

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

LUIS FELIPE VIEIRA
VINICIUS COSTA DA SILVA

MELHORIA DE ROTINAS DA MANUTENÇÃO A PARTIR DO
ACOMPANHAMENTO DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

**LUIS FELIPE VIEIRA
VINICIUS COSTA DA SILVA**

**MELHORIA DE ROTINAS DA MANUTENÇÃO A PARTIR DO
ACOMPANHAMENTO DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Nelson Ari Canabarro de Oliveira

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

MELHORIA DE ROTINAS DA MANUTENÇÃO A PARTIR DO ACOMPANHAMENTO DE INDICADORES DE CONFIABILIDADE

por

LUIS FELIPE VIEIRA E VINICIUS COSTA DA SILVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me.Nelson Ari Canabarro de Oliveira

Orientador

Prof. Me.Ana Maria Bueno

Membro Titular

Eng. Prod.Marcos Rogerio Celini Júnior

Membro Titular

Prof.Dr. Marcos Eduardo Soares

Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha mãe Geovana, que sempre acreditou em mim e tornou tudo isso possível.

A minha namorada Scarlet, que me apoiou nos bons e maus momentos e sempre esteve presente quando precisei de um porto seguro nos últimos 8 meses.

Por fim, a todos os amigos que estiveram comigo durante essa caminhada e com certeza contribuíram para a realização deste trabalho.

Luis Felipe Vieira.

À Deus pela força; aos meus pais, Jeremias e Marcia, pelo apoio e suporte incondicionais; e aos meus amigos pelo companheirismo e parceria durante toda a jornada acadêmica.

Vinicius Costa da Silva.

RESUMO

Vieira, Luis Felipe. Da Silva, Vinicius Costa. **Melhoria de Rotinas da Manutenção a Partir do Acompanhamento de Indicadores de Confiabilidade**. 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

A confiabilidade de manutenção tem se tornado cada vez mais importante para o aumento da eficiência de equipamentos e, conseqüentemente, da produção, pois permite analisar os piores equipamentos e então tomar ações corretivas, preventivas e preditivas para evitar quebras futuras. Importantes indicadores de confiabilidade são MTBF (Tempo médio entre Falhas), MTTR (Tempo Médio para Reparo) e Taxa de Falha, que mede a taxa de quebra de equipamentos através da manutenção preditiva. Este trabalho tem por objetivo de desenvolver Melhorias na forma como estes indicadores são acompanhados. Para a realização deste trabalho, foi aplicado um ciclo PDCA, então criou-se análises de piores equipamentos para MTBF e MTTR, e um gerenciador de manutenção preditiva, relacionada a Taxa de Falha, que engloba todas as variáveis do indicador. Através das análises, foi possível ter uma melhoria nos indicadores, com o MTBF saindo de uma média anual de 314,4 para 404,7 minutos, e o MTTR de 21,3 para 20,7 minutos. Se analisado apenas o período de aplicação do projeto, entre julho e dezembro de 2017, os resultados são ainda melhores, com o MTBF atingindo uma média de 494,9 minutos e MTTR de 20 minutos. Além disso, foi possível obter uma redução de R\$ 651.377,50 em custo de linha parada, se comparados o primeiro semestre do ano e o segundo semestre, já com a aplicação do projeto. Para a Taxa de Falha, após a criação do gerenciador, houve uma redução de 3,41% para 3,21% na média anual, eliminação completa de ordens atrasadas no sistema e também uma redução de 13 falhas reincidentes em junho para apenas 1 em dezembro.

Palavras chave: Confiabilidade, Manutenção, MTBF, MTTR, Taxa de Falha.

ABSTRACT

Vieira, Luis Felipe. Da Silva, Vinicius Costa. **Improvement of Maintenance Routines by Reliability Indicators Tracking.** 2018. 70 f. Work of Course Conclusion (Graduation in Mechanical Engineering) – Federal Technology University – Paraná, Ponta Grossa, 2018.

Maintenance reliability has become increasingly important for increasing the efficiency of equipment and, consequently, for production, since it allows analyzing the worst equipment and then taking corrective, preventive and predictive actions to avoid future failures. Important reliability indicators are MTBF(Mean Time between Failures), MTTR (Mean Time to Repair) and Flaw Rate, which measures the rate of equipment breakdown through predictive maintenance. This work has the objective of developing improvements for monitoring this indicators. In order to perform this work, a PDCA cycle was applied, then the worst MTBF and MTTR analyzes were created, as well as a predictive maintenance manager, related to Failure Rate, which encompasses all variables of the indicator. Through the analyzes, it was possible to improve the indicators, with MTBF rising from an annual average of 314.4 to 404.7 minutes, and MTTR from 21.3 to 20.7 minutes. If only the application period of the project is analyzed, between July and December 2017, the results are even better, with MTBF averaging 494.9 minutes and MTTR of 20 minutes. In addition, it was possible to obtain a reduction of R\$ 651,377.50 in costs, comparing the first and the second half, already with the project implementation. For the Flaw Rate, after the creation of the manager, there was a reduction of 3.41% to 3.21% in the annual average, complete elimination of backward orders in the system and also a reduction from 13 repeated failures in June to only 1 in December.

Keys Words: Reliability, Maintenance, MTBF, MTTR, Flaw rate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de probabilidades condicionais de falhas.....	24
Figura 2 - Ciclo De Deming Ou Ciclo PDCA	29
Figura 3 - Classificação da pesquisa	31
Figura 4 - Etapas de desenvolvimento	33
Figura 5 - Resultados de MTBF até Junho	36
Figura 6 - Resultados de MTTR até Junho	37
Figura 7 - Diagrama de Ishikawa	37
Figura 8 - Análise de piores equipamentos.....	39
Figura 9 - Cronograma de Análises Preditivas	40
Figura 10 - Taxa de Falha até Junho	41
Figura 11 - Diagrama de Ishikawa	42
Figura 12 - Relação entre ordens abertas no SAP e relatórios	43
Figura 13 - Acompanhamento diário de MTBF.....	47
Figura 14 - Acompanhamento diário de MTTR.....	47
Figura 15 - Análise de piores equipamentos mecânicos	49
Figura 16 - Questionário de piores equipamentos	50
Figura 17 - Gerenciamento de ordens	51
Figura 18 - Aba de Anomalias Reincidentes	52
Figura 19 - Acompanhamento do indicador Taxa de Falha	53
Figura 20 - Evolução do MTBF	55
Figura 21 - Evolução do MTTR	56
Figura 22 - Novo modelo de análise de confiabilidade	57
Figura 23 - Evolução do MTBF até agosto	58
Figura 24 - Evolução do MTTR até agosto	59
Figura 25 - Resultado anual de MTBF.....	60
Figura 26 - Resultados de MTBF no período do projeto	61
Figura 27 - Resultados anuais de MTTR.....	62
Figura 28 - Resultados de MTTR no período do projeto	63
Figura 29 - Tempo de linha parada por mês.....	64

Figura 30 - Custo de linha parada entre janeiro e junho	65
Figura 31 - Custo de linha parada entre julho e dezembro	66
Figura 32 - Economia entre os períodos	66
Figura 33 - Taxa de falha até agosto	67
Figura 34 - Evolução das ordens atrasadas	68
Figura 35 - Aba de anomalias programadas e penderes.....	69
Figura 36 - Resultados anuais de taxa de falha	69
Figura 37 - Taxa de falha no período do projeto	70
Figura 38 - Ordens Atrasadas.....	71
Figura 39 - Reincidências de anomalias	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo de MTBF e MTTR	45
Tabela 2 - Dados diários de MTBF	45
Tabela 3 - Dados diários de MTTR	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: O HISTÓRICO.....	15
2.2 OS MÉTODOS DE MANUTENÇÃO	18
2.2.1 Manutenção Corretiva.....	18
2.2.2 Manutenção Preventiva	19
2.2.3 Manutenção Preditiva	19
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC).....	20
2.4 A TÉCNICA DE ÁRVORES DE FALHAS	26
2.5 OS INDICADORES DE FALHAS	27
2.4.1 O MTBF	27
2.4.2 O MTTR.....	28
2.4.3. O Ciclo PDCA	28
3 METODOLOGIA	31
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	31

3.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO.....	32
3.2.1 Revisão Bibliográfica	33
3.2.2 Seleção dos Indicadores de Confiabilidade	33
3.2.3 Aplicação do Ciclo PDCA	34
3.2.4 Validação dos Resultados	34
4 DESENVOLVIMENTO	35
4.1 <i>PLAN</i> - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E PLANO DE AÇÃO.....	35
4.1.1 MTBF E MTTR.....	35
4.1.2 TAXA DE FALHA.....	40
4.2 <i>DO</i> – EXECUÇÃO	44
4.2.1. MTBF E MTTR.....	44
4.2.2 TAXA DE FALHA.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 MTBF e MTTR	54
5.2 TAXA DE FALHA.....	67
6 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Com a Revolução industrial houve um aumento exponencial na produtividade mundial a partir da utilização de máquinas em conjunto com a força de trabalho humana. Com a introdução das máquinas nos ambientes de produção, houve também a introdução da manutenção, o que tem sido um desafio para as empresas desde então, devido a complexa equação de aliar custo de manutenção, com melhoria da eficiência e confiabilidade dos equipamentos até um ponto ótimo.

Kardec e Nascif (2009) define a manutenção industrial como a garantia da disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Siqueira (2009) afirma que a evolução da manutenção ocorre em três gerações distintas, correspondendo a um período tecnológico diferente, introduzindo novos conceitos, filosofias e atividades de manutenção. A primeira geração tinha foco na manutenção corretiva, executada após uma falha ou defeito e rotinas operacionais como atividades de limpeza, controle e lubrificação. A segunda geração, veio no período pós segunda guerra mundial, pois com o aumento da complexidade das máquinas e, conseqüentemente, dos custo de manutenção, foram criadas as manutenções preventivas e preditivas, que focam em manutenções periódicas e baseadas nas condições do equipamento (RAPOSO, 2004). A partir da década de 70, com o aumento da automação, aumentou-se a possibilidade de ocorrer uma falha em razão a introdução de novas tecnologias (SIQUEIRA, 2009). Durante essa geração houve a melhoria da manutenção preventiva e o desenvolvimento do conceito de confiabilidade em manutenção (MOUBRAY, 1997).

Conforme Tavares (2005) os gestores de manutenção devem ter ampla visão e atuação sistêmica dentro de suas organizações, de tal forma que a diversidade de modelos e fundamentações do planejamento e controle da manutenção, plenamente consolidados, sejam úteis à maximização dos equipamentos, assim

como os lucros da organização. Sendo assim, para obter uma maior produtividade, com maior eficiência e menor custo, as empresas precisam aplicar todas as técnicas de manutenção de forma efetiva, protegendo assim seus ativos e melhorando sua disponibilidade e confiabilidade.

1.1 PROBLEMA

O problema abordado nesse trabalho consiste na dificuldade em realizar o acompanhamento de indicadores de confiabilidade e obter melhores resultados a partir deste acompanhamento. Têm-se então a premissa para o estudo, que pretende melhorar a forma como os indicadores são acompanhados e conseqüentemente, melhorá-los.

1.2 JUSTIFICATIVA

Xenos (2004) afirma que a primeira associação que vêm à mente quando se pensa em manutenção é o tratamento de falhas, através da detecção, reparo e investigação das suas prováveis causas. Porém, as atividades de manutenção devem abranger, a incorporação de melhorias através da remodelação das condições de trabalho do equipamento a fim de evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzindo assim o custo e aumentando a produtividade (XENOS, 2004).

Para se alcançar o ponto ótimo das políticas de manutenção, deve-se balancear a combinação entre manutenções corretivas, preventivas e preditivas. Posto que o comportamento da taxa de falhas e do custo das falhas determinará o tipo de manutenção e o seu intervalo de intervenção (FARRERO, 2002).

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC) desenvolve estratégias de manutenção, que combinam fatores a fim de garantir que os equipamentos exerçam suas funções originais combinando técnicas de engenharia em uma abordagem sistemática e priorizando as funções mais relevantes do sistema (BLOOM, 2006).

A essência da metodologia MCC é definir as funções e padrões de funcionamento dos equipamentos e posteriormente descrever as possíveis falhas e analisar suas prováveis causas, consequências e definir ações que possam impedir ou amenizar sua ocorrência (BLOOM, 2006).

Considerando a necessidade do acompanhamento dos indicadores de manutenção e seu impacto na confiabilidade e eficiência dos equipamentos, é necessário tomar ações que desenvolvam uma melhoria considerável na forma como esse acompanhamento é realizado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é, através da aplicação de um ciclo PDCA, desenvolver melhorias na forma como os indicadores de confiabilidade são acompanhados em uma cervejaria da cidade de Ponta Grossa.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- i. Identificar indicadores de confiabilidade que apresentam resultados abaixo do esperado;
- ii. Aplicar o ciclo PDCA para obter melhorias na forma como estes indicadores são acompanhados;
- iii. Através das melhorias, alcançar os resultados esperados para os indicadores, de acordo com as metas estipuladas para cada um.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho delimitou-se em coletar informações sobre os indicadores de confiabilidade e como era realizado seu acompanhamento, e através da aplicação de um ciclo PDCA, realizar melhorias neste processo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho se divide em 6 capítulos.

O Capítulo 1 traz a introdução e a contextualização do tema, bem como o problema, a justificativa, os objetivos gerais e específicos do trabalho e a delimitação do tema.

O Capítulo 2 traz o referencial teórico do trabalho, abordando os temas da manutenção corretiva, preditiva e preventiva, também foi abordada a manutenção centrada em confiabilidade, o ciclo PDCA, e, complementarmente, os indicadores MTBF e MTTR e a teoria de árvore de falhas.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia do trabalho, a classificação da pesquisa e as etapas de desenvolvimento.

O Capítulo 4 traz o desenvolvimento do trabalho e aborda como cada etapa da metodologia foi realizada detalhadamente.

O Capítulo 5 aborda os resultados obtidos através do que foi implementado no desenvolvimento, bem como as análises de tais resultados.

O Capítulo 6 traz as conclusões obtidas através dos resultados apresentados pelo trabalho.

Por fim, têm-se as referências utilizadas para a elaboração deste trabalho, que foram utilizadas em todos os capítulos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo abordará os tópicos necessários para o embasamento teórico do tema proposto, começando pelo avanço histórico da manutenção industrial e definição dos seus métodos; seguido por uma abordagem da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e da técnica de árvores de falhas; e por fim, uma apresentação dos indicadores de manutenção utilizados na metodologia deste trabalho e uma breve abordagem do ciclo PDCA.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: O HISTÓRICO

Segundo Xenos (2004), manter é fazer tudo o que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido. De maneira geral, a manutenção existe para evitar a degradação dos equipamentos; e essa degradação pode impactar o processo produtivo de diversas formas, como a manufatura de produtos de má qualidade ou até perdas de desempenho e paradas na produção. Esses efeitos negativos podem trazer prejuízos enormes dependendo do segmento da empresa, colocando em risco inclusive, a sua própria sobrevivência. Portanto, a correta gestão da manutenção desses equipamentos é imprescindível quando se deseja melhorar a produtividade e obter ganhos na produção e não pode simplesmente ser ignorada.

Xenos (2004) ainda diz que a primeira associação que vêm à mente quando se pensa em manutenção é o tratamento de falhas, através da detecção, reparo e investigação das suas prováveis causas. No entanto, essas devem ser medidas casuais num ambiente industrial, ou seja, não podem ser rotina do grupo de manutenção, falhas são uma catástrofe quando o funcionamento do equipamento é indispensável para a produção. As atividades de manutenção devem abranger, da mesma forma, a incorporação de melhorias através da remodelação das condições

de trabalho do equipamento a fim de evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzindo assim o custo e aumentando a produtividade.

A manutenção surgiu assim que o homem percebeu a necessidade de garantir a sua produção de bens de consumo. Ela veio se desenvolvendo conforme a evolução da humanidade e a conseqüente mudança no perfil do mercado. No entanto, foi só no fim do século XIX, com a instalação das grandes máquinas industriais que a manutenção se tornou indispensável para a conservação do processo produtivo, mesmo naquela época sendo bastante negligenciada e muitas vezes deixada em segundo plano. (WIREBSK, 2007).

Porém, segundo Filho (2008), quando Ford instituiu a produção em série, as fábricas se encontraram numa situação em que precisariam de uma equipe especializada no reparo das máquinas que pudesse realizar tal serviço o mais rápido possível a fim de diminuir os prejuízos de uma eventual parada na produção. Dessa maneira, surgiu nas indústrias o órgão suplementar responsável pela correção de possíveis falhas no equipamento.

Ao fim da Segunda Guerra Mundial, a necessidade por uma produção industrial mais ágil e confiável era iminente. Uma equipe, acionada apenas quando o maquinário de fato falhava, não era o suficiente. Era necessário pensar em uma forma de evitar as falhas além de corrigi-las, afastando-se da antiga solução imediatista que se tinha. (XENOS, 2004).

O autor ainda diz que, nos anos 60, com o avanço da aviação comercial e da tecnologia dos computadores, uma análise mais minuciosa a respeito da relação entre o tempo gasto na prevenção de falhas versus tempo gasto no reparo de falhas, foi possível. Dessa forma, constatou-se que o tempo empregado na precaução das falhas era muito maior e naquele momento, foi criado um órgão de assistência responsável por planejar e monitorar a análise de causas e efeitos das avarias, denominado de “Engenharia de Manutenção”.

Filho (2008) afirma que, a partir daí, com o desenvolvimento dos computadores e dos instrumentos de medição, a Engenharia de Manutenção se fragmentou em duas: a responsável pelo estudo de ocorrências e a do

Planejamento e Controle da Manutenção, o PCM, que se tornaria a base estratégica do setor de manutenção, responsável por traçar planos que possam garantir a disponibilidade e a confiabilidade; e dessa forma, fazer com que os processos de produção sejam cada vez mais vantajosos e lucrativos.

A partir do conhecimento das informações sobre custos de implementação de uma gestão da manutenção, foi possível estimar os ciclos de vida dos equipamentos de maneira mais eficaz e abriu as portas para a atual “Manutenção Centrada no Negócio” onde as decisões estratégicas de uma companhia são guiadas pelos aspectos de custo originais da gestão da manutenção. Ainda no final dessa década os japoneses criaram o TPM, *Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total, que segundo NAKAJIMA (1989) é o conjunto de atividades que mantém o compromisso voltado para o resultado, e que busca atingir a máxima eficiência do sistema de produção, potencializando o ciclo de vida dos equipamentos, aproveitando todos os recursos e buscando a perda zero.

