

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Alan Mello Macedo

Michael Dantas Bastos Corrêa

**A FILOSOFIA LEAN APLICADA NA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Taubaté – SP

2017

Alan Mello Macedo
Michael Dantas Bastos Corrêa

**A FILOSOFIA LEAN APLICADA NA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Co-orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de
Oliveira Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

C824f Corrêa, Michael Dantas Bastos
A filosofia lean aplicada na gestão da manutenção industrial. / Michael Dantas Bastos Corrêa, Alan Mello Macedo. - 2017.

43f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,
Coorientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Lean. 2. Manutenção. 3. OEE. 4. TPM. 5. MTBF/MTTR. I. Título.

ALAN MELLO MACEDO

MICHAEL DANTAS BASTOS CORRÊA

A FILOSOFIA LEAN APLICADA NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO
INDUSTRIAL

Trabalho de Graduação apresentado
para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Data: 26/out/2017

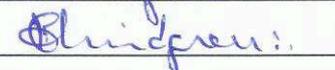
Resultado: Aprovado.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rodo Cesar Correa Lindgren (UNITAU)

Assinatura 

Prof. Maria Regina H.O. Lindgren (UNITAU)

Assinatura 

Dedicamos este trabalho a todos os profissionais e interessados pelo campo da manutenção e melhoria contínua, além daqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao Deus criador dos céus, da Terra, do mar e de tudo o que há, nosso Deus, pela vida que há em nós, pela oportunidade de viver e por seu amor e justiça.

Agradecemos também aos nossos professores orientadores Prof. MSc. Paulo Cesar Corrêa Lindgren e Profa. MSc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren pela dedicação e paciência ao nos direcionar em todas as etapas do desenvolvimento desta monografia.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar algumas das principais ferramentas da gestão da manutenção industrial aliadas a Filosofia *Lean*, bem como destacar a sua importância para o controle de perdas, qualidade e vantagem competitiva para a empresa que as utiliza, rentabilizando ao máximo sua cadeia de valor por meio da redução de desperdícios e da melhoria contínua dos métodos e processos adotados pela Engenharia da Manutenção Industrial. Para isso, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica, juntamente com interação com gestores industriais atuantes, o que possibilitou realizar uma análise em um equipamento industrial, relacionando as ferramentas de gestão da manutenção e as ferramentas *Lean*, tais como *TPM* (Manutenção Produtiva Total), *OEE* (Eficiência Global do Equipamento), *MTTR* (*Tempo Médio Para Reparo*), *MTBF* (*Tempo Médio Entre Falhas*) entre outros. A aplicação das ferramentas citadas e os resultados possíveis de serem obtidos visam possibilitar uma maior compreensão sobre o funcionamento sistemático da gestão de manutenção, quando se considera e assegura o cumprimento efetivo das funções pelas quais cada um dos ativos constituintes da empresa são especificados e se relacionam, garantindo assim que o equipamento esteja em condições operacionais não prejudiciais à sua disponibilidade e ao seu rendimento produtivo, além de permitir, caso necessário, rápidas tomadas de decisão para solucionar os problemas com o desempenho de máquinas e equipamentos.

Palavras-chave: *Lean*, Manutenção, *MTBF*, *MTTR*, *OEE*, *TPM*

ABSTRACT

The objective of this work is to present some of the main tools of the industrial maintenance management allied to the Lean Philosophy, as well as highlight its importance for the control of losses, quality and competitive advantage for a company that as a use, maximizing its value chain through the reduction of waste and the continuous improvement of the methods and processes adopted by Industrial Maintenance Engineering. For this purpose, a bibliographic research was carried out, together with the interaction with active industrial managers, which made it possible to perform an analysis in an industrial equipment, relating maintenance management tools and Lean tools, such as TPM (Total Productive Maintenance), OEE (Overall Equipment Efficiency), MTTR (Mean Time To Repair), MTBF (Mean Time Between Failures), among others. The application of the tools registered and published in all maintenance management systems when considering and ensuring the effective performance of the functions by which each of the company's constituent assets are specified and related, thus ensuring that the equipment is in operational condition not detrimental to their availability and productive output, and to allow, if necessary, rapid decision-making to solve problems with the performance of machinery and equipment.

Keywords: *Lean, Maintenance, MTBF, MTTR, OEE, TPM.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores Para Paradas Planejadas e Dados da Produção no Mês de Abril/2017	30
Quadro 2 – Tempo de Operação do Equipamento Durante o Mês de Abril/2017.....	31
Quadro 3 – Dados da Produção no Mês de Abril/2017.....	32
Quadro 4 – Indisponibilidade do Equipamento por Manutenção no Mês de Abril/2017.....	32
Quadro 5 – Eficiência Global do Equipamento (<i>OEE</i>).....	34
Quadro 6 – Manutenção Produtiva Total (<i>TPM</i>).....	34
Quadro 7 – Retorno Financeiro Anual – Estimado.....	36
Quadro 8 – Desempenho Geral da Fábrica.....	37
Quadro 9 – Tempo Entre a Primeira e a Última Falha.....	38
Quadro 10 – Somatória do Tempo de Reparo de Todas as Falhas.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tempo para Paradas Planejadas Diariamente Durante o Mês de Abril/2017.....	31
Gráfico 2 – Sete Maiores Perdas Detectadas no Equipamento Durante o Mês de Abril/2017.....	33
Gráfico 3 – Indicadores Gráficos da TPM.....	35
Gráfico 4 – Indicadores Gráficos do Desempenho Geral da Fábrica.....	37

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Tempo Médio Entre Falhas - <i>MTBF</i>	27
Equação 2 – Tempo Médio Para Repara – <i>MTTR</i>	28
Equação 3 – Percentual de Melhoria Possível.....	36
Equação 4 – Otimização Relativa ao <i>OEE</i> Verificado.....	36
Equação 5 – Cálculo do <i>MTBF</i>	38
Equação 6 – Cálculo do <i>MTTR</i>	39
Equação 7 – Cálculo da Disponibilidade Operacional.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oito Pilares de Sustentação da <i>TPM</i>	24
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
1.2	Delimitação do Estudo	15
1.3	Relevância do Estudo	15
1.4	Organização do Trabalho	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	A Revolução Industrial	17
2.1.1	A Primeira Revolução Industrial – Inglaterra (de 1760 a 1860)	17
2.1.2	A Segunda Revolução Industrial – Vários Países (de 1860 a meados de 1900).	18
2.2	A Filosofia <i>Lean</i>: Histórico e Origens	18
2.3	Manutenção: Conceitos e Objetivos	20
2.3.1	História da Manutenção Industrial.....	21
2.3.2	Tipos e Classificação da Manutenção.....	22
2.3.3	Gestão da Manutenção Industrial.....	22
2.4	Manutenção Produtiva Total - <i>TPM</i>	23
2.4.1	<i>TPM</i> Como Ferramenta da Filosofia <i>Lean</i>	24
2.5	Eficiência Global do Equipamento – <i>OEE</i>	25
2.5.1	Tipos de Perdas.....	25
2.6	Tempo Médio Entre Falhas - <i>MTBF</i>	27
2.6.1	Tempo Médio Para Reparo – <i>MTTR</i>	28
3	METODOLOGIA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Dados de Entrada – Monitoramento do Equipamento.....	30
4.2	Aplicação das Ferramentas.....	33
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Com base em Otani (2008), percebe-se que com a constante evolução dos processos industriais, a manutenção foi encarada como um processo a ser mensurado e controlado, ou seja, passou a existir uma gestão da manutenção industrial visando menor custo e maior disponibilidade dos equipamentos, o que se faz necessariamente em função da acirrada concorrência.

A partir de 1913 quando foi implantado o sistema de produção em série nas linhas de montagem de Henry Ford (FORD, 2017), as indústrias iniciaram um processo quantitativo mínimo de produção e com isso também surgiu a necessidade de criar grupos que pudessem realizar reparos corretivos em máquinas e equipamentos com menor espaço de tempo, o que até então era considerado como fator de segundo plano (TAVARES, 1998).

