viscosidade é reduzida. E para os equipamentos aumenta-se a fadiga da superfície e a abrasão devido ao atrito desses sólidos com os componentes. Já para a análise de ferrografia tem-se o objetivo de determinar o grau e modo de desgaste de máquinas e equipamentos através da presença de partículas (limalhas) encontradas em amostras de óleo. Pode-se detectar diversos tipos de materiais sendo eles metálicos ou não. Com essa análise detecta-se sobrecargas, desalinhamento, oxidação, corrosão por ataque químico, erros de projeto, montagem ou operação.

2.1.3.2 Análise de Circuitos Motores

Consiste em técnicas não-invasivas de diagnóstico de anomalias em motores de indução trifásicos que utiliza análise espectral de sinais de corrente. Assim, quando uma falha ou um defeito está em formação, o espectro da frequência da corrente torna-se diferente do espectro “nominal” do motor, ou seja, o comportamento apresentado pela forma de onda da corrente em boas condições de operação do motor é alterado. Essa técnica produz informações detalhadas das condições do motor, do circuito de alimentação, da qualidade de energia e carga (acoplamento, polias, correias e engrenagens) permitindo a detecção de potenciais falhas.

2.1.3.3 Análise de Vibração

Através da coleta do sinal com um acelerômetro conectado ao ponto a ser medido mede-se a vibração do equipamento. A frequência de vibração indica a origem do modo de falha. As principais fontes causadoras de vibração são os desbalanceamentos, desalinhamentos, folgas mecânicas, eixo empenado, defeitos de rolamentos, falhas de lubrificação, falhas

elétricas em motores, conjunto de engrenagens defeituosas, falhas em polias ou correias.

2.1.3.4 Análises de Termografia

Técnica preditiva que permite a medição e acompanhamento de temperatura através de valores pontuais ou imagens térmicas. É possível acompanhar a evolução de modos de falha relacionados tanto com problemas de origem elétrica como mecânica, ou seja, a identificação de mau contato na ligação dos fios de um motor, sobrecargas de circuitos, oxidação, desgastes, desbalanceamento de cargas, atritos, problemas de lubrificação e vibração excessiva.

2.2 Lean Manufacturing

O Lean Manufacturing, em português Produção Enxuta, é a prática de eliminar desperdícios em todas as áreas de produção, design do produto, fluxo de produção, manutenção, certificações de qualidade e gestão de indústrias. O principal objetivo é a utilização de menos esforço humano, menos material, menos tempo para responder as demandas do cliente, menos tempo para desenvolver produtos de alta qualidade, fazendo tudo isso da maneira mais eficaz e mais viável economicamente. Assim como o Lean Manufacturing, o Lean Maintenance também procura eliminar desperdícios (JASIULEWICZ-KACZMAREK, 2014).

2.3 Lean Maintenance

Assim como o Lean Manufacturing, esse conceito tende a otimizar os processos da gestão de manutenção. No entanto, deve-se atentar sempre ao giro inadequado de um ciclo PDCA, (do inglês *Plan – Do – Check – Act*, ou em português Planejar, Executar, Verificar e Atuar), pois isso tem gerado um grande erro na área de manutenção. Acontece que muitas vezes o ciclo tem-se concentrado na etapa “Executar”, tornando a execução do reparo cada vez mais eficiente. No entanto, a gestão de manutenção deve sempre buscar evitar a falha e não aperfeiçoar-se em corrigir imprecisões e quebras, sendo assim não deve-se focar na prevenção de falhas e não corretivamente e para isso deve-se sempre buscar a causa raiz das falhas apresentadas (KARDEC; NASCIF, 2001). O papel principal da equipe de manutenção é manter de forma sustentável o equipamento em suas condições de operação e não concertar após as falhas (MOBLEY, 2004).

3. Metodologia

Neste capítulo será apresentado todos os passos seguidos para o gerenciamento de manutenção preditiva que foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Também será apresentado um panorama inicial de cada técnica preditiva antes da análise, assim será possível acompanhar a evolução de cada indicador.

Foi utilizado ferramentas para se ter uma visão do macro processo, tendo como objetivo a otimização de todas as etapas do processo de obtenção, análise e execução de manutenções preditivas.

3.1 Business Case

O *Business Case* é um escopo do projeto, pois contém o objetivo principal, os indicadores analisados e também contém um fluxograma explicativo da sequência de ações relacionadas a obtenção das análises preditivas que ocorrem realmente no campo. A Figura 2 nos mostra os detalhes desse bloco.

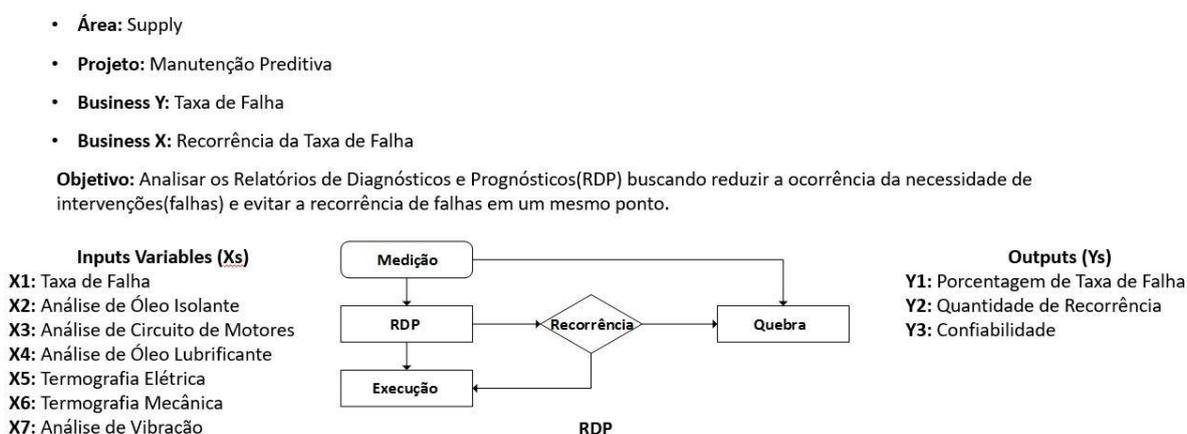


Figura 2: Business Case.

A partir da Figura 2 percebe-se que as principais variáveis do projeto são Taxa de Falha e a Recorrência da Taxa de Falha. Para entender essas variáveis, a princípio é necessário entender o fluxo de medições, conforme fluxograma que está na Figura 2. Sendo assim, a sequência acontece da seguinte forma, as medições são realizadas em campo e os dados dessas medições são analisados em laboratório. Gera-se **Relatórios de Diagnóstico e Prognóstico (RDP)** para os equipamentos que apresentaram sinais de falhas, deve-se então executar a manutenção de modo a sanar a falha detectada, caso a manutenção não seja executada e for a medição for realizada novamente a falha persistirá, configurando assim a recorrência de falha. Ao persistir a recorrência a quebra irá acontecer.

A Taxa de falha é definida pela equação 1. Como o RDP é um relatório proveniente

de falhas detectadas em equipamentos, então a recorrência dessas falhas também é um fator importante para o tratamento da causa raiz. Fundamentado pela emissão dos relatórios a equipe de manutenção deverá executar o procedimento de manutenção para assim evitar-se que as quebras realmente aconteçam.

$$Taxa\ de\ Falha = \frac{RDPS}{Total\ de\ Pontos\ Medidos} \quad (1)$$

3.2 Roadmap

Primeiramente, para se almejar os resultados pretendidos neste trabalho, definiu-se um fluxograma amplamente utilizado na apresentação de projetos, chamado de Roadmap, o qual representa todas as etapas do ciclo PDCA. A Figura 3 nos mostra esse fluxograma, que é dividido em 4 passos. No primeiro, tem-se a identificação do problema e definição dos objetivos, onde são separados em quatro blocos o Project Charter, que é um esboço do projeto, SIPOC, um fluxograma detalhado das etapas do processo, Voice of Customer, é a demanda das áreas clientes e Time Series, situação inicial de cada técnica preditiva. Já no segundo passo, ocorre a análise dos dados no início do projeto por meio de coleta de dados e uma análise por meio de histogramas. O terceiro passo é composto por análises de causa e efeito de todos os tipos de medições, criação de um plano de ação a partir dos problemas identificados e uma priorização dessas ações de acordo com o nível de criticidade do problema. Por último, o *check* de efetividade dessas ações é realizado, ou seja, é verificado se os resultados alcançados estão satisfatórios. Todos os blocos que compõe esse fluxograma serão abordados de forma individual ao longo desse capítulo.

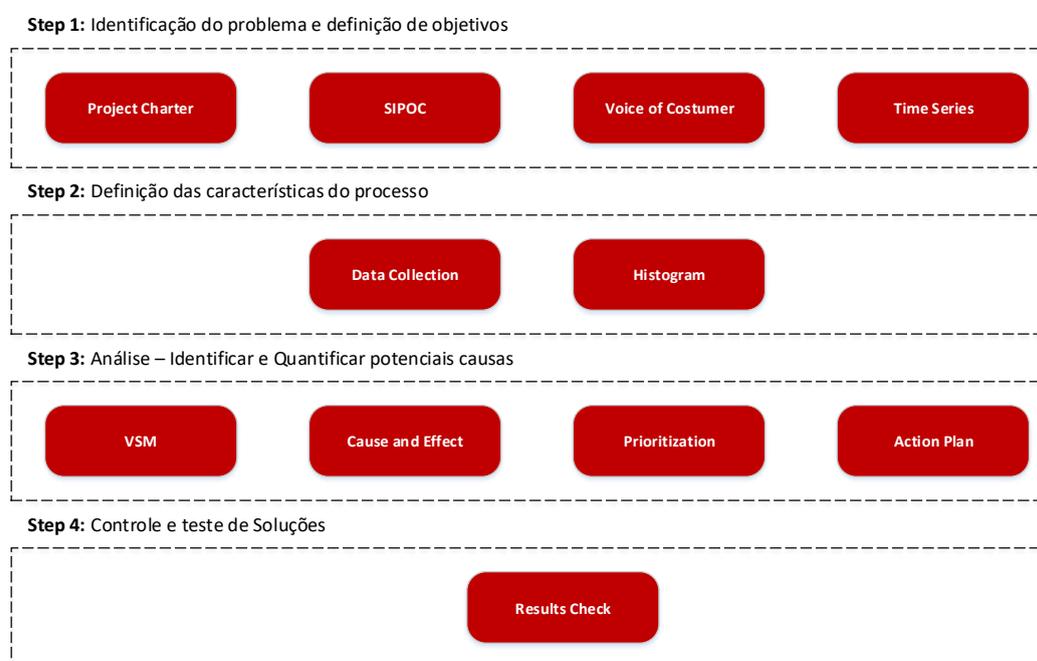


Figura 3: Fluxograma do processo de Gerenciamento de Manutenção Preditiva.

3.2.1 Project Charter

Essa seção será apresentada uma ferramenta que formaliza quais os principais desafios do projeto que foi desenvolvido na indústria utilizada como pesquisa para este trabalho, além de apresentar os recursos disponíveis existentes. A Figura 4 ilustra o *Project Charter*, que contém o conceito do problema, o principal objetivo e os indicadores relacionados ao problema. Também estão presentes pontos como o VOC, *Voice of Customer*, em português Voz do Cliente, que é basicamente a demanda das áreas “clientes” e o VOB, *Voice of Business*, em português Voz do Negócio, que é uma representação de todas as necessidades e expectativas do negócio. Em sequência encontra-se um calendário, que identifica as datas de cada etapa do processo. Por último, a

inclui os riscos do projeto, ou seja, o que pode atrapalhar a conquistar todos os objetivos estabelecidos. São eles riscos financeiros, pois muitas vezes se faz necessário investimentos para poder sanar falhas em equipamentos ou para disponibilizar ferramentas requeridas para determinadas atividades, recursos de mão de obra são limitados, oferecendo assim um risco de planejamento de manutenção. Também deve-se ter ciência que apesar das medições preditivas contemplarem grande parte dos equipamentos para realizar a análise, não são todos os equipamentos que são analisados. E por último, existe falha no cadastro de equipamentos e isso inviabilizará o diagnóstico correto.

<p style="text-align: center;">Project Overview</p> <p>Business Y: Taxa de Falha</p> <p>Problem Statement: Alta porcentagem de taxa de falha, sendo 8,7% o acumulado do ano anterior e 8,23% o acumulado atual. Problema de recorrência de falhas observado em alguns pontos.</p> <p>Problem Objective: Definir e atuar em pontos verificados a partir da metodologia PDCA buscando reduzir a taxa de falhas e as devidas recorrências, atuando na causa raiz, para aumentar Confiabilidade e MTBF.</p> <p>Measurable CTQ(Y) and Goals:</p> <ul style="list-style-type: none"> Y1: Taxa de Falhas Y2: Recorrências <p>Project Scope: Includes: Taxa de Falha Excludes: LEF, GLY, OBZ</p>	<p>Project Team: Project Leader: Bruno Fernandes Ruiz</p>																										
<p style="text-align: center;">Business Case</p> <p>VOC: Aumentar a Confiabilidade de subconjuntos e equipamentos</p> <p>VOB: Reduzir Taxa e recorrência de falhas visando aumentar a confiabilidade e dos subconjuntos avaliados por manutenção preditiva.</p> <p>Benefits Aumentar a Confiabilidade (MTBF)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Project Schedule</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">Project Phase</th> <th style="text-align: left;">Date</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plan</td> <td>05/08/2016</td> </tr> <tr> <td>Do</td> <td>12/09/2016</td> </tr> <tr> <td>Check</td> <td>15/10/2016</td> </tr> <tr> <td>Act</td> <td>15/11/2016</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Risks/Mitigation</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">Potential Barriers</th> <th style="text-align: left;">Support Required</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investimento em Subconjuntos</td> <td>Capex/OBZ</td> </tr> <tr> <td>Planejamento e Programação</td> <td>PCM/P 3M</td> </tr> <tr> <td>Investimento em Ferramentas</td> <td>Capex/Toolkit</td> </tr> <tr> <td>Pontos não coletados</td> <td>SEMEQ</td> </tr> <tr> <td>Cadastros incorretos ou incompletos</td> <td>SEMEQ</td> </tr> </tbody> </table>	Project Schedule		Project Phase	Date	Plan	05/08/2016	Do	12/09/2016	Check	15/10/2016	Act	15/11/2016	Risks/Mitigation		Potential Barriers	Support Required	Investimento em Subconjuntos	Capex/OBZ	Planejamento e Programação	PCM/P 3M	Investimento em Ferramentas	Capex/Toolkit	Pontos não coletados	SEMEQ	Cadastros incorretos ou incompletos	SEMEQ
Project Schedule																											
Project Phase	Date																										
Plan	05/08/2016																										
Do	12/09/2016																										
Check	15/10/2016																										
Act	15/11/2016																										
Risks/Mitigation																											
Potential Barriers	Support Required																										
Investimento em Subconjuntos	Capex/OBZ																										
Planejamento e Programação	PCM/P 3M																										
Investimento em Ferramentas	Capex/Toolkit																										
Pontos não coletados	SEMEQ																										
Cadastros incorretos ou incompletos	SEMEQ																										

Figura 4: Project Charter.

3.2.2 SIPOC

SIPOC (do inglês *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Clients* ou, em português traduzido como fornecedores, entradas, processo, saídas e clientes) é uma ferramenta que possibilita o entendimento do Macro processo. Esse recurso proporciona uma visibilidade de todas as inter-relações dentro do processo. A Figura 5 relata a iteração entre as etapas do processo de análises preditivas. Sequencialmente tem-se, o elemento fornecedor (*Supplier*) do diagrama SIPOC que é composto pela empresa responsável pelas medições realizadas nos equipamentos (neste caso, a SEMEQ). Já as entradas (*Inputs*) são as análises preditivas e a própria taxa de falha (objeto de estudo deste trabalho). O processo (*Process*) é constituído pela manutenção preditiva, e a saída (*Outputs*) é formada pela emissão dos relatórios de diagnóstico e prognóstico (RDP). Finalmente, os clientes (*Clients*) são as próprias áreas da cervejaria, que são Packaging, Processo, Utilidades e Meio Ambiente.

A Figura 5 mostra que a empresa fornecedora é responsável até a etapa de diagnóstico, ou seja, ela coleta as amostras, analisa em laboratório e emite um relatório de diagnóstico e prognóstico para todos os equipamentos que apresentaram falhas. Sendo assim, cabe à equipe de manutenção interpretar a RDP, analisar as possíveis causas das falhas detectadas pelo fornecedor, programar os recursos necessários para a execução da manutenção e realizar a

manutenção de forma eficiente e otimizada, garantindo qualidade e confiabilidade do serviço.