Com o avanço dos computadores na década de 80, o setor da manutenção passou a ter seus próprios softwares de controle, diminuindo a necessidade de trabalho humano nesse campo e aumentando consideravelmente a velocidade e qualidade do processamento das informações (TAVARES, 2000). O mesmo autor ainda ressalta que, nessa época, a manutenção já começava a ser considerada uma seção encarregada da produção, já que impactava diretamente o domínio das operações que envolviam o processo produtivo. Essa influência fez com que a ISO, em 1993, norma 9000 reconhecesse a Manutenção como uma das grandes responsáveis pela garantia da qualidade, melhora da confiabilidade, diminuição de prazos e custos operacionais e ainda preservação do meio ambiente e do bem estar dos trabalhadores. Hoje em dia a manutenção tem papel de importância equivalente ao das operações, e o PCM passou a exercer um importante posto estratégico para a gerencia da indústria.

2.2 OS MÉTODOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Xenos (2004) os métodos de manutenção podem ser divididos principalmente entre: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. Nessa seção serão estudadas as principais características e diferenças entre cada um destes métodos.

2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é aquela que ocorre somente após a ocorrência da falha. Do ponto de vista operacional, essa é a opção mais barata pois não demanda nenhum planejamento para executar a ação de manutenção. No entanto, a escolha pela manutenção corretiva pode encarecer o processo produtivo considerando as perdas de uma parada do equipamento (SOEIRO et al., 2017).

Os principais pontos a se levar em consideração na seleção do método de manutenção corretiva são, segundo Xenos (2004):

- Se as ações preventivas aplicáveis são factíveis, e se são economicamente viáveis. Em caso negativo, a manutenção corretiva é sim a mais indicada.
- O fato de não se ter a mínima ideia de quando o equipamento pode vir a parar é o principal problema característico da intervenção corretiva, e uma pausa repentina pode ser bastante perigosa considerando as possíveis perdas na produção em consequência dessa interrupção.
- É importante, ao se adotar esse método de manutenção, ter peças e equipamentos no estoque para possibilitar rápida reposição quando necessário, a fim de minimizar as perdas e danos provenientes de uma eventual parada na produção.

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva caracteriza-se por ser aquela atividade rotineira, feita periodicamente no ambiente fabril. Ela envolve medidas disciplinadas como inspeções, reformas e trocas de peças e é a essência das atividades de manutenção, tendo substancial importância após a sua implementação Xenos (2004).

Do ponto de vista de custo, a manutenção preventiva demanda mais recursos quando comparada à manutenção corretiva, pois os equipamentos não chegam a atingir o seu limite de vida útil antes de serem trocados. No entanto, esse método apresenta uma menor incidência de falhas, menor quantidade de intervenções no equipamento e maior disponibilidade das máquinas. Dessa maneira, ao considerar o custo total de manutenção, a preventiva se torna muito mais conveniente e vantajosa comparada à corretiva (FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009).

2.2.3 Manutenção Preditiva

Na manutenção preditiva a troca de equipamentos é otimizada, já que é possível prever o momento em que as peças atingirão o seu limite de vida. Xenos (2004) expressa que dessa forma, a troca dos elementos das máquinas não é mais apenas periódica como na manutenção preventiva, mas sim prevista, no momento em que a falha do determinado componente é iminente.

A principal característica da manutenção preditiva é a aplicação de alta tecnologia na inspeção dos equipamentos, e muitas vezes demanda de um bom investimento em equipes de engenharia especializadas na operação dos instrumentos. No entanto, mesmo com essa dissemelhança com relação aos outros métodos, a manutenção preditiva deve fazer parte do planejamento da manutenção preventiva, sendo uma aliada importante numa ideal gestão da manutenção pois nada mais é que mais uma maneira de inspecionar os equipamentos (TAVARES, 2005).

A melhor estratégia, usualmente, é a manutenção preditiva. Entretanto, se os seus custos atrelados são inviáveis ou se os métodos de monitoramento são inaplicáveis, a manutenção preventiva baseada no tempo se torna a mais indicada. Se, por sua vez, a manutenção preventiva não é aplicável, deve-se averiguar se a falha é tolerável. Em caso negativo, deve-se realizar uma reformulação do design do equipamento; Se for tolerável, é recomendado aplicar a manutenção corretiva e praticar metodologias de procura por falhas, que busque identificar falhas ocultas (TAVARES, 2005).

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

Mesmo que a manutenção preventiva antecipe a correção da falha antes que esta ocorra, ela ainda sim gera indisponibilidade no processo, em razão da necessidade de parada para cada evento de manutenção. Segundo Corrêa (2016), realizar o controle da periodicidade com que essa atividade deve ser realizada se torna uma tarefa um tanto quando complexa, devido a fatores como:

- A fim de se otimizar o tempo de parada do processo, a regularidade da manutenção preventiva de cada equipamento deve ser organizada de acordo com a dos demais equipamentos.
- Complexidade em se determinar a vida útil dos componentes e portanto, o seu tempo ótimo de troca.
- Designação de mão de obra para a cumprimento das atividades;
- Concentrar o maior número de atividades possíveis a fim de se realizar o menor número de paradas possíveis no processo.

Consequentemente, a manutenção preventiva tem um grande desafio quando procura definir a periodicidade ótima, procurando proporcionar o menor custo e a maior confiabilidade nos sistemas (FARRERO, 2002).

De acordo com Farrero (2002), para se alcançar o ponto ótimo das políticas de manutenção, deve-se balancear a combinação entre manutenções corretivas,

preventivas e preditivas. Posto que o comportamento da taxa de falhas e do custo das falhas determinará o tipo de manutenção e o seu intervalo de intervenção.

Dessa maneira, definir quando e qual intervenção deve ser feita em determinado equipamento é o grande desafio do planejamento da manutenção. Assim sendo, é essencial que a elaboração do planejamento de manutenção seja baseada em análises quantitativas, para que a definição do intervalo de manutenção seja o mais apropriado possível ao comportamento da taxa de falhas do equipamento. Em vista disso, é possível a definição da melhor estratégia de manutenção de cada equipamento, evitando assim esforços desnecessários e ineficazes e agregando valor às atividades que colaboram para a diminuição do custo e o aumento da disponibilidade dos equipamentos.

Bloom (2006) diz que escolher a melhor estratégia de manutenção envolve principalmente: 1) a verificação das atividades de manutenção e a criticidade da falha e 2) a identificação do comportamento da taxa de falhas do componente no decorrer do tempo; ambos sempre levando em conta aspectos associados à economia, segurança do trabalho e meio ambiente.

Em cenários *just in time*, que a propósito, têm sido cada vez mais aplicados nos dias de hoje com o intuito de se reduzir custos de estoque, matérias-primas e produtos; É indispensável a eliminação de itens defeituosos e uma produção equilibrada e constante. Como nesse sistema de administração da produção os estoques são reduzidos (ou até nulos), uma parada inesperada na produção pode dificultar e muito o êxito da organização. Sendo assim, uma manutenção eficiente é indispensável para que haja a eliminação de ocorrências de defeitos gerados pelo processo nos produtos e a diminuição de ocorrências de falhas inesperadas nos equipamentos, a fim de conservar o fluxo regular do processo (MENDES & RIBEIRO, 2013).

Métodos de simulação que modelam a produção e a manutenção permitem a inserção da variabilidade (natural no sistema *just in time*) na simulação. Essa demonstração pode considerar as possíveis variações na demanda e analisar a resposta do sistema quanto às horas de paralisação de máquina e horas adicionais

necessárias para atender à exigência de produção diária. Tais resultados assistem a companhia na tomada de decisão a respeito da estratégia e gestão de manutenção a serem tomadas (MENDES & RIBEIRO, 2013).

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC) desenvolve essas estratégias de manutenção, que combinam fatores citados anteriormente por Bloom (2006) a fim de garantir que os equipamentos exerçam suas funções originais combinando técnicas de engenharia em uma abordagem sistemática e priorizando as funções mais relevantes do sistema.

Wilmeth (2000) aponta que o objetivo principal do MCC é criar uma rotina de manutenção que consiga preservar as funções dos equipamentos de forma efetiva e sem custos excessivos, de maneira estratégica. Caso os custos de operação da manutenção preventiva sejam maiores que os custos associados às paradas e às perdas, ela se torna automaticamente inconveniente; A menos que se trate de uma questão normativa ou de preservação ao meio ambiente e da segurança.

A essência da metodologia MCC é primeiro: definir as funções e padrões de funcionamento dos equipamentos e posteriormente descrever as possíveis falhas e analisar suas prováveis causas, consequências e definir ações que possam impedir ou amenizar sua ocorrência. Dessa maneira, adequações da Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) são largamente utilizadas na MCC. Rausand (1998) recomenda a utilização da FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) para identificar os modos de falha e definir sua criticidade. Já, Fogliatto e Ribeiro (2008) propõem a utilização de uma FMEA ampliada que contenha também informações convenientes às atividades de manutenção. BLOOM (2006) apresenta a COFA (*consequence of failure analysis*) como uma forma mais precisa e simplificada de se definir as consequências das falhas.

Outros conceitos importantes no entendimento da metodologia MCC são os de falhas escondidas e falhas múltiplas. As falhas escondidas são aquelas ocultas para o operador, já que o sistema continua funcionando normalmente até que um segundo componente venha a falhar em virtude da irregularidade do primeiro. As falhas múltiplas ocorrem quando o incidente de uma determinada falha é oculto e

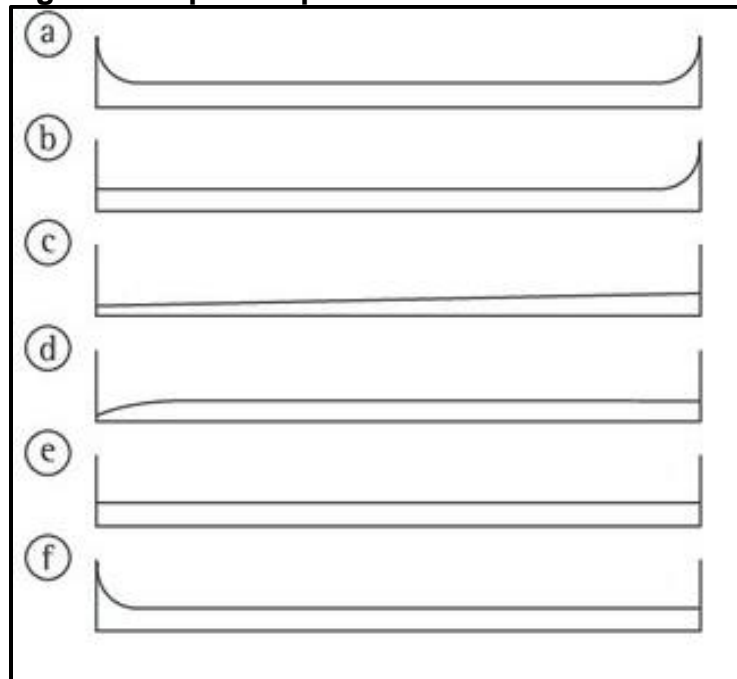
outras falhas podem vir a surgir, isso diminui a confiabilidade do sistema, que pode perder sua função a qualquer instante.

Alguns autores como Deshpande e Modak (2002), Rausand (1998), Bloom (2006) e Fogliatto e Ribeiro (2008) recomendam a utilização de métodos qualitativos para a definição do método de manutenção e do intervalo entre manutenções a ser adotado, porém sempre levando em conta que o aperfeiçoamento da manutenção requer a conciliação balanceada entre a preventiva, a preditiva e a corretiva. Os diagramas de decisão que esses autores apresentam na análise qualitativa, identificam o método de manutenção mais indicado utilizando informações referentes à evidencia da falha, suas consequências e aplicabilidade das atividades de manutenção.

Já na abordagem quantitativa, é a probabilidade característica de falha de cada componente que determina a definição do tipo de manutenção a ser adotada. Analisando-se os dados de falhas é possível definir o método de manutenção mais eficiente nesse caso, através do comportamento das falhas desse equipamento ao longo do tempo.

A Figura 1 representa as probabilidades condicionais de falhas no tempo de vida de um componente. Lafraia (2001) caracteriza cada curva como: a) A curva da banheira, onde há uma elevada incidência de falha assim que se inicia a operação do o componente, seguida por uma longa estabilização com falhas aleatórias e por fim, novamente um aumento devido ao desgaste e à fadiga do equipamento; b) Taxa de falha constante, na qual há um crescimento acentuado no final do período devido a falhas relacionadas ao fim da vida do equipamento (normalmente retrata o comportamento de componentes mecânicos); c) Taxa de falhas levemente crescentes; d) Taxa de falha baixa no início da vida do componente, seguida de taxa de falha constante; e) Taxa de falha constante durante toda a vida do componente (normalmente explica o comportamento de componentes eletrônicos); f) Taxa de falha elevada no início da vida do componente, com decréscimo acentuado e estabilização das falhas.

Figura 1 - Tipos de probabilidades condicionais de falhas



Fonte: Moubray (1996)

Segundo Lafraia (2001), a política de manutenção do sistema deve ser ditada pelas distribuições dos tempos de falha dos componentes. Quando não, a manutenção pode ser ineficaz ou até mesmo aumentar a taxa de falha do componente. Assim, a definição do tempo entre as manutenções depende de uma descrição matemática do processo de falha do componente.

Baseando-se em um estudo de caso, Sellito (2005) propôs um método quantitativo que pode definir o método de manutenção mais indicado e o intervalo de manutenções. Tal método consiste principalmente na definição do momento da vida em que a máquina se encontra. São utilizados testes estatísticos para estabelecer se a máquina está na fase de mortalidade infantil, maturidade ou desgaste. Na primeira fase, recomenda-se o uso de manutenção corretiva visto que as falhas provavelmente se darão devido ao recente início de operação e supostamente não serão algo frequente; Na segunda fase, o autor sugere que sejam adotadas estratégias de manutenção preditiva e corretiva; e, para

equipamentos em fase de desgaste (terceira fase), indica a utilização de manutenção preventiva e preditiva.

Farrero (2002) utilizou uma metodologia semelhante para determinar o tipo de manutenção mais conveniente, assim como o intervalo mais adequado entre manutenções. O autor determinou a distribuição de melhor ajuste após coletar dados de tempos de falha e utilizar métodos de probabilidade e estimação máxima de probabilidade nos dados obtidos. A partir disso, conseguiu estabelecer o tempo médio até a falha, o tempo de vida médio e o tempo entre inspeções através da estimativa de parâmetros da distribuição.

Há também o método de Shankar e Sahani (2003), que determina a quantidade total de manutenção para um determinado número de elementos funcionando no tempo utilizando um método numérico e estatístico complexo, que combina fatores como custo da manutenção e suas possibilidades de investimento.

Além desses, Rao (1996) sugere um método que emprega a máxima disponibilidade dos equipamentos e o custo ótimo de manutenção para definir a periodicidade das intervenções. Assumindo que os períodos até a falha dispõem uma distribuição de Weibull (frequentemente utilizada para descrever ciclos de vida de produtos industriais), é possível estimar os parâmetros e obter o tempo médio até a falha. Enquanto isso outro algoritmo é utilizado, juntamente com parâmetros da distribuição de Weibull, o custo da manutenção preventiva e das paradas para definir o intervalo ótimo entre manutenções e o custo de manutenção por unidade de tempo.

Farrero (2002) também apresenta um método quantitativo, o autor se baseia no conhecimento da taxa de falha do componente, da escala de tempo que o estoque deve suprir e do nível de confiabilidade desejado para otimizar os níveis de estoques de itens consumíveis. Dessa forma, o estoque é obtido, basicamente, por meio da multiplicação da taxa de falha pelo tempo de funcionamento do componente (dentro da escala de tempo determinada).

Além desses, há diversos outros métodos apresentados por diferentes autores que não foram citados neste trabalho. Isso mostra o quanto a análise

quantitativa suporta a metodologia da manutenção centrada na confiabilidade, que depende fortemente da análise apropriada dos dados e probabilidades, podendo-se assim conhecer o comportamento das falhas de cada equipamento ao longo do tempo.

2.4 A TÉCNICA DE ÁRVORES DE FALHAS

Fogliatto & Ribeiro (2009) esclarecem que para garantir a execução adequada dos equipamentos e seus componentes, a técnica de árvores de falhas é amplamente aplicada em confiabilidade com o intuito de auxiliar nas tomadas de decisão e controle por parte dos gestores da manutenção. O principal objetivo dessa técnica é obter as medidas de confiabilidade, identificando os eventos indesejáveis característicos dos sistemas. Nessa metodologia, é identificado um possível evento indesejável do conjunto, denominado evento topo da árvore, e então são representadas todas as eventuais combinações causadas pelo mesmo. Observando-se tais eventos e detalhando-os, é possível determinar os eventos básicos que os representam, e que por sua vez são fenômenos mais facilmente acompanhados.

Hoje em dia, a técnica de árvores de falhas é bastante difundida e inclusive é um parâmetro de entrada para outros métodos com níveis de informações mais detalhadas, pois consegue documentar casualidades no sistema permitindo um tratamento probabilístico da engenharia de confiabilidade e análise de risco. A implementação desse método traz, inclusive, uma série de outros benefícios como o melhor domínio das características técnicas do sistema e mais fácil identificação de sequências de falhas críticas dos componentes (FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009).

É necessário, porém, segundo Firmino & Droguett (2006) um amplo conhecimento do sistema a ser estudado para que se possa identificar as causas e determinar a condicionalidade dos eventos envolvidos no processo. Uma das partes mais importantes do processo de análise da árvore é a descrição lógica da interação entre os eventos e requer um notável esforço refletivo por parte do time

implementador. Esse é um método qualitativo que identifica os eventos causadores da falha através da determinação de probabilidades de cada acontecimento subsequente. Desse modo, pode-se identificar a probabilidade de ocorrência do evento principal indesejável.

Para Firmino & Droguett (2006) há duas importantes preocupações na análise da técnica da árvore de falhas. A primeira é referente a dificuldade em se medir a probabilidade de ocorrência de falhas no sistema e a segunda consiste na complexidade em se obter e quantificar os cortes mínimos, que são as sequencias de eventos que quando ocorrem levam à falha do sistema, sem a necessidade de acontecimentos de qualquer evento adicional.