Com o advento da Segunda Guerra Mundial, as indústrias precisaram produzir de maneira ainda mais ágil e ao mesmo tempo com confiabilidade, garantindo as quantidades de produção e o fornecimento dos produtos em prazos mais estreitos (BEZERRA, 2017). Para isso, apenas a manutenção corretiva não era suficiente, pois tinha como premissa aguardar a quebra ou falha da máquina para que ocorresse, ocasionando grandes desperdícios em função do tempo de reparo e ociosidade improdutiva da máquina, além de afetar a qualidade dos produtos fabricados. Surgiu, então, a manutenção preventiva, isto é, aquela que ocorre antes que as falhas aconteçam, com o intuito de evita-las.

Em função da necessidade de uma maior capacidade produtiva e de confiabilidade em relação às máquinas e equipamentos, a manutenção tornou-se tão importante quanto os processos operacionais e está diretamente ligada a eles.

Ao longo do tempo, nasceram vários conceitos, formas e ferramentas de gerir e realizar efetivamente a manutenção, incluindo recentemente a aplicação da filosofia *Lean*, que é o conceito de eliminação de desperdícios do Sistema Toyota de Produção aplicado na Engenharia da Manutenção.

O Sistema Toyota de Produção - STP, também conhecido como *Lean Manufacturing*, implantado nas fábricas da Toyota *Motor Corporation* a partir de 1948 e aperfeiçoado até os dias de hoje, é uma filosofia de produção baseada na

otimização de todos os processos industriais focando na eliminação de desperdícios, fornecendo melhor qualidade aos produtos, menor custo e *Lead Time* mais enxuto nos processos. Contudo, o funcionamento da manutenção industrial ainda se apresenta como um grande desafio, pois para que seja efetivo e eficiente, é necessária a aplicação de conhecimento específico, bem como a utilização de metodologia adequada e bem estruturada para cada caso, garantindo a confiabilidade, a manutenibilidade e a eliminação dos possíveis desperdícios de todo o processo, principalmente de tempo, de qualidade, de eficiência dos equipamentos e conseqüentemente de custos.

Neste trabalho apresenta-se a relação entre a Filosofia *Lean*, do Sistema Toyota de Produção, e a gestão da manutenção industrial por meio de uma proposta de aplicação de algumas ferramentas que compõem a gestão de ambos os campos, evidenciando seus aspectos e impactos nas organizações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é evidenciar a importância da união entre a gestão da manutenção industrial e a Filosofia *Lean* para identificar os fatores causadores de perdas relacionadas à disponibilidade dos equipamentos e a utilização de tempos e métodos sem o total aproveitamento durante o processo de manutenção, tornando-o mais efetivo, sistemático e favorecendo a competitividade da empresa.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com adoção de uma base sólida de informações e conhecimentos coletados por meio de pesquisa científica e interação com gestores industriais atuantes e atualizados, e relacionando a Filosofia *Lean* com a gestão da manutenção industrial, pretende-se, por meio de uma proposta de aplicação, evidenciar a importância de tal aliança como fator de competitividade por meio do tratamento e geração de dados

quantitativos e qualitativos referentes à utilização das ferramentas *OEE*, *TPM*, *MTBF*, *MTTR* e Desempenho Geral da Fábrica.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho aborda um tema bastante abrangente e que pode ser tratado em outros campos além da gestão da manutenção industrial, pois a redução de desperdícios e a obtenção da melhoria contínua devem ser pilares de todos os seguimentos corporativos, sejam industriais ou não, visando garantir uma maior competitividade e sobrevivência no mercado. Contudo, este trabalho é voltado, principalmente, ao universo industrial, tratando da aplicação de algumas ferramentas da gestão da manutenção industrial com enfoque na Filosofia *Lean*.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A aplicação das ferramentas da gestão da manutenção industrial aliadas a Filosofia *Lean* evidencia os pontos causadores de perdas relacionadas à disponibilidade dos equipamentos, produtividade, qualidade dos produtos e utilização de tempos e métodos sem o total aproveitamento, possibilitando tomadas de decisão para uma manutenção eficaz e com menor custo financeiro.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1, tem-se a Introdução, os objetivos, a delimitação do estudo e a importância relativa ao desenvolvimento deste trabalho e ao tema abordado. Nesta parte, os textos constituintes apresentam um breve histórico das ideias e necessidades que nortearam este trabalho e que serão tratadas de modo mais profundo nos demais capítulos.

No capítulo 2, evidencia-se a importância da gestão da manutenção industrial e da Filosofia *Lean* ao longo da história, passando pelas revoluções industriais e chegando até o mercado globalizado, altamente competitivo e volátil atual. Em linhas gerais, apresenta-se, também, a descrição das ferramentas aplicadas no capítulo 4, à saber, resultados e discussão.

No capítulo 3, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 4, verifica-se a aplicação das ferramentas tratadas nos capítulos anteriores, obtendo-se resultados discutidos e apresentados em quadros, equações e gráficos.

No capítulo 5, conclusão, tem-se a reflexão embasada em todo conteúdo deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Cáceres (1988), pode-se caracterizar a Revolução Industrial como a transição do sistema de trabalho artesanal, existente desde o feudalismo, para o sistema de trabalho assalariado e com a produção por meio de máquinas, resultando no surgimento das indústrias e na divisão da sociedade entre proprietários e operários (REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, 2017).

2.1.1 A Primeira Revolução Industrial – Inglaterra (de 1760 a 1860)

Segundo Cáceres (1988), a Revolução Industrial teve na Inglaterra o seu berço a partir do século XVIII e foi fundamental para a consolidação do capitalismo e expansão da população nas áreas urbanas, além de resultar no surgimento de uma produção mais rápida e eficiente das mercadorias consumidas na época.

A grande massa populacional, concentrada em áreas rurais, produzia suas próprias roupas e utensílios de modo artesanal; o restante do tecido utilizado no país era importado da Índia. No entanto, de 1738 a 1780, a indústria de tecidos inglesa passou por significativas mudanças com o surgimento e implantação de máquinas de fiar mecânicas, que permitiram a produção de tecidos em maior quantidade e com melhor qualidade, resultando no surgimento de 120 fábricas de tecidos na Inglaterra. A manufatura têxtil foi, portanto, o primeiro setor a mecanizar-se (CAMARGO, 2006).

A mecanização se estendeu para outros setores, como a metalurgia, a agricultura, o transporte de cargas e pessoas, e as minas de carvão (CÁCERES, 1988).

Até meados do século XVII, apenas 5% do ferro produzido era utilizado na fabricação de peças de máquinas, mas com o aperfeiçoamento das técnicas de metalurgia da indústria siderúrgica inglesa, que passou a realizar a fusão do ferro com coque ao invés do carvão, o ferro foi utilizado amplamente em trilhos e canos de água (CAMARGO, 2006).

Segundo Petta (1999), diversos fatores estão ligados ao fato de a Inglaterra ter sido a pioneira na industrialização. O país possuía condições favoráveis para suportar a produção industrial: dispunha de grandes reservas de matéria-prima e capital que extraía de suas colônias, tinha grandes jazidas de ferro e carvão – a principal fonte de energia da época – em seu próprio território, além de um Estado afinado com os interesses do capitalismo.

2.1.2 A Segunda Revolução Industrial – Vários Países (de 1860 a meados de 1900)

A partir de 1860 a industrialização começou a se expandir por outros países da Europa, entre eles a Bélgica, França, Alemanha, Itália e Rússia, chegando ao Japão e Estados Unidos a partir de 1870 (CÁCERES, 1988).

Esta etapa ocorreu durante o crescimento do regime imperial colonialista, resultando no capitalismo monopolizado e é caracterizada pelo surgimento de novas tecnologias e manipulação de outras formas de energia ao invés do carvão – a eletricidade e o petróleo – impulsionando o desenvolvimento de máquinas ainda mais eficientes e econômicas (CAMARGO, 2006).

Focando em capacidade técnica, se tem como principais efeitos deste período, o acelerado avanço em ciência e tecnologia. Nesta fase foram desenvolvidos o motor elétrico, a lâmpada elétrica, combustíveis derivados do petróleo (gasolina e óleo diesel) e novas técnicas de siderurgia, como o sistema *Bessemer* de transformação de ferro em aço, além de vários outros produtos, máquinas e sistemas de produção. Ao longo dos anos a industrialização tornou-se globalizada e intercambiável e, segundo Pinheiro (2017), este foi um período de transição do trabalho realizado pela energia humana para o trabalho realizado pela energia motriz.