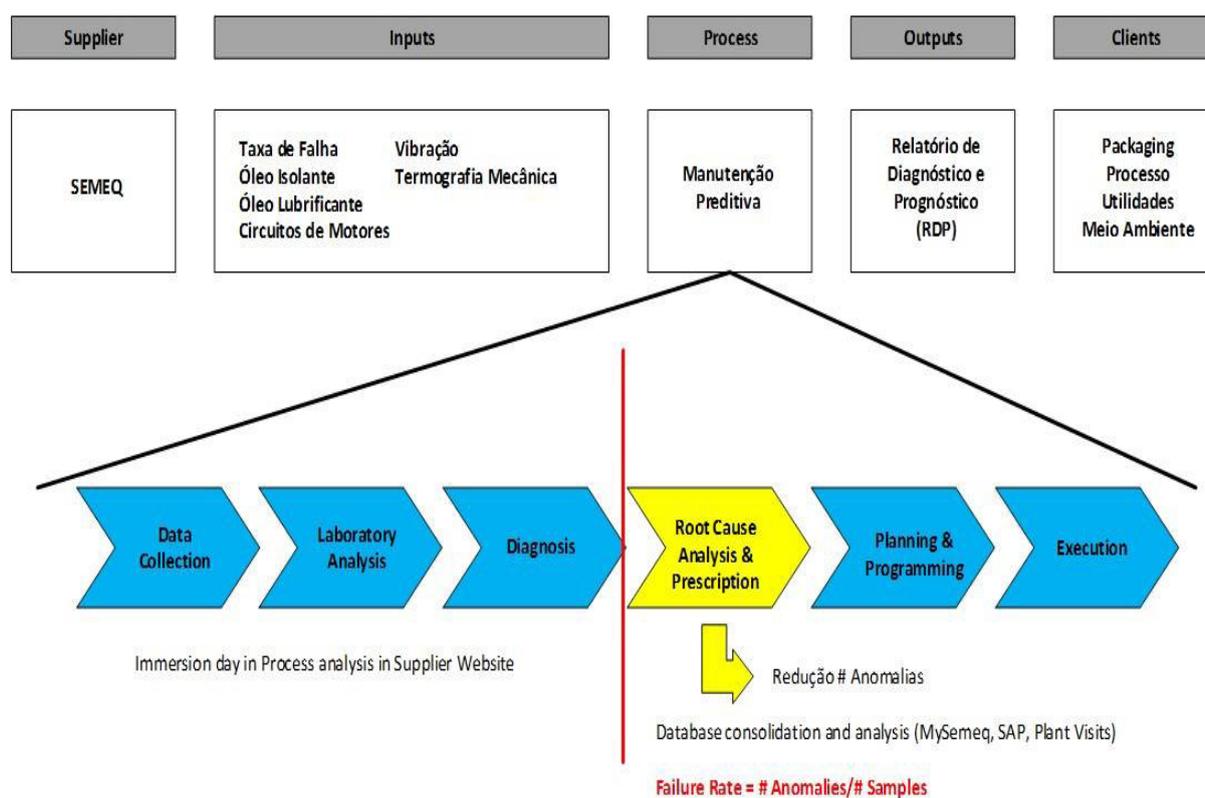


Figura 5: SIPOC do processo de obtenção das análises preditivas.

3.2.3 Voice of Customer (VOC)

O terceiro bloco do *Roadmap*, ilustrado na Figura 3, é o *VOC*. O princípio dessa ferramenta é a descrição qualitativa e quantitativa do processo. A voz do cliente deve ser ouvida, portanto se faz necessário a utilização desse bloco, pois o novo processo desenvolvido nesse estudo deverá melhorar a performance das atividades e garantir uma consistência significativa (PYZDECK, 2003). A Figura 6 relata as duas principais solicitações dos clientes, que são respectivamente, a diminuição da Taxa de Falha e recorrência da Taxa de Falha. Sendo assim, as áreas irão aumentar o nível de confiabilidade dos equipamentos, pois a partir da redução desses indicadores será possível antecipar-se as quebras, garantindo uma possibilidade de planejamento de recursos para a execução da manutenção. Dessa maneira, o número de atendimentos emergenciais irão diminuir, e será possível um maior controle do processo geral de manutenção.

Customer	Voice of Customer(VOC)	Key Customer Issue(s)	Critical Customer Requirement(CTQ)
Packaging / Processo / MA / Utilidades	Dar visibilidade antecipada de defeitos em equipamentos onde inspeções periódicas e preventivas não conseguem detectar.	Quebra de equipamentos e/ou subconjuntos	Confiabilidade
Packaging / Processo / MA / Utilidades	Antecipar quebras e paradas baseado em análises de variáveis não medidas internamente.	Quebra de equipamentos e/ou subconjuntos	MTBF

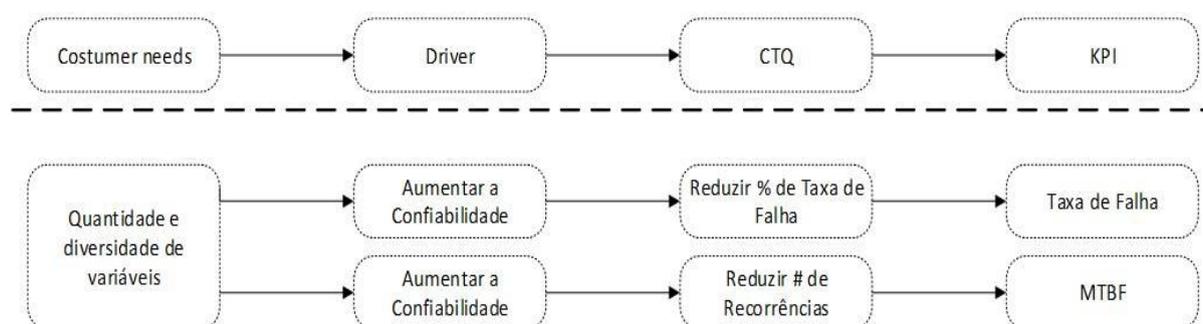


Figura 6: Voice of Customer do processo de manutenção preditiva.

3.2.4 Time Series

O *Time Series* é o último bloco da primeira etapa do fluxograma apresentado na Figura 3. Com esse bloco, será possível compreender o panorama inicial de todos os tipos de análises preditivas antes do desenvolvimento desse estudo. Portanto, primeiramente será exibido o cenário global da cervejaria e em seguida será apresentado a perspectiva de cada análise preditiva separadamente.

3.2.4.1 Taxa de Falha Inicial

A Figura 7 representa o cenário da Taxa de Falha do ano de 2015, ou seja, são dados que serviram de base para o projeto atual de gerenciamento de manutenção preditiva descrito neste trabalho. Analisando a Figura 7 possui o número de RDP's no eixo y e respectivos meses estão no eixo x, a curva em vermelho representa a variação da média mensal de Taxa de Falha, já a azul é a média acumulada. Por exemplo: mês 06 de 2015 (eixo x) possui 100 RDP's, 10,1% de média mensal e 8,98% de média acumulada. Lembrando que a variável definida como Taxa de Falha, é representada nos gráficos como a média acumulada. Porém, a média mensal é definida pela equação 1 e pode ser interpretada como uma Taxa de Falha mensal. Logo, a média acumulada é uma média das Taxas de Falhas mensais. Nesse caso, a média acumulada será o indicador definido pelo *Business Case* (veja Figura 2). Apesar do gráfico representado pela Figura 7 fazer parte do cenário do ano de 2015, seguindo o cronograma proposto no

Project Charter, (veja

), tem-se que os resultados serão refletidos após o início do projeto.



Figura 7: Cenário inicial da Taxa de Falha.

Já a Figura 8 representa o mesmo cenário, mas evidenciando as técnicas de análises preditivas, que são: análise de óleo isolante, análise de óleo lubrificante, análise de circuito de motores, termografia elétrica e mecânica e análise de vibração. Assim tem-se o número de RDP's por cada técnica. Nas seções seguintes, essas técnicas serão detalhadas. Analisando a Figura 8, percebe-se que a técnica que possui uma maior quantidade de ensaios é a análise de vibração, logo uma tratativa de causa raiz para essa técnica irá impactar diretamente a Taxa de falha geral de todas as técnicas.

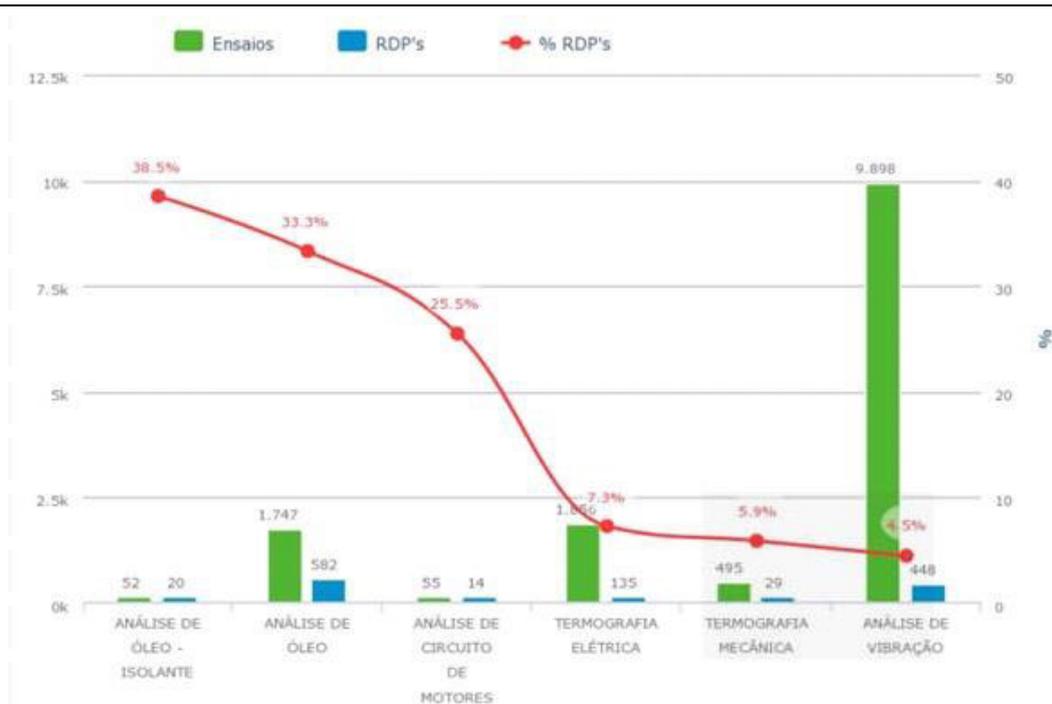


Figura 8: Cenário inicial de Taxa de Falhas dividido pelas técnicas de análises preditivas.

3.2.4.2 Taxa de Falha inicial para análise de Óleo Isolante

Em seguida será apresentada a perspectiva da análise de óleo isolante. Essa análise é realizada em transformadores de potência presentes nas subestações da unidade, e isso justifica o baixo número de análises, pois há uma baixa quantidade de transformadores de potência na planta industrial. Com base na Figura 9 percebe-se que a média acumulada diminuiu desde a primeira amostra apesar do número de RDP's ter aumentado, a explicação desse fato é devido ao aumento de pontos medidos, diluindo-se o percentual de Taxa de Falha.

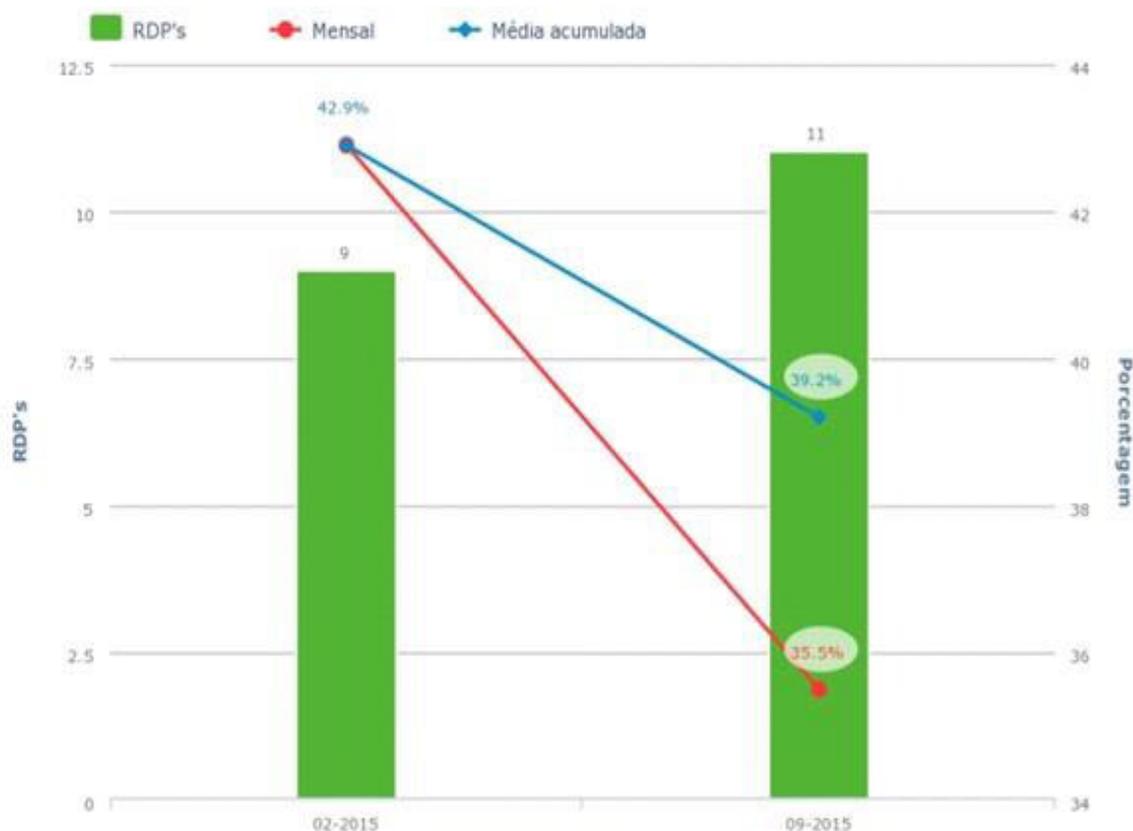


Figura 9: Taxa de Falha inicial da análise de óleo isolante.

3.2.4.3 Taxa de Falha inicial para análise de Óleo Lubrificante

A Figura 10 representa o cenário inicial da análise de óleo lubrificante. Note que a oferta de equipamentos que contém sistemas de lubrificação é bastante generosa, devido ao grande número de RDPs mensais. Apesar de todos os meses apresentarem um número considerável de RDP's, têm-se que as medições se repetem trimestralmente, ou seja, o mesmo equipamento não é medido todo mês, e sim a cada três meses. Essa particularidade comprova que a quantidade de equipamentos medidos é bem alta, sendo assim conclui-se que esse tipo de análise tem um grande impacto quando estudado o panorama geral da cervejaria.

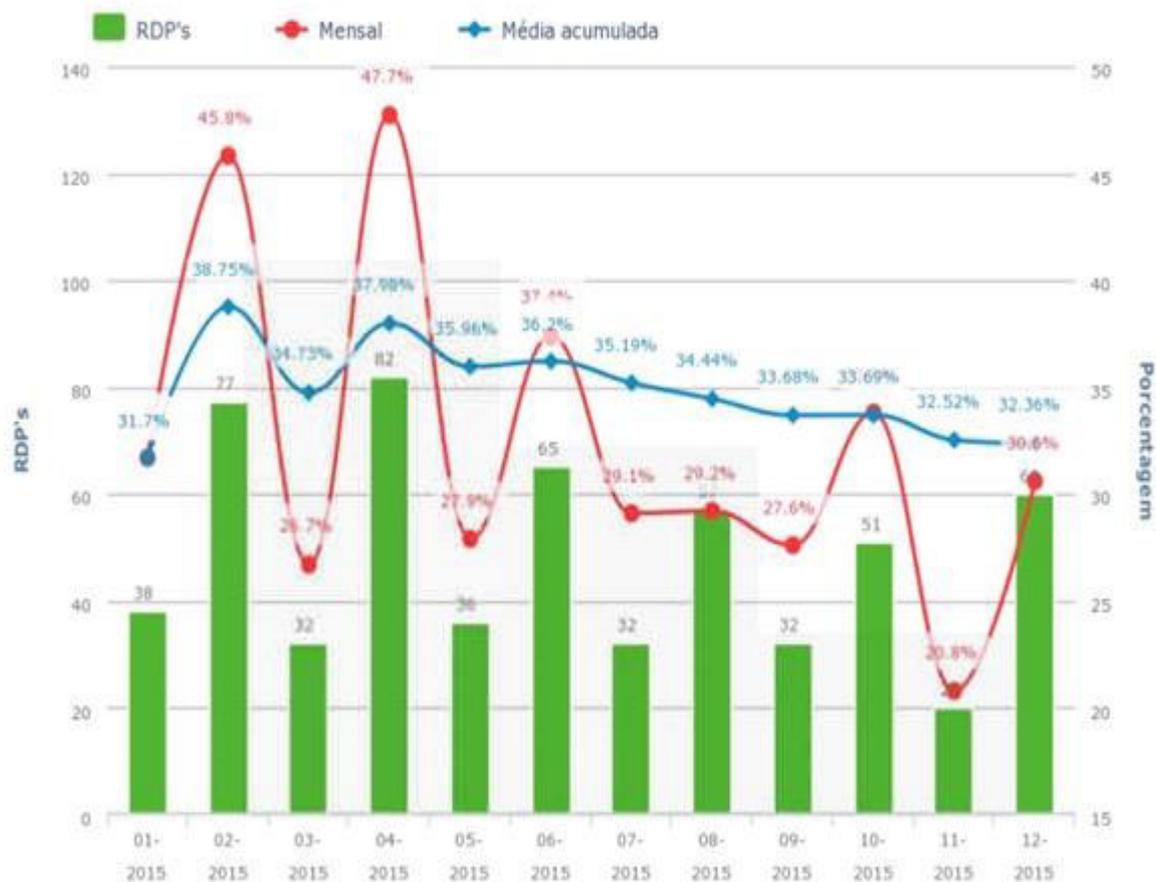


Figura 10: Panorama inicial da análise de Óleo Lubrificante.