2.5 OS INDICADORES DE FALHAS

Os indicadores trazem um enorme auxílio na tomada de decisões da gestão da manutenção. A partir da leitura dos dados estatísticos é possível determinar planos de ação e concentrar esforços em determinados setores que de fato carecem de atenção, otimizando assim o custo e o tempo gasto em manutenção. (SOEIRO et al., 2017). Nesse subcapítulo, serão apresentados dois indicadores que serão utilizados no decorrer do trabalho.

2.4.1 O MTBF

O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF - *Mean Time Between Failures*) é a média dos tempos existentes entre o fim de uma falha e o início da próxima (SOEIRO et al., 2017). Esse indicador é calculado através da equação 1:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo de Operação Total} - \text{Tempo de Máquina Parada}}{\text{Número de Falhas}} \quad (1)$$

Assim que a máquina inicia o seu funcionamento, o MTBF já pode começar a ser controlado. Para isso, é somado o tempo total em que a máquina esteve em operação, subtraído desse valor o tempo em que o equipamento permaneceu parado e então esse resultado é dividido pelo número de falhas. Vale ressaltar que esse indicador é aplicável apenas para controlar o comportamento de falhas de máquinas que podem ser reparadas.

2.4.2 O MTTR

O Tempo Médio Para o Reparo (MTTR – *Mean Time To Repair*) é a média aritmética do tempo que o sistema, equipamento ou componente permanece em processo de reparo; e segundo Soeiro et al., 2017 é calculado através da equação 2:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparos}}{\text{Número de Reparos}} \quad (2)$$

Esse indicador calcula a média dos tempos gastos pela equipe de manutenção para reparar a máquina, levando em conta desde o momento em que a falha ocorreu até o instante em que o equipamento está novamente apto para exercer a operação.

2.4.3. O Ciclo PDCA

Criado por Walter A. Shewhart e difundido por Edwards Deming, o PDCA é uma metodologia que tem por objetivo promover melhorias no processo e solução de problemas, indicando o diagnóstico, a análise e a hipótese da causa do

problema. É um método que busca garantir que a organização alcance as metas estabelecidas, responsáveis por assegurar sua sobrevivência e crescimento (QUINQUIOLO, 2002).

O PDCA permite o controle sobre os processos, gerenciando-os continuamente através de uma diretriz de controle determinada, do acompanhamento por meio de padrões e da continuidade dessa diretriz, preservando as necessidades do público alvo (PACHECO, 2009). Para isso, todos os envolvidos na aplicação desse método devem entender o conceito de processo, saber identificar claramente os insumos, perceber quem são os clientes e as saídas do processo e conhecer os relacionamentos internos da organização (TACHIZAWA, SACAICO, 1997).

Figura 2 - Ciclo De Deming Ou Ciclo PDCA



Fonte: Pacheco, 2009.

A Figura 2 ilustra as quatro etapas distintas que compõem o ciclo PDCA, e que serão detalhadas a seguir:

1) Plan (Planejar)

É nessa etapa em que ocorre o estabelecimento de um plano de ações, e está dividida em duas outras etapas:

- a) Aqui, deve-se definir e planejar o que será feito, definindo os objetivos e estratégias necessários. Tais dados devem ser quantificados, em forma de metas.
- b) Nessa fase são definidos quais métodos serão utilizados para se atingir os objetivos propostos anteriormente.

2) Do (Executar)

Nessa etapa, o que foi planejado previamente é executado e assim como a etapa anterior, também é dividida em duas outras:

- a) A primeira, consiste em capacitar a organização e permitir que o aprendido precedentemente possa ser executado.
- b) Em seguida, ocorre de fato a execução do planejado.

3) Check (Verificar)

Nesse passo, ocorre a comparação entre os resultados obtidos com a execução e os planejados com o intuito de verificar se os resultados obtidos estão de acordo com o que foi pré-estabelecido. Portanto, a diferença entre o desejado e o obtido caracteriza o problema a ser resolvido.

4) Action (Agir)

Essa fase consiste em agir de modo que o problema não venha a ocorrer novamente. Podem ser, tanto ações de correção de problemas quanto de melhorias, que foram julgadas necessárias na fase anterior. O objetivo é buscar a melhoria contínua até se atingir o padrão, gerando conhecimento e capacitação, permitindo a periódica atualização do padrão e a sua adaptação para novos problemas.

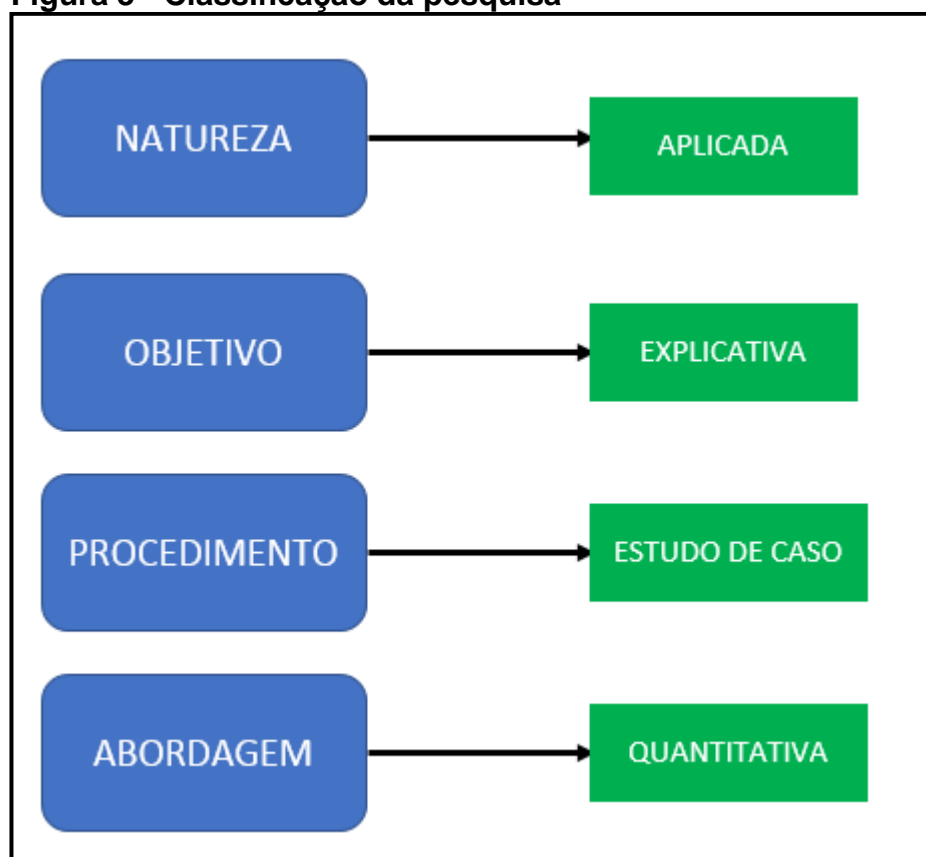
3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia empregada nesse trabalho, bem como a classificação da pesquisa e as etapas de desenvolvimento.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A Figura 3 mostra qual a classificação da pesquisa, de acordo com as abordagens consideradas.

Figura 3 - Classificação da pesquisa



Fonte: Autoria própria

A pesquisa pode ser classificada com aplicada quanto a sua natureza, por apresentar interesse prático, buscando a solução de problemas reais (TURRIONI; MELLO, 2012).

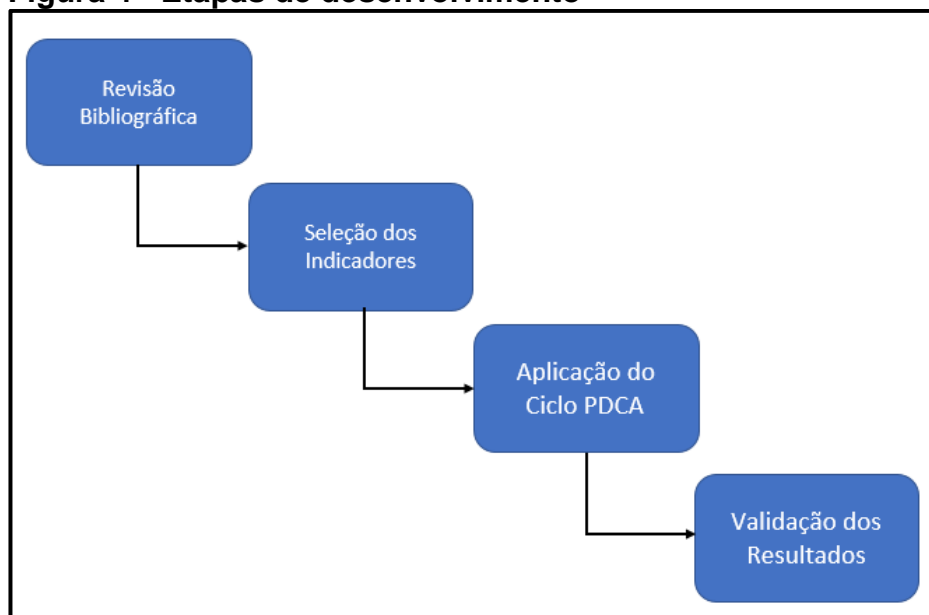
Quanto ao objetivo, caracteriza-se como explicativa, uma vez que pretende identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2008)

Quanto aos procedimentos, pode ser classificada como um estudo de caso, pois consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2008).

É considerada uma pesquisa quantitativa, quanto a forma de abordar o problema, de acordo com Turrioni e Mello (2012), pois os resultados são quantificáveis.

3.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

As etapas de desenvolvimento deste trabalho são encontradas no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Etapas de desenvolvimento

Fonte: Autoria própria

As etapas serão desenvolvidas e explicadas nas próximas seções.

3.2.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada para dar embasamento teórico ao trabalho. Foram selecionados artigos, livros e autores que continham informações relevantes para o trabalho, com o intuito de garantir a qualidade das informações. Alguns dos autores clássicos da literatura foram utilizados, tais como Xenos, Rao e Rausand.

3.2.2 Seleção dos Indicadores de Confiabilidade

Para a realização do trabalho, foi necessária a escolha de indicadores de confiabilidade para a atuação. Estes indicadores foram selecionados juntamente com o gestor da manutenção da empresa, com base em seu baixo desempenho.

Os indicadores escolhidos foram MTBF, MTTR e Taxa de Falha.

3.2.3 Aplicação do Ciclo PDCA

Foi aplicado um ciclo PDCA para melhorar o acompanhamento dos indicadores, seguindo todas as etapas definidas, sendo elas *Plan*, *Do*, *Check* e *Adjust*.

Na primeira etapa, o *Plan*, foram identificadas as possíveis causas do baixo desempenho dos indicadores e estabelecidas as necessidades para melhorar o acompanhamento dos mesmos.

Na etapa *Do*, foram colocados em prática as necessidades levantados e foram desenvolvidas ações para melhorar o acompanhamento dos indicadores, com a utilização do *Microsoft® Excel®* e *SAP®*.

Na etapa *Check*, considerada uma das etapas do capítulo 5, foram validados os primeiros resultados e identificadas possíveis melhorias.

Na etapa *Ajust*, também considerada uma das etapas do capítulo 5, foram implementadas as melhorias observadas na etapa anterior.

3.2.4 Validação dos Resultados

Após a implementação do trabalho durante o período de 6 meses, entre julho e dezembro de 2017, foram obtidos os resultados que estão expostos no capítulo 5.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do trabalho é mostrado detalhadamente neste capítulo, passando por todos os passos do ciclo PDCA, desde a identificação do problema, até a implementação das melhorias propostas.

4.1 PLAN - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E PLANO DE AÇÃO

Para que o trabalho realizado seja efetivo, é necessária a análise aprofundada dos indicadores de manutenção, para atuar de forma concisa e gerar os melhores resultados possíveis para a cervejaria.

Após realizada a análise e *brainstorming* com o gestor de manutenção da cervejaria, constatou-se que 3 indicadores, intimamente ligados a eficiência de linha de produção, apresentavam resultados muito abaixo do esperado, como será mostrado na seção 4.1.1 e 4.1.2. Eram eles MTBF, MTTR e taxa de falha. Estes indicadores juntos, representam a saúde geral e a confiabilidade dos equipamentos, logo, com a melhora dos resultados, espera-se uma melhora direta em eficiência e produtividade.

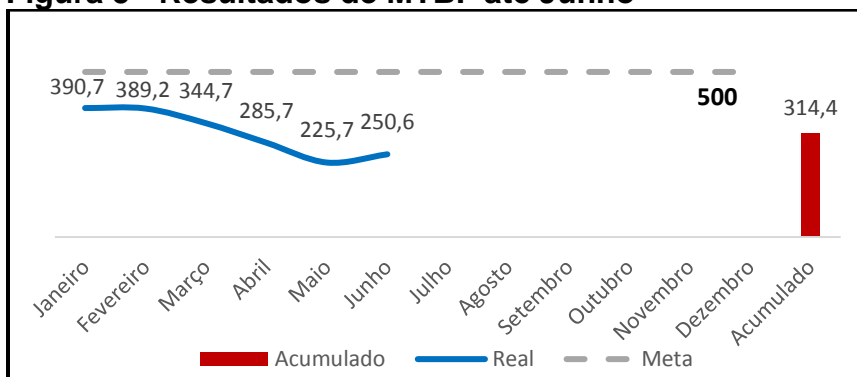
4.1.1 MTBF E MTTR

A primeira lacuna encontrada na área da manutenção dentro da cervejaria foi nos indicadores de MTBF e MTTR, ambos ligados a confiabilidade dos equipamentos.

Para esses indicadores, segundo padrões da cervejaria, eram contabilizadas apenas paradas de produção relacionadas as especialidades da manutenção, ou seja, paradas mecânicas, elétricas e de automação/instrumentação. Paradas operacionais não são contabilizadas.

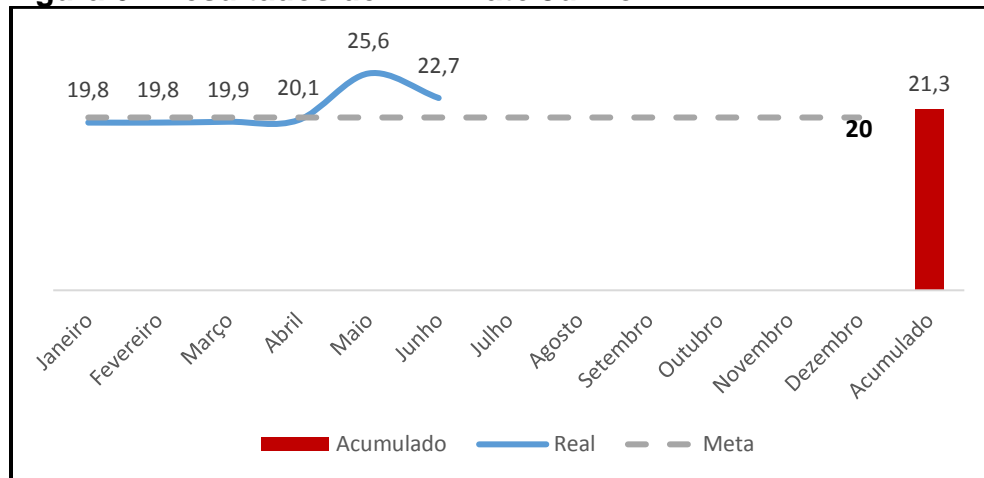
A meta anual de MTBF da cervejaria, para o ano de 2017, era de 500 minutos, ou seja, uma falha poderia ocorrer em um equipamento a cada 500 minutos para que a meta fosse batida, levando em consideração que cada linha de produção da cervejaria opera, em média, por 40320 minutos no mês. Este resultado estava muito aquém do esperado, contabilizando, até o mês de Junho, uma média anual de 314,43 minutos. Além disso, os meses de Maio e Junho apresentaram os piores valores do indicador no ano, sendo de aproximadamente 45% e 50% do valor desejado, como apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Resultados de MTBF até Junho



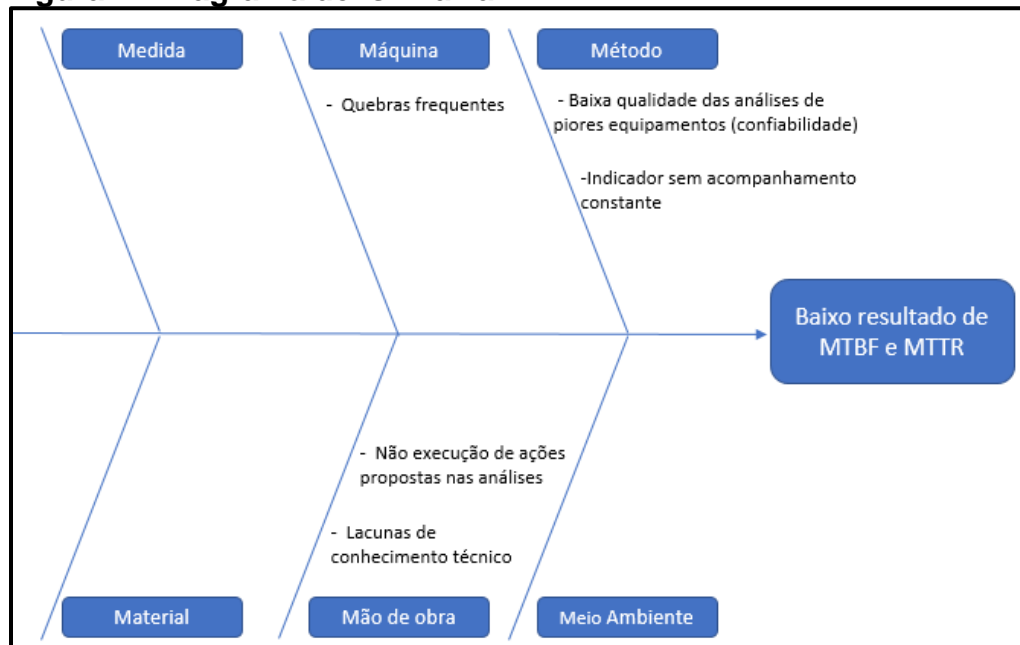
Fonte: Acervo da Empresa (2017)

O MTTR estava em situação similar, onde a meta anual era de 20,4 minutos, ou seja, um equipamento quebrado deveria ser recuperado em até 20,4 minutos para que a meta fosse batida. Até o mês de Junho, apresentava uma média anual de 21,31 minutos, com os piores resultados aparecendo novamente nos meses de Maio e Junho, como mostrando na Figura 6.

Figura 6 - Resultados de MTTR até Junho

Fonte: Acervo da Empresa (2017).