2.2 A FILOSOFIA LEAN: DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E ORIGENS

A Filosofia *Lean* refere-se a um campo de conhecimento que possui como elemento essencial a capacidade de eliminar desperdícios de forma contínua,

resolvendo os problemas de maneira sistemática (PINTO, 2017), o que implica no engajamento pleno de todos os ativos da empresa com o trabalho para obter oportunidades de melhoria e ganhos sustentáveis.

Baseando-se em grandes especialistas da qualidade e nas técnicas de dois integrantes da clássica escola de administração, Henry Ford e Frederick Taylor, Taiichi Ohno, Shingeo Shingo e Eiji Toyoda foram os criadores do Sistema Toyota de Produção.

Segundo Liker (2005) tudo começou com Sakichi Toyoda, um funileiro e inventor que morava em uma comunidade agrícola longe de Nagoya no final do século XIX. Sakichi aprendeu marcenaria com seu pai e desde então começou a fabricar máquinas de fiar, visto que a tecelagem era uma indústria importante naquela época e que o governo japonês fazia investimentos nessa área. Em 1884, Toyoda começou a vender teares com preços mais atraentes, mas apesar de estar feliz com eles, não gostava de ver seus familiares sofrendo tanto na tecelagem e fiação, e a partir daí começou a desenvolver teares de madeira movidos a energia elétrica.

Seus trabalhos resultaram em modernos teares automatizados que ficaram famosos, como as “pérolas de Mikimoto” e os “violinos Suzuki”. Em uma de suas invenções havia um dispositivo que parava o processo de tecelagem toda vez que um fio partisse, evitando que todo o material fosse perdido no processo. Esse sistema foi ampliado e se tornou um dos pilares do Sistema Toyota de Produção, a automação, conhecida como Jidoka.

Apesar de ser conhecido no Japão como o rei dos inventores, Sakichi teve sua maior contribuição em outros aspectos, como em sua sabedoria e abordagem de trabalho, onde prezava pela melhoria contínua.

Ainda segundo Liker (2005), em meados de 1929, Toyoda enviou seu filho Kiichiro para a Inglaterra com o intuito de negociar a patente de seu mais popular modelo de Tear. Ele conseguiu negociá-la por 100,000 libras e, este valor foi usado para construção da Toyota Motor Corporation, tempos depois. Sakichi sabia naquela época que a indústria estava mudando e que os teares automáticos iriam ficar no passado, enquanto a indústria de automóveis seria a tecnologia do futuro. Por isso, passou para seu filho a tarefa de implantar algo novo que beneficiasse a sociedade

e o enviou para a renomada Universidade Tokyo Imperial para estudar engenharia Mecânica. Mais tarde, Kiichiro construiu a Toyota Indústria Automotiva com suas próprias inovações, mas sempre seguindo a filosofia administrativa de seu pai. Um exemplo disso foi a abordagem *Just In Time*, uma contribuição de Kiichiro a seu pai na automação, que viria tornar-se um dos pilares do STP.

As ideias de Kiichiro foram diretamente influenciadas por uma visita feita por ele às plantas da Ford em Michigan, onde observou a indústria automobilística e conheceu os sistemas de prateleiras dos supermercados dos EUA, onde se visou o kanban. O supermercado deu a Ohno a ideia de um sistema de tração onde cada processo de produção provia para o processo seguinte, de forma ininterrupta.

A partir dessas visitas e das constatações de Toyoda e Ohno, nasceram os princípios do Sistema Toyota de produção, que foi reconhecido internacionalmente apenas em 1990, por meio de um estudo realizado por pesquisadores do *MIT* acerca da indústria automobilística, tornando-se referência no mundo todo e utilizado até os dias de hoje.

2.3 MANUTENÇÃO: CONCEITOS E OBJETIVOS

Manutenção é o conjunto de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar sua função requerida (ABNT, 1994).

Segundo Weber (2008), para o funcionamento permanente e regular de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações, a manutenção é indispensável e pode ser entendida como o conjunto de cuidados técnicos que envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção destes.

De modo geral, os objetivos da manutenção em uma empresa são: manter equipamentos e máquinas em pleno funcionamento e com total disponibilidade para garantir a produção normal e a qualidade dos produtos, além de prevenir possíveis quebras ou falhas dos elementos das máquinas. Em outras palavras, “as ações de manutenção são usadas para controlar as falhas e restabelecer o equipamento em falha a seu estado operacional, de preferência, “tão bom quanto novo”” (FUENTES, 2006)

2.3.1 História da Manutenção Industrial

A evolução da manutenção está intrinsecamente relacionada com o desenvolvimento da capacidade técnica e industrial aprimorada ao longo de vários anos, incluindo a modernização das indústrias do fim do século XIX que passaram a produzir por meio de sistemas mecanizados (TAVARES, 1998). Nestes tempos, a manutenção tinha caráter secundário para as indústrias.

Entretanto, segundo Murça (2012), a partir da Primeira Guerra Mundial em 1914 e da implantação da produção em série pela empresa Ford Motor Company, as fábricas precisaram criar as primeiras equipes de manutenção destinadas a realizar reparos em máquinas e equipamentos. O objetivo era garantir uma quantidade mínima de produção. Nesta fase, as equipes de manutenção eram subordinadas à operação e a manutenção era apenas executada quando a máquina ou equipamento quebrasse.

Com o advento da Segunda Guerra Mundial, nas décadas de 1930 e 1940, as indústrias decidiram criar um departamento específico de manutenção, destinada não somente a corrigir avarias, mas também evita-las, pois em função da guerra tinha-se a necessidade de uma produção maior e mais rápida. Surgiu neste período o conceito de manutenção preventiva.

Com o desenvolvimento da aviação comercial entre os anos de 1940 e 1970, os critérios de manutenção preventiva expandiram-se em função da inviabilidade de realizar a manutenção corretiva com o avião em pleno vôo. Este foi o período de maior importância para a qualidade nas operações de manutenção, pois passou a ser encarada como uma função mais técnica.

Ainda segundo Murça (2012), de 1970 até os dias de hoje, a manutenção está presente nos processos mais sofisticados devido à expansão dos computadores e ao aumento das indústrias. A manutenção está em uma situação mais econômica por ser mais controlada, refletindo na capacidade produtiva e na segurança do trabalhador e do meio ambiente.

Neste último período, surgiram várias ferramentas aplicadas ao gerenciamento da manutenção, tornando-a mais eficiente, econômica e conseqüentemente competitiva. O mesmo aconteceu com seus conceitos e definições.

2.3.2 Tipos e Classificação da Manutenção

Segundo Siqueira (2005), a manutenção pode ser classificada de acordo com a programação e com seus objetivos.

Em função da programação, têm-se a Manutenção Programada e a Não-Programada. A Manutenção Programada ocorre de forma periódica, quando realizada em intervalos fixos de tempo, ou aperiódica, se acontecer em intervalos variáveis. A Manutenção Não-Programada é a que ocorre de forma imprevista e geralmente é uma intervenção de caráter corretivo.

Os tipos de manutenção, quando classificados em razão dos objetivos, podem ser divididos em seis categorias com base na atitude do executor: manutenção reativa ou corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva, manutenção produtiva e manutenção proativa.

Segundo Monchy (1989), a manutenção corretiva é a que ocorre após a falha e a manutenção preventiva é efetuada com a intenção de reduzir a probabilidade de falha, caracterizando-se por ser um processo de manutenção previsto, programado e preparado antes do aparecimento de uma possível falha. Para Mirshawka (1991), a manutenção preditiva é definida como a que prevê possíveis avarias, isto é, por meio da quantificação de parâmetros que permitam estimar o tempo durante o qual ainda é possível utilizar o equipamento antes da falha. Segundo Otani, (2008), manutenção detectiva é a efetuada com a finalidade de detectar falhas ocultas ou não perceptíveis. A manutenção produtiva é a que objetiva garantir a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos e a proativa pretende, por meio da adoção de uma significativa experiência, aperfeiçoar o processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhoria contínua (SIQUEIRA, 2005).

2.3.3 Gestão da Manutenção Industrial

Segundo Fuentes (2006), a manutenção não deve seguir de forma isolada do restante das funções da organização e, por isso a gestão da manutenção deve ser um apoio efetivo com o objetivo de obter a excelência empresarial, contribuindo com criatividade, cultura da mudança, flexibilidade, criatividade, competência e trabalho em equipe.