3.2.4.4 Taxa de Falha inicial para análise de Circuitos de Motores

Essa técnica permite ter um diagnóstico detalhado das condições de funcionamento de um motor elétrico, pois permite a verificação de resistência, indutância, impedância, ângulo de fase e resistência de isolamento. No entanto, uma dificuldade de coletar esses dados é devido ao fato de precisar bloquear o equipamento, sendo assim o equipamento deverá estar parado e desacoplado do redutor e isso muitas vezes inviabiliza a coleta de dados. A Figura 11 nos mostra a evolução dessa medição que foi feita apenas 3 vezes no ano de 2015. Na primeira medição nenhum dos pontos medidos geraram RDP's, já na segunda ocorreu um aumento para 6 relatórios de falhas e na terceira coleta esse número subiu para 8 equipamentos que apresentaram inconsistência em seu modo de funcionamento. Constata-se a partir da equação 1 que na terceira medição o número de pontos medidos foi 24, pois tem-se o número de RDP's e a Taxa de Falha mensal. E quando comparado com a análise anterior de óleo lubrificante, percebe-se uma maior facilidade nas medições. Isso ocorre, pois para esse tipo de análise, pode-se ter equipamentos que apresentam falhas, mas não estão sendo disponibilizados para

realizar as medições.

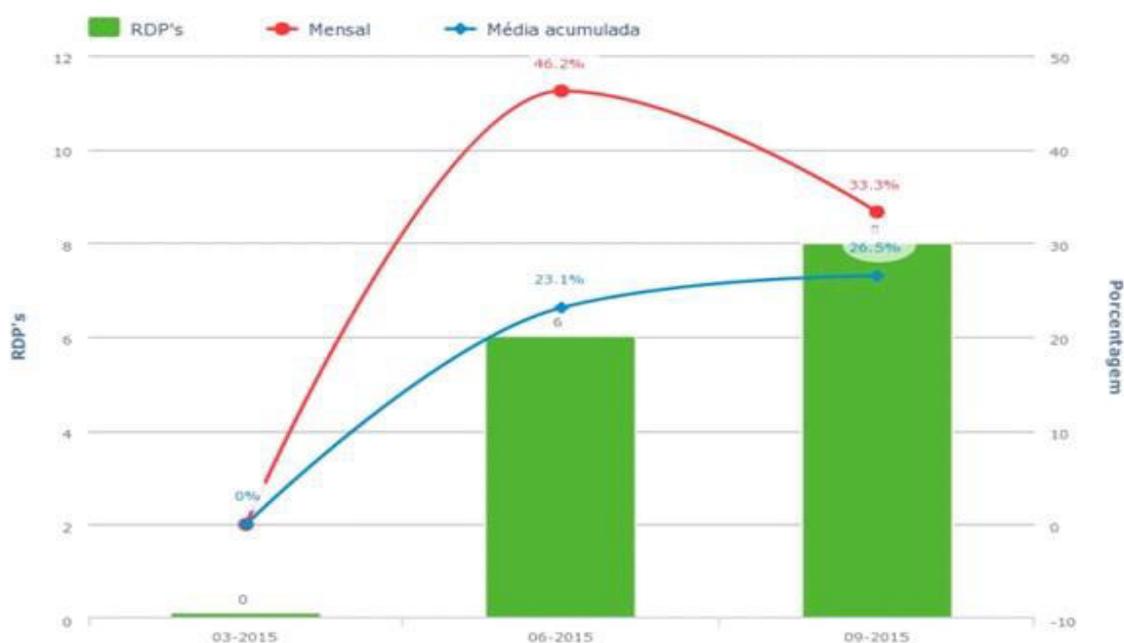


Figura 11: Taxa de Falha inicial da análise de Circuitos Motores.

3.2.4.5 Taxa de Falha inicial para análise de Termografia Elétrica

Ao contrário da análise anterior, a Termografia Elétrica é uma medição fácil de se realizar, sendo assim o número de RDP's tende a ser elevado, pois o número de equipamentos medidos é elevado. A partir da Figura 12 percebe-se que as medições são feitas a cada 4 meses.

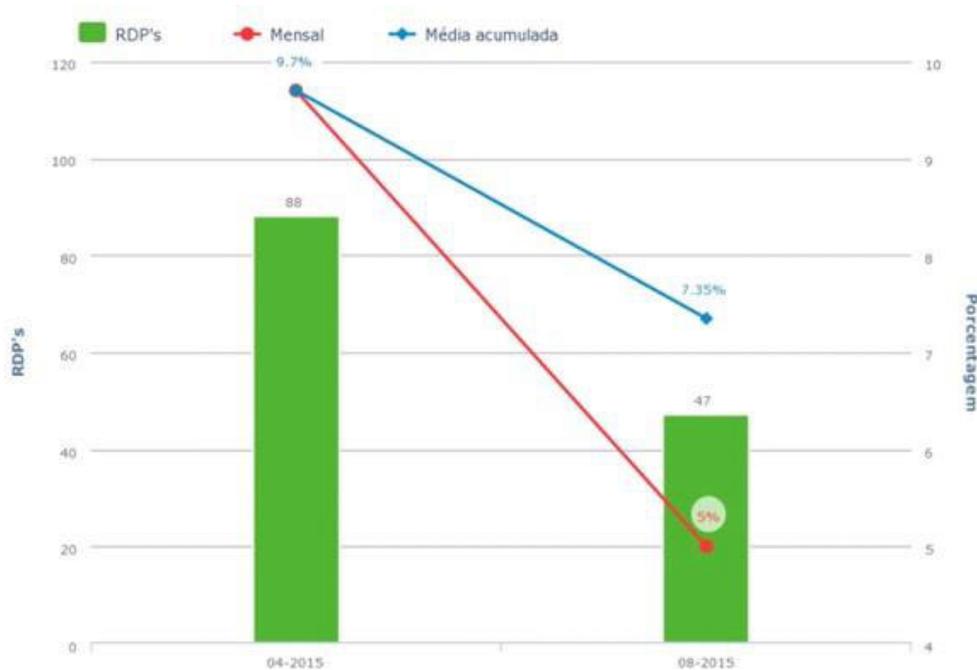


Figura 12: Perspectiva inicial da análise de Termografia Elétrica.

3.2.4.6 Taxa de Falha inicial para análise de Termografia Mecânica

Essa técnica de medição de manutenção preditiva também é realizada de forma facilitada, pois o equipamento deve estar em funcionamento normal. Portanto o número de equipamentos medidos também é elevado. O objetivo dessa medição é a detecção de esforços mecânicos provocados pelo atrito entre subconjuntos do equipamento gerando assim calor. Com base na Figura 13 percebe-se que as medições são feitas no mesmo período das análises de Termografia Elétrica.

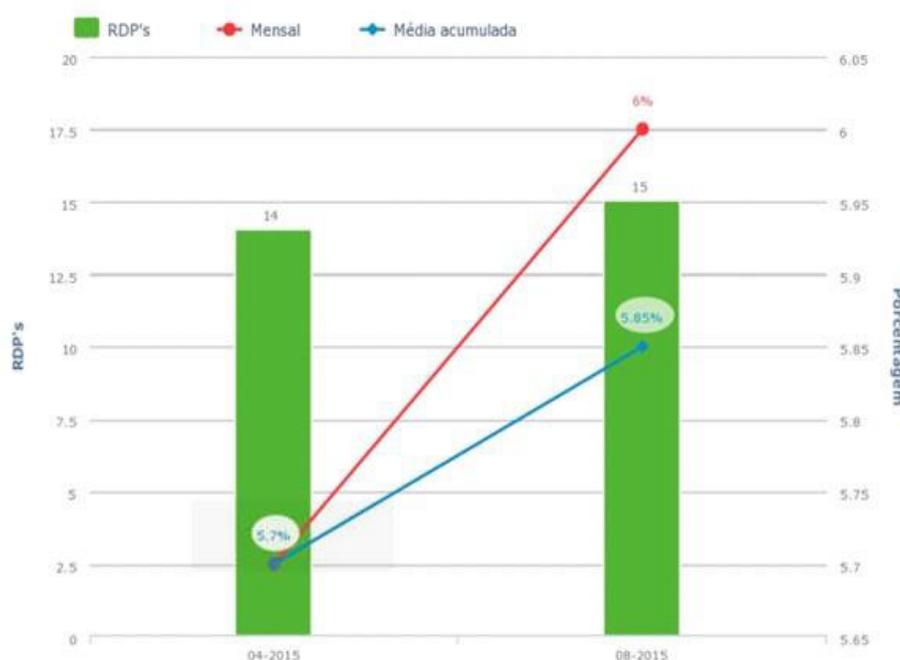


Figura 13: Análise inicial de Termografia Mecânica.

3.2.4.7 Taxa de Falha inicial para análise de Vibração

A Figura 14 demonstra o comportamento inicial da análise de Vibração, onde percebe-se que, assim como na análise de Óleo Lubrificante, essa técnica representa números significativos em relação ao panorama geral da cervejaria. A Figura 8 demonstra esse fato, além de ter um grande número de medições, essa técnica também é muito impactada devido a infraestrutura das instalações, pois equipamentos com princípios de funcionamento mecânico são diretamente impactados em relação ao alinhamento de seus subconjuntos. Essa técnica é de fundamental importância, pois ela impacta diretamente na gestão de subconjuntos, pois ao prever um possível desgaste de um subconjunto, facilitará a disponibilidade desses subconjuntos, que muitas vezes não são itens de estoque, ou necessitam de serem confeccionados e também geralmente são caros. Para a otimização do Gerenciamento de

Manutenção é fundamental ter essa visibilidade garantida por essa técnica.

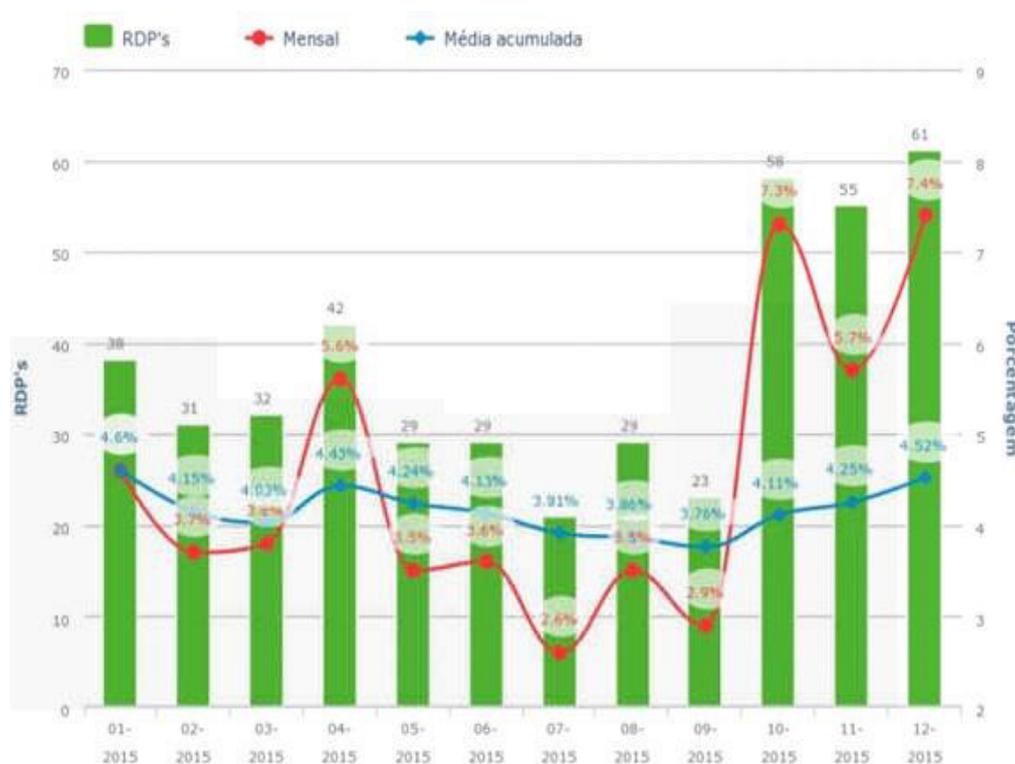


Figura 14: Análise de Vibração.

3.2.5 Coleta de Dados

Nesta seção são apresentados os gráficos do tipo boxplot de cada técnica de análise. É importante apresentar esses histogramas ou boxplot, pois isso mostra se o processo está controlado ou não. Conjuntamente, a Tabela 3 demonstra como foi feita a análise inicial para cada técnica preditiva, sendo assim foi checado para cada técnica se o processo estava ou não controlado, como que estava o comportamento de recorrências de falhas para cada técnica. A primeira coluna da Tabela 3, indica qual técnica está sendo utilizada. Na segunda tem-se a forma de gráfico analisado, sendo que o *Time Series* indica um comportamento temporal e o histograma facilita a análise de recorrências de falhas. A terceira é a fonte de dados, que no caso é o website da empresa fornecedora, SEMEQ. Já a quarta indica a razão para a análise.

3.2.5.1 Histograma da análise de Óleo Isolante

A Figura 15 representa a distribuição de falhas do ano de 2015 da técnica de Óleo Isolante. As colunas 0, 1 e 2 representam a quantidade de equipamentos com nenhuma falha, uma falha pontual e recorrência de duas falhas, respectivamente. Então pode-se perceber que a média de ocorrências está próxima do desejado, que é 1, sendo igual a 0,70. O valor de N no histograma representa a quantidade de amostras, sendo assim 23% dos equipamentos medidos apresentaram apenas uma falha e 23% dos pontos coletados apresentaram recorrência de

falhas.

Tabela 3: Plano de coleta de dados.

UG	Ferramentas	Fonte de Dados	Razão
Taxa de Falha	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha ao longo do período selecionado
Análise de Óleo Isolante	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de óleo isolante ao longo do período selecionado.
Análise de Óleo Isolante	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.
Análise de circuitos de motores	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de circuitos de motores ao longo do período selecionado.
Análise de circuitos de motores	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.
Análise de Óleo Lubrificante	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de óleo lubrificante ao longo do período selecionado.
Análise de Óleo Lubrificante	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.
Termografia elétrica	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de termografia elétrica ao longo do período selecionado.
Termografia elétrica	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.
Termografia mecânica	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de termografia mecânica ao longo do período selecionado.
Termografia mecânica	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.
Análise de Vibração	Time Series	MySemeq	Checar o comportamento da taxa de falha por análise de vibração ao longo do período selecionado.
Análise de Vibração	Histograma	MySemeq	Checar distribuição do perfil de falhas e recorrências nos pontos de coleta.

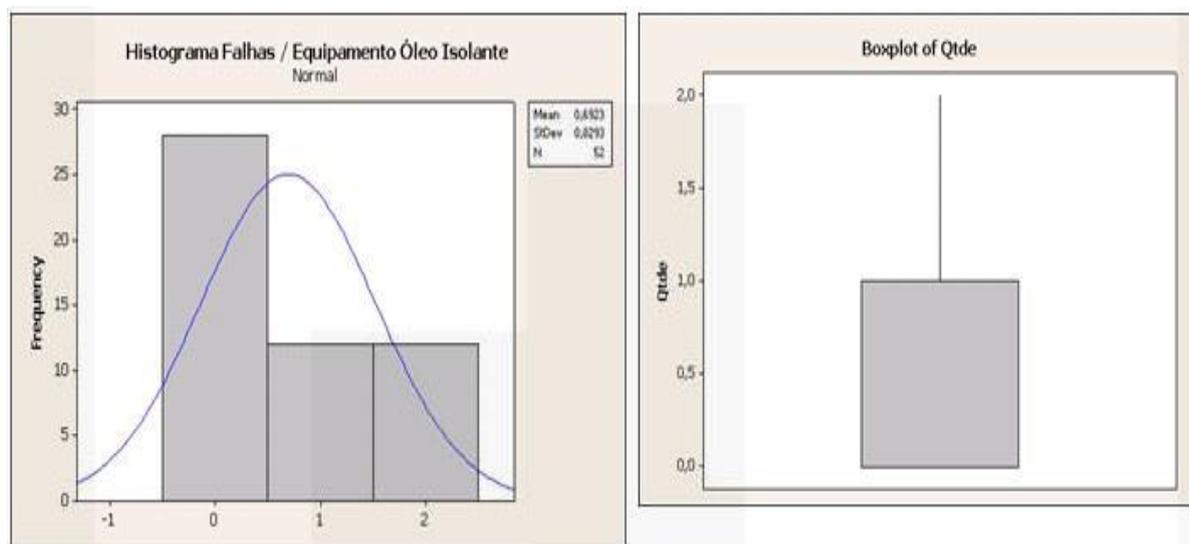


Figura 15: Distribuição de falhas de análise de Óleo Isolante do ano anterior.

3.2.5.2 Histograma da análise de Óleo Lubrificante

A Figura 16 mostra o histograma da análise de Óleo Lubrificante, aonde verifica-se que a média de ocorrências está bem acima do desejado. Note que 44,7% dos pontos de coleta apresentaram recorrências de falhas e como existem vários equipamentos que possuindo o número máximo de falhas possíveis para o período, pois os valores presentes no eixo de Recorrências são as quantidades de falhas apresentadas pelos equipamentos, logo para essa técnica existe um elevado número de equipamentos que apresentam falhas em todas as medições realizadas no ano, transformando essa técnica no maior impacto em quantidade de falhas, número de RDP's e segundo maior em Taxa de Falhas.