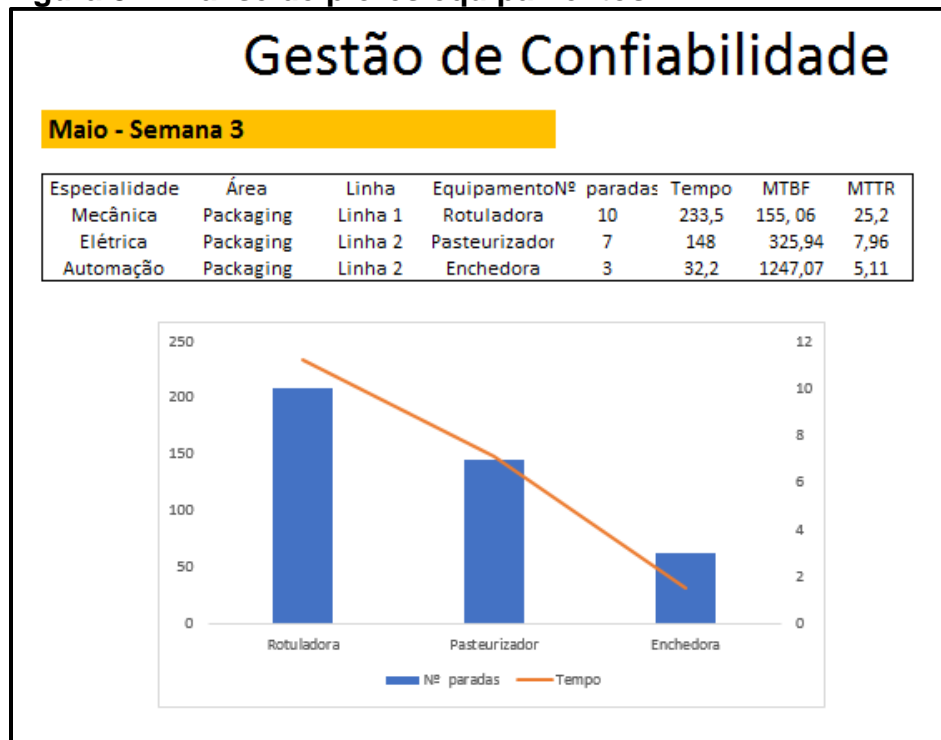
Por se tratar de dois parâmetros que estão intimamente ligados, foi realizado um único Diagrama de Ishikawa, como mostrando na Figura 7, constatou-se as seguintes possíveis causas para o baixo rendimento dos indicadores.

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados fornecidos pelo diagrama, foi feita uma análise nas causas possíveis e identificou-se uma lacuna grande na qualidade e no detalhamento das análises de confiabilidade, ou seja, nas estratificações dos piores equipamentos da cervejaria. Essas análises eram realizadas semanalmente e tinham como objetivo mostrar os equipamentos que mais apresentaram falhas durante a semana, separados por problemas mecânicos, elétricos e de automação/instrumentação. Esta análise utilizava apenas o número e o tempo de parada dos equipamentos, não fazendo relação com os relatórios de parada da área de produção e nem com as ordens de manutenção emergenciais atendidas pelos técnicos de manutenção, tendo, portanto, pouca riqueza de dados detalhes que ajudassem a solucionar as anomalias, como pode ser visto na Figura 8. Além disso, as ações propostas a partir das análises não eram executadas, pois muitas vezes elas não eram computadas em lugar algum, ficando apenas na memória das pessoas envolvidas, ou seja, não havia histórico destas ações.

Figura 8 - Análise de piores equipamentos



Fonte: Acervo da Empresa (2017)

Observa-se então a necessidade de atuar na melhoria das análises semanais, com o intuito de alavancar os indicadores de confiabilidade e, futuramente, alcançar as metas estipuladas. Acredita-se que a partir de análises bem estruturadas, pode-se também acabar com as outras causas mostradas no diagrama, uma vez que serão gerados históricos das ações propostas, e estas ações podem vir a solucionar possíveis lacunas de conhecimento técnico, caso isto seja constatado.

Outro ponto foi a falta de monitoramento frequente dos indicadores, logo, viu-se a necessidade de criar um acompanhamento diário de MTBF e MTTR, a ser visualizado na reunião diária de manutenção, para mostrar a evolução dos indicadores no dia-a-dia.

4.1.2 TAXA DE FALHA

Como já explanado anteriormente, a manutenção preditiva consiste em realizar medições nos equipamentos para prever quando uma quebra pode ocorrer. Na cervejaria, estas medições eram realizadas por uma empresa externa, a qual tinha um técnico executando 4 tipos de análises: análise de vibração, análise de óleo, termografia elétrica e emissão acústica para encontrar vazamentos. Estas análises ocorriam de acordo com o cronograma, mostrado na Figura 9, onde cada espaço pintado representa o mês que haverá medições.

Figura 9 - Cronograma de Análises Preditivas

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Análise de vibração												
Análise de Óleo												
Termografia Elétrica												
Emissão Acústica												

Fonte: Acervo da Empresa.

Após as medições serem realizadas, os relatórios eram enviados para um centro de dados e disponibilizados *online*, em um *site* da empresa, para funcionários da cervejaria. Estes relatórios são chamados de RDPs.

Quando havia uma anomalia em algum ponto, um relatório de diagnóstico era gerado e uma nota era aberta automaticamente no *SAP®*, com instruções e recomendações do que fazer para eliminar o problema encontrado naquele ponto em específico.

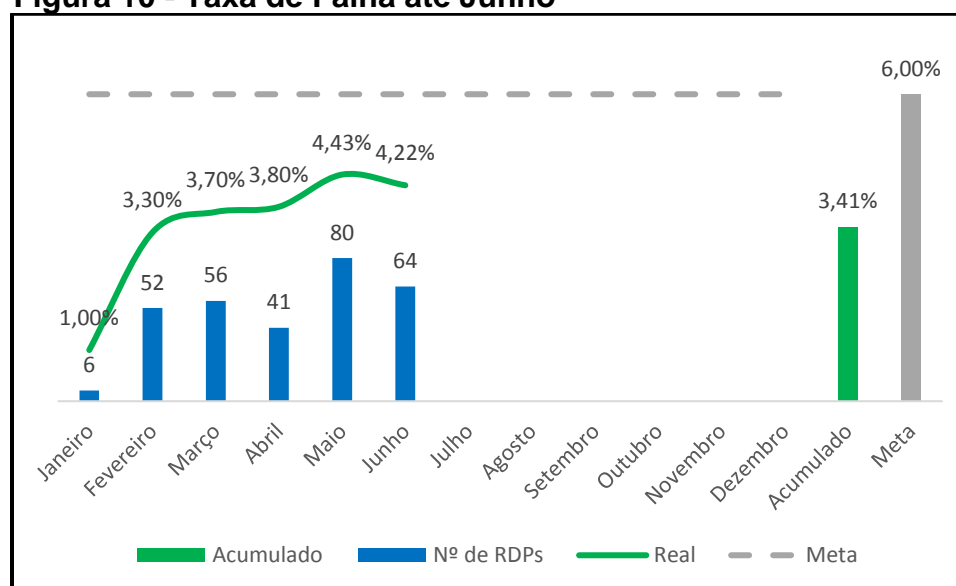
A manutenção preditiva dentro da cervejaria está relacionada com um indicador chamado Taxa de Falha, o qual consiste basicamente, na porcentagem de anomalias encontradas pelas análises realizadas pela empresa externa. Esse indicador é calculado pela equação 3.

$$Taxa\ de\ Falha = \frac{Número\ de\ anomalias\ encontradas}{Número\ de\ pontos\ analisados} \times (100) \quad (3)$$

A meta para a Taxa de Falha era de 6% ao ano, ou seja, a cada 100 pontos analisados, 6 apresentariam algum tipo de anomalia.

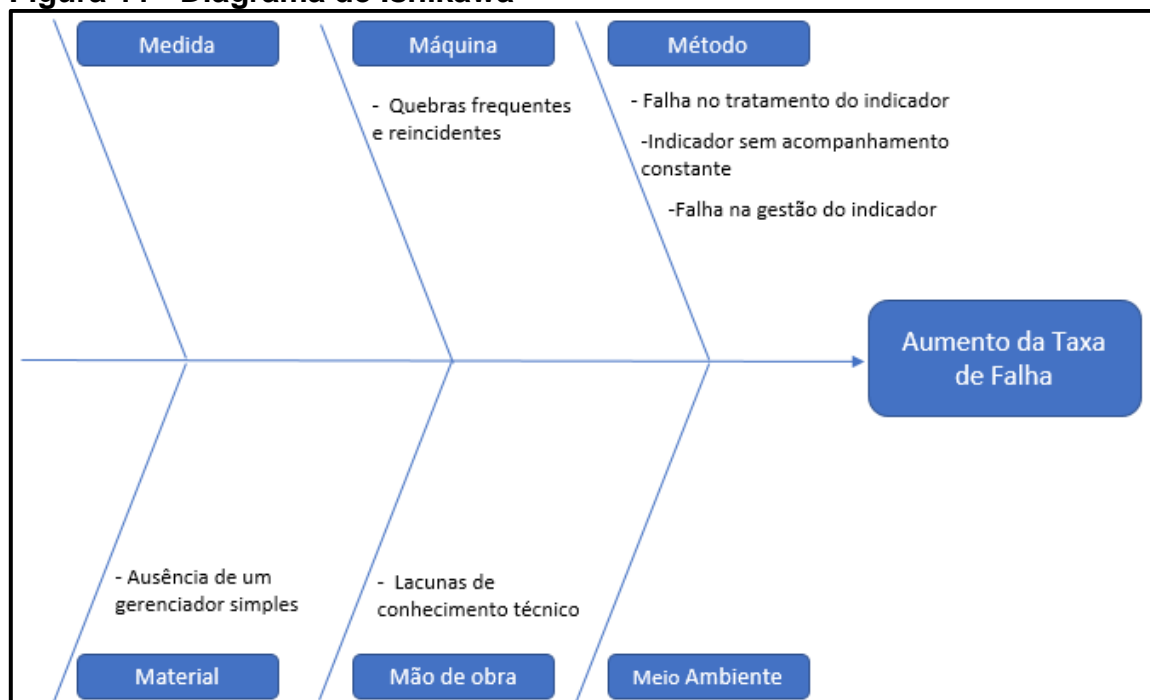
Constatou-se que o indicador estava dentro da meta, como mostrado pela Figura 10, porém o mês de maio e junho apresentavam, novamente, resultados preocupantes e que precisavam ser controlados.

Figura 10 - Taxa de Falha até Junho



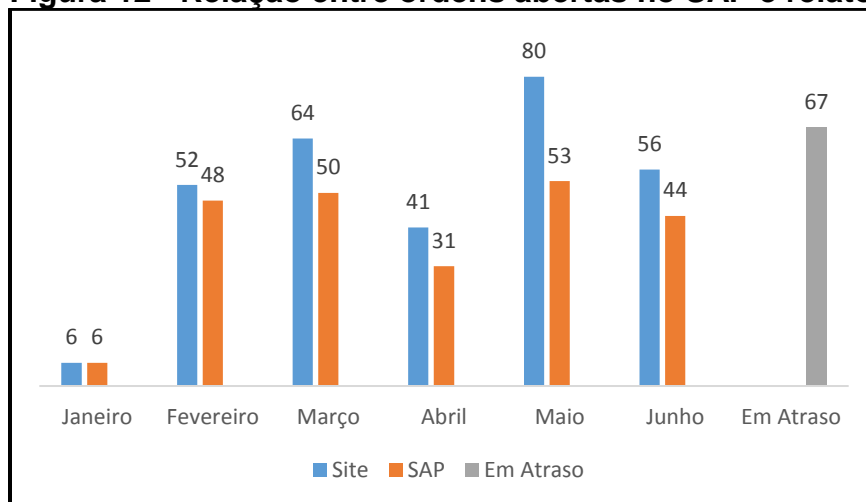
Fonte: Acervo da empresa (2017)

Através do Diagrama de Ishikawa mostrado na Figura 11, chegou-se as possíveis causas da piora dos resultados de Taxa de Falha.

Figura 11 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: Autoria Própria

De posse destas informações, foi realizada uma análise aprofundada das possíveis causas e, ao relacionar as ordens abertas no *SAP*® com o número de relatórios presentes no *site* da empresa que realizava as análises, foi possível identificar que existia divergência entre os dados, o que indica falha na gestão do indicador, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Relação entre ordens abertas no SAP e relatórios

Fonte: Autoria Própria (2017)

O número de ordens abertas deveria ser igual ao número de relatórios, o que indica que havia um problema na interface entre o *site* da empresa e o sistema SAP®, ou seja, diversas ordens de manutenção não eram geradas automaticamente, como deveria acontecer.

Estas ordens não abertas eram consideradas ordens em atraso para o sistema da empresa externa, além disso, como estas anomalias não eram tratadas, na análise seguinte elas eram reencontradas e geravam mais um relatório no sistema, o que fazia com que o indicador de Taxa de Falha perdesse performance.

Como todos estes dados estavam espalhados entre o *site* da empresa externa e o sistema SAP®, de forma confusa e pouco prática, eles não eram gerenciados de forma eficaz pela cervejaria. Constatou-se então a necessidade de melhorar o gerenciamento destes dados, de forma simples e unificada, onde fosse mostrado o número de ordens abertas no sistema, os relatórios que não abriram ordens automaticamente, e quais anomalias eram reincidentes.

4.2 DO – EXECUÇÃO

Identificados os problemas e estabelecido qual será a frente de ação do projeto, a próxima etapa é a execução do que foi planejado, seguindo com as etapas do ciclo PDCA.

Os indicadores foram divididos em 2 grupos devido a MTBF e MTTR apresentarem uma relação muito próxima e estarem intimamente ligados a quebras de equipamentos na linha de produção que já ocorreram. Por outro lado, Taxa de Falha está ligado a quebras que podem ocorrer, pois tem relação com a manutenção preditiva. Então atuou-se em MTBF e MTTR juntos, com o mesmo plano de ação, e para Taxa de Falha foi tratada separadamente.

4.2.1. MTBF E MTTR

Como definido na primeira etapa do ciclo, para MTBF e MTTR foi identificada a necessidade da criação de um monitoramento diário dos indicadores e da melhoria das análises semanais de piores equipamentos.

Primeiramente, atuou-se no monitoramento diário, criando uma planilha no *Microsoft® Excel®* onde o relatório oficial de paradas de produção da cervejaria é plotado e a planilha realiza os cálculos dos resultados dos indicadores automaticamente, através de fórmulas. Um exemplo disto pode ser visto na Tabela 1, onde temos o cálculo de MTBF e MTTR geral da cervejaria e também separado por linhas de produção. Importante ressaltar que as paradas aqui são apenas paradas de confiabilidade, ou seja, paradas mecânicas, elétricas ou de automação/instrumentação.

Na tabela 1, considera-se a coluna *HEL* como sendo a coluna de *horas de eficiência de linha*, ou seja, as horas em que a linha estava produzindo, e o a coluna *Tempo* como sendo o tempo total, em minutos, das paradas contabilizadas.

Tabela 1 - Cálculo de MTBF e MTTR

MTBF e MTTR					
	Nº de Paradas	HEL	Tempo	MTBF	MTTR
Linha 1	54	231	1284	256,67	23,78
Linha 2	25	125	427	300,00	17,08
Linha 3	43	240	873	334,88	20,30
Cervejaria	122	596	2584	297,18	20,39

Fonte: Autoria própria (2017).

Através deste cálculo, é possível visualizar qual o número e o tempo de paradas de produção dividido por linha e quanto isto impacta nos indicadores.

A partir destes dados, duas novas tabelas são criadas, onde os dados diários são plotados. A Tabela 2 é a utilizada para contabilizar os valores diários de MTBF.

Tabela 2 - Dados diários de MTBF

Data	Linha 1			Linha 2			Linha 3			Cervejaria		
	Paradas	HEL	MTBF	Paradas	HEL	MTBF	Paradas	HEL	MTBF	Paradas	HEL	MTBF
1/7	4	18	270,0	2	22	660,0	1	20	1200,0	7	60	710,0
2/7	7	36	308,6	2	22	660,0	6	43	430,0	15	101	466,2
3/7	15	60	240,0	2	22	660,0	10	70	420,0	27	152	440,0
4/7	21	78	222,9	5	47	564,0	12	88	880,0	38	213	555,6
5/7	28	95	203,6	8	60	450,0	13	110	660,0	49	265	437,9
6/7	28	95	203,6	11	73	398,2	13	128	640,0	52	296	413,9
7/7	30	111	222,0	12	88	440,0	14	150	692,3	56	349	451,4
8/7	35	130	222,9	12	88	440,0	15	167	770,8	62	385	477,9
9/7	40	143	214,5	15	103	412,0	17	189	810,0	72	435	478,8
10/7	44	157	214,1	15	103	412,0	23	200	800,0	82	460	475,4
11/7	47	185	236,2	19	111	350,5	27	221	491,1	93	517	359,3
12/7	49	185	226,5	20	121	363,0	31	234	452,9	100	540	347,5
13/7	49	210	257,1	23	132	344,3	35	250	428,6	107	592	343,4
14/7	51	231	271,8	25	147	352,8	40	263	394,5	116	641	339,7
15/7	54	252	280,0	25	147	352,8	43	284	396,3	122	683	343,0

Fonte: Autoria própria (2017)

De maneira análoga, uma tabela muito similar foi utilizada para a contabilização dos dados de MTTR dia-a-dia, esta é a Tabela 3, que pode ser observada a seguir.