As metas da produção podem ser descritas em parâmetros de produtividade, redução de custos, qualidade, cumprimento da data de entrega, segurança e proteção ambiental e aumento no aspecto de motivação dos funcionários. As atividades de manutenção produtiva são realizadas de modo que se conquiste esses objetivos (TAKAHASHI, 1993).

Ainda segundo o mesmo autor, para que o processo de manutenção ocorra de forma eficiente, é necessário que as empresas sejam bem administradas e utilizem técnicas de gestão contemporâneas e especialização adequada. A manutenção influencia diretamente em outras áreas da empresa e deve satisfazer as exigências que surgem para a perpetuação do negócio, bem como outras áreas da empresa impactam na eficiência da manutenção.

O gerenciamento da manutenção industrial se apresenta como uma atividade complexa, pois para que a manutenção aconteça de forma eficiente e efetiva, garantindo a utilização de uma máquina ou equipamento com plena capacidade de funcionamento e total disponibilidade, é necessária a aplicação de conhecimentos específicos e adoção de métodos bem estruturados, além da adoção de ferramentas de mapeamento e gestão da manutenção atreladas ao uso de filosofias de melhoria contínua atuais, como a filosofia *Lean*, derivada do Sistema Toyota de Produção (TAKAHASHI, 1993).

Algumas ferramentas da gestão da manutenção têm importância significativa na tomada de decisões de melhoria em relação a um processo, máquina ou equipamento, pois evidenciam pontos de perda. Segundo Takahashi (1993), deve-se investigar o nexo dos problemas que contribuem para um menor nível de eficiência do equipamento, possibilitando melhores decisões a fim de garantir e otimizar a confiabilidade e a manutenibilidade dos equipamentos. A investigação do equipamento e das atividades envolvidas na manutenção se fazem igualmente necessárias.

2.4 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - TPM

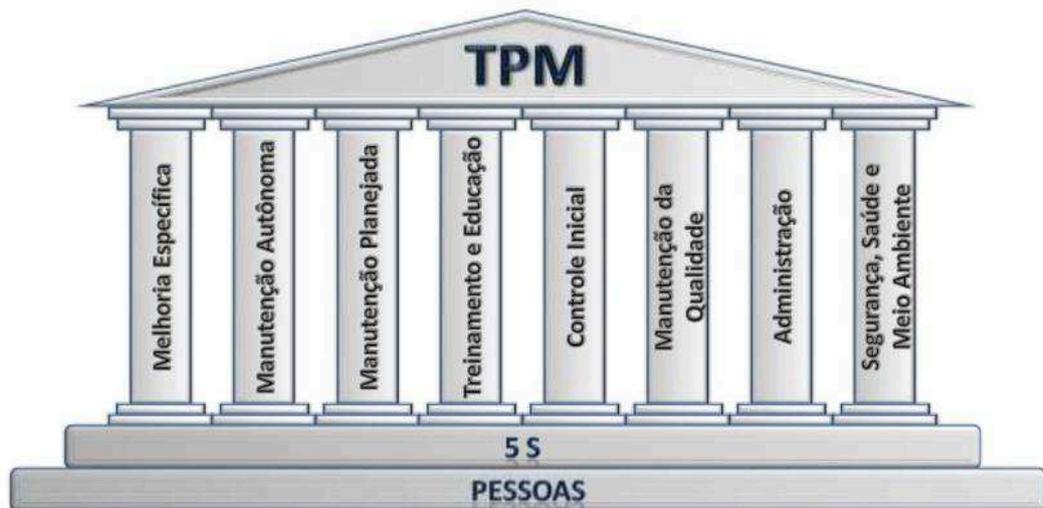
A *Total Productive Maintenance*, traduzida para o português como Manutenção Produtiva Total, tem como objetivo distribuir as responsabilidades entre supervisores, operadores e técnicos da manutenção, além de engajar um senso de

união entre eles. Uma das principais características da TPM é a realização de serviços de forma autônoma.

Segundo Ribeiro (2017), a TPM tem um forte impacto na produtividade e na maior competitividade da empresa, pois trabalha visando alcançar a eliminação de todas as perdas relacionadas as máquinas, aos produtos defeituosos e aos tempos e métodos sem o total aproveitamento. Em outras palavras, a TPM busca zerar todas as perdas de um determinado processo, incluindo tudo o que a este está relacionado, como falhas na máquina, produtos defeituosos etc.

Pode-se considerar oito pilares de sustentação da Manutenção Produtiva Total que relacionam toda a estrutura organizacional da empresa:

Figura 1 - Oito Pilares de Sustentação da TPM



Fonte: Nunes, 2016

2.4.1 TPM Como Ferramenta da Filosofia *Lean*

Segundo Pinto (2017), a Manutenção Produtiva Total tem sido muito importante para os setores de manufatura, pois auxilia no aumento da disponibilidade de máquinas e equipamentos. Ela é uma ferramenta constituída, principalmente, pelo apontamento das perdas e oportunidades de melhoria relacionadas com as máquinas, enquanto a Filosofia *Lean* elimina essas fontes de perda e também as de origem na mão-de-obra e nos materiais e métodos.

Os fundamentos da *TPM* foram desenvolvidos na empresa Denso por um fornecedor automotivo da Toyota entre as décadas de 1960 e 1970, no Japão. No entanto, a fim de apoiar a Filosofia *Lean* e conseguir resultados excepcionais com a manutenção industrial, a Toyota desenvolveu seu próprio estilo de ações *TPM* durante as últimas décadas, direcionando seu foco para pontos estratégicos durante a implementação que garantem o emprego de diferentes técnicas de manutenção para manter a eficiência da produção estabelecendo um enfoque sistêmico de melhoria em todos os ativos da empresa.

2.5 EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO – OEE

A ferramenta *OEE* (em inglês, *Overall Equipment Efficiency*), é um índice que mede a eficiência produtiva do equipamento levando em consideração três características: disponibilidade, desempenho e qualidade.

Segundo Marocco (2013), disponibilidade é a relação entre o tempo planejado para produzir e o tempo que o equipamento esteve disponível para operação. O desempenho é mensurado com base na velocidade que o equipamento trabalhou em função do tempo planejado de produção, comparado a sua capacidade nominal. A quantidade é o número de produtos concebidos em conformidade adequada.

Por meio do levantamento de dados quantitativos e qualitativos referentes à eficiência do equipamento, verificam-se os pontos deficientes e, eliminando-os, torna plena a utilização do mesmo, facilitando a tomada de decisão para futuras melhorias.

Segundo Silveira (2017), as plantas que apresentam alta eficiência, possuem o índice de Eficiência Global de seus equipamentos igual a 85%, enquanto a média mundial está em 60%. O OEE trabalha com base nas principais fontes de perdas, que são chamadas de Sete Grandes Perdas.

2.5.1 Tipos de Perdas

As perdas podem ser crônicas ou esporádicas.

Segundo Kardec (2010), as perdas crônicas são de difícil detecção e percepção e geralmente surgem durante a execução das atividades operacionais,

acontecem com frequência, causam perdas insignificantes, são de fácil restauração por meio da manutenção autônoma, são difíceis de quantificar e raramente são levadas ao conhecimento dos supervisores.

Ainda segundo Kardec (2010), as perdas esporádicas, por sua vez, são de fácil detecção e geralmente provocam grandes gastos devido ao tempo e ao tipo de reparo. Se enquadram em perdas esporádicas, por exemplo, as causadas por vazamento de óleo, quebra de peças entre outras.