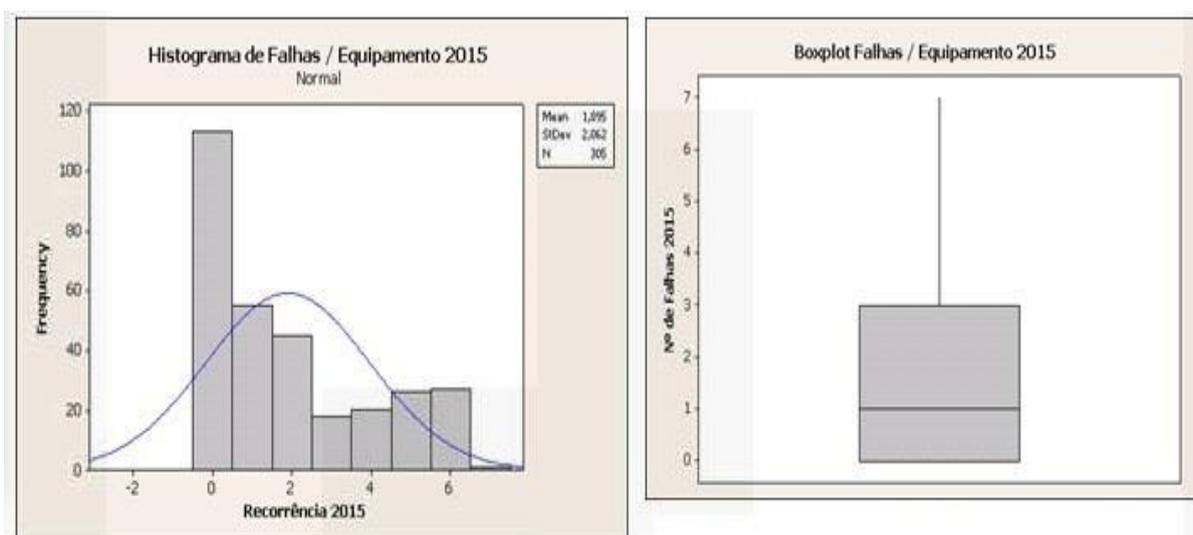


Figura 16: Histograma da análise de Óleo Lubrificante do ano anterior.

3.2.5.3 Histograma da análise de Circuitos Motores

A Figura 17 ilustra o histograma da análise de circuitos motores. É notável que a média de ocorrências está dentro do esperado com 10,2% dos pontos de coleta apresentando recorrências de falhas e 24,1% dos equipamentos apresentaram apenas uma falha, já que foram 29 amostras coletadas.

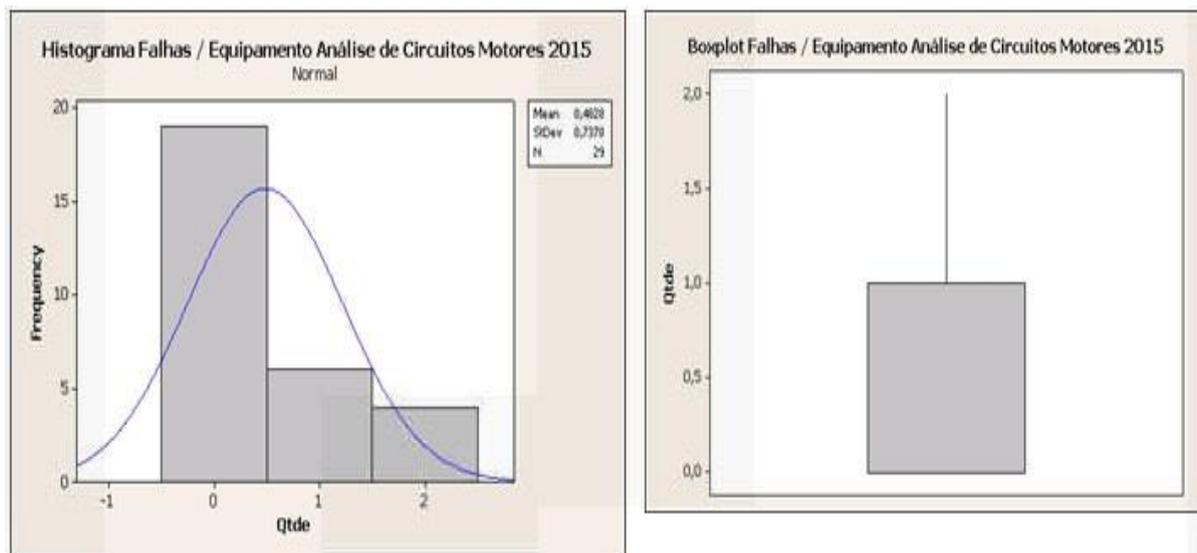


Figura 17: Histograma da análise de Circuitos Motores do ano anterior.

3.2.5.4 Histograma da análise de Termografia Elétrica

A Figura 18 mostra um processo controlado, pois 87,4% dos pontos medidos não apresentam falhas e 3,8% possuem recorrências. Note que a configuração do boxplot mudou, isso acontece devido a presença de *outliers*, que são problemas pontuais. Os boxplots são divididos entre máximos e mínimos, representados pelas linhas, a mediana que é o valor que divide o comportamento da grande maioria das amostras em 2, ou seja, 50% acima da mediana e 50% abaixo. Os quartis 1 e 3 que representam essas amostras abaixo e acima da mediana, respectivamente. Logo ao analisar a Figura 18, tem-se que a mediana é 1, os valores mínimos e máximos são 0 e 2 e existe uma pequena parcela de *outliers* com três falhas.

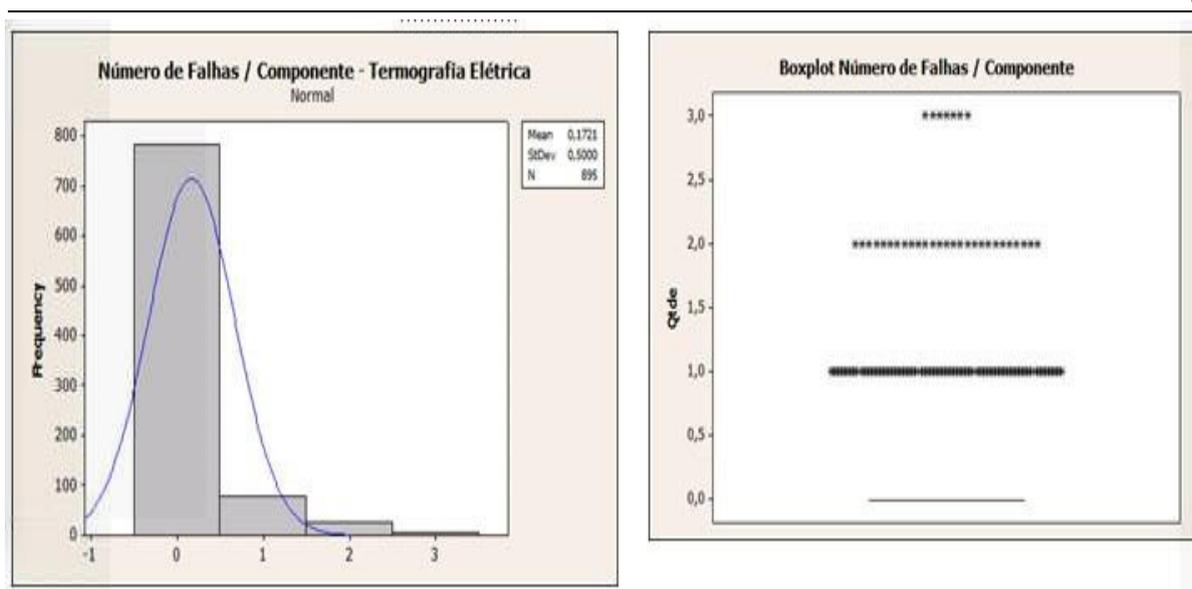


Figura 18: Histograma da análise de Termografia Elétrica do ano anterior.

3.2.5.6 Histograma da análise de Termografia Mecânica

De forma semelhante à técnica anterior o processo está controlado em que 89,5% dos pontos medidos não apresentam falhas e as recorrências aconteceram em 4,8% dos equipamentos medidos, conforme ilustrado na Figura 19.

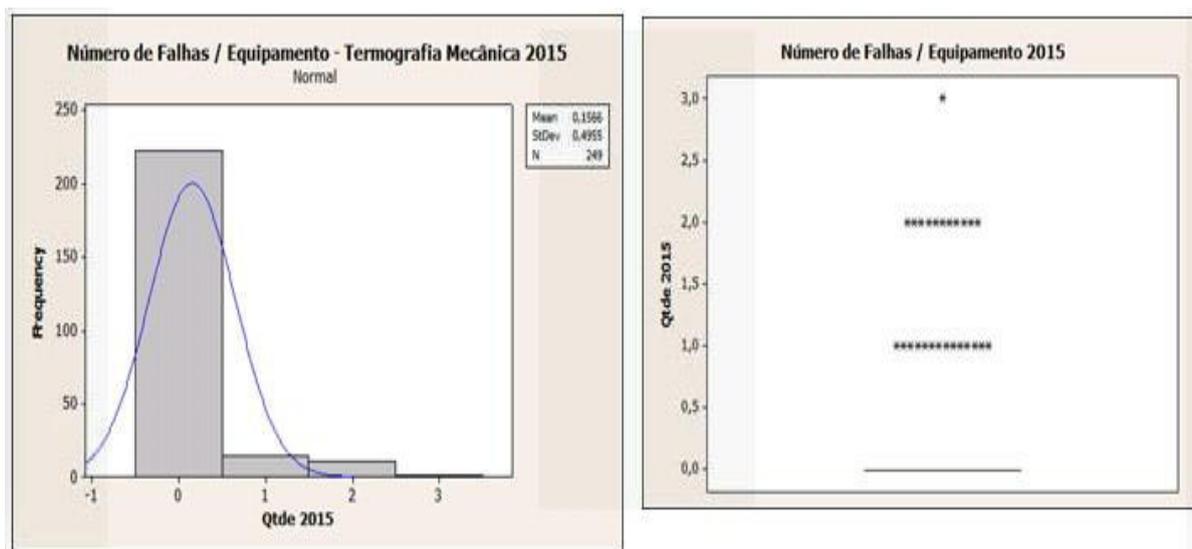


Figura 19: Histograma da análise de Termografia Mecânica do ano anterior.

3.2.5.7 Histograma da análise de Vibração

Como discutido anteriormente, essa técnica apresenta uma grande quantidade de equipamentos medidos e a maioria deles não apresentaram falhas (75,4% do total), conforme ilustra a Figura 20. Já os equipamentos que apresentaram recorrência das falhas representam 13,4%.

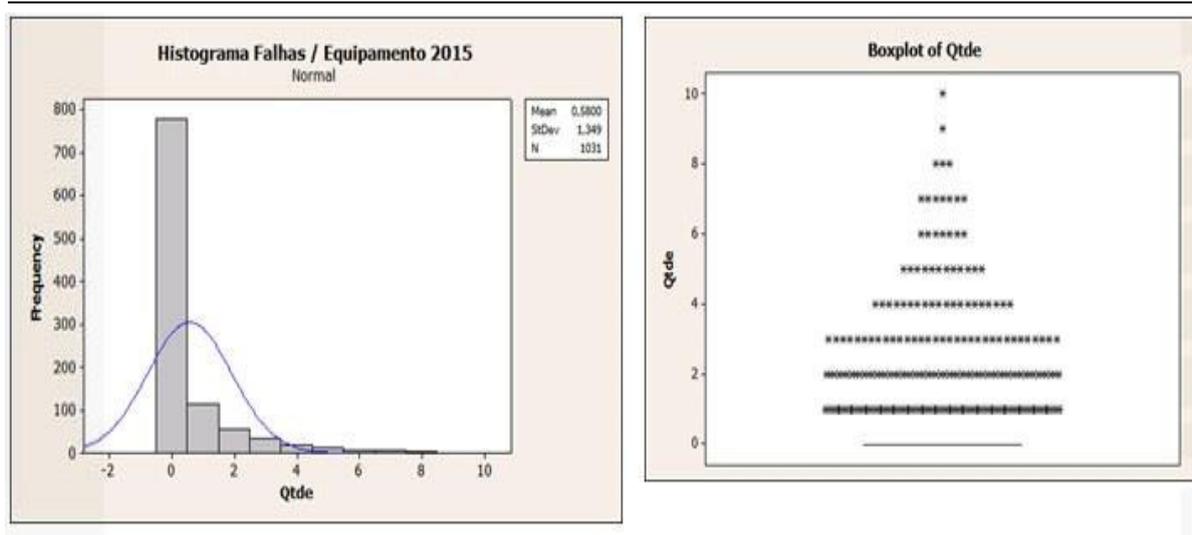


Figura 20: Histograma da análise de Vibração do ano anterior.

3.2.6 VSM

Essa técnica permite a identificação, visualização e diagnóstico dos fluxos de materiais, de valor e de informações. Assim pode-se priorizar atividades devido a sua importância de acordo com o ponto de vista do cliente, e também desconsiderar as atividades que não são úteis ao desenvolvimento do processo em si.

3.2.7 Cause and Effect

A análise de causa raiz é fundamental para o tratamento de um problema sistêmico. Como o foco deste trabalho contempla a redução da quantidade de recorrências, então deve-se atuar na causa fundamental para eliminar as falhas apresentadas.

3.2.8 Prioritization

Um plano de priorização deve ser feito para definir uma abrangência menor, a fim de garantir uma maior efetividade das ações propostas. Portanto, ações que possuem um maior impacto sobre o problema devem ser priorizadas.

3.2.9 Action Plan

Ações eficazes e diretas devem ser criadas para tratar os problemas identificados pela análise de causa raiz.

3.2.10 Results Check

Após a definição de um plano de ação deve ser analisado se essas ações foram efetivas ou não, para possíveis correções de rota, caso alguma ação não esteja sendo realmente eficaz.

4 Resultados e Discussões

Com a apresentação do cenário inicial encerrada, este capítulo traz os estudos de causas das principais falhas e também os resultados e discussões obtidos após a implantação das ações. De acordo com o *roadmap* mostrado no capítulo anterior, o primeiro passo é mostrar os resultados relacionados com a etapa de análise e identificação das potenciais causas. Os resultados a seguir são análises realizadas durante o estágio realizado na cervejaria, com dados do ano de 2016.

4.1 Value Stream Mapping

A Figura 21 mostra o VSM utilizado nesse estudo. A partir dele pode-se entender todas as etapas do processo estudado. *Value Stream Mapping*, em português Mapeamento de Fluxo de Valor, garante que todas as etapas de um fluxo sejam analisadas visando eliminar desperdícios e otimizar o processo. Avaliando as etapas do processo, percebe-se que o bloco mais importante do ciclo apresentado na Figura 21 é a análise da causa raiz (destacado em amarelo). Se essa etapa não for executada, o número de recorrências tenderá a aumentar, pois assim as falhas não estarão sendo tratadas. Conseqüentemente, focou-se as ações nesta etapa do processo, para garantir assim uma diminuição na Taxa de Falha e deste jeito as recorrências de falhas. Nas seções seguintes, é apresentado a análise de causa e efeito de cada técnica preditiva, assim como o plano de ação e sua matriz de criticidade.

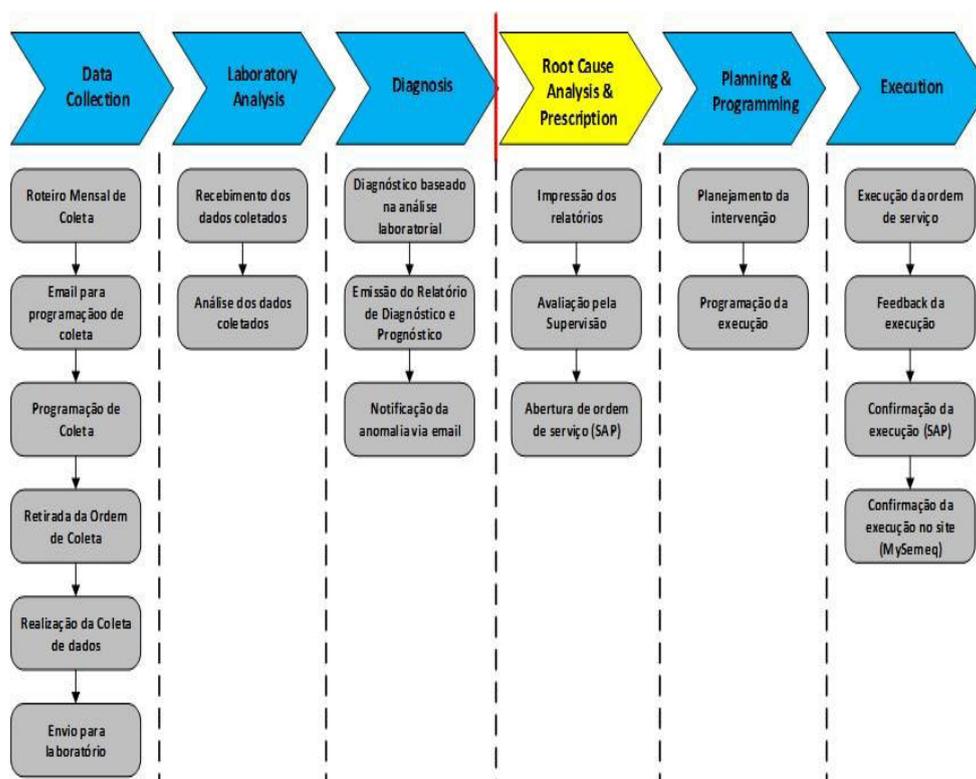


Figura 21: Value Stream Mapping da Manutenção Preditiva.