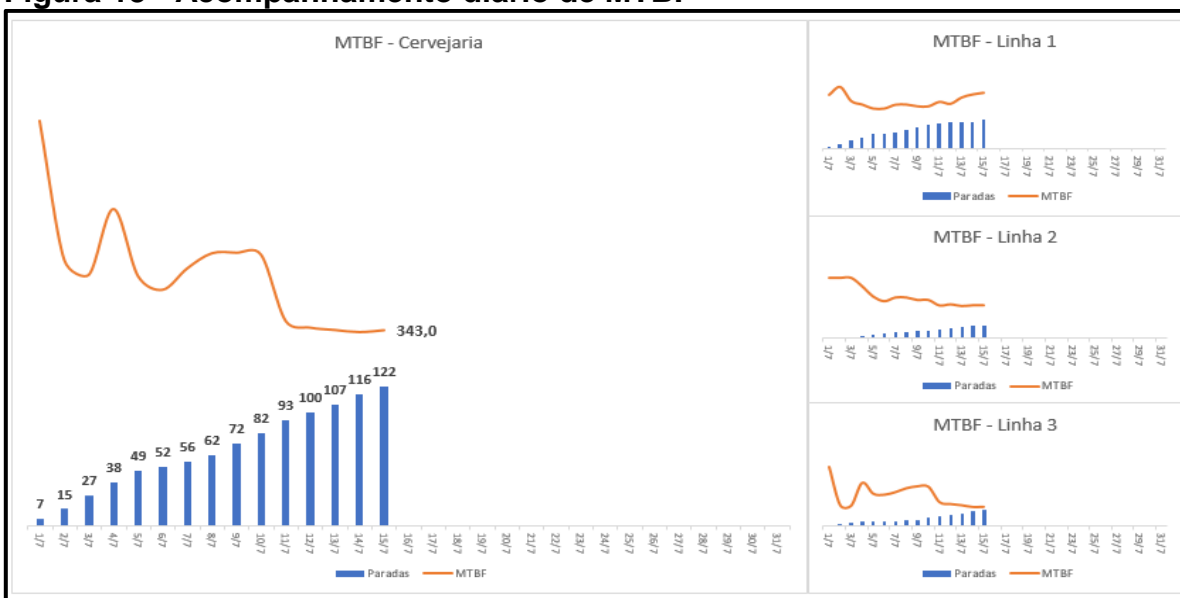
Tabela 3 - Dados diários de MTTR

Dia	Linha 1			Linha 2			Linha 3			Cervejaria		
	Paradas	Tempo	MTTR	Paradas	Tempo	MTTR	Paradas	Tempo	MTTR	Paradas	Tempo	MTTR
1/7	4	84	21,0	2	30	15,0	1	22	22,0	7	136	19,3
2/7	7	136,5	19,5	2	30	15,0	6	129	21,5	15	295,5	18,7
3/7	15	375	25,0	2	30	15,0	10	217	21,7	27	622	20,6
4/7	21	479,4	22,8	5	82,5	16,5	12	256,8	21,4	38	818,7	20,2
5/7	28	638,4	22,8	8	136	17,0	13	274,3	21,1	49	1048,7	20,3
6/7	28	638,4	22,8	11	185,9	16,9	13	274,3	21,1	52	1098,6	20,3
7/7	30	690	23,0	12	201,9	16,8	14	292,6	20,9	56	1184,5	20,2
8/7	35	812	23,2	12	201,9	16,8	15	310,5	20,7	62	1324,4	20,2
9/7	40	916	22,9	15	256,5	17,1	17	353,6	20,8	72	1526,1	20,3
10/7	44	1016,4	23,1	15	256,5	17,1	23	473,8	20,6	82	1746,7	20,3
11/7	47	1095,1	23,3	19	326,8	17,2	27	550,8	20,4	93	1972,7	20,3
12/7	49	1141,7	23,3	20	350	17,5	31	629,3	20,3	100	2121	20,4
13/7	49	1141,7	23,3	23	397,9	17,3	35	717,5	20,5	107	2257,1	20,4
14/7	51	1198,7	23,5	25	427	17,1	40	820	20,5	116	2445,7	20,4
15/7	54	1284	23,8	25	427	17,1	43	873	20,3	122	2584	20,4

Fonte: Autoria própria (2017)

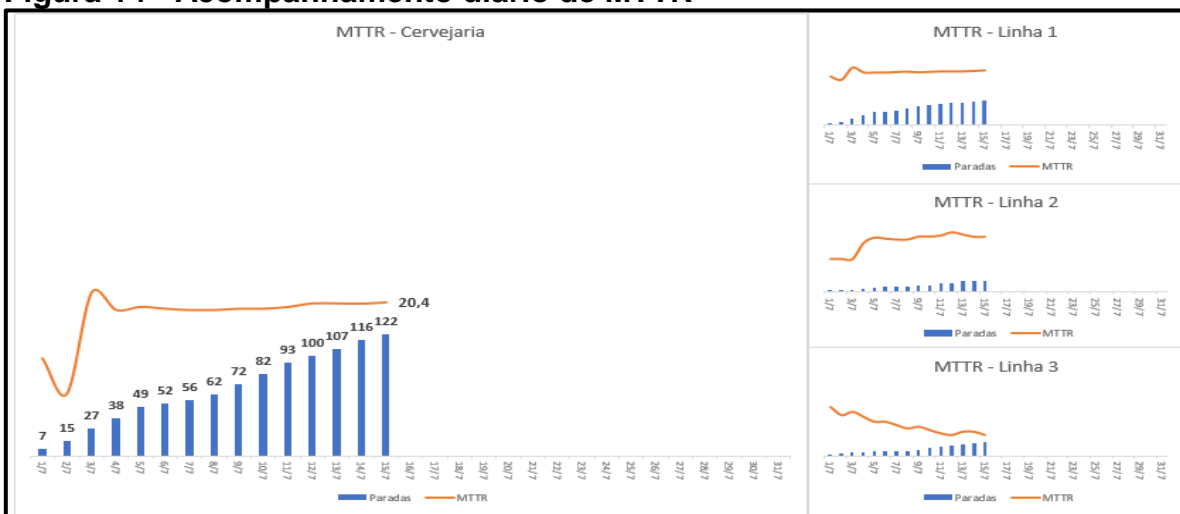
Estas tabelas eram fonte de alimentação para os gráficos de MTBF e MTTR que começaram a ser acompanhados diariamente na reunião de manutenção. Estes gráficos estão compilados na Figura 13 e na Figura 14.

Figura 13 - Acompanhamento diário de MTBF



Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 14 - Acompanhamento diário de MTTR



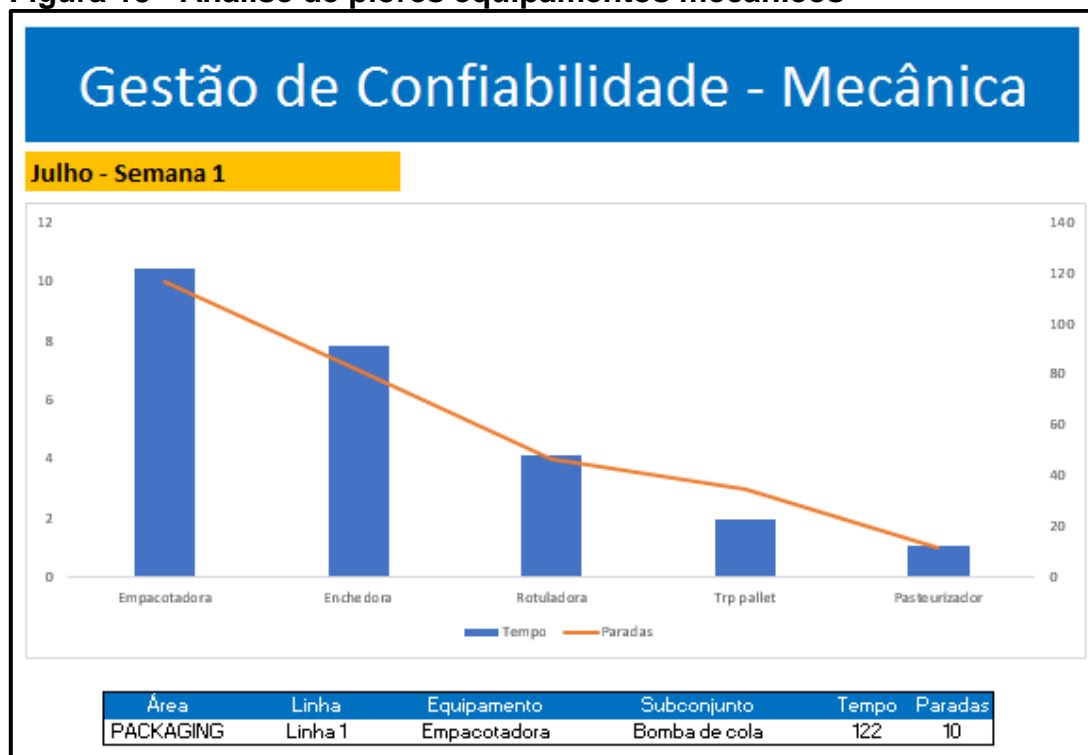
Fonte: Autoria própria (2017)

Com este acompanhamento é possível identificar a evolução do indicador por dia, e qual a linha de produção que apresenta o maior número/tempo de paradas, ou seja, qual a linha mais crítica para a manutenção e para os resultados de MTTR e MTBF.

Tendo criado o monitoramento diário, o próximo passo era a melhoria das análises de confiabilidade semanais. Utilizando o *Microsoft® Excel®* novamente, foi criada uma nova planilha onde os relatórios oficiais de paradas de produção da cervejaria eram plotados, e através do recurso *tabela dinâmica* do *Microsoft® Excel®*, elas eram separadas automaticamente entre paradas mecânicas, elétricas e de automação. O intuito desta separação era que as análises fossem feitas pelos supervisores responsáveis por cada área da manutenção, podendo focar em sua especialidade e ser mais assertivo na solução dos problemas. Os dados plotados na planilha eram referentes a semana anterior a da análise, como as análises semanais ocorriam sempre na segunda feira, os relatórios semana anterior.

Após a separação, a planilha gerava automaticamente um gráfico dos piores equipamentos, por número de paradas e por tempo, para cada especialidade. Era também feita a relação entre o pior equipamento e a linha de produção a qual ele pertencia, além do subconjunto do equipamento que apresentou a falha, como exemplificado na Figura 15.

Figura 15 - Análise de piores equipamentos mecânicos



Fonte: Autoria própria (2017).

Acompanhando essa estratificação dos piores equipamentos, foi criado um questionário a ser respondido pelos supervisores de cada especialidade para ajudar a criar ações foco que auxiliem na eliminação das anomalias. A Figura 16 exemplifica este questionário.

Figura 16 - Questionário de piores equipamentos

Foi realizado a análise de 5 por quês da falha? Se não, incluir ação de realizar a análise.	
Tem disponível todas as ferramentas necessárias para executar manutenção preventiva e/ou corretiva? Se não, incluir ação para compra das ferramentas.	
É necessária a criação de procedimentos corretivos? Se sim, incluir ação para criação do procedimento	
Existe plano de manutenção? Qual foi o último técnico a executar o plano, qual o diagnóstico do técnico?	
É necessário incluir o componente que apresentou falha em estoque? Se sim, incluir ação	
Os técnicos estão treinados para solucionar a anomalia? Se não, incluir ação de treinamento	
Existem ordens de manutenção corretiva abertas no SAP para este equipamento? Quantas? Por que não foram executados?	
Ações Foco	

Fonte: Autoria própria.

A utilização do questionário visa direcionar o estudo de maneira mais assertiva e aprofundada, para gerar ações que serão colocadas no final do questionário. As ações devem ter dono e prazo de execução, de forma a garantir que serão realizadas.

As próximas fases do ciclo PDCA, *Check* e *Adjust*, onde é a realizado o acompanhamento das ações e os ajustes necessários para que o projeto seja mais eficaz, serão exploradas na seção 5, de resultados e discussões, pois estas fases já são posteriores à aplicação do que foi proposto nas etapas de planejamento e execução.

4.2.2 TAXA DE FALHA

Para controlar a Taxa de Falha, foi proposto um gerenciador do indicador que unificasse as ordens abertas no sistema *SAP®*, os relatórios que constavam no site da empresa terceira que realiza as análises e que não estavam com ordens abertas, ou seja, as ordens em atraso, e também as anomalias que eram reincidentes, sendo consideradas aquelas anomalias que apresentaram a mesma falha de forma recorrente.

Utilizando o *Microsoft® Excel®*, criou-se uma planilha que compila todos os dados acima descritos, e com o recurso de *macro*, essa planilha faz relação entre os relatórios de ordens abertas no sistema *SAP®* e um relatório gerado a partir do site da empresa terceira. Através do uso de fórmulas, é gerada uma tabela que separa as ordens entre setores da cervejaria e também entre os diferentes tipos de análise, como exemplificado na Figura 17.

Figura 17 - Gerenciamento de ordens

The diagram illustrates the management of RDPs (Requisições de Peças). It starts with a table titled 'Situação de RDPs' showing the distribution of RDPs across various areas and sectors. A blue arrow points to a second table that breaks down these RDPs into different types of analyses, categorized as Programadas (Scheduled), Pendentes (Pending), and Reincidentes (Recurring).

Situação de RDPs		
Área	Setor	RDPs
Processo	Brassagem	2
	Adegas	1
	Filtração	0
Packaging	Linha 1	6
	Linha 2	5
	Linha 3	5
MA	Meio Ambiente	1
Utilidades	Caldeira	2
	Frio	1
TOTAL		23

Análise	Programadas	Pendentes	Reincidentes
Análise de Vibração	6	3	3
Análise de Óleo	4	0	1
Termografia Elétrica	3	0	0
Emissão Acústica	3	4	1
TOTAL	16	7	5

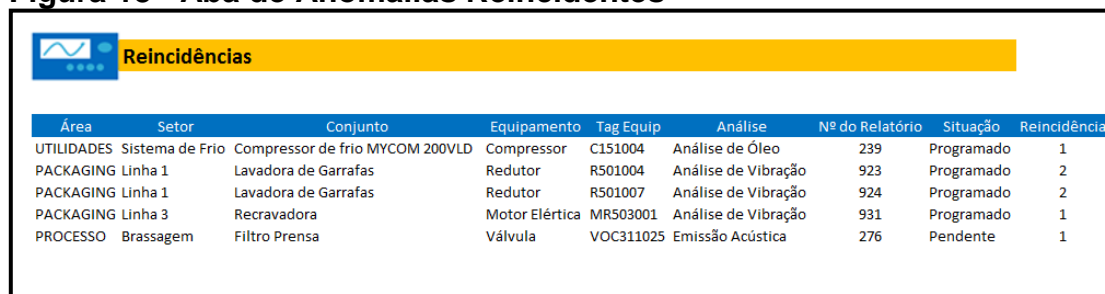
Fonte: Autoria própria (2017)

Pode-se observar que as RDPs também são separadas entre *Programados* e *Pendentes*. As classificadas como *Programadas* estão em situação regular e tem ordem aberta no sistema *SAP®*, já as classificadas como *Pendentes* não apresentam ordem aberta. Dessa forma, é possível saber exatamente quantas

RDPs não abrem ordem automaticamente e então abrir estas ordens manualmente, de forma a corrigir o erro de interface entre os sistemas do SAP® e do *site* da empresa terceira.

Outro recurso utilizado na planilha através da *macro* foi a criação de uma aba de anomalias recorrentes. O relatório gerado a partir do *site* da empresa contém estas informações de forma pouco prática, sendo assim, o objetivo foi organizar os dados de forma concisa, simples e eficaz. Um exemplo de como é feita esta organização, pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Aba de Anomalias Recorrentes



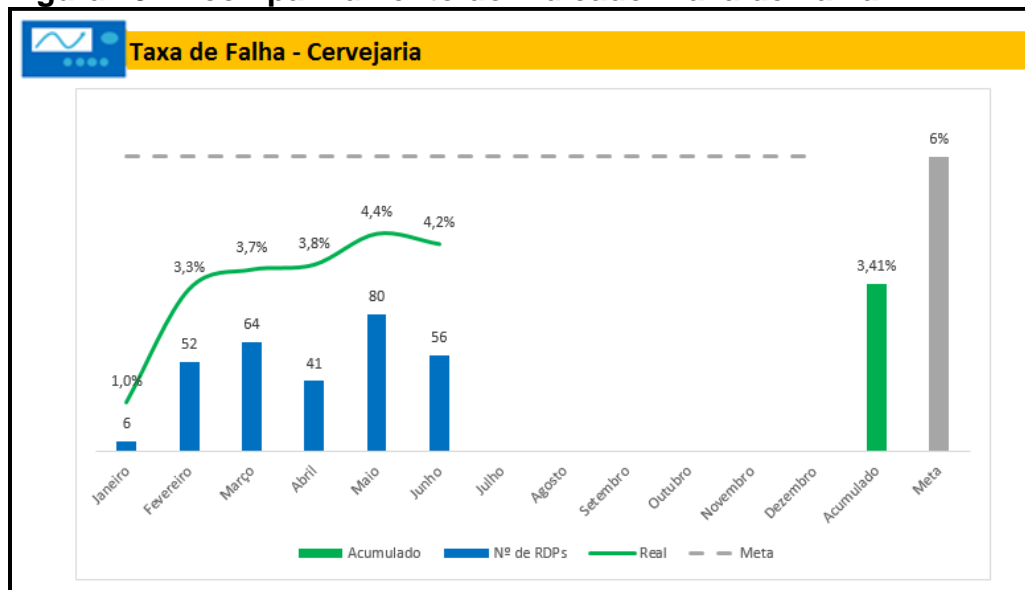
Área	Setor	Conjunto	Equipamento	Tag Equip	Análise	Nº do Relatório	Situação	Reincidência
UTILIDADES	Sistema de Frio	Compressor de frio MYCOM 200VLD	Compressor	C151004	Análise de Óleo	239	Programado	1
PACKAGING	Linha 1	Lavadora de Garrafas	Redutor	R501004	Análise de Vibração	923	Programado	2
PACKAGING	Linha 1	Lavadora de Garrafas	Redutor	R501007	Análise de Vibração	924	Programado	2
PACKAGING	Linha 3	Recravadora	Motor Elétrica	MR503001	Análise de Vibração	931	Programado	1
PROCESSO	Brassagem	Filtro Prensa	Válvula	VOC311025	Emissão Acústica	276	Pendente	1

Fonte: Autoria própria (2017)

Importante notar que além da localização exata do equipamento que apresenta a falha, de qual tipo de análise ela surgiu e também qual o número do relatório para consulta no *site* da empresa que realiza as análises, há também a situação da RDP, *Programada* ou *Pendente*, e o número da reincidência, onde na Figura 17, 1 significa que é a primeira reincidência e 2 significa que já é a segunda reincidência seguida daquela anomalia, e assim sucessivamente.

Além do gerenciamento das ordens e das reincidências, a planilha criada também apresentava um gráfico com as informações gerais do indicador de taxa de falha, como o valor do indicador no mês e acumulado, qual sua meta e quantas RDPs foram geradas mês-a-mês, como mostrando na Figura 19.

Figura 19 - Acompanhamento do indicador Taxa de Falha



Fonte: Autoria própria (2017)

Novamente, as próximas fases do ciclo PDCA, *Check* e *Adjust*, serão exploradas na seção 5, de resultados e discussões deste trabalho.