Há ainda as sete grandes perdas de um equipamento, conforme Melo (2011):

1ª Perda – Quebra / Falha: Reparo maior que 5 minutos. Geralmente interrompem as funções do equipamento e exigem a troca de peças;

2ª Perda – Set Up e Ajustes: Refere-se ao tempo entre o final da produção de um determinado produto e o início da produção de um novo, envolvendo o tempo dispendido para realizar todos os ajustes necessários;

3ª Perda – Troca Ferramental: Perdas de tempo relacionadas com a troca de ferramentas, principalmente consumíveis, como rebolos, brocas, cortadores etc.;

4ª Perda – *Start UP*: Perda de tempo até que todos os parâmetros de funcionamento ideal do equipamento se estabilizem durante a inicialização do mesmo. Por exemplo, tempo de aquecimento e de condições de operação;

5ª Perda – Pequenas Paradas: São perdas relativas a pequenas paradas no funcionamento do equipamento;

6ª Perda – Velocidade: São causadas pela diferença entre a velocidade de projeto e a velocidade real de operação do equipamento. A variação de ritmo no trabalho do operador se enquadra neste item;

7ª Perda – Defeito ou Retrabalho: Produção de peças com defeitos que podem ser retrabalhadas ou refugadas.

2.6 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS – *MTBF*

Segundo Piechnicki (2011), o *MTBF* (em inglês, *Mean Time Between Failures*) é, basicamente, a medida de tempo entre uma parada e outra do equipamento e representa uma aproximação estatística de quanto tempo um dispositivo deve durar antes da falha.

O *MTBF* é a relação, no período observado, entre o produto do número de itens para seu tempo de operação e o respectivo número total de falhas nesses itens. Este indicador é calculado pela relação entre os tempos das falhas verificadas em um período de ações de manutenção (PIECHNICKI, 2011).

Segundo Oldhamgas (2017), o *MTBF* é um indicador de confiabilidade e mensura a quantidade de falhas aleatórias, excluindo falhas sistemáticas. Quanto mais alto o seu valor, maior é a confiabilidade do equipamento.

Equação para obtenção do *MTBF*:

$$MTBF = \frac{(TD - TM)}{(NP + 1)} \quad (1)$$

Onde:

TD = tempo disponível,

TM = tempo de manutenção,

NP = número de períodos.

O número de períodos mais (+) 1 serve para acrescentar um período que corresponde ao início da data de corte até a primeira manutenção, veja:

Início Faixa

Termino Faixa

|-----|Manut 1|-----|Manut 2|-----|

1º período disp

2º período disp

3º período disp

2.6.1 Tempo Médio Para Reparo – *MTTR*

MTTR (em inglês, *Mean Time To Repair*) é a média de tempo que se leva para executar um reparo devido a ocorrência da falha. Ou seja, é o tempo gasto durante a intervenção em um determinado processo (OPSERVICES, 2017) e inclui, além do tempo gasto efetivamente na execução do reparo, todas as fontes que retardam a colocação do equipamento em operação novamente.

Equação para obter o *MTTR*:

$$MTTR = \frac{\sum TR_i}{N_{av}} \quad (2)$$

Onde:

$\sum TR_i$ = Tempos de reparação de todos os equipamentos do conjunto no período,

N_{av} = Número de avarias em todos os equipamentos no período de análise.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho, é embasada em conteúdo teórico referente ao campo da manutenção e da Filosofia *Lean*, além de contar com a análise de dados quantitativos que relacionam parâmetros de eficiência na disponibilidade de equipamentos industriais. Trata-se, portanto, de um trabalho de pesquisa descritiva e quantitativa, voltado, principalmente, ao universo industrial.

Segundo Gerhardt (2009), a pesquisa descritiva é aquela que busca descrever, por meio de investigação, os fatos e fenômenos de uma determinada realidade. Por assim ser, estudos de caso e análises documentais enquadram-se neste tipo de pesquisa.

Ainda segundo Gerhardt (2009), a pesquisa quantitativa é centrada na objetividade e os resultados da pesquisa podem ser quantificados, baseando-se em linguagem matemática para a compreensão das origens de determinados fenômenos. Este tipo de pesquisa ocorre por meio da coleta e análise de dados mediante condições de controle e apontamento, além de adotar procedimentos estatísticos.

Neste trabalho, considera-se os dados coletados por meio de monitoramento de um equipamento industrial, apresenta-se uma proposta de aplicação das ferramentas *OEE* (Rendimento Global de Equipamento), *TPM* (Manutenção Produtiva Total), *MTTR* (Tempo Médio de Reparo), *MTBF* (Tempo Médio de Funcionamento) e outros indicadores, visando evidenciar os pontos causadores de perdas do equipamento e facilitar a correta tomada de decisão para a solução dos problemas identificados. Os dados de entrada – a saber, tempo de paradas planejadas, não planejadas, produção e qualidade – e os dados provenientes da aplicação das citadas ferramentas estão organizados em quadros, equações e gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de avaliar o desempenho do equipamento X, que é constituído pelos processos de usinagem e soldagem e é utilizado na linha de produção de uma indústria mecânica para a produção de uma peça automotiva utilizada no sistema de suspensão de alguns veículos terrestres, foi realizado um monitoramento de suas perdas para calcular a Eficiência Global do Equipamento (*OEE*). Para isso, foi implementado um sistema de apontamento e contabilização de perdas do equipamento por meio de crono-análise e utilização de formulários apropriados, dos dias 01/04/2017 à 30/04/2017, o que também possibilitou verificar os dados da produção, cuja cadência aproximada é de 134 peças por hora. Essa produção representa, em média, 73.600 peças produzidas por mês, conforme o Quadro 3.

4.1 Dados de Entrada – Monitoramento do Equipamento

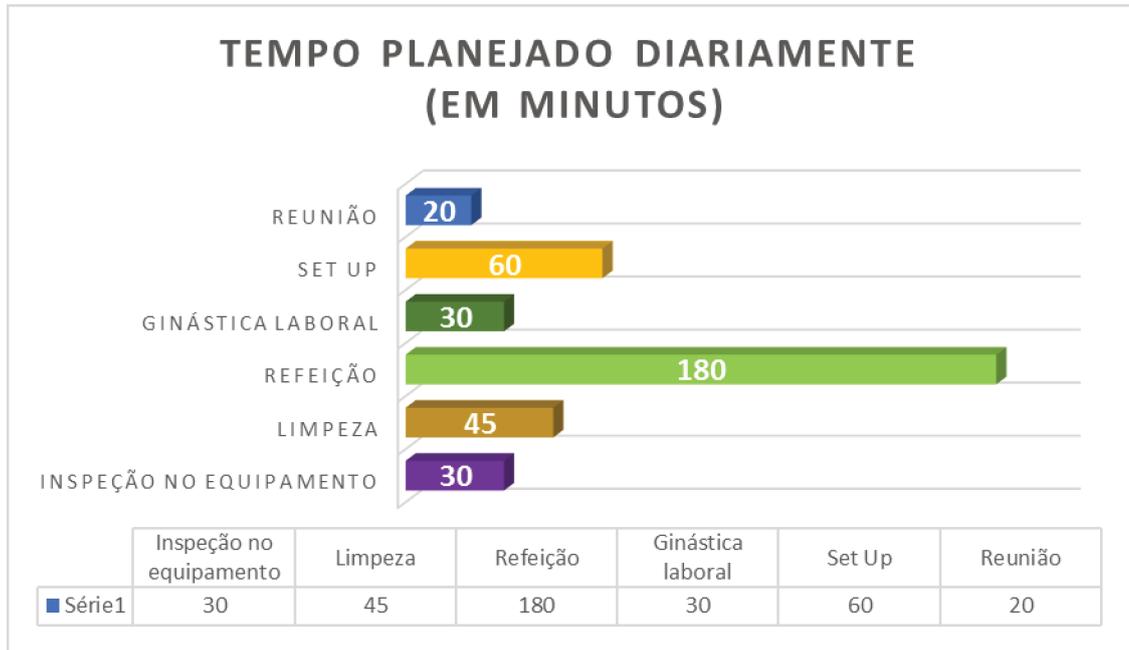
Os dados obtidos por meio do monitoramento estão apresentados nos Quadros de 1 a 4 e nos Gráficos 1 e 2, a seguir:

Quadro 1 - Apresenta os Valores para Paradas Planejadas no Mês de Abril/ 2017

Tempo Planejado Diariamente (minutos)	
Inspeção no equipamento	30
Limpeza	45
Refeição	180
Ginástica laboral	30
Setup	60
Reunião	20

Fonte: Elaborado pelos autores

O Gráfico 1 apresenta, de outra forma, os valores relacionados as paradas planejadas diariamente. Ressalta-se que as paradas planejadas influenciam diretamente no rendimento produtivo do equipamento, uma vez que nestes períodos, geralmente não há operação do equipamento.