4.2 Análise de Causa e Efeito, Matriz de Criticidade e Plano de Ação

Para a matriz de criticidade foi definido um padrão adotado para todas as técnicas, conforme dados apresentados na Tabela 4. Três critérios foram avaliados: impacto, autoridade e dificuldade, divididos em três níveis: baixo, médio e alto. Além disso, foi atribuído um peso para cada nível, com os valores de 1, 3 e 5, respectivamente.

Tabela 4: Tabela de criticidade padrão.

CRITÉRIOS	BAIXO 1	MÉDIO 3	ALTO 5
IMPACTO	Baixo impacto no objetivo	Impacto médio no objetivo	Alto impacto no objetivo
AUTORIDADE	Sem autoridade	Alguma autoridade	Autoridade total
DIFICULDADE	Difícil de eliminar	Dificuldade média	Fácil remoção

Além do exposto, para a matriz de causa fundamental foi definido os seguintes fatores, que estão presentes em todas as análises: método, material, medida, mão de obra, máquina e meio ambiente. Com isso, as possíveis falhas estarão presentes dentro desses fatores. O fator Método contém as possíveis falhas causadas por planos de manutenção indevidos, ou lacunas na execução dos procedimentos de manutenção. Já o fator Material representa as falhas causadas pela falta de reposição de peças, ou má utilização de subconjuntos. O fator Medida inclui a coleta incorreta da amostra pela empresa SEMEQ, e o fator Mão de obra está relacionado com qualificação da equipe de manutenção, ou seja, está diretamente relacionado com a execução. O fator Máquina representa as possíveis falhas oriundas da má instalação, ou má condições de funcionamento. Por fim tem-se o fator Meio Ambiente que relaciona as falhas associadas com o local de instalação, temperatura de operação, condição de conservação.

4.2.1 Óleo Isolante

A Figura 22 mostra todos os tipos de falhas (relacionados ao problema análise de óleo isolante) qualificados em cada fator correspondente. Para essa técnica, apenas 4 fatores foram classificados com as seguintes falhas:

1. Método: Falhas na periodicidade de troca, onde por motivos de falta do procedimento o óleo não é trocado corretamente;
2. Método: Falha na periodicidade de regeneração, pois o procedimento interno de manutenção apresentava erros;
3. Material: Vida útil do óleo não era respeitada, sendo um fator impactado

diretamente pela falha anterior (periodicidade da troca);

4. Medida: Falhas de coleta incorreta, que estão relacionadas a erros da equipe de medição das coletas antes de levar para análise, bem como erro de catalogação dos tipos de óleos;
5. Meio Ambiente: Umidade e Sujeira relacionados as condições de trabalho.

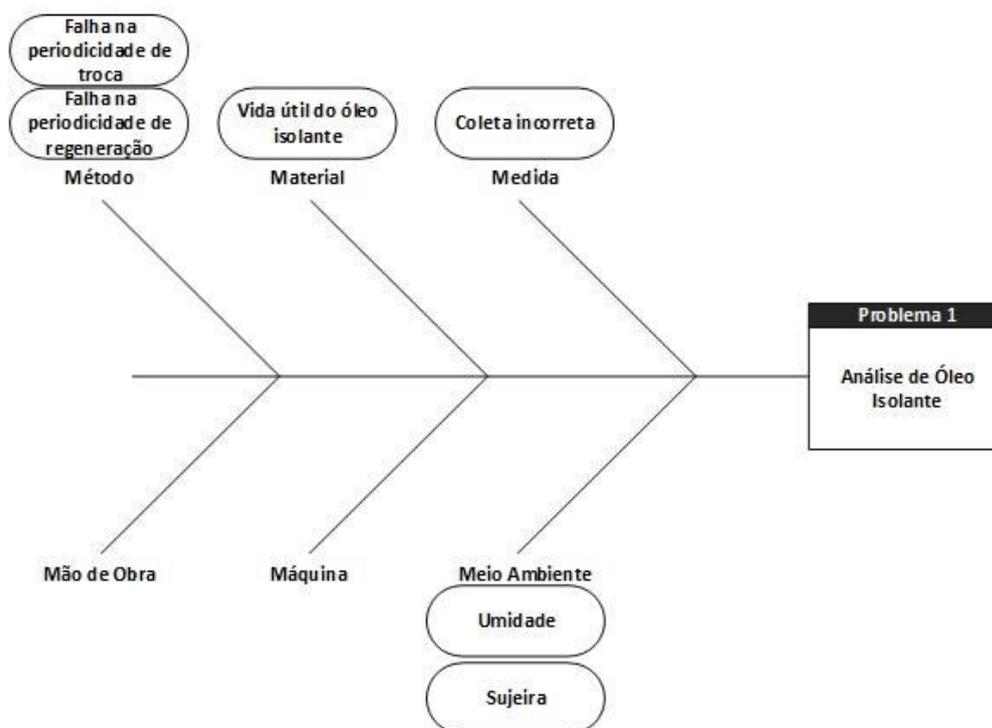


Figura 22: Matriz de causa fundamental para a análise de Óleo Isolante.

Os fatores listados anteriormente estão na Tabela 5, que também analisa o nível de prioridade (ou criticidade) para a correção do problema. Percebe-se que apenas três falhas são consideradas graves, pois atingiram a pontuação máxima nos três critérios. As ações propostas para corrigir essas falhas estão listadas na Tabela 6. Note que a ação de número 2 é relacionada a treinamento da equipe de coleta de óleo isolante.

Tabela 5: Matriz de Criticidade da análise de Óleo Isolante.

CAUSAS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	SOMA	PRIORIDADE
Falha na periodicidade de troca	5	5	5	15	
Falha na periodicidade de regeneração	5	5	5	15	
Coleta incorreta	5	5	5	15	
Umidade	5	3	1	9	
Sujeira	5	3	1	9	
Vida útil do óleo isolante	5	1	1	7	

Tabela 6: Plano de ação para análise de Óleo Isolante.

#	TÓPICO(CAUSA RAIZ)	AÇÃO (O QUE)	COMENTÁRIOS (COMO)
1	Análise de óleo Isolante	Criar gestão de periodicidade de regeneração e troca de óleo isolante	
2	Análise de óleo Isolante	Fazer revisão do procedimento de coleta de óleo isolante	

4.2.2 Óleo Lubrificante

Para a técnica de óleo lubrificante tem-se um número maior de falhas, portanto justifica a utilização de todos os fatores que estão descritos na Figura 23. A Tabela 7 traz o nível de criticidade de cada falha presente na Figura 23. É notável a relação entre as falhas mais críticas e as ações presentes na Tabela 8, fazendo jus ao critério de priorização.

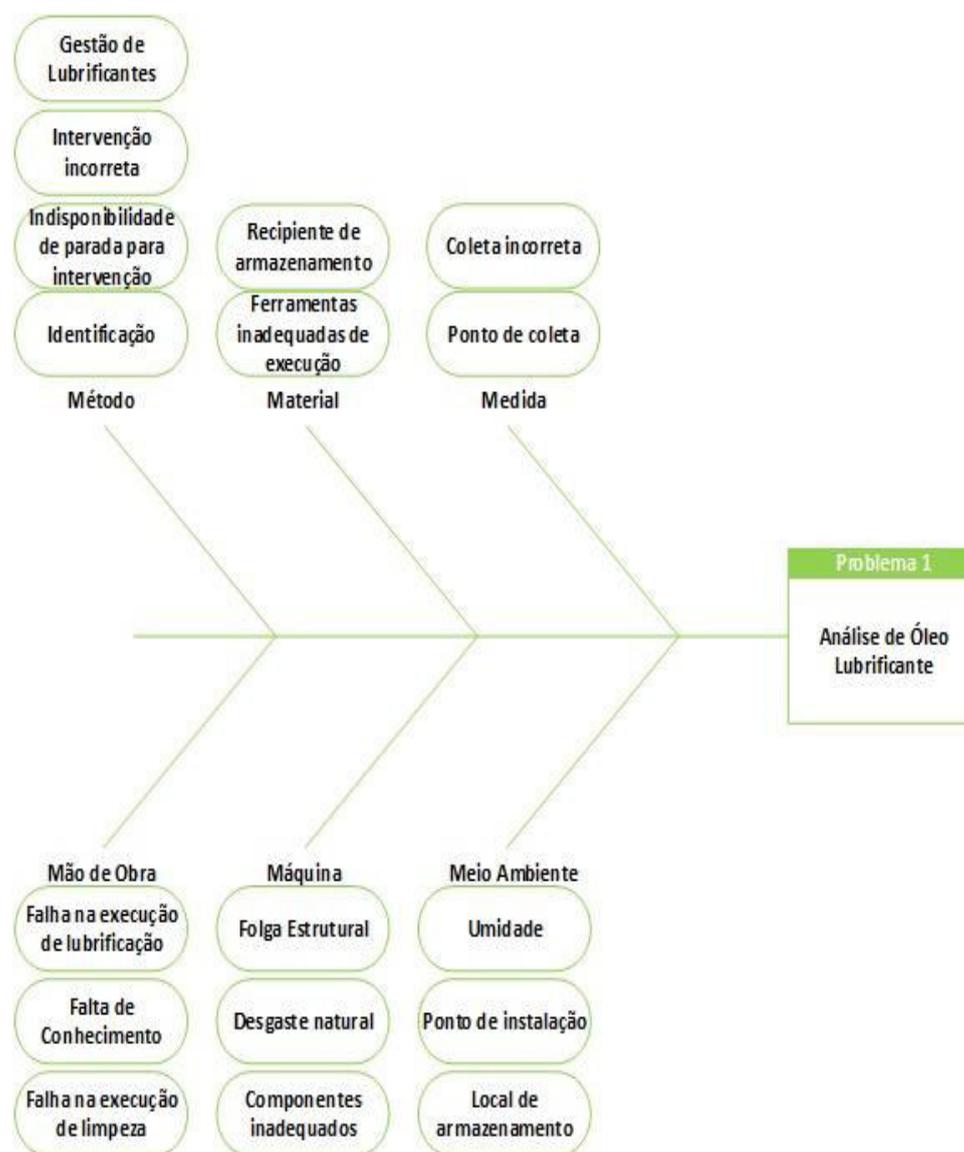


Figura 23: Matriz de causa fundamental da análise de Óleo Lubrificante.

Tabela 7: Matriz de Criticidade da análise de Óleo Lubrificante.

CAUSAS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	SOMA	PRIORIDADE
Gestão de lubrificantes	5	5	5	15	
Identificação	5	5	5	15	
Falha na execução da lubrificação	5	5	5	15	
Falha na execução da limpeza	5	5	5	15	
Ferramenta de execução (bomba)	5	5	5	15	
Recipiente utilizado para armazenamento	5	5	5	15	
Local de armazenamento de lubrificantes	5	5	5	15	
Intervenção incorreta	5	5	5	15	
Falta de conhecimento	5	3	5	13	
Componentes inadequados	5	3	5	13	
Folga estrutural	5	3	3	11	
Coleta incorreta	5	3	3	11	
Indisponibilidade de parada para intervenção	5	3	1	9	
Ponto de coleta	5			5	
Desgaste natural	3			3	
Ponto de instalação	3			3	
Umidade	3			3	

Tabela 8: Plano de ação para a análise de Óleo Lubrificante.

#	TÓPICO(CAUSA RAIZ)	AÇÃO (O QUE)	COMENTÁRIOS (COMO)
3	Análise de óleo lubrificante	Estabelecer rotina de revisão de procedimento para o toolkit de lubrificação.	Realizar o check semanal das condições de armazenamento de lubrificantes, ferramentas de lubrificação, sinalização de lubrificantes e procedimentos de lubrificação.
4	Análise de óleo lubrificante	Adequar 100% das salas de lubrificação conforme toolkit de lubrificação.	
5	Análise de óleo lubrificante	Montar treinamento de lubrificação.	
6	Análise de óleo lubrificante	Substituir	
7	Análise de óleo lubrificante	Treinar operação na limpeza de subconjuntos	Conscientizar equipe da manutenção quanto a importância estratégica da atuação em causa oriunda da análise preditiva.
8	Análise de óleo lubrificante	Solicitar DTO de procedimento de análise e diagnóstico de vibração	Garantir a confiabilidade das medições, diagnóstico e prognóstico com técnicos responsáveis.
9	Análise de óleo lubrificante	Solicitar DTO de procedimento de análise e diagnóstico de vibração	Garantir a confiabilidade das medições, diagnóstico e prognóstico com técnicos responsáveis.

4.2.3 Circuitos de Motores

Analisando a Figura 8, percebe-se um número muito baixo de RDP's emitidas no ano anterior e devido ao fato de que o tratamento oferecido as falhas obtidas pela análise de

Termografia Elétrica são parecidas com as falhas obtidas pela análise de Circuito de Motores e também pela dificuldade da obtenção das amostras, decidiu-se que não existe a necessidade de realizar esta análise para essa técnica.

4.2.4 Termografia Elétrica

A Figura 24 exhibe as falhas detectadas nas RDP's emitidas pela análise de Termografia Elétrica. Percebe-se que as falhas variam desde fatores como local impreciso, vedação do painel elétrico, falta de ferramenta de execução até qualidade de execução e essas falhas possuem uma conexão entre si, pois todas impactam diretamente na confiabilidade dos equipamentos e não apresentam um nível complexo de execução. A Tabela 9 ilustra que a maioria das falhas são consideradas críticas. Já a Tabela 10 apresenta o plano de ação definido para tratar dessas falhas ocorridas. Nota-se que a primeira ação é uma ação de treinamento visando aumentar o nível de conhecimento técnico da equipe garantindo assim uma maior qualidade de execução das manutenções.

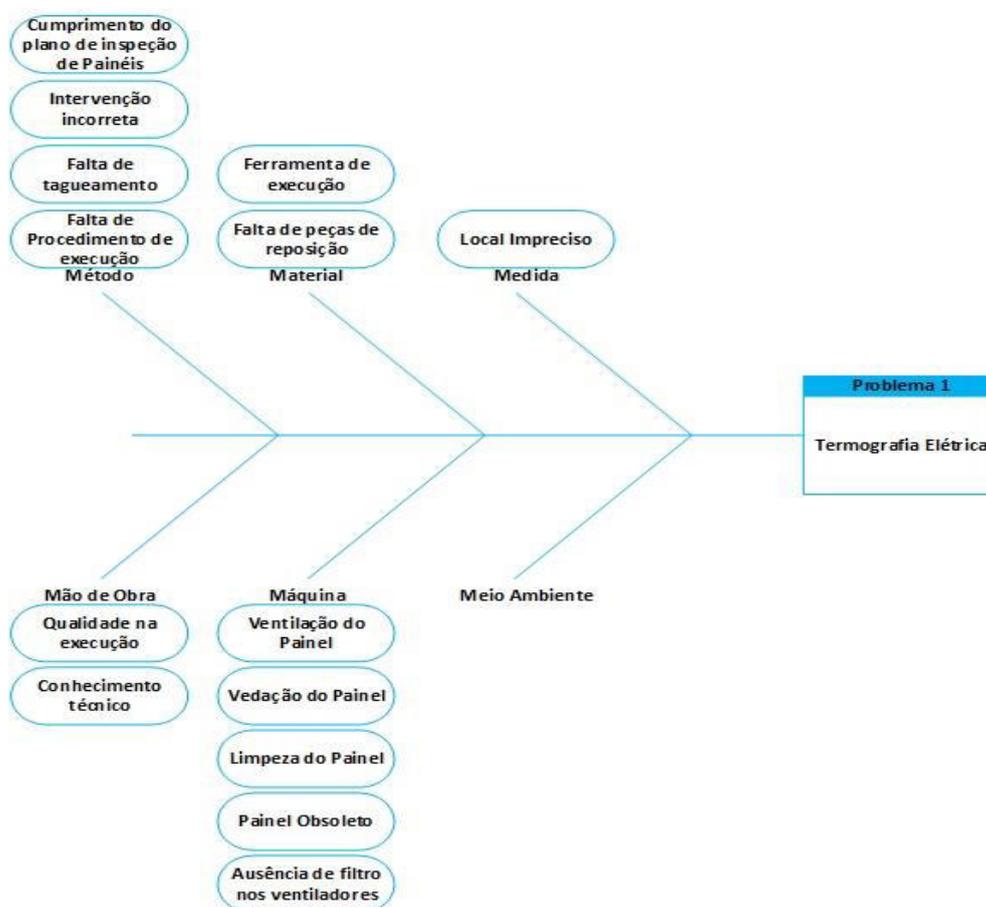


Figura 24: Matriz de causa fundamental da análise de Termografia Elétrica.

Tabela 9: Matriz de criticidade da análise de Termografia Elétrica.