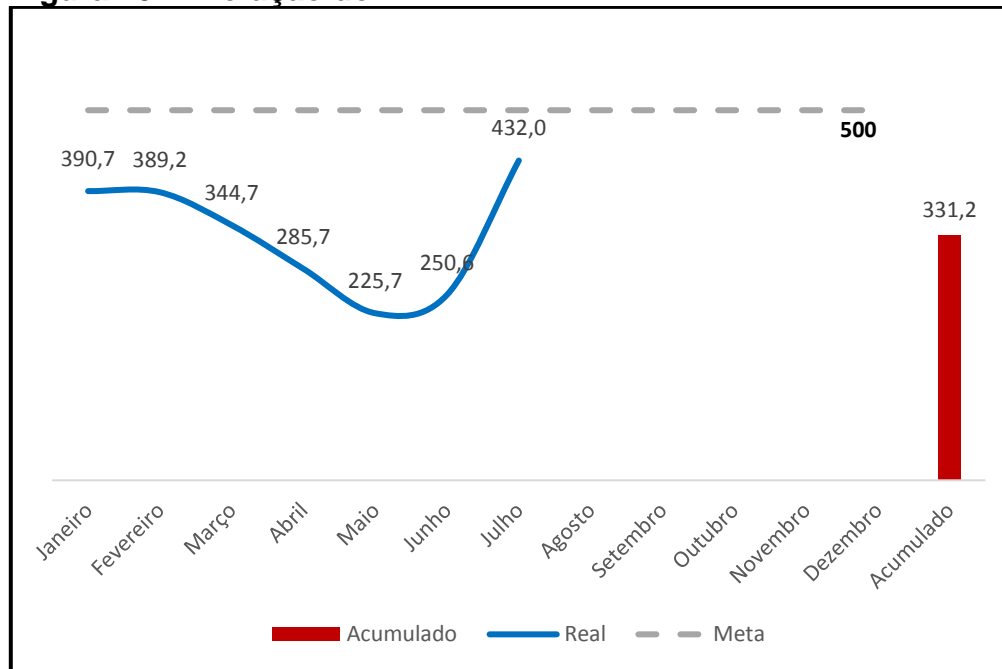
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão observados os resultados e os ajustes feitos no projeto para que este fosse mais efetivo, respeitando as próximas fases do ciclo PDCA, *Check* e *Adjust*.

Primeiramente serão observados os primeiros meses da aplicação do que foi proposto nas etapas anteriores e então realizados ajustes conforme são detectadas oportunidades de melhoria.

5.1 MTBF e MTTR

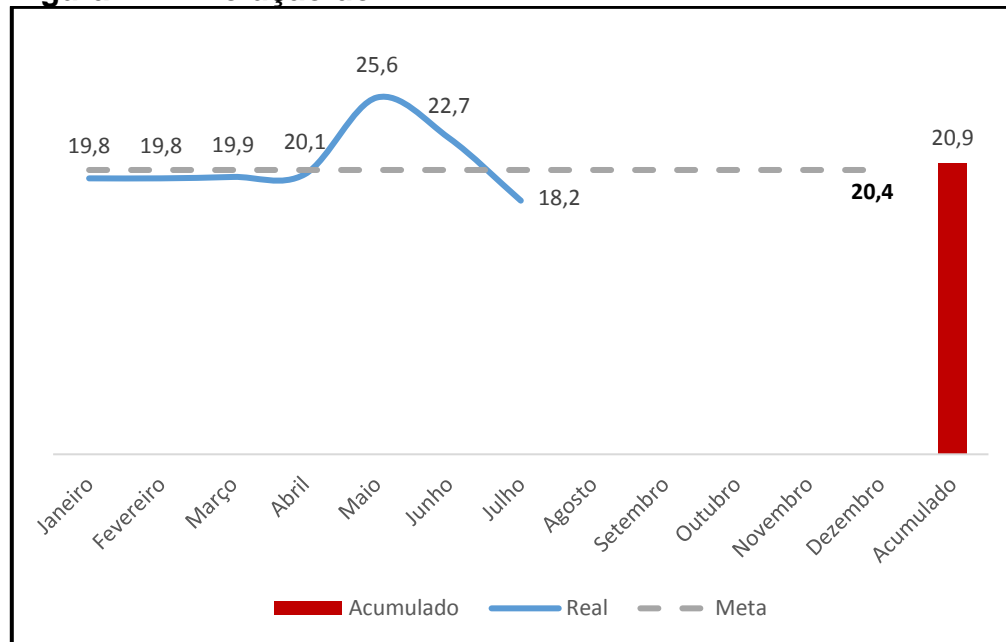
Após a aplicação do projeto na primeira semana de julho e a realização das análises de confiabilidade pelos supervisores de manutenção em todas as semanas do mês, foi possível observar uma melhora significativa nos indicadores. A Figura 20 mostra a evolução do MTBF no período.

Figura 20 - Evolução do MTBF

Fonte: Autoria própria (2017).

Percebe-se uma evolução muito significativa do MTBF, saindo de um valor muito baixo, 250,6 minutos em junho, para um valor consideravelmente maior em julho, 432 minutos, ainda fora da meta. A média acumulada também aumentou de 314,4 para 331,2 minutos de um mês para o outro.

De forma análoga, o MTTR também apresentou melhoria no período, como observado na Figura 21.

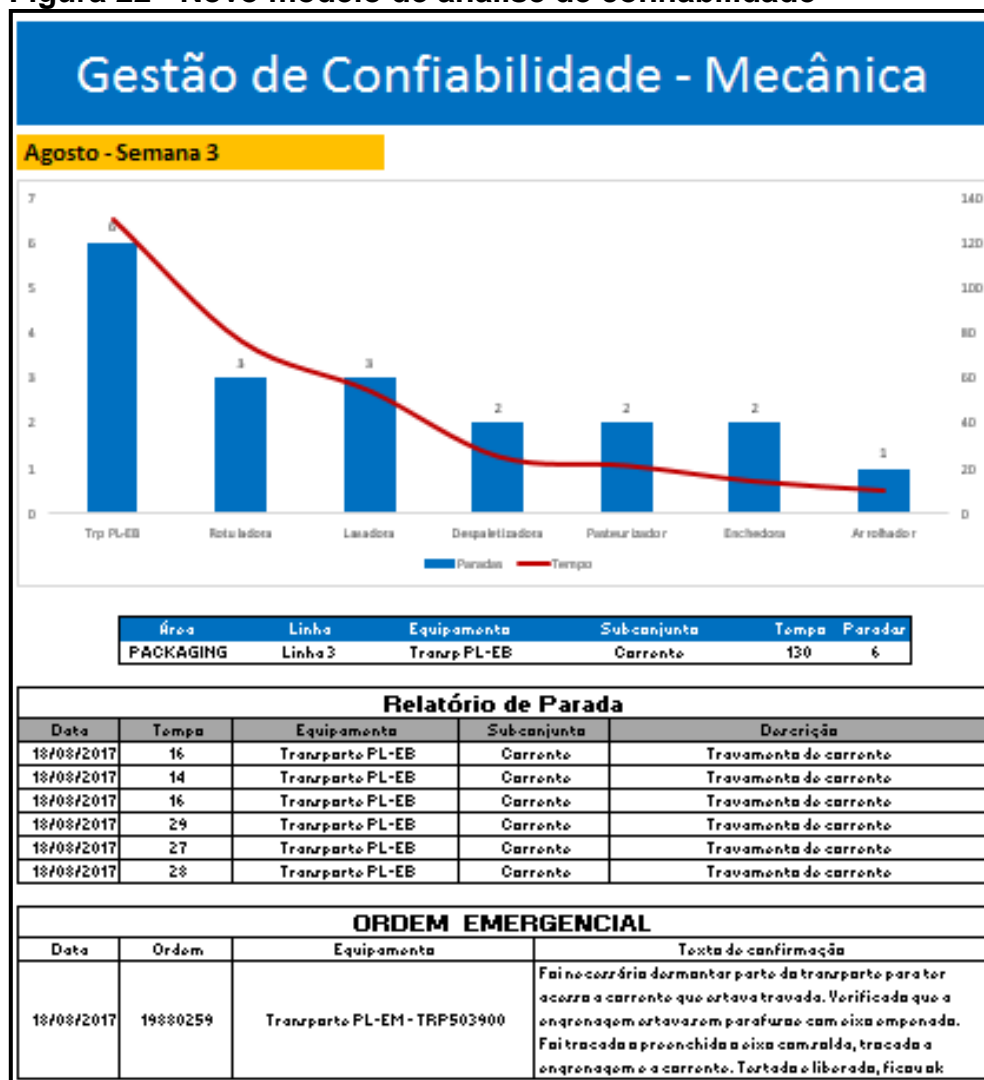
Figura 21 - Evolução do MTTR

Fonte: Autoria Própria (2017).

O indicador diminuiu sua média acumulada de 21,3 minutos para 20,9 e teve uma evolução de 4,5 minutos de um mês para outro, saindo de 22,7 minutos em junho para 18,2 minutos em julho, alcançando a meta do mês.

Com a ajuda dos supervisores que realizavam as análises, foi identificada a oportunidade de melhorá-las, adicionando a elas a descrição das paradas dos relatórios de produção e a confirmação do técnico de manutenção que solucionou o problema corretivamente na ordem de manutenção emergencial. Um exemplo de como foi esse incremento pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 - Novo modelo de análise de confiabilidade



Fonte: Autoria própria (2017)

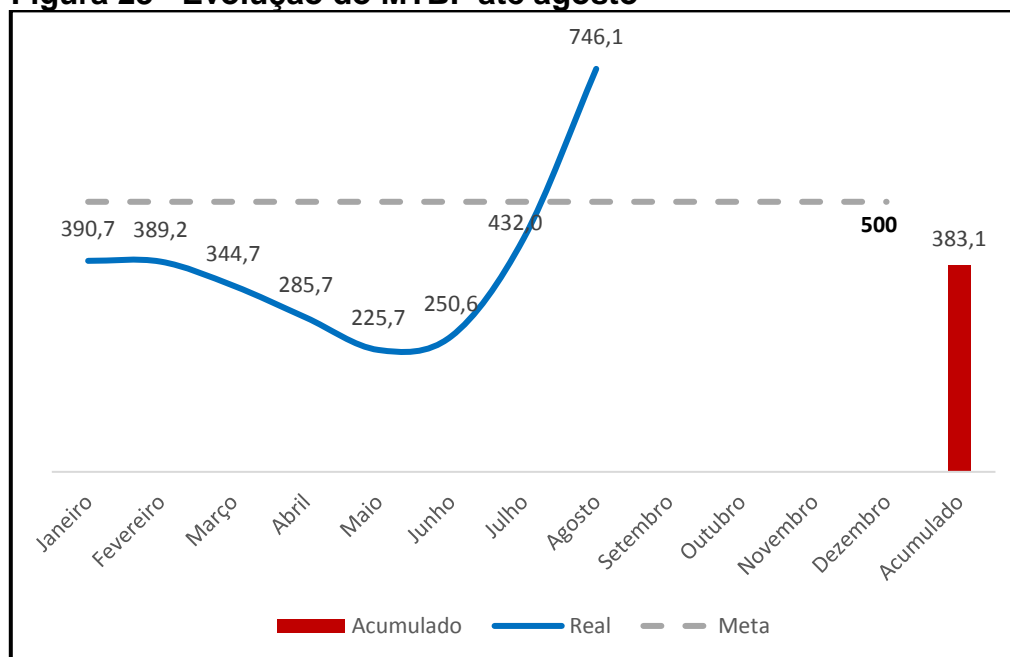
O objetivo desta melhoria era ajudar os supervisores a identificarem qual a falha mais facilmente e adicionar a forma de solucionar a anomalia corretivamente na árvore de falhas do equipamento, pois todas estas informações estão conditas nas confirmações dos técnicos de manutenção. O questionário da Figura 16 continuou a ser usado nas análises.

A junção do questionário com o a adição da anomalia na árvore de falhas em todas as análises pretende garantir que tudo o que pode ser feito para evitar que aquele problema aconteça novamente foi realizado, e que se por ventura o

problema voltar a acontecer, ele será solucionado de forma mais rápida, tendo impacto direto em MTBF e MTTR, pois diminui-se o número de falhas e o tempo para solucionar cada falha.

Este novo modelo passou a ser aplicado na primeira semana de agosto, e após o termino do mês, com as análises sendo feitas semanalmente, houve uma melhoria extremamente positiva nos indicadores, principalmente no MTBF, como mostrado na Figura 23.

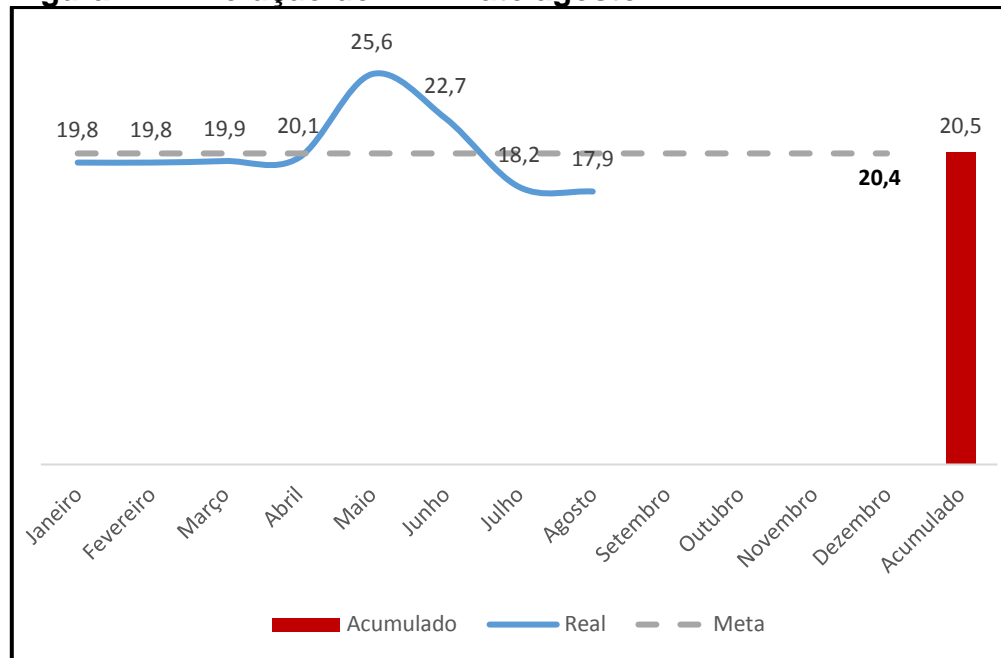
Figura 23 - Evolução do MTBF até agosto



Fonte: Autoria Própria (2017).

Agosto foi, até então, o único mês em que o MTBF alcançou a meta mensal, graças a assertividade nas análises e nas ações propostas a partir delas. Mesmo com um resultado mensal de 740,1 minutos, a média anual ainda continuava longe da meta estipulada em 500 minutos.

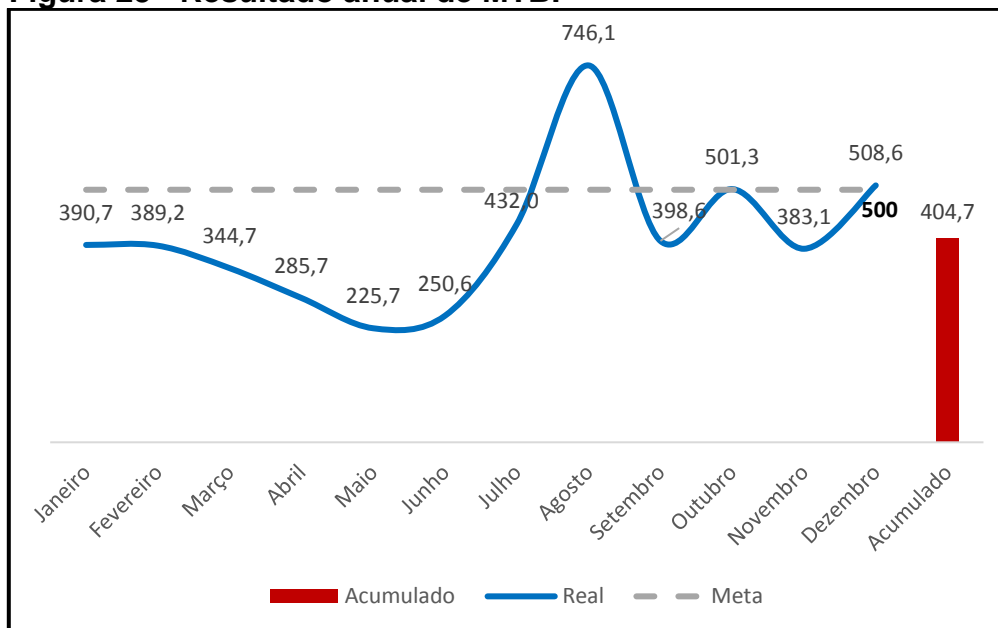
A mesma melhoria foi observada no MTTR, como mostra a Figura 24, e a tendo seu valor mensal diminuído com relação ao mês anterior e quase alcançando a meta anual para o indicador, que era de 20,4 minutos.

Figura 24 - Evolução do MTTR até agosto

Fonte: Autoria própria (2017).

A partir dos bons resultados alcançados, definiu-se com o gestor da manutenção e com os supervisores que este seria o padrão a ser utilizado nas análises durante o ano.

Com o padrão definido, pode-se analisar o resultado anual de cada indicador, uma vez que não foram mais propostas melhorias e não houveram outras modificações na forma como as análises eram conduzidas. O resultado do MTBF está exposto na Figura 25.

Figura 25 - Resultado anual de MTBF

Fonte: Autoria própria (2017).

Percebe-se que o indicador teve grande flutuação do restante do ano, apresentando resultados satisfatórios nos meses de outubro e dezembro, porém com valores abaixo do esperado em setembro e novembro.