Gráfico 1 - Tempo de Paradas Planejadas Diariamente Durante o Mês de Abril/2017

Fonte: Elaborado pelos autores

Considera-se os dias em que o equipamento esteve efetivamente em operação durante o mês de análise. Isto é, desconsidera-se os dias não trabalhados, como domingos e feriados ocorridos no mês e que resultaram na paralisação produtiva do equipamento, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Tempo de Operação do Equipamento Durante o Mês de Abril/2017

EQUIPAMENTO	
Tempo de Operação no Mês	
23 dias	24 horas
Tempo Planejado Diariamente – TOTAL ANUAL	
365 dias	

Fonte: Elaborado pelos autores

No Quadro 3, apresenta-se os valores da produção durante o mês de análise considerando-se, além das peças em boas condições de qualidade, as peças refugadas e/ou retrabalhadas.

Quadro 3 – Dados da Produção no Mês de Abril/ 2017

OUTROS ITENS	
Tempo real gasto pelo operador	0,45 min/peça
Tempo padrão de produção	0,40 min/peça
Produção total no mês	73.600 peças
Peças refugadas no mês	1105 peças
Peças retrabalhadas no mês	2700 peças

Fonte: Elaborado pelos autores

No Quadro 4, tem-se a indicação do total de horas em que o equipamento esteve indisponível em função de ações de manutenção corretiva. Também é possível observar estes indicadores por meio do Gráfico 2.

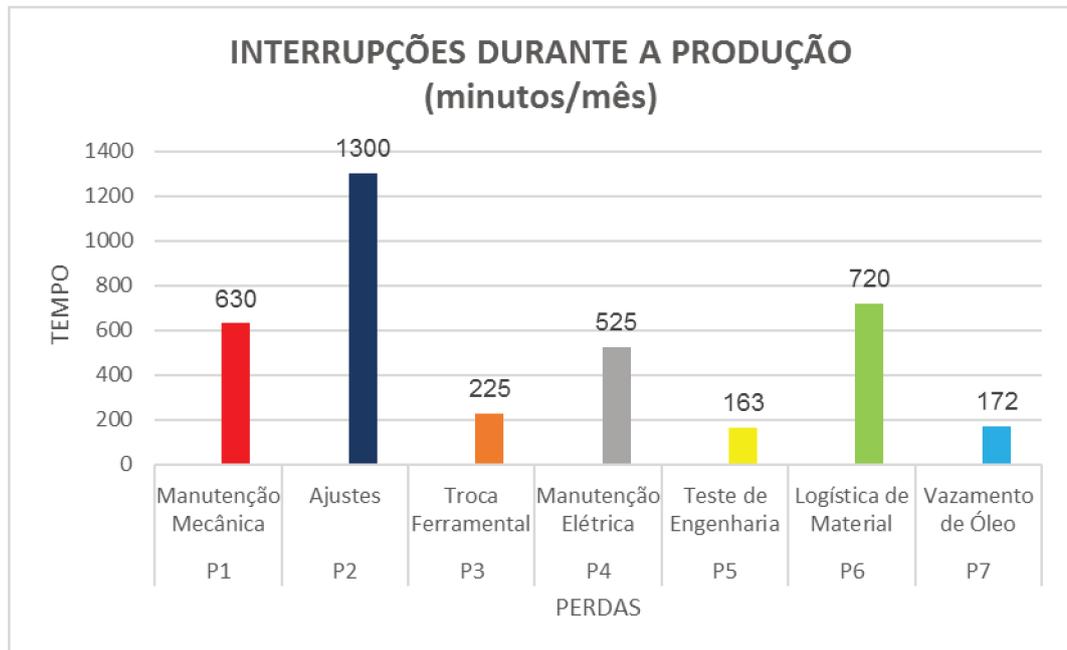
Quadro 4 – Indisponibilidade do Equipamento por Manutenção no Mês de Abril/ 2017

Perdas por Manutenção	Data e Horário da Ocorrência	Tempo de Reparo	Tempo Total (min/mês)
P1	10/04 às 14h00min	630	1327
P4	15/04 às 15h00min	525	
P7	20/04 às 16h00min	172	

Fonte: Elaborado pelos autores

No Gráfico 2, evidencia-se as sete maiores perdas verificadas no equipamento durante o mês de análise, que vão desde perdas por manutenção até ajustes e testes de engenharia que foram realizados no equipamento.

Gráfico 2 – Sete maiores perdas detectadas no equipamento durante o mês de abril/ 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores

4.2 Aplicação das Ferramentas

A partir dos dados obtidos por meio do monitoramento do equipamento, o processo passou a ser dividido em etapas, com cada uma delas sendo relativa a um ou mais cálculos para obtenção dos indicadores gerais.

1ª Etapa: Foram realizados os cálculos para obtenção da Eficiência Global do Equipamento (OEE), conforme detalhado no Quadro 5.

Ressalta-se que o OEE é uma medida percentual que leva em consideração três importantes variáveis: disponibilidade, qualidade e performance (SILVEIRA, 2017), sendo a principal ferramenta para a avaliação da eficiência dos equipamentos, pois relaciona uma maior variedade de dados.

Quadro 5 – Eficiência Global do Equipamento - OEE:

QUADRO DA EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO - O.E.E. (EM MINUTOS POR MÊS)				
TT - Tempo Total TT = 24 horas X 30 dias X 60 = 43200				
TD - Tempo Disponível TD = 23 dias X 24 horas x 60 = 33120 Ou TD = TT - TFT*				TFT = 7 dias X 24 horas X 60 = 10080
[^] TFT - Tempo Fora de Turno				
TO - Tempo Operacional TO = TD - PP* = 33120 - (30 + 45 + 180 + 30 + 60 + 20) = 32755			PP = 365	
[^] PP - Paradas Planejadas = Σ Paradas Planejadas				
Tt - Tempo Trabalhado Tt = TO - PNP* = 32755 - (630 + 1300 + 225 + 525 + 163 + 720 + 172) = 29020			PNP: 3735	
[^] PNP - Paradas Não Planejadas = Σ PNP				
TPB - Tempo Produtivo Bruto TPB = Tt - VR* = 29020 - 3680 = 25340			VR = 0,05 X 73600 = 3680	
[^] VR - Variação de Ritmo. Ex.: Se produzirmos 600 pçs com o tempo padrão de 0,20 min/pç e o operador gastar 0,25 min para produzir uma peça, teremos uma diferença de 0,05 min. Então, neste caso, VR = 600 X 0,05 = 30min				
TPL = Tempo Produtivo Líquido TPL = TPB - TRR* = 25340 - (386,75 + 945) = 24008,25		TR¹ - Peças Refugadas = 1105 X 0,35 = 386,75	TR² - Peças Retrabalhadas = 2700 X 0,35 = 945	
[^] TRR - Tempo de retrabalho + Tempo de refugo				
Eficiência Global do Equipamento - OEE = TPL/TD = 24008,25/33120 = 0,72 \approx 72 %				

Fonte: Elaborado pelos autores

2ª Etapa: Cálculos dos Indicadores da Manutenção Produtiva Total – *TPM* (Quadro 6 e Gráfico 3), dos indicadores de Retorno Financeiro Anual Estimado (Quadro 7) e dos indicadores de Desempenho Geral da Fábrica, conforme o Quadro 9 e o Gráfico 4:

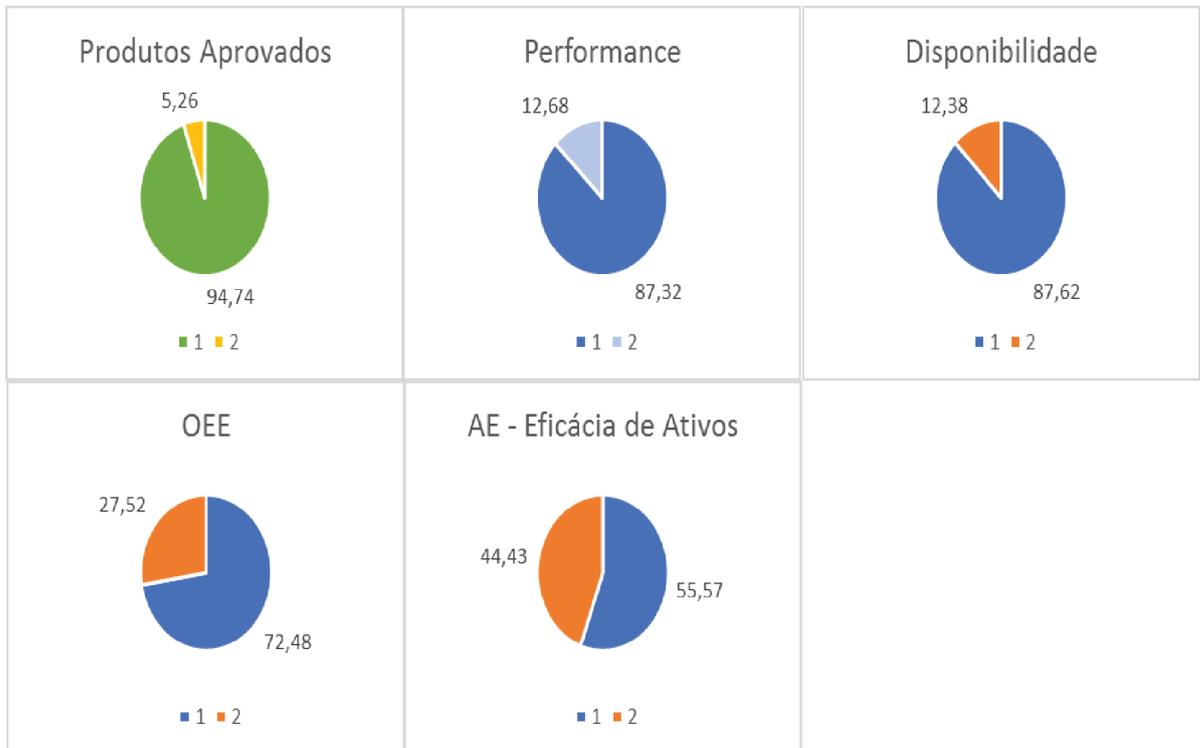
Quadro 6 – Manutenção Produtiva Total - TPM:

Manutenção Produtiva Total – TPM					
TPM	INDICADORES		FÓRMULAS * 100	%	% Perdas
	Produtos Aprovados		TPL / TPB	94,74	5,26
	Performance		TPB / Tt	87,32	12,68
	Disponibilidade		Tt / TD	87,62	12,38
	OEE (Eficiência Global do Equipamento)		TPL / TD	72,48	27,52
	AE (Eficácia de Ativos)		TPL / TT	55,57	44,43

Fonte: Próprios Autores

O Gráfico 3, apresenta, de outra forma, os indicadores da TPM.

Gráfico 3 – Indicadores Gráficos da *TPM*:



Fonte: Próprios Autores

Conforme visto anteriormente, as empresas que apresentam alta eficiência, possuem o índice de Eficiência Global de seus equipamentos igual a 85%, e este valor é o objetivo da maioria das indústrias. A média mundial está em 60%.

Segundo Kardec (2010), a diferença entre o valor de *OEE* e o valor de *AE*, indica o quanto ainda pode ser aproveitado de tempo de máquina para ações de manutenção preventiva e autônoma, para ampliação de capacidade sem aquisição de novas máquinas. Isto significa, com base na Filosofia *Lean*, reduzir o desperdício de tempos e métodos sem o total aproveitamento em, por exemplo, paradas planejadas e não planejadas, tempo despendido com o retrabalho e refugo de peças, variação de ritmo entre outros. Neste caso, tem-se a possibilidade de otimizar o aproveitamento em 16,91%, elevando o *OEE* para 89,39% por meio de alguns pequenos ajustes nos sistemas de produção e manutenção, como mostram os cálculos:

$$OEE - AE = 72,48 - 55,77 = 16,91\% \quad (3)$$

$$Possível Otimização sem Custos = 72,48 + 16,91 = 89,39\% \quad (4)$$

Com base no custo de hora máquina fornecido pelo Departamento de Engenharia Econômica da empresa, verifica-se a possibilidade de obter um retorno financeiro anual relacionado ao percentual de Otimização Relativa ao *OEE* Verificado. Neste caso, o retorno pode ser de aproximadamente R\$ 295.924,37 ao ano, conforme o Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 – Retorno Financeiro Anual – Estimado:

Custo da Hora Máquina	Horas Para Aproveitamento (16,91% do TD)	Retorno Financeiro Mensal Estimado	Retorno Financeiro Anual – Estimado
R\$ 267,35	92,24	R\$ 24.660,36	R\$ 295.924,37

Fonte: Próprios Autores

O conceito básico de *TPM* é estruturado com base na reestruturação e melhoria do processo produtivo e empresarial por meio da reformulação e da melhoria das pessoas e dos equipamentos, envolvendo todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional (TAVARES, 1998).

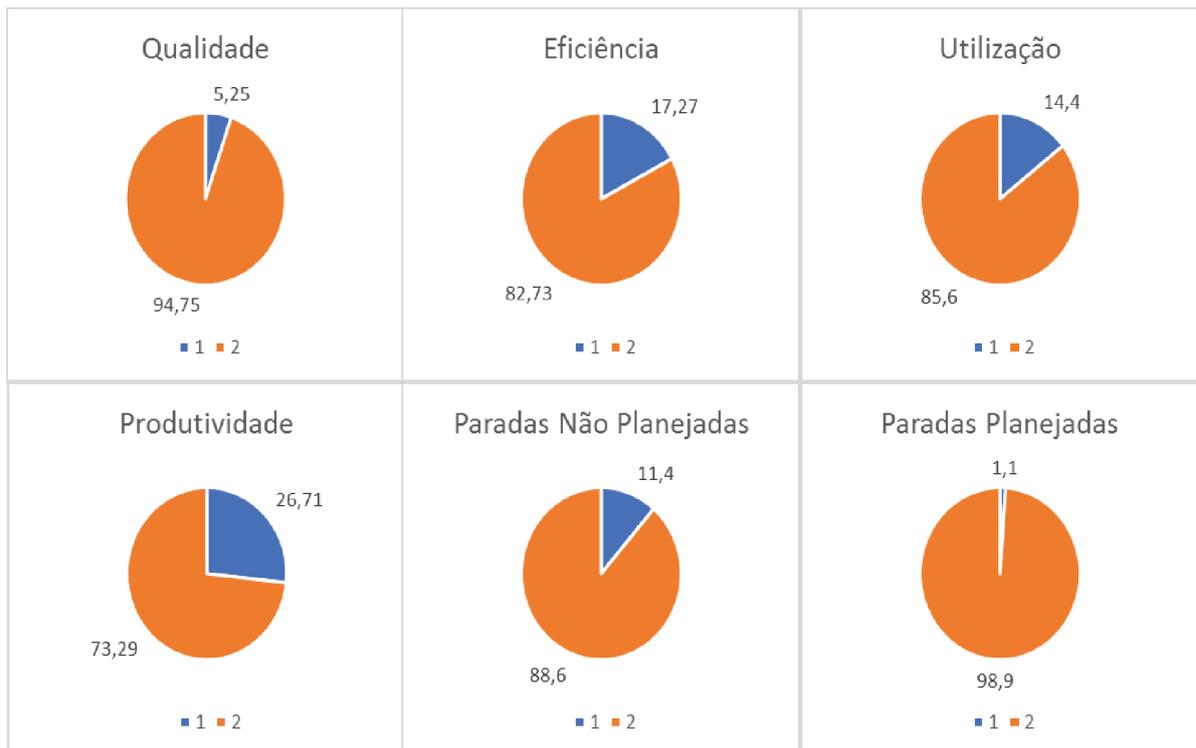
O Quadro 8, apresenta os indicadores de desempenho da fábrica de forma geral, relacionando os dados vistos anteriormente. Destaca-se a elevada taxa de paradas não planejadas em relação ao tempo operacional do equipamento.