CAUSAS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	SOMA	PRIORIDADE
Falha no cumprimento do plano de inspeção	5	5	5	15	
Falta de procedimento de execução	5	5	5	15	
Intervenção incorreta	5	5	5	15	
Qualidade na execução	5	5	5	15	
Conhecimento técnico	5	5	5	15	
Falta de peças de reposição	5	5	5	15	
Não utilização de ferramentas adequadas	5	5	5	15	
Ventilação inadequada	5	5	5	15	
Limpeza inadequada	5	5	5	15	
Ausência de filtros nos ventiladores	5	5	5	15	
Local impreciso	5	5	5	15	
Vedação inadequada	3	5	5	13	
Falta de taggingamento	1	5	5	11	
Equipamento obsoleto	3	3	1	7	

Tabela 10: Plano de ação para a análise de Termografia Elétrica.

#	TÓPICO(CAUSA RAIZ)	AÇÃO (O QUE)	COMENTÁRIOS (COMO)
10	Termografia Elétrica	Fazer revisão de procedimento de inspeção dos painéis mais críticos, segundo análise preditiva.	
11	Termografia Elétrica	Adequar local de instalação de inspeção termografia elétrica	Local de instalação muito genérico, sendo inviável análise de recorrência
12	Termografia Elétrica	Programar técnico da preventiva para acompanhamento da coleta de termografia elétrica	Finalizar intervenção de acordo com a necessidade e urgência do problema e auxiliar na identificação do local de instalação.
13	Termografia Elétrica	Envolver fornecedores no desenvolvimento de novas tecnologias em equipamentos com recorrência de temperatura	
14	Termografia Elétrica	Criar procedimento de intervenção em causa raiz	Utilizar câmera termográfica, prensa cabo e avaliar projeto original(dimensionamento)
15	Termografia Elétrica	Estruturar sala de refrigeração e painéis elétricos	Chegar ao modelo do laboratório de placas eletrônicas, garantindo resolução de 100% dos problemas de painéis.

4.2.5 Termografia Mecânica

Ao contrário da análise anterior, a técnica de Termografia Mecânica engloba um número menor de falhas, como demonstrado pela Figura 25. Apesar do número de falhas ser

elevado, os tipos de falhas não apresentam uma grande variedade. No entanto, a maioria dessas falhas possuem um nível de criticidade elevado como mostra a Tabela 11. Como correção dessas falhas, a Tabela 12 exhibe as ações de tratamento das mesmas. Note que apesar de serem apenas duas ações, elas possuem um alto grau de abrangência para todas as falhas.

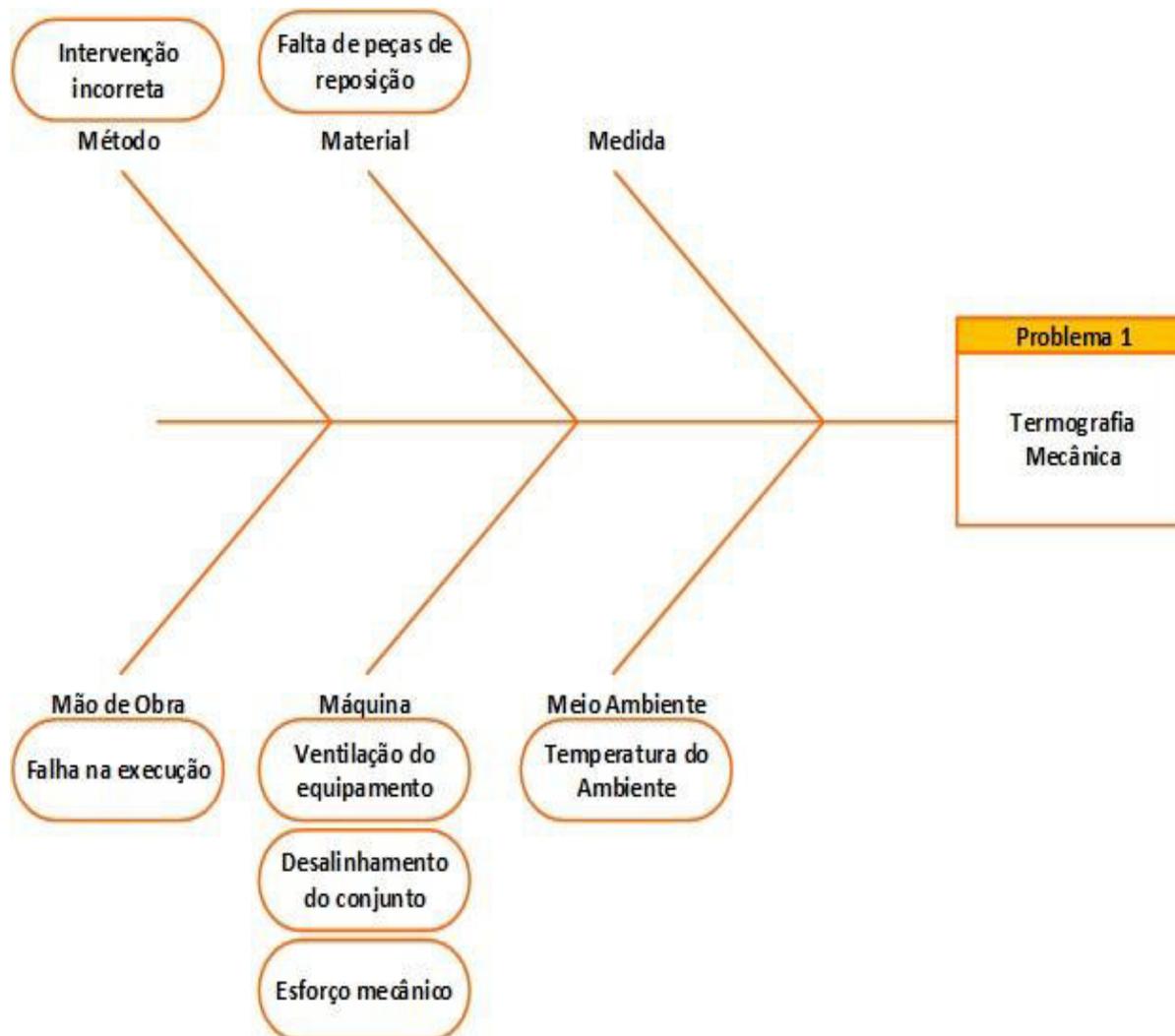


Figura 25: Matriz de causa fundamental da análise de Termografia Mecânica.

Tabela 11: Matriz de Criticidade da análise de Termografia Mecânica.

CAUSAS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	SOMA	PRIORIDADE
Intervenção incorreta	5	5	5	15	
Falha na execução	5	5	5	15	
Falta de peças de reposição	5	5	5	15	
Desalinhamento do conjunto	5	5	5	15	
Esforço mecânico	5	5	5	15	
Ventilação do equipamento	3	5	5	13	
Temperatura do ambiente	5	3	3	11	

Tabela 12: Plano de ação para análise de Termografia Mecânica.

#	TÓPICO(CAUSA RAIZ)	AÇÃO (O QUE)	COMENTÁRIOS (COMO)
16	Termografia Mecânica	Criar procedimento de intervenção em causa raiz	Usando como referência manual do equipamento, limites de óleo e temperatura, torque, alarmes do equipamento, rolamentos e eixo
17	Termografia Mecânica	Avaliar projeto criando estratégia de manutenção proativa para equipamentos em condições adversas	Temperatura do meio influenciando nos subconjuntos

4.2.6 Vibração

A técnica preditiva de Vibração é a que possui o maior número de ensaios de acordo com a Figura 8, porém apresenta um baixo número de RDP's emitidas. Para este caso, as falhas ocorridas são apresentadas na Figura 26. A partir desses dados presentes na figura chegou-se a Tabela 13, que evidenciam que a maior parte das falhas detectadas apresentam um nível alto de criticidade. Além disso, a maioria dessas falhas críticas estão relacionadas com conhecimento técnico, conforme mostra as ações expressas pela Tabela 14.

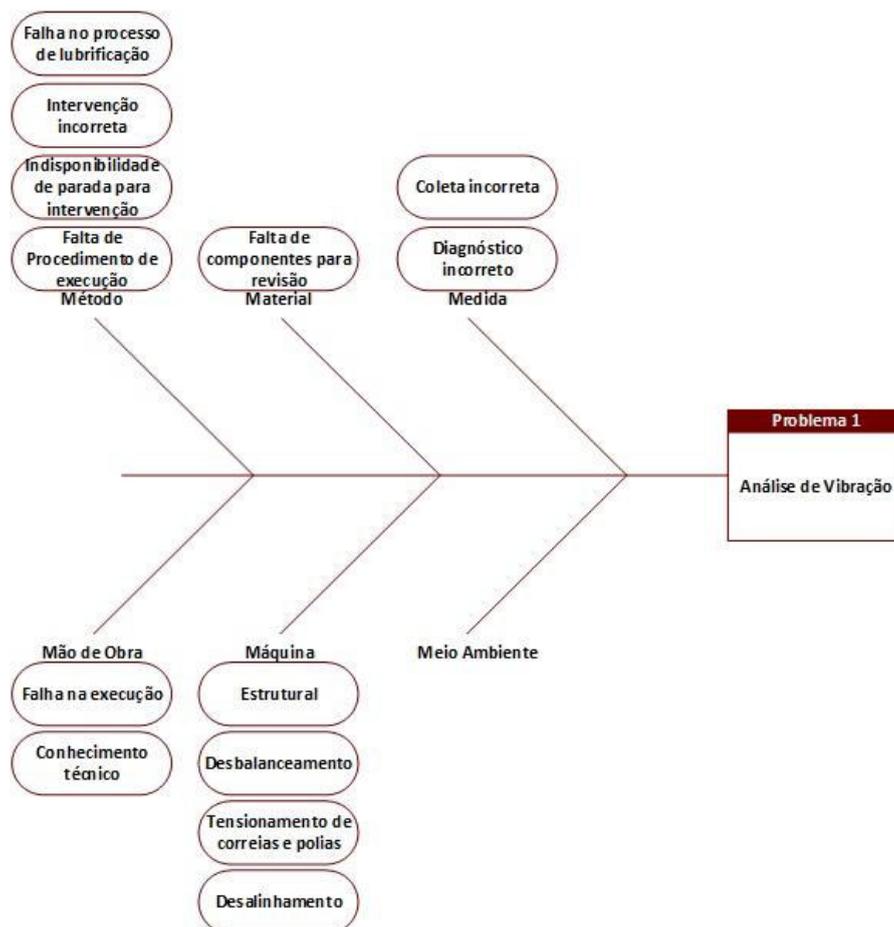


Figura 26: Matriz de causa fundamental da análise de Vibração.

Tabela 13: Matriz de criticidade da análise de Vibração.

CAUSAS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	SOMA	PRIORIDADE
Falha no processo de lubrificação	5	5	5	15	
Falta de procedimento de execução	5	5	5	15	
Intervenção incorreta	5	5	5	15	
Falha na execução	5	5	5	15	
Falta de conhecimento técnico	5	5	5	15	
Desbalanceamento	5	5	5	15	
Tensionamento de correias e polias	5	5	5	15	
Desalinhamento	5	5	5	15	
Diagnóstico incorreto	5	3	5	13	
Coleta incorreta	5	3	5	13	
Indisponibilidade de parada para intervenção	5	3	3	11	
Estrutural	5	3	3	11	
Falta de componentes para revisão	5	3	1	9	

Tabela 14: Plano de ação da análise de Vibração.

#	TÓPICO(CAUSA RAIZ)	AÇÃO (O QUE)	COMENTÁRIOS (COMO)
18	Análise de Vibração e Análise de óleo lubrificante	Mapear subconjuntos críticos com necessidade de estoque reserva para agilizar intervenção.	Subconjuntos de grande porte com tempo elevado de intervenção, alta recorrência de falha.
19	Análise de Vibração e Análise de óleo lubrificante	Criar procedimento de intervenção em causa raiz	Utilizar como base relatório da SEMEQ para padronização da intervenção.
20	Análise de Vibração	Fazer revisão de procedimento do uso do alinhador a laser.	
21	Análise de Vibração	Treinar supervisão na utilização da preditiva online	
22	Análise de Vibração	Montar treinamento de causa e efeito da vibração	Conscientizar equipe da manutenção quanto a importância estratégica da atuação em causa oriunda da análise preditiva.
23	Análise de Vibração	Solicitar revisão de procedimento de análise e diagnóstico de vibração	Garantir a confiabilidade das medições, diagnóstico e prognóstico com técnicos responsáveis.

4.3 Resultados Obtidos

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos após a realização das ações propostas anteriormente. Os resultados são apresentados separadamente por técnicas e por fim é apresentado o panorama geral.

4.3.1 Óleo Isolante

A seguir é apresentado o resultado da análise de Óleo Isolante após a execução das ações apresentadas na Tabela 6. Analisando a Figura 27 percebe-se que houve uma redução significativa da Taxa de Falhas para as medições de Óleo Isolante, e isso acontece pois na primeira medição do ano de 2016 a Taxa de Falha foi muita elevada, sendo assim essa técnica passou a se tornar foco da área da manutenção e isso também justifica o resultado da segunda medição. Já a Figura 28 exibe o comportamento de recorrências de falhas, e confrontando esse gráfico com o apresentado na Figura 15, nota-se que o processo continua controlado e o número de recorrências foi reduzido a zero. No entanto o número de equipamentos com uma única falha aumentou. Outro fator é de que o boxplot dessa técnica não é apresentado, e o motivo disso é que o comportamento está controlado, ou seja, os equipamentos apresentam ou uma ou nenhuma falha, não há variação entre o número de falhas.

4.3.2 Óleo Lubrificante

Para a análise de Óleo Lubrificante os resultados são satisfatórios. A Figura 29 mostra a comparação entre os resultados de 2015 e 2016, analisando essa figura tem-se que a Taxa de Falha reduziu de 32,52% para 27,37%. Além disso, ao comparar os dados apresentados na Figura 16 e na Figura 30, tem-se que o desvio padrão diminuiu e o número de amostras aumentou, garantindo que o processo tornou-se ainda mais controlado. Nota-se também uma diminuição no número de recorrências. Já ao analisar o boxplot da Figura 30, tem-se que o valor do limite superior diminuiu, pois houve uma migração do problema sistêmico para problemas pontuais. E os equipamentos com alto número de recorrências são *outliers*. A razão para essa redução na Taxa de Falha e também na recorrência de falhas, deve-se ao fato de executar as ações apresentadas na Tabela 8. Pois existia muita contaminação de óleos pela utilização de óleos incorretos, ou locais de instalação incorretos. Sendo assim, as ações propostas priorizam a padronização da utilização de óleos, evitando que técnicos agissem somente de acordo com o conhecimento técnico.

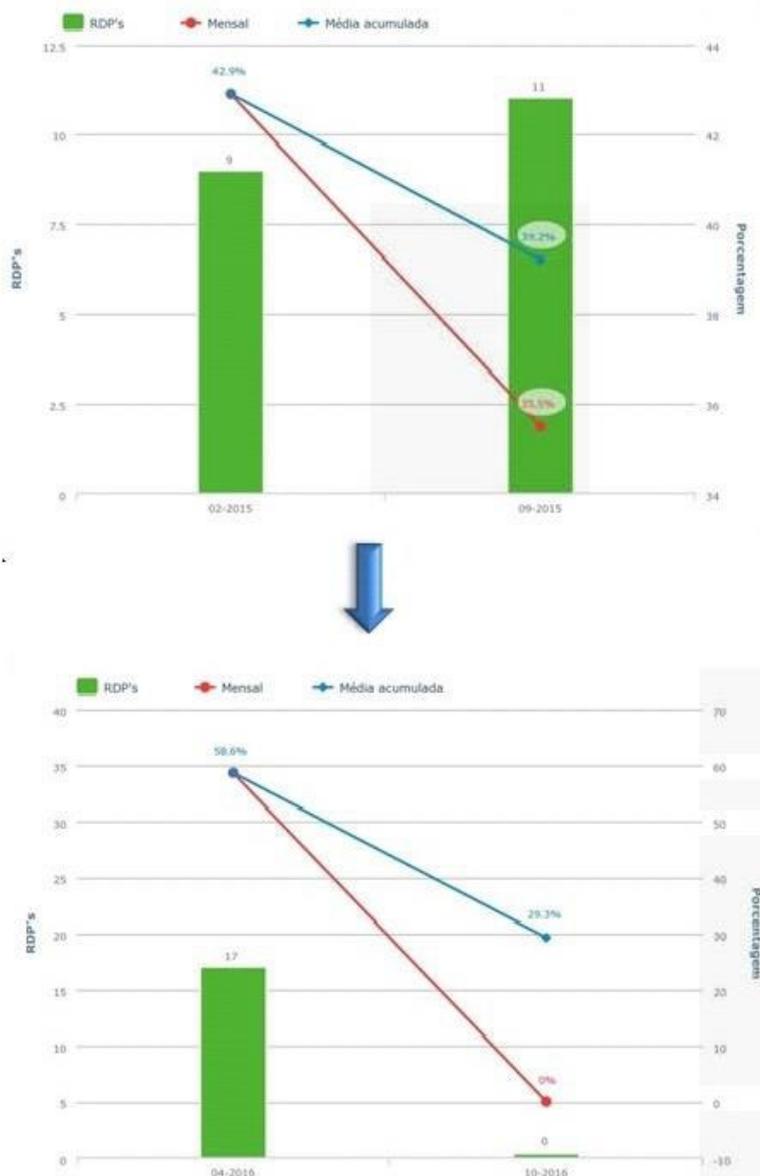


Figura 27: Comparação entre os anos de 2015 e 2016 para a técnica de Óleo Isolante.