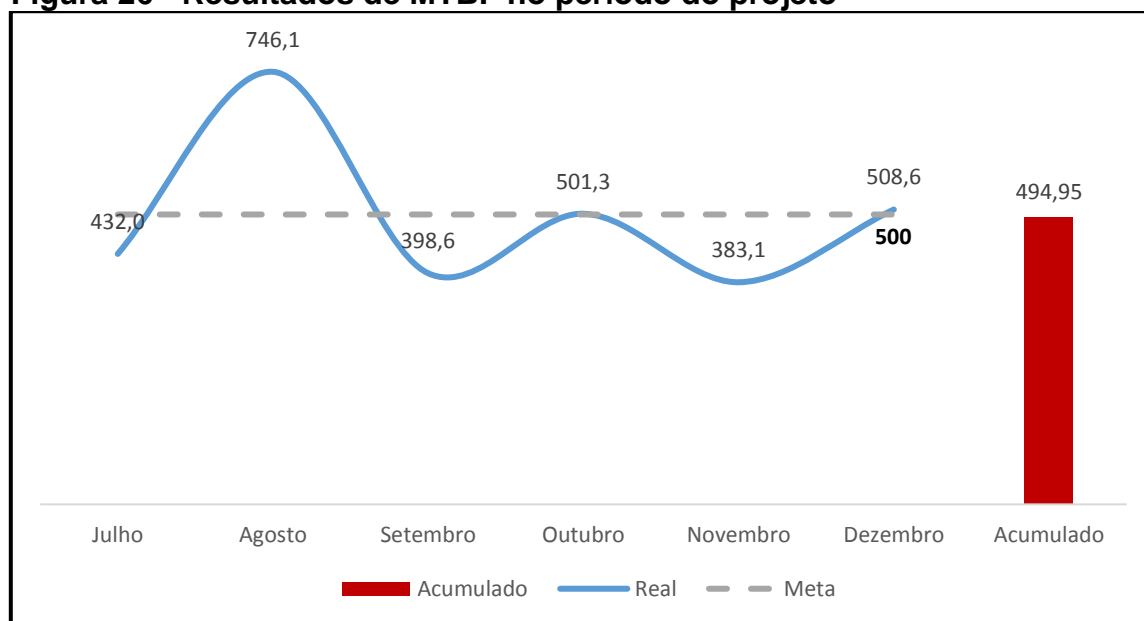
Em setembro, houveram falhas crônicas em dois equipamentos da cervejaria, o que contribuiu diretamente para o mau resultado. As análises foram realizadas segundo o que foi estabelecido, porém as ações propostas não conseguiram chegar a uma solução definitiva, por isso foi necessária a intervenção dos fabricantes de tais equipamentos para se chegar a causa raiz do problema. Com os problemas solucionados, todo o aprendizado adquirido com os fabricantes foi também colocado na árvore de falhas dos equipamentos.

Novembro foi um mês atípico, pois a grande maioria dos supervisores da manutenção entraram de férias ou estavam em treinamentos fora da cervejaria, por isso as análises não foram realizadas durante 3 semanas, o que impactou muito negativamente no indicador.

A média anual do MTBF, devido aos maus resultados de setembro, novembro, e do começo do ano, fechou em 404,7 minutos, abaixo dos 500 minutos que eram esperados no início do projeto.

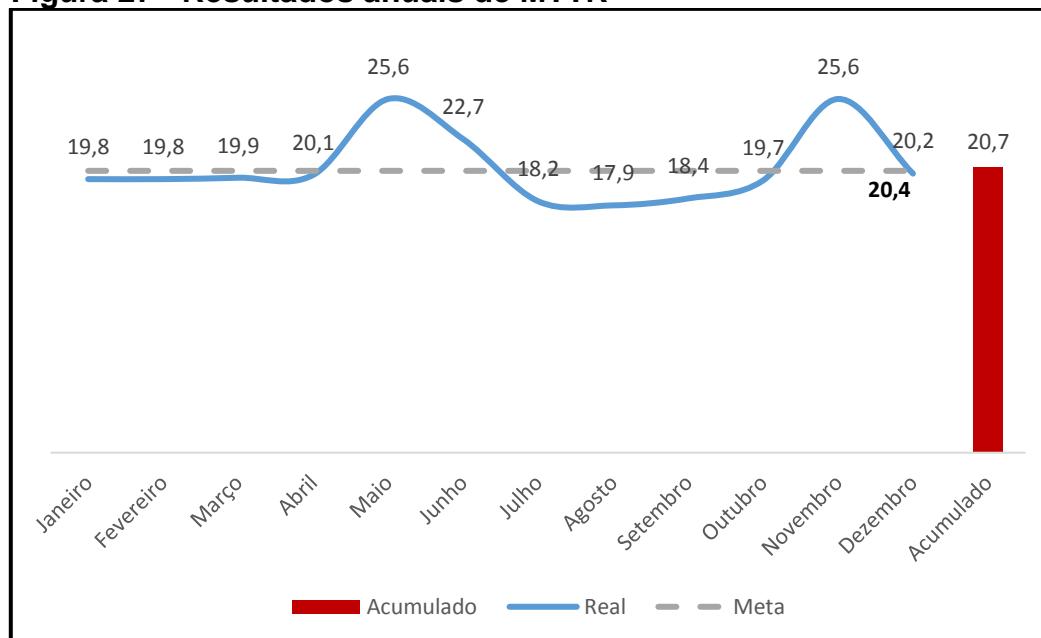
Se analisados apenas os 6 meses onde o projeto foi aplicado, têm-se melhores resultados, chegando a uma média de 494,95 minutos no período, quase atingindo a meta estipulada, como observado na Figura 26.

Figura 26 - Resultados de MTBF no período do projeto



Fonte: Autoria própria (2017)

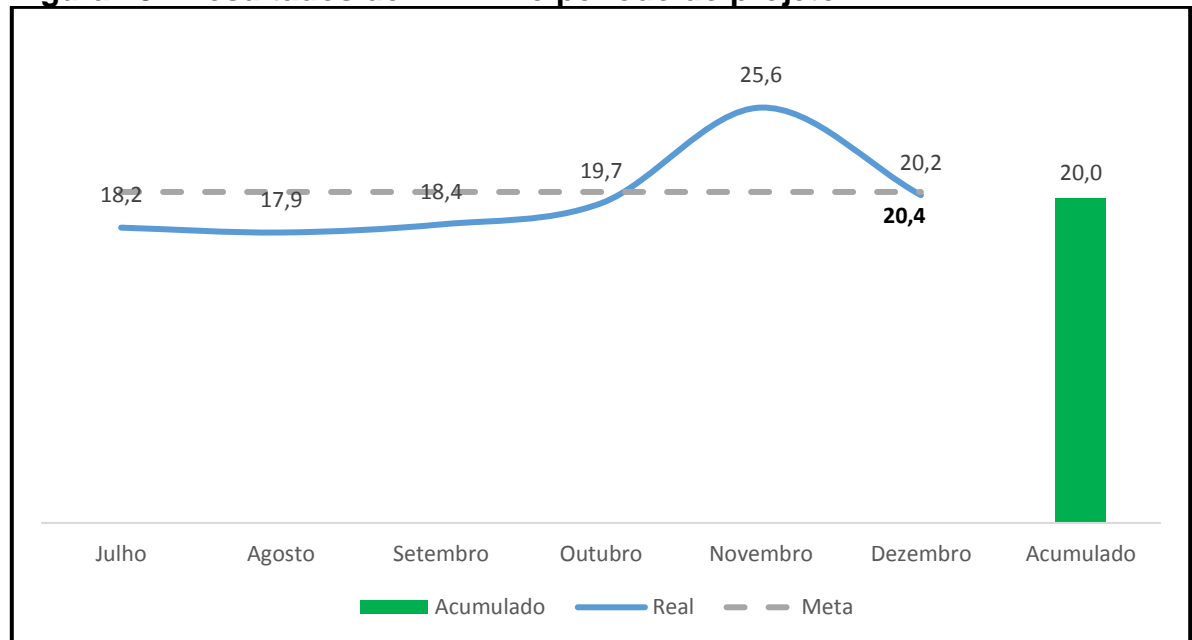
Na Figura 27 têm-se os resultados anuais do MTTR, que apresentou comportamento semelhante do MTBF.

Figura 27 - Resultados anuais de MTTR

Fonte: Autoria própria (2017).

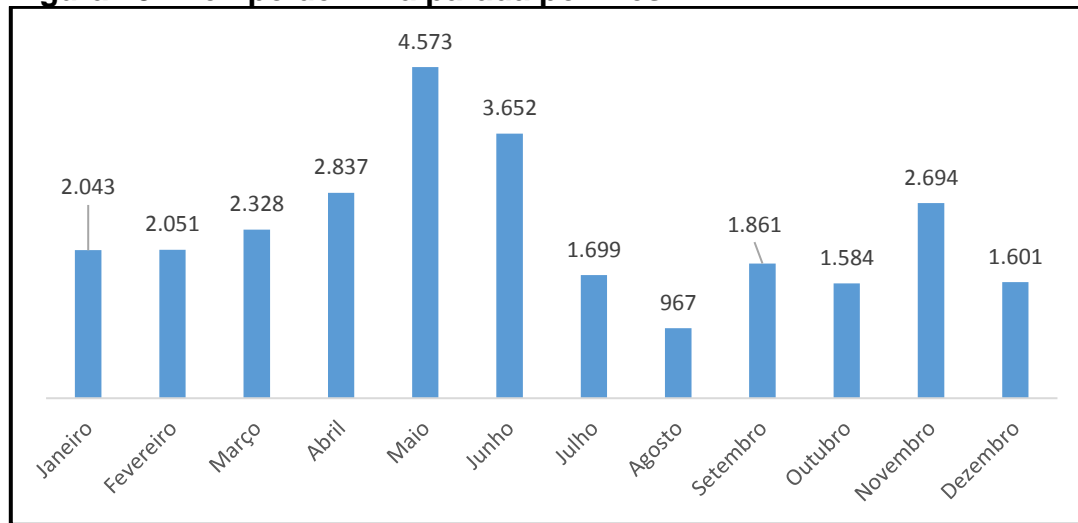
O comportamento do MTTR foi menos flutuante no período, e as falhas crônicas não afetaram o indicador de forma tão negativa em setembro, pois mesmo com falhas constantes, o tempo das paradas foi baixo. Entretanto, devido ao péssimo resultado apresentado em novembro, pelos mesmos motivos já explanados acima, o indicador ficou fora da meta anual, que era de 20,4 minutos.

Novamente pode-se fazer a análise apenas do período em que o projeto foi aplicado, e os resultados apresentados foram suficientes para ficar dentro da meta, chegando a uma média de 20 minutos no período, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Resultados de MTTR no período do projeto

Fonte: Autoria própria (2017)

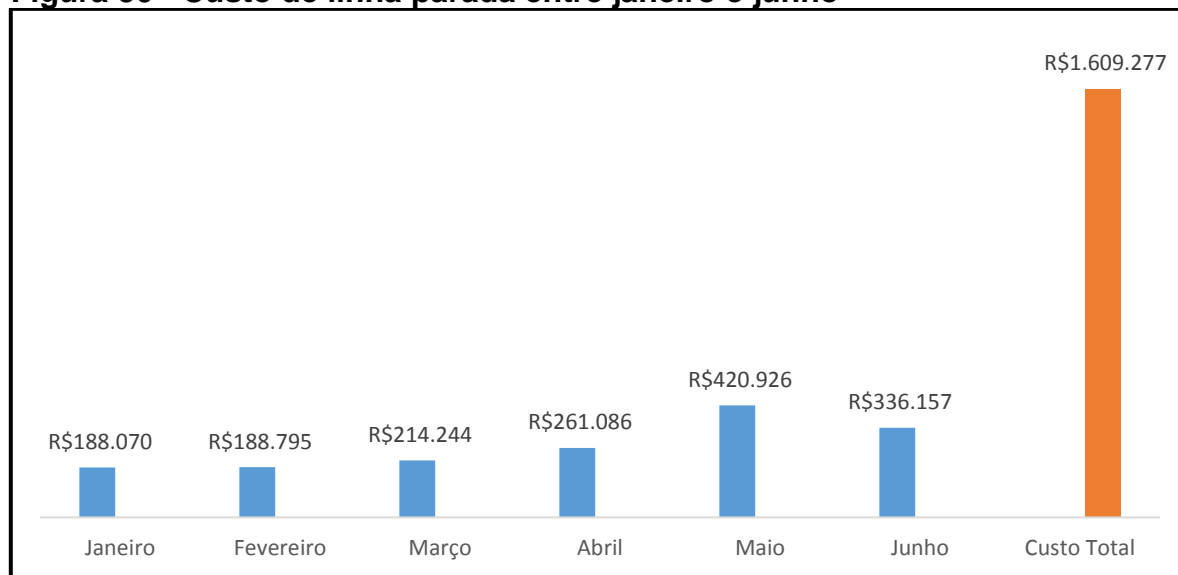
Pode-se também realizar uma análise com relação ao custo total de linha parada. Levando em consideração que a cervejaria opera por aproximadamente 40320 minutos por mês, já descontadas paradas estratégicas e de manutenção programada, pode-se dividir este valor pelo valor mensal de MTBF e então multiplicar pelo MTTR, obtendo assim o tempo total de linha parada mensal, em minutos, como ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Tempo de linha parada por mês

Fonte: Autoria própria (2017)

Como esperado, quanto menor o valor de MTBF e maior o MTTR, maior será o tempo de linha parada, com os piores meses sendo maio e junho, assim como aconteceu com os indicadores. O somatório do tempo anual é de 27892 minutos.

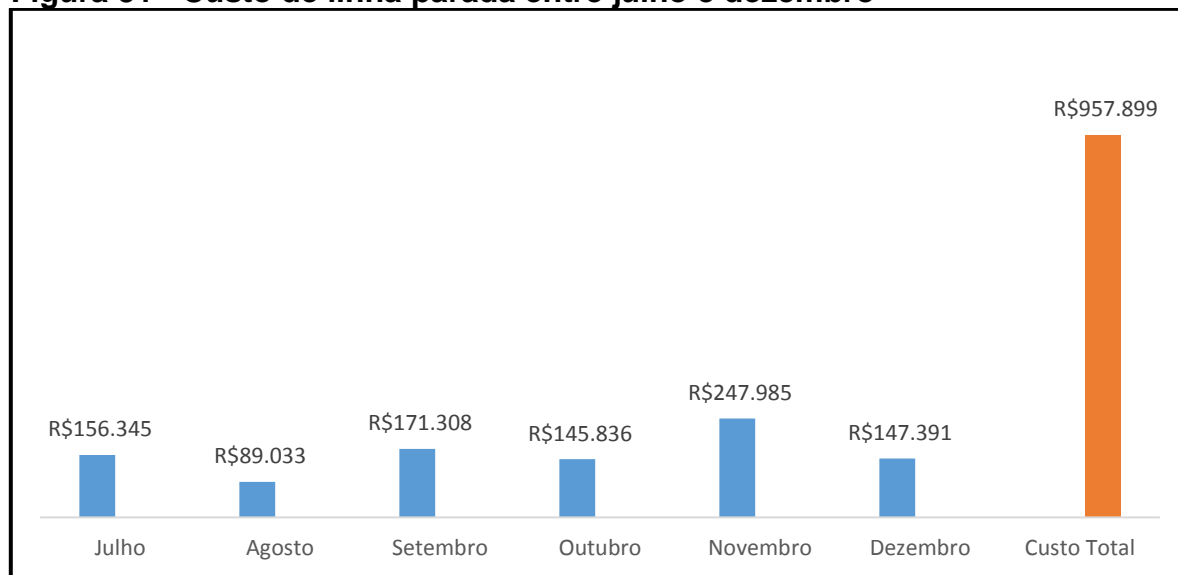
Fazendo uma estimativa com o gestor da área financeira da cervejaria, chegou-se a conclusão que cada minuto de operação tem um custo aproximado de R\$ 92,04. Desta forma, multiplicando este valor pelos minutos de linha parada, tem-se o custo total de linha parada por mês, como pode ser observado na Figura 29 para os meses de janeiro à junho, anteriores a aplicação do projeto.

Figura 30 - Custo de linha parada entre janeiro e junho

Fonte: Autoria própria (2017).

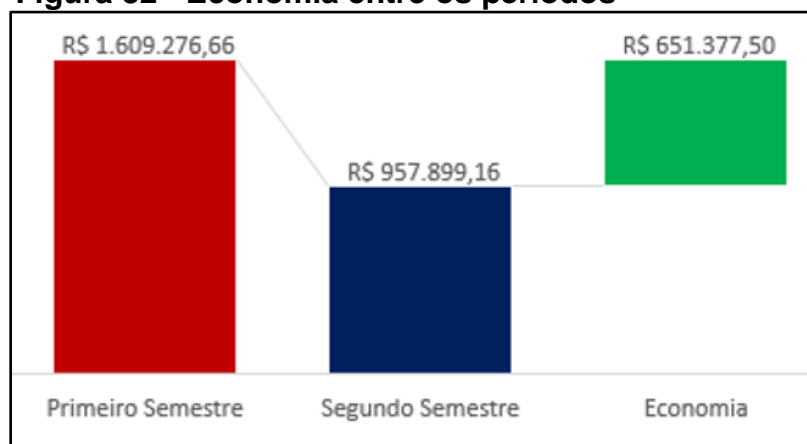
No período, o custo total de linha parada foi de R\$ 1.609.276,66, com os piores meses sendo, conforme esperado, maio e junho, com um custo de R\$ 420.925,79 e R\$ 336.156,82, respectivamente. Como não houve produção durante este tempo para diluir o custo, considera-se este valor como sendo um desperdício para a cervejaria.

A Figura 31 mostra o custo de produção no período em que o projeto foi aplicado, entre os meses de julho e dezembro.

Figura 31 - Custo de linha parada entre julho e dezembro

Fonte: Autoria própria (2017).

Percebe-se que neste período o custo total de linha parada foi de R\$ 957.899,16, sendo consideravelmente menor que o mostrado na Figura 26, configurado uma economia total de R\$ 651.377,50 entre um período e outro, como mostra a Figura 32.

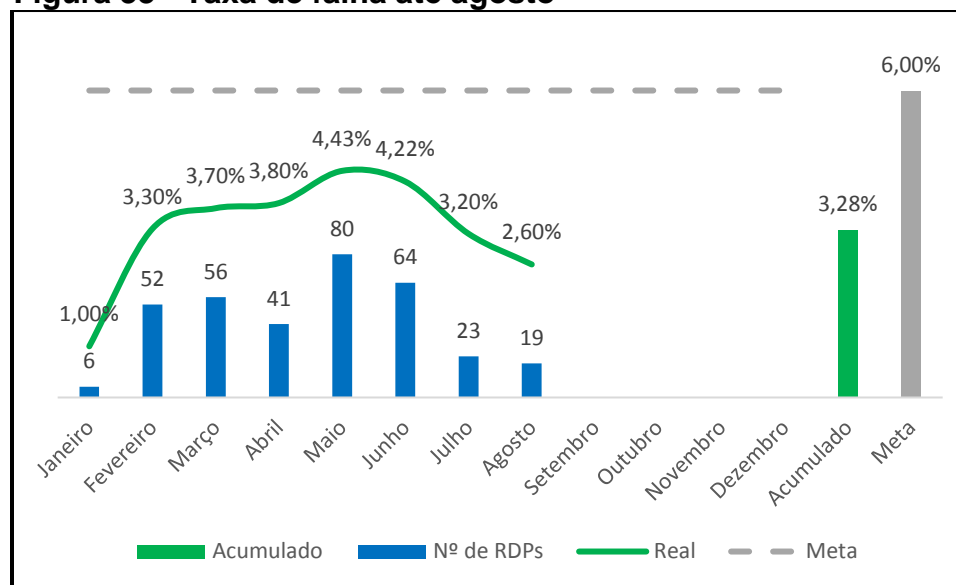
Figura 32 - Economia entre os períodos

Fonte: Autoria própria (2017)

5.2 TAXA DE FALHA

A aplicação do gerenciador de taxa de falha também ocorreu no mês de julho, e após dois meses de utilização, observou-se o comportamento mostrado na Figura 33, com uma melhora no indicador.