Quadro 8 - Desempenho Geral da Fábrica:

Desempenho Geral da Fábrica				
FÁBRICA	INDICADORES	FÓRMULAS * 100	% Perdas	% Desempenho
	Qualidade	(Tempo perdido por refugo + tempo perdido por retrabalho) / TPB	5,25	94,75
	Eficiência	TPL / Tt	17,27	82,73
	Utilização	Tt / TO	14,4	85,6
	Produtividade	TPL / TO	26,71	73,29
	Paradas Não Planejadas – PNP	PNP / TO	11,4	88,6
	Paradas Planejadas – PP	PP / TD	1,1	98,9

Fonte: Próprios Autores

Para facilitar a visualização dos dados obtidos tem-se o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Indicadores Gráficos do Desempenho Geral da Fábrica:

Fonte: Próprios Autores

3ª Etapa: Calculou-se o tempo entre a primeira e última falha (Quadro 9), a somatória do tempo de reparo de todas as falhas (Quadro 10) e a respectiva disponibilidade do equipamento:

Conforme visto anteriormente, o *MTBF* é calculado em função da relação entre os tempos das falhas verificadas durante o período de análise e quantidade de intervenções de manutenção ocorridas no mesmo período (PIECHNICKI, 2011).

Os Quadros 9 e 10 apresentam, respectivamente, as informações que são utilizadas na obtenção dos indicadores *MTBF* e *MTTR*, conforme equações 5 e 6.

Quadro 9 – Tempo Entre a Primeira e Última Falha:

Período de Análise		Domingos e/ou Feriados	Tempo Total (menos domingos e feriados)	Perdas no Período	Tempo Disponível para Operação - T	TS: Tempo Entre 1ª (dia 9) e Última Falha (dia 20)
1	Do dia 1 ao dia 09	2	10080	630	9450	12960
2	Do dia 10 ao dia 17	2	8640	525	8115	
3	Do dia 18 ao dia 20	0	4320	172	4148	
4	Do dia 21 ao dia 30	3	10080	0	10080	

Fonte: Próprios Autores

No período de análise ocorreram três perdas relacionadas a manutenção, sendo: P1 – Manutenção Mecânica, P2 – Manutenção Elétrica e P7 – Vazamento de Óleo.

Quadro 10 – Somatória do Tempo de Reparo de Todas as Falhas:

Tempo de Reparo	Tempo Total	$\sum TR_i$ ou Tempo de Manutenção
P1	630	1327
P4	525	
P7	172	

Fonte: Próprios Autores

Obtenção do Tempo Médio Entre Falhas – *MTBF*:

$$MTBF = \frac{TD - \sum TR_i}{NP + 1} = \frac{33120 - 1327}{4 + 1} = 6358,6 \text{ min} \quad (5)$$

Obtenção do Tempo Médio Para Reparo – *MTTR*:

$$MTTR = \frac{1327}{3} = 442,33 \text{ min} \quad (6)$$

A disponibilidade do equipamento indica a proporção entre o tempo total e o tempo em que o equipamento esteve realmente disponível para as suas funções requeridas (PIECHNICKI, 2011). Portanto, a disponibilidade pode ser classificada como disponibilidade operacional e mensurada por meio da equação 7.

$$\text{Disp. Operacional \%} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100 = \frac{6358,6}{6358,6+442,33} * 100 = 93,5\% \quad (7)$$

5 CONCLUSÃO

A utilização dos mecanismos de gestão da manutenção industrial aliados aos conceitos e diretrizes da Filosofia *Lean* não evidencia apenas o desempenho do equipamento, mas também permitem verificar quais são os principais desperdícios causados por ele, relacionando-os aos ativos constituintes da empresa. A adoção de um bom sistema de gestão auxilia a Engenharia da Manutenção a melhorar continuamente o seu processo de ação e de padronização, otimizando assim a sua eficácia.

Constatou-se, por meio do correto tratamento dos dados coletados, a possibilidade de retorno financeiro equivalente a 16,91%, valor extremamente significativo em função dos custos relacionados a hora máquina e aos ativos inerentes a manutenibilidade do equipamento.

Verificou-se também, que a união entre a gestão da manutenção industrial e a Filosofia *Lean* é fundamental para a competitividade empresarial, pois estão intrinsecamente voltadas a melhoria continua de todos os processos, produtos e, conseqüentemente, a capacitação dos recursos humanos.

Pode-se recomendar, então, que a Filosofia *Lean* seja adotada por todas as empresas que buscam competitividade e sustentabilidade em um mercado tão volátil e globalizado como o atual.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994

Bezerra, J. **Revolução Industrial**, 2017. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/revolucao-industrial/>>. Acesso em 10 de maio de 2017.

Cáceres, F. **História Geral**. São Paulo: Moderna, 1988

Camargo, N. J. de. **Sistema didático de ensino – ensino fundamental e médio**. São Paulo: Silvanelli, 2006

Silveira, C. B. **OEE, cálculo de eficiência da planta e integração de sistemas**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/oeecalculeficienciaequipamentosintegracao-sistemas/>>. Acesso em 25 de julho de 2017.

Ford. Experiência Ford – sobre Ford, 2017. Página eletrônica: <<http://www.ford.pt/ExperienciaFord/SobreFord/InformacaoSobreEmpresa/Heritage/TheEvolutionofMassProduction>>. Acesso em 05 de abril de 2017.

Fuentes, F. F. E. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006

Gerhardt, T. E. / Silveira, D. T. Métodos de Pesquisa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009

Kardec, A. / Nascif, J. **Manutenção Função Estratégica – 3ª Ed.** Qualitymark, 2010

Liker, J. K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Bookman, 2005

Marocco, G. S. **A importância da manutenção produtiva total na melhoria contínua do processo: um estudo de caso**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013

Melo, L. **As 7 (sete) grandes perdas em um equipamento**. Disponível em: <<http://engenhariadamanutencao.blogspot.com.br/2011/04/as-7-sete-grandes-perdas-em-um.html>>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

Mirshawka, V. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991

Monchy, F. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. EBRAS/DURBAN – Brasil, 1989

Murça, V. A. de A. **Aplicação da filosofia Lean na área da manutenção – Trabalho final de mestrado para obtenção do grau de mestre em engenharia mecânica**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012

Nunes, I. L. **Implantação de técnicas de manutenção autônoma em uma célula de manufatura de um fabricante de máquinas agrícolas**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2016

Oldhamgas. O que é MTBF, 2017, Página eletrônica:
<<http://www.oldhamgas.com/pt-br/node/1424>>. Acesso em 06 de julho de 2017.

Opservices. MTTR e MTBF, o que são e quais suas diferenças?, Página eletrônica:
<<https://www.opservices.com.br/mttr-e-mtbf/>>. Acesso em 06 de julho de 2017.

Otani, M. **A proposta de desenvolvimento da gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista gestão industrial - UTFPR – Paraná, 2008

Petta, N. L. de./ Ojeda, A. B. **Coleção base : história : uma abordagem integrada : volume único / Nicolina Luíza de Petta, Eduardo Aparicio Baez Ojeda. – 1. Ed. – São Paulo : Moderna, 1999**

Piechnicki, A.S. **Metodologias para implantação e desenvolvimento de sistemas de gestão da manutenção: as melhores práticas**. Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011

Pinheiro, I. **Grande Revolução Industrial**, 2017. Disponível em:
<<http://pessoaldamanutencao.blogspot.com.br/2010/02/grande-revolucao-industrial.html>>. Acesso em 11 de maio de 2017.

Pinto, J.P. **TPM no Coração do Lean**, 2017. Disponível em:
<<http://www.lean.org.br/artigos/99/tpm-no-coracao-do-lean.aspx>>. Acesso em 29 de julho de 2017.

Revolução Industrial. Revolução Industrial, 2017, Página eletrônica:
<<http://revolucao-industrial.info/>>. Acesso em 11 de maio de 2017.

Ribeiro, H. F. **O que é TPM**, 2017. Disponível em
<<http://www.pdca.com.br/site/portal-tpm.html>>, acesso em 04 de julho de 2017.

Siqueira, I. P. de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005, 408p.

Takahashi, Y. **TPM/MPT: Manutenção Produtiva Total** / Yoshikazu Takahashi, Takashi Osada; Tradução Outras Palavras; supervisão Ciro Yoshinaga. São Paulo: Instituto IMAN, 1993

Tavares, L. **Administração Moderna de Manutenção**. Novo Pólo Editora – New York, 1998

Weber, A. J. **Curso Técnico Mecânico: Manutenção Industrial - 1ª. Ed.** – Senai CFF Alvimar Carneiro de Rezende – Cinco Contagem – Minas Gerais, 2008