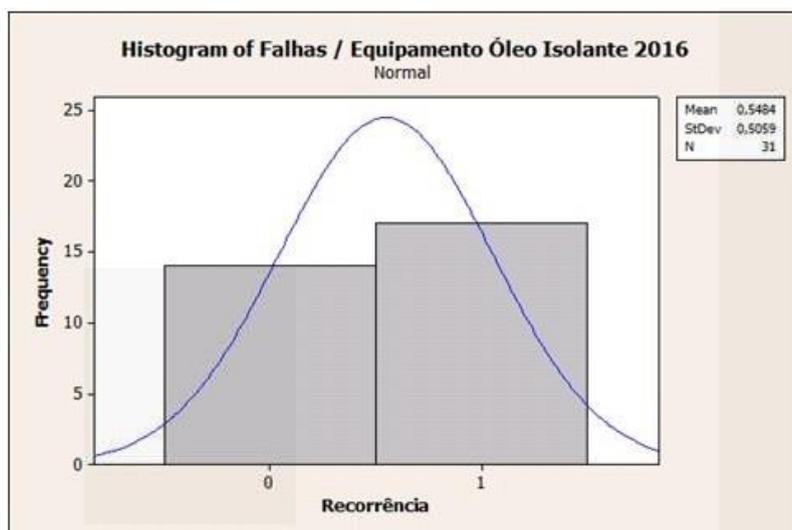


Figura 28: Histograma da análise de Óleo Isolante.

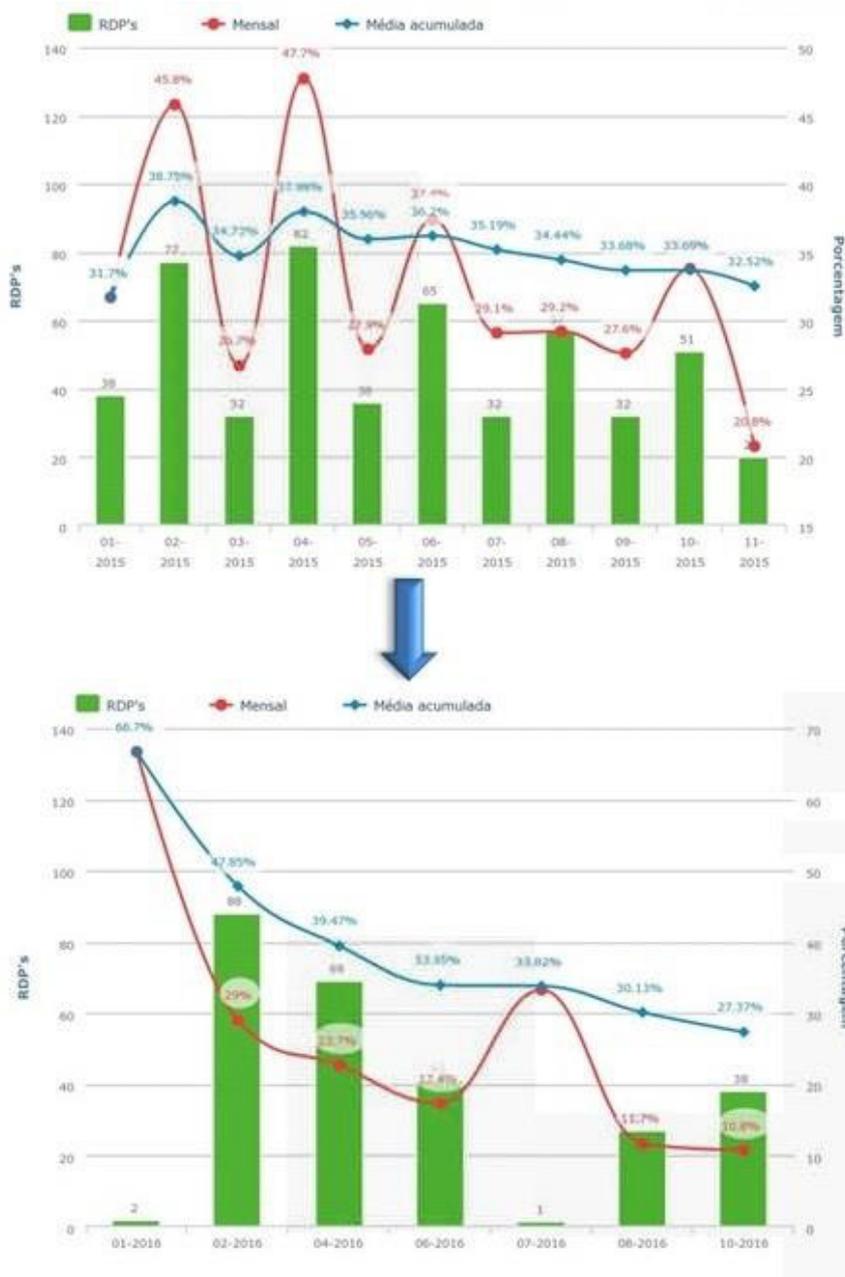


Figura 29: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Óleo Lubrificante.

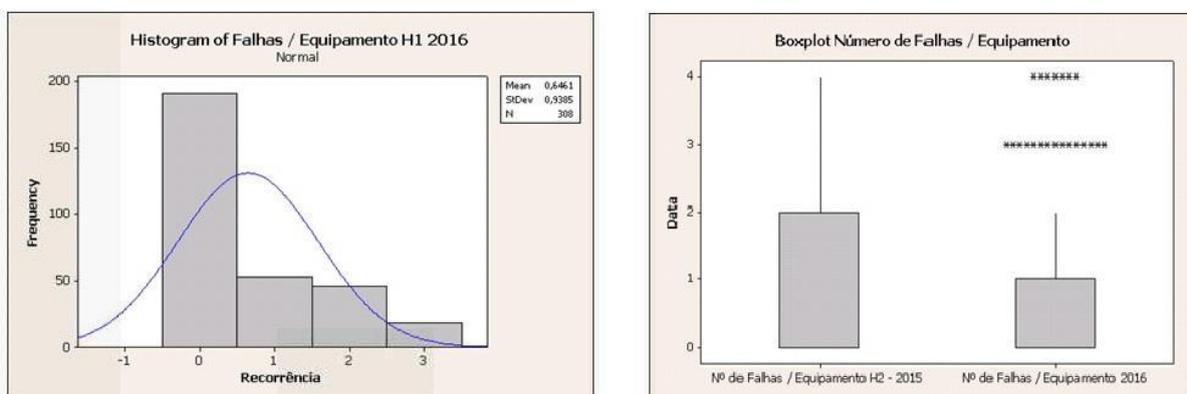


Figura 30: Histograma e Boxplot da análise de Óleo Lubrificante.

4.3.3 Circuitos de Motores

A Figura 31 mostra uma comparação entre o cenário inicial e final para essa técnica, percebe-se uma redução da Taxa de Falha de 26,5% para 11,95% em 2016. Já analisando a Figura 17 e a Figura 32, tem-se uma redução 50% da quantidade de recorrências, porém nota-se a presença de *outliers*, equipamentos com a recorrência de falhas em três medições. A causa dessa retraída redução é a complexidade de manutenção para esse tipo de análise, pois geralmente a solução está em trocar o equipamento e isso tem impacto direto no orçamento de manutenção. Apesar disso os resultados obtidos são satisfatórios e comprovam que a estratégia de adotar o mesmo plano de ação utilizado para a análise de Termografia Elétrica, foi assertiva.

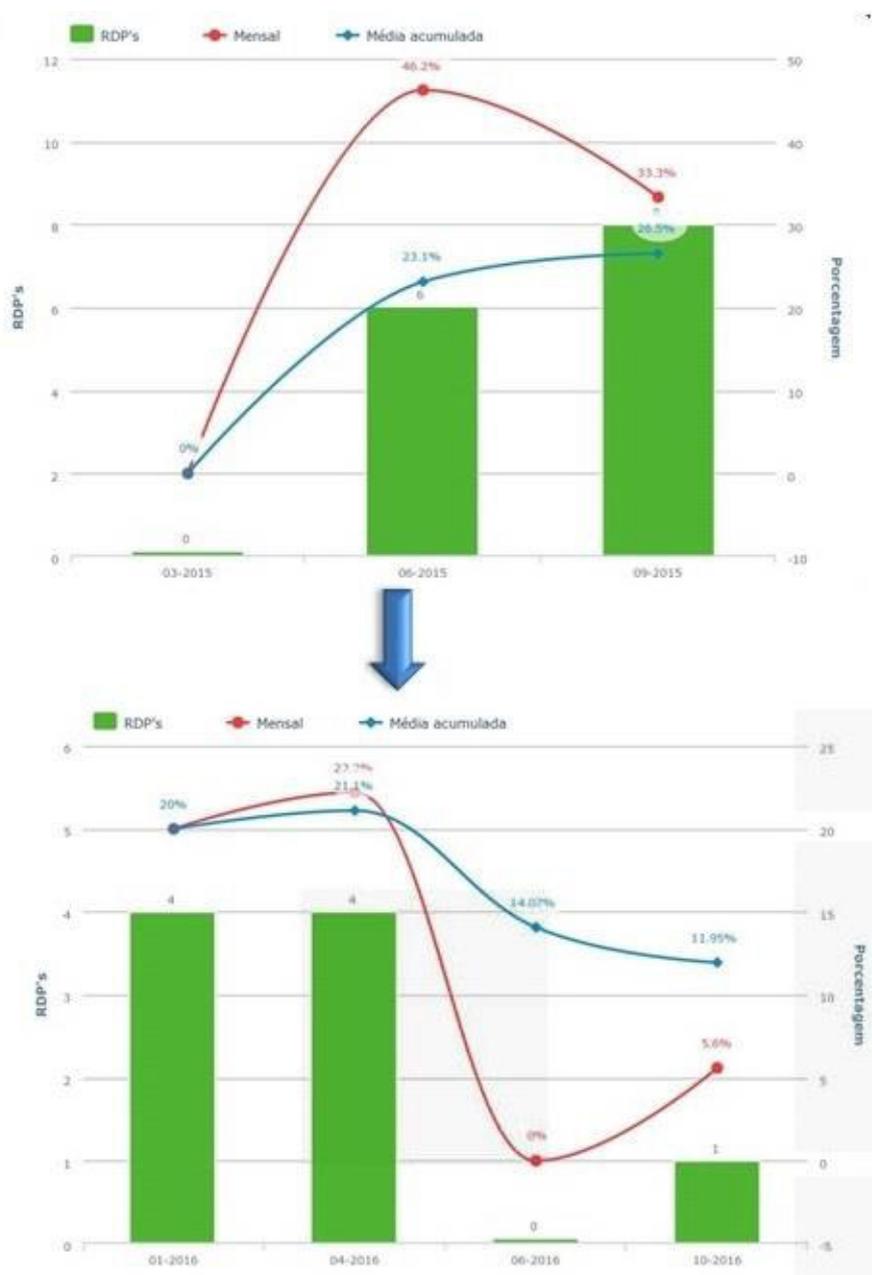


Figura 31: Comparação entre panorama final da análise de Circuitos de Motores.

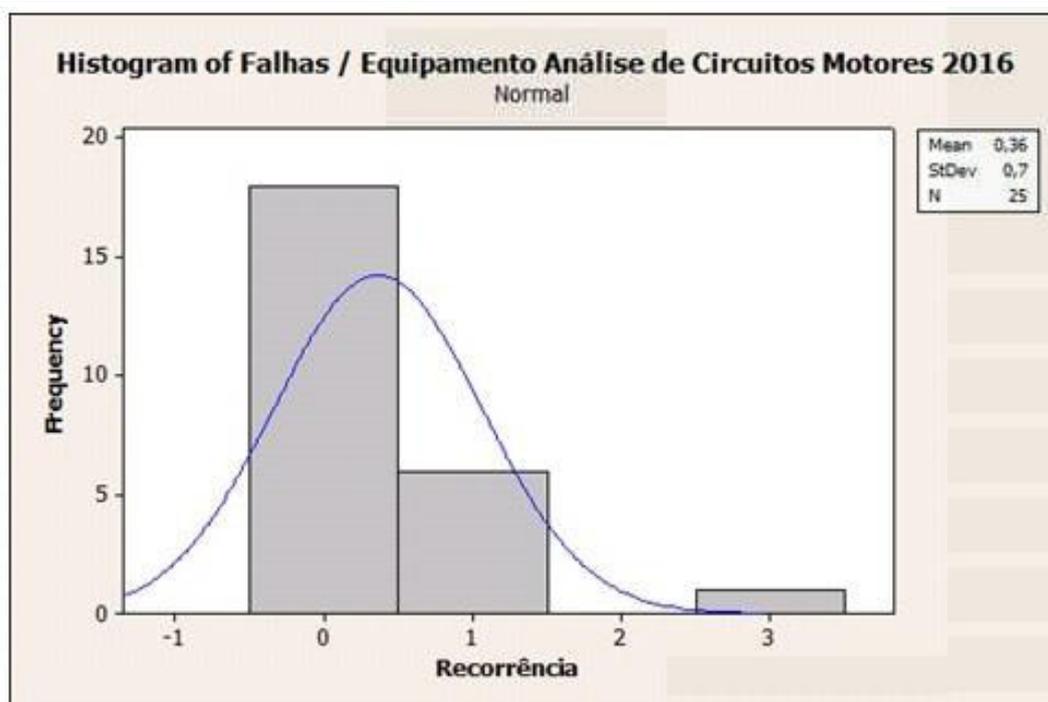


Figura 32: Histograma da análise de Circuitos de Motores.

4.3.4 Termografia Elétrica

Ao observar a Figura 33, percebe-se uma pequena evolução, pois houve uma redução de 7,35% para 6,77%. No entanto, o número de recorrências também apresentou uma redução tímida, é perceptível essa variação ao comparar-se a Figura 18 e a Figura 34. E isso acontece quando não existe efetividade na execução da manutenção, ou seja, houve uma falta de priorização pois a execução de manutenções provenientes das RDP's de Termografia Elétrica são em grande maioria de fácil resolução. Percebe-se pela Figura 34 que o comportamento do boxplot permanece quase igual, pois os limites superiores e inferiores continuam os mesmos, assim como a mediana e os *outliers* também estão na mesma posição, porém nota-se que em menor quantidade, e isso comprova a redução de recorrências de falhas, apesar de tímida.

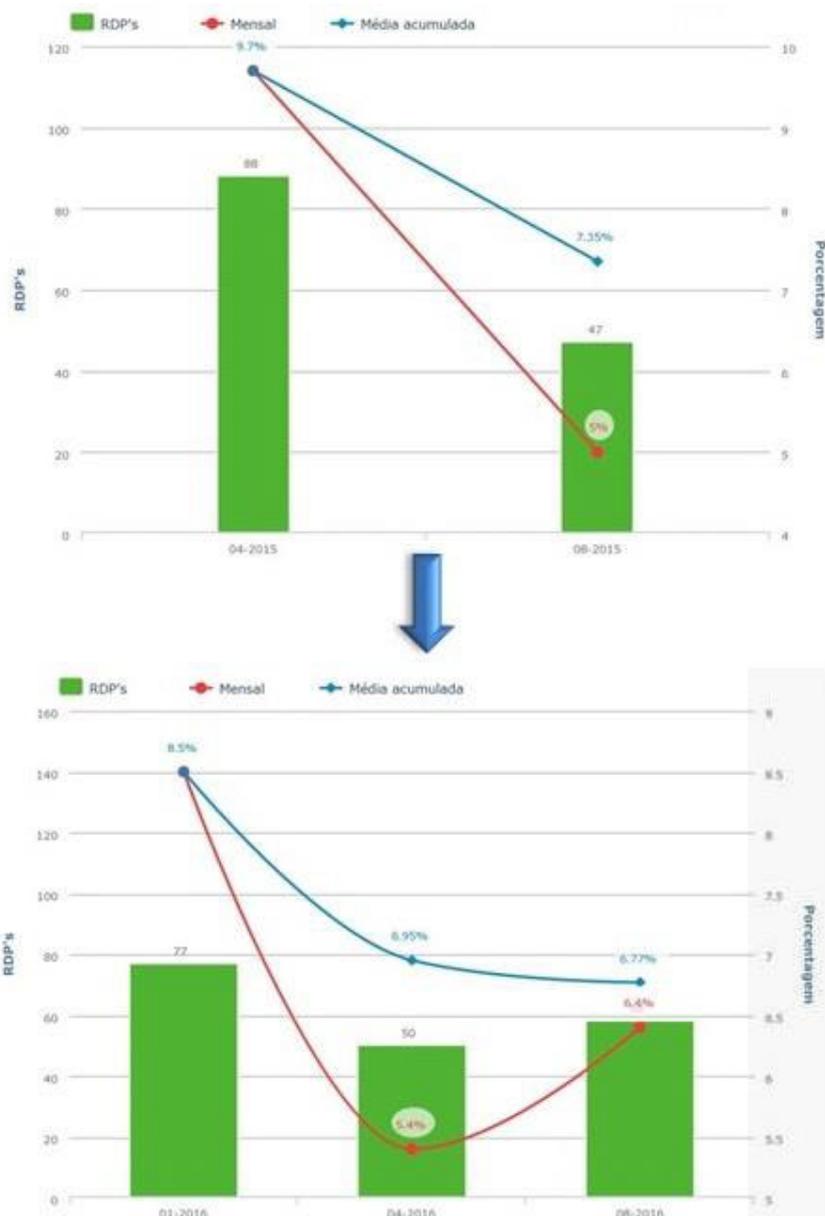


Figura 33: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Termografia Elétrica.