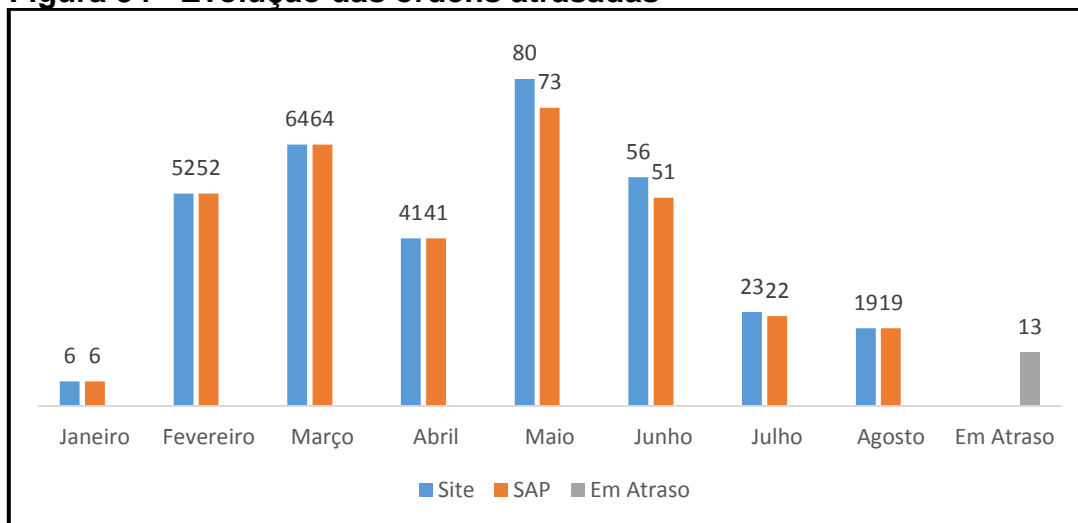
Figura 33 - Taxa de falha até agosto



Fonte: Autoria própria (2017)

Foi possível diminuir o número de anomalias encontradas pelas análises e, conseqüentemente, o valor do indicador através do gerenciador. A média acumulada passou de 3,41% para 3,28% no período.

Esta melhora também se dá pela identificação e solução de grande parte das ordens que estavam em atraso, o que só foi possível graças a utilização do gerenciador. A Figura 34 mostra a evolução no tratamento das ordens em atraso.

Figura 34 - Evolução das ordens atrasadas

Fonte: Autoria Própria (2017).

Foi possível reduzir o número de ordens atrasadas de 67 para 13 em dois meses, apenas realizando o gerenciamento correto das mesmas e realizando o trabalho retroativo de abrir as ordens atrasadas no sistema *SAP* e então executá-las, solucionando as anomalias encontradas, reduzindo o indicador de taxa de falha, e estabelecendo um maior controle sobre ele.

Em agosto foi proposta uma melhoria para o gerenciador, a criação de uma nova aba que, através de um relatório gerado pelo *site* da empresa terceira, compilasse todos os dados das anomalias ainda não solucionadas, e dissesse qual sua condição no sistema, *programada* ou *pendente*, de forma a identificar com mais facilidade qual o número do relatório, consulta-lo no site e abrir a ordem de manutenção para este relatório no *SAP*, tendo em vista que algumas ordens permaneciam em atraso justamente pela dificuldade em identificá-las e tratá-las, pois o gerenciador contabilizava quantas ordens estavam pendentes, mas não quais eram elas.

A melhoria foi realizada de forma semelhante ao que já existia para as anomalias recorrentes, como pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 - Aba de anomalias programadas e pendentes

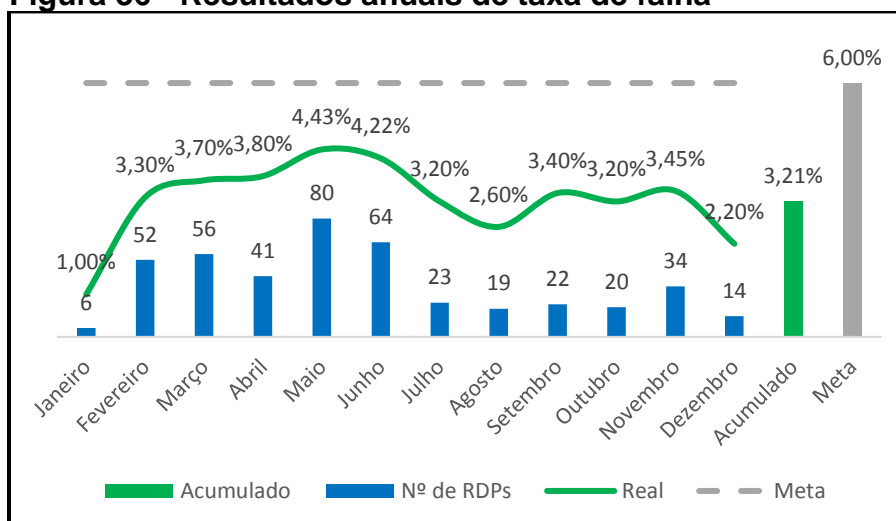
Programadas x Pendentes							
Área	Setor	Conjunto	Equipamento	Tag Equip	Análise	Nº do Relatório	Situação
UTILIDADES	Sistema de Vapor	Transporte de biomassa	Motor	MR151003	Análise de vibração	962	Programada
UTILIDADES	Sistema de Vapor	Transporte de biomassa	Motor	MR151004	Análise de vibração	961	Programada
PACKAGING	Linha 1	Enchedora 01	Bomba	B501001	Análise de vibração	960	Programada
PACKAGING	Linha 1	Enchedora 02	Bomba	B501002	Análise de vibração	959	Programada
PACKAGING	Linha 2	Lavadora de garrafas	Redutor	R502010	Análise de vibração	958	Programada
PACKAGING	Linha 3	Empacotadora	Motor	MR503914	Análise de vibração	957	Programada
PROCESSO	Brassagem	Filtro prensa 01	Motor	MR311610	Análise de vibração	956	Pendente
PROCESSO	Brassagem	TQ de mostura	Bomba	B311111	Análise de vibração	955	Programada
MEIO AMB	ETEI	Centrifuga	Bomba	B101002	Análise de vibração	954	Programada
PROCESSO	Adegas	Cross flow	Válvula	VOC411501	Emissão acústica	297	Programada
PROCESSO	Adegas	TQ maturador 24	Válvula	VOC411524	Emissão acústica	296	Programada
PROCESSO	Filtração	TQ filtrado	Válvula	VOC421222	Emissão acústica	295	Programada
PACKAGING	Linha 2	Enchedora	Válvula	VOC502101	Emissão acústica	294	Pendente
PACKAGING	Linha2	Enchedora	Válvula	VOC502102	Emissão acústica	293	Pendente

Fonte: Autoria própria (2017).

Após agosto, não foram realizadas mais alterações no gerenciador e ele permaneceu sendo usado dessa forma pelo resto do ano.

Pode-se analisar os resultados obtidos de taxa de falha para o ano na Figura 36.

Figura 36 - Resultados anuais de taxa de falha

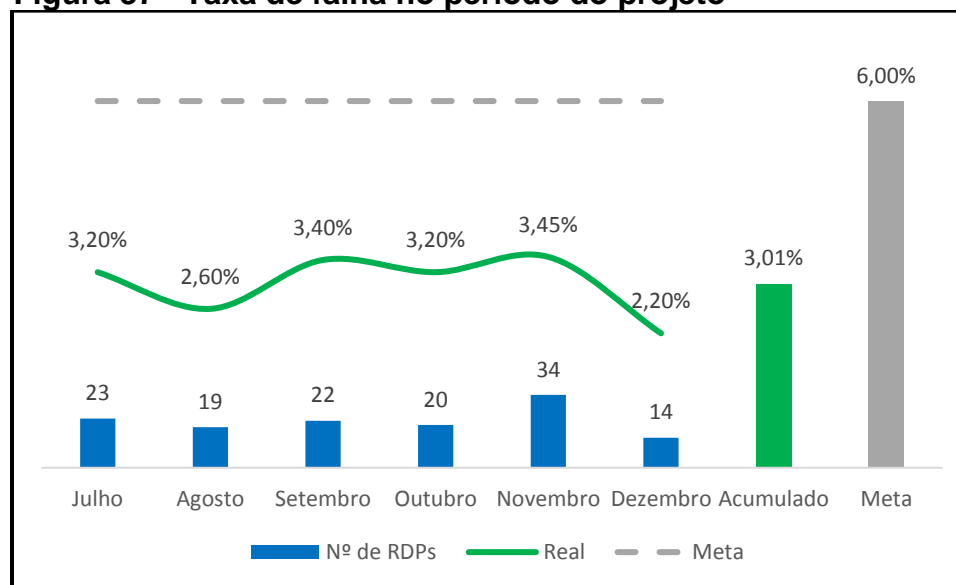


Fonte: Autoria própria (2017).

É possível observar que o indicador se manteve estável entre julho e dezembro, e que apresentou valores levemente maiores nos meses de setembro e novembro, assim como aconteceu com o MTBF e MTTR, mas sem ultrapassar o patamar de 3,5%. A média anual teve uma redução de 0,21%, de 3,41 para 3,2%, alcançando um resultado extremamente satisfatório.

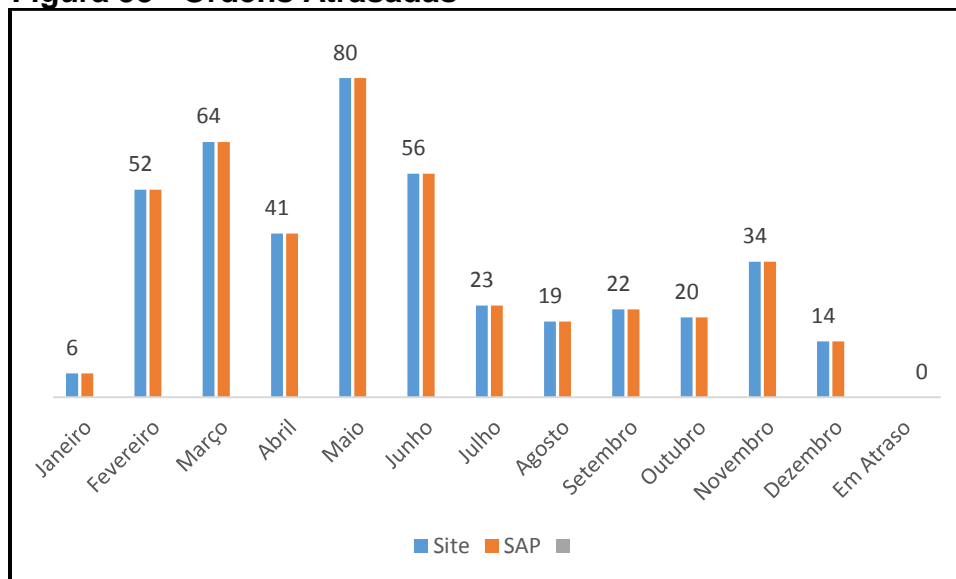
Fazendo a análise apenas no período em que o gerenciador foi utilizado, observa-se resultados ainda melhores, com uma média de 3% entre os meses de julho e dezembro, como apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Taxa de falha no período do projeto



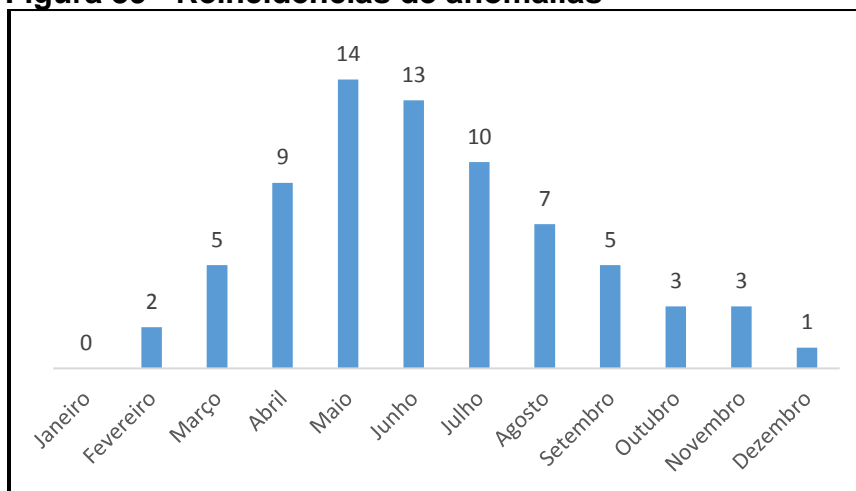
Fonte: Autoria própria (2017).

Quando analisadas as ordens em atraso, percebe-se que em dezembro este número foi zerado, como mostrado na Figura 37. Graças a melhoria implementada em agosto, foi possível identificar facilmente todas os relatórios que não possuíam ordem de manutenção atrelada.

Figura 38 - Ordens Atrasadas

Fonte: Autoria Própria (2017)

Também pode-se fazer uma análise das anomalias reincidentes no ano e mostrar a evolução no tratamento das mesmas, como observado na Figura 39.

Figura 39 - Reincidências de anomalias

Fonte: Autoria própria (2017)

Percebe-se uma evolução muito grande nas anomalias reincidentes a partir da aplicação do gerenciador. Os piores resultados foram apresentados em maio e junho, seguindo a tendência o indicador, chegando a até 14 anomalias reincidentes. Em dezembro, este número foi reduzido para apenas uma. Importante ressaltar que as ordens em atraso não eram consideradas reincidências, uma vez que elas ainda não haviam sido executadas.

6 CONCLUSÃO

A partir dos dados apresentados e dos resultados obtidos, é possível dizer que houve a melhora dos indicadores através das melhorias desenvolvidas nas análises de confiabilidade, produzindo o resultado esperado e contribuíram muito para o aumento dos indicadores de MTBF e MTTR, apresentando valores baixos apenas no mês de setembro, quando as falhas apresentadas pelos equipamentos estavam fora do alcance do conhecimento técnico da cervejaria, e em novembro, quando as análises não foram realizadas em todas as semanas. Sendo assim, espera-se que para o ano de 2018, seguindo o modelo criado, será possível alcançar as metas estipuladas para ambos os indicadores.

Para a taxa de falha, percebe-se que a utilização do gerenciador criado contribuiu muito para os bons resultados entre julho e dezembro de 2017, além de eliminar completamente o problema dos atrasos de ordens que não abriam automaticamente no sistema *SAP*, alcançando o resultado esperado no início do projeto.

Pode-se observar também que existe uma relação, mesmo que indireta, entre os indicadores de MTBF, MTTR e a Taxa de Falha, pois os meses com os piores resultados de todos os indicadores coincidiram. Então é possível afirmar que uma vez que as análises são feitas corretamente e o gerenciador é utilizado, a tendência é que os equipamentos da cervejaria apresentem menos falhas, devido ao correto e eficiente tratamento das anomalias, como aconteceu nos meses de julho, agosto, outubro e dezembro.

REFERÊNCIAS

BOOM, N. B. **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**. New York: McGraw-Hill, 2006.

DESHPANDE, V. S.; MODAK, J. P. **Application of RCM to a medium scale industry**. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 77, n. 1, p. 31-43, 2002.

FARRERO, J. C.; TARRÉS, L. G.; LOSILLA, C. B. **Optimization of replacement stocks using a maintenance programme derived from reliability studies of production systems**. *Industrial Management & Data Systems*, v. 102, n. 4, p. 188-196, 2002.

FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro

FIRMINO, P. R. A., & DROGUETT, E. L. (2006). **Estimação da cota inferior para a confiabilidade de sistemas por árvores de falhas**. *Pesquisa Operacional*, 26(2), 383–402.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus; Elsevier, 2009.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MENDES, A. A., & RIBEIRO, J. L. D. (2013). **Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT**. *Production*, 24(3), 675–686.

MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo: Aladon, 1996.

NAKAJIMA, SEIICHI. **Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC International Sistemas Educativos Ltda., 1989.

PACHECO, A. P. R., Salles, B. W., Garcia, M. A., & Possamai, O. (2009). **O Ciclo Pdca Na Gestão Do Conhecimento** :, 1–10.

QUINQUIOLO, J. M. (2002). **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva**. *Universidade de Taubaté*, 110.

TACHIZAWA, T; Sacaico, O. **Organização Flexível: qualidade na gestão por processos**. São Paulo: Atlas, 1997.

TAVARES, L. A. **Manutenção centrada no negócio**. 1ª edição. Rio de Janeiro: NAT, 2005. 164 p.

SELLITTO, M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. *Revista Produção*, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005.

SHANKAR, G.; SAHANI, V. **Reliability analysis of a maintenance network with repair and preventive maintenance**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 20, n. 2, p. 268-280, 2003.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SOEIRO, Marcus V.; OLIVIO, Amauri; LUCATO, André V. R. **Gestão da Manutenção**. Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

RAPOSO, José L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

RAUSAND, M. **Reliability centered maintenance. Reliability Engineering and System Safety**, v. 60, n. 2, p. 121-132, 1998.

RAO, P. N.; SRIKRISHNA, S.; YADAVA, G. S. **Reliability-centred maintenance applied to power plant auxiliaries.** *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 2, n. 1, p. 3-14, 1996.

XENOS, Harilaus Georgius. **Gerenciando a Manutenção Produtiva.** Minas Gerais:INDGTecs, 2004.

WILMETH, G. W.; USREY, M. W. **Reliability centered maintenance: a case study.** *Engineering Management Journal*, v. 12, n. 4, p. 25-31, 2000.

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado.** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.