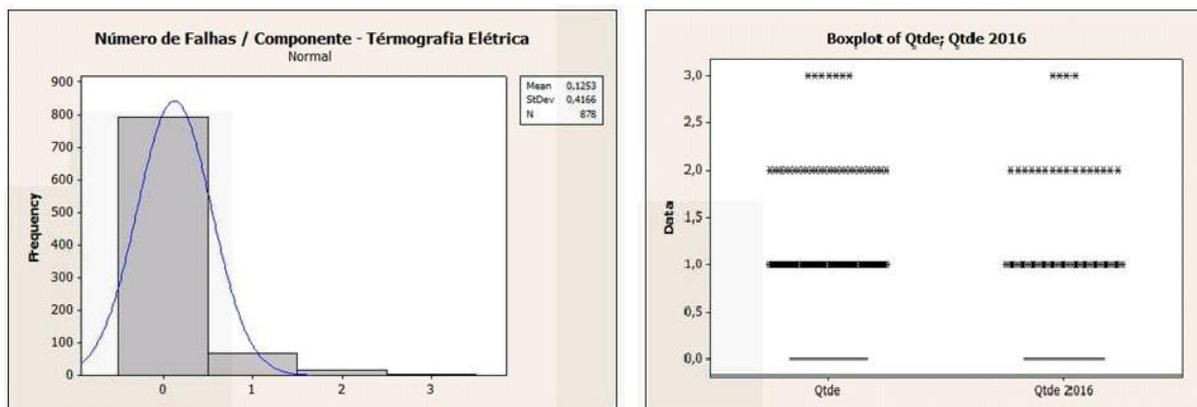


Figura 34: Histograma e Boxplot da análise de Termografia Elétrica.

4.3.5 Termografia Mecânica

Assim como os resultados da análise anterior, a Taxa de Falha e o número de recorrências diminuíram. Essa observação é resultado da comparação presente na Figura 35, e entre as Figura 19 e Figura 36. E pelo boxplot apresentado percebe-se claramente que as reincidências diminuíram e tornaram-se problemas pontuais, isto é, por motivos de disponibilidade de material as manutenções não foram executadas.

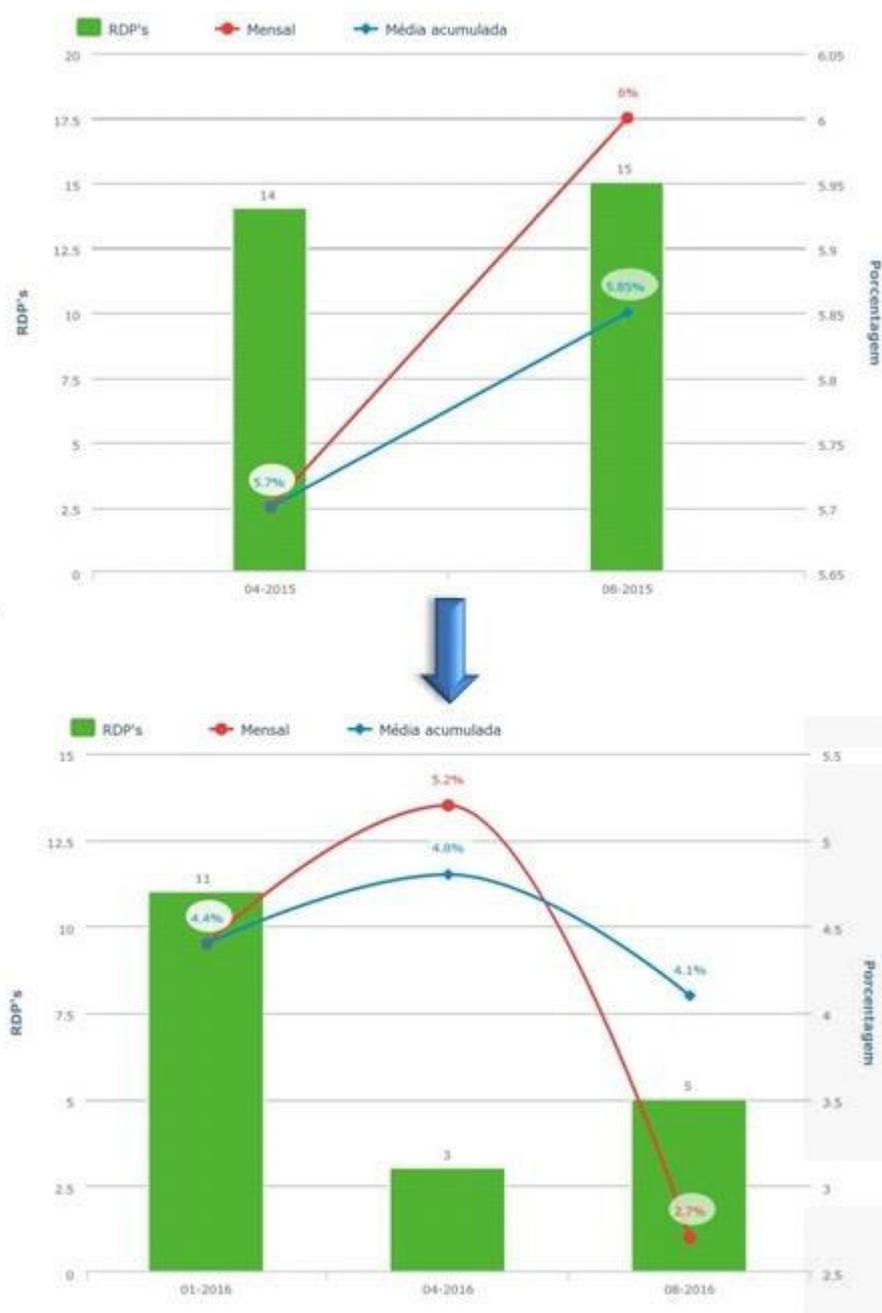


Figura 35: Comparação entre o panorama inicial e final da análise de Termografia Mecânica.

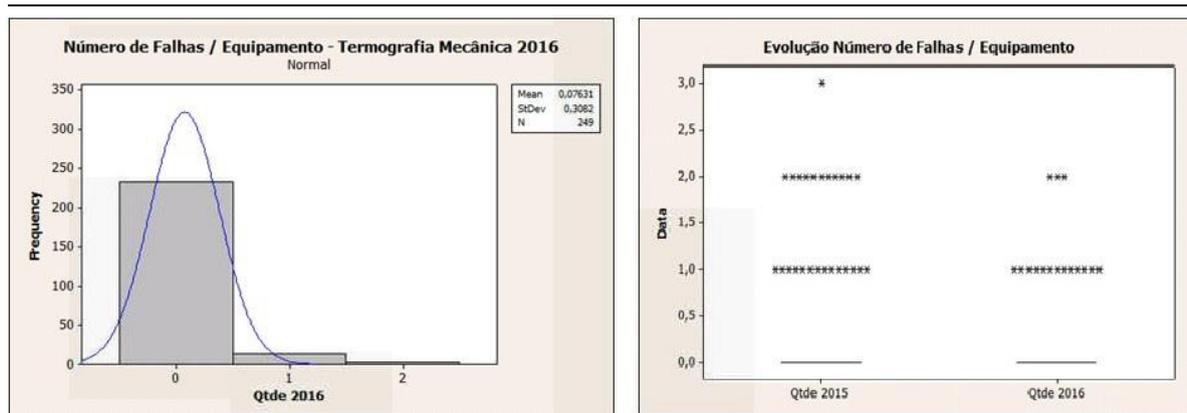


Figura 36: Histograma e Boxplot da análise de Termografia Mecânica.

4.3.6 Vibração

Ao analisar a Figura 37, percebe-se uma pequena redução no percentual de Taxa de Falha, porém tem-se que a técnica preditiva de Vibração possui o maior número de equipamentos sendo medidos, e isso significa uma grande evolução quando analisado a quantidade de máquinas que deixaram de apresentar falhas prematuras. Logo isso reflete na quantia de reincidências de falhas, que também diminui. Esse fato pode ser, constatado ao confrontar a Figura 20 e a Figura 38.



Figura 37: Comparação entre panorama inicial e final da análise de Vibração.

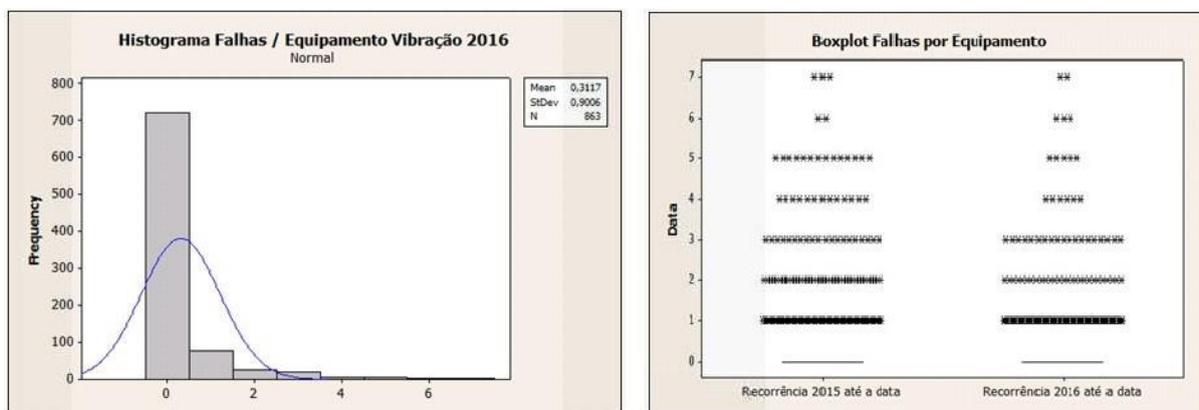


Figura 38: Histograma e Boxplot da análise de Vibração.

4.4 Resultado Geral

O presente estudo foi desenvolvido durante o desenvolvimento de um projeto de estágio no ano de 2016, no qual fiz parte de forma ativa no projeto. A Figura 39 apresenta o resultado geral obtido. Percebe-se que todas as análises das técnicas preditivas apresentaram redução em suas respectivas Taxa de Falha. Com isso, o cenário reduziu de forma significativa, pois decresceu de 8,7% para 5,82% e isso comprova a efetividade da estratégia tomada após a análise desenvolvida por esse estudo. Sendo que apesar de todas limitações sejam elas financeiras, de planejamento de manutenção ou recursos de mão de obra o objetivo foi alcançado, e assim nota-se que foi feita uma otimização dos recursos para o melhor tratamento possível da manutenção preditiva. Com uma pequena Taxa de Falha e uma pequena quantidade de recorrência de falhas pode-se utilizar melhor os recursos disponíveis, ou seja, as medições preditivas continuarão sendo feitas porém quando o percentual de falhas é baixo, isso proporciona uma disponibilidade e rapidez maior de recursos para serem alocados ao tratamento a manutenção preditiva, tendendo a recorrência de falhas a zero. Além de aumentar a confiabilidade dos equipamentos e também torná-los mais disponíveis, elevando a produtividade.

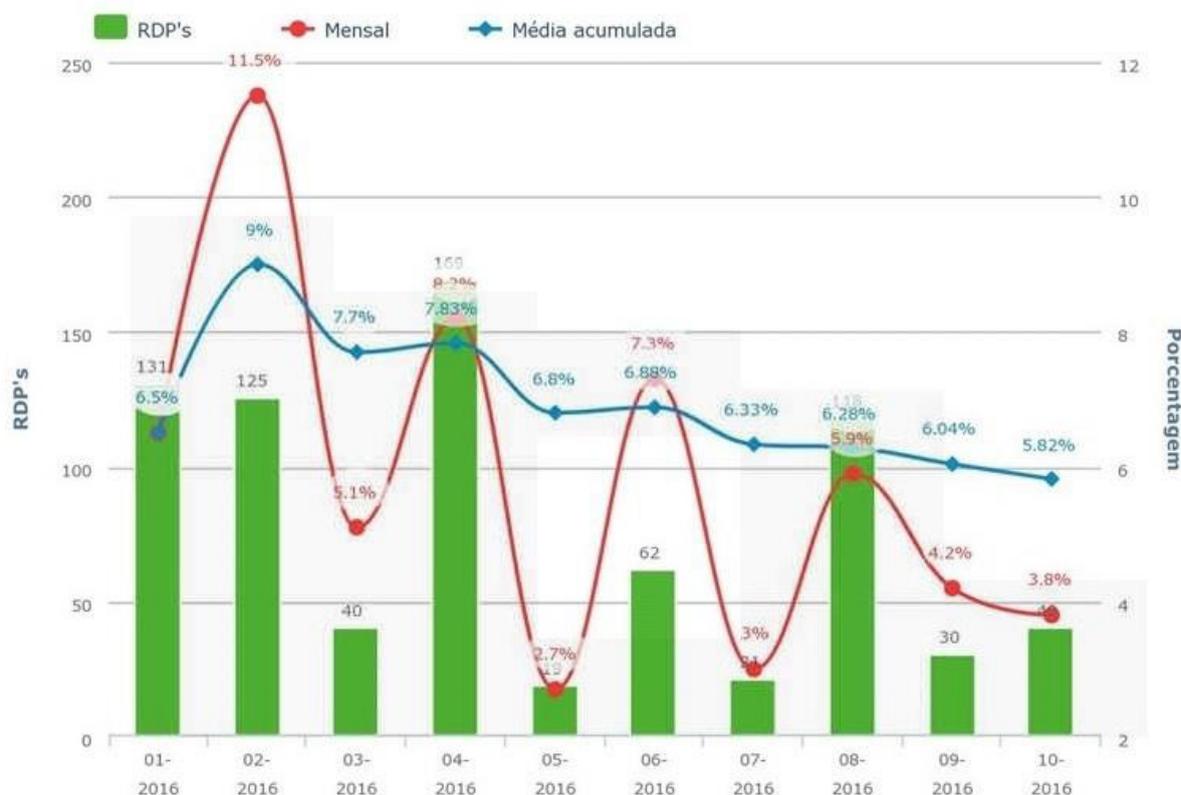


Figura 39: Cenário final de Taxa de Falhas .

5 Conclusões

O impacto da Manutenção Corretiva na produtividade de uma planta industrial tende a ser minimizado a todo tempo, e isso é justificado pela aplicação de conceitos preventivos, que possuem o intuito de minimizar perdas. Sendo assim, o comportamento de máquinas e equipamentos deve ser controlado e previsto, deixando de lado o fator imprevisível. E para esse fator a Manutenção Preditiva é fundamental, pois ela tende a prever falhas ou distúrbios nas máquinas. E isso justifica o desenvolvimento nesse trabalho, que após a implantação do sistema de análise preditiva foi feita uma otimização dos recursos para impactar positivamente nos resultados de uma planta industrial.

Primeiramente, foi levantado a visão macro do processo de manutenção preditiva, e isso proporcionou uma visibilidade que não existia, podendo assim gerar ações de etapas antes não vistas para otimizar os resultados. A manutenção preditiva tem um papel fundamental na prevenção de falhas, de forma a evitar perdas de produção, sendo assim uma melhor gestão desse indicador faz com que a estratégia de manutenção passa a ter mais autonomia sobre os fatores de produção, podendo assim planejar de forma efetiva. Após a definição e análise de todas as etapas do processo, foi definido um ponto crucial para a análise de manutenção preditiva, foi passado a equipe de supervisão o papel fundamental da análise da RDP gerada. Em seguida foi analisado cada técnica e levantado a árvore de falhas, e criado um plano de ação de acordo com as falhas apresentados pela árvore de falhas, que proporcionou um tratamento das causas raiz das falhas apresentadas.

Este trabalho foi desenvolvido de modo prático, fundamentando-se em conceitos teóricos e os aplicando diretamente na prática. Apesar de ser uma análise demorada porém envolveu conceitos simples, contudo o resultado foi totalmente satisfatório, pois reduziu-se o percentual de Taxa de Falha em 33,1%. Apesar disso, esse resultado pode ser otimizado de uma forma ainda melhor, e para isso deve-se utilizar conceitos de manutenção industrial mais complexos. Portanto fica a sugestão para trabalhos futuros a aplicação dos conceitos de RCM (*Reliability Centered Maintenance*), em português Manutenção Centrada em Confiabilidade e/ou TPM (*Total Productive Maintenance*), em português Manutenção Produtiva Total, que são conceitos voltados para a eliminação de desperdícios.

6 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>. Acesso em 15 abr. 2017.

BIN, L. P. G. **Acompanhamento da Implantação da Manutenção Produtiva Total – Trabalho de Graduação**. Maringá, 2005.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, Małgorzata. **How does maintenance integrate Lean and Green manufacturing paradigms**, p. 2-12, 2014.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**, 2º Edição. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro, 2001.

MOBLEY, R. K. **Maintenance Fundamentals**. 2º Edição. Elsevier Butterworth Heinemann, 2004.

MOUBRAY, J. **RCM – Reliability Centered Maintenance**. 2º Edição. Ed. SQL Brasil, 1999.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol. 4, n.2, 2008.

PYZDEK, Thomas. **The Six Sigma Handbook, A complete guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at all levels**. McGraw-Hill, New York, 2003.

SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação**, Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro, 2005.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, 1998.

