

Eficiência Geral de Equipamento (OEE)
Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da
atividade produtiva.

Jonas de Souza

Dezembro/2017

Dissertação de Mestrado Profissional

FACULDADE CAMPO LIMPO PAULISTA – FACCAMP
PROGRAMA DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO

JONAS DE SOUZA

Eficiência Geral de Equipamento (OEE)

Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da atividade produtiva

Campo Limpo Paulista - SP

2017

JONAS DE SOUZA

Eficiência Geral de Equipamento (OEE)

Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da atividade produtiva.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Administração das Micro e Pequenas Empresas da Faculdade Campo Limpo Paulista para obtenção do título de Mestre em Administração, sob a orientação do Professor Doutor Manuel Meireles.

Linha de pesquisa: Gestão da Produção

Campo Limpo Paulista - SP

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

SOUZA, Jonas

EFICIÊNCIA GERAL DE EQUIPAMENTO (OEE): Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da atividade produtiva / Jonas de Souza; Campo Limpo Paulista-SP: FACCAMP, 2017 (Dissertação para obtenção do título de Mestre em Administração)

1. Gestão da Produção
2. Produtividade Industrial
3. OEE
4. Eficiência de produção

CDD: 658.5

PÁGINA DE APROVAÇÃO

FACCAMP

Eficiência Geral de Equipamento (OEE)

Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da atividade produtiva.

JONAS DE SOUZA

Data: 15 de dezembro de 2017

Professor Doutor José Celso Contador (UNIP)
Professor Doutor Wanderlei Lima de Paulo (FACCAMP);
Professor Doutor Manuel Meireles (Orientador, FACCAMP)

BANCA EXAMINADORA

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor **Manuel Meireles** pelo compartilhamento de pequena parte de seu enorme conhecimento, pela sua infindável paciência e pela atenção dispensadas.

Agradeço aos professores José Celso Contador e Wanderlei Lima de Paulo pelas sugestões na análise do Projeto de Pesquisa.

Agradeço também a minha família principalmente à minha esposa Liane que está sempre ao meu lado em todos os meus projetos impossíveis, como este de me tornar mestre. Aos meus filhos Thomas e Aline por me explicarem todo o significado da vida sem a necessidade de me dizerem nada e aos meus pais pela total e exclusiva dedicação à maravilhosa família que formaram com esforço inimaginável.

RESUMO

Objetivo: Este trabalho tem como objetivo investigar a associação da variável eficiência geral de equipamento (OEE), considerada aqui como o principal indicador de produtividade industrial, com outros indicadores de desempenho e de atividades industriais, a fim de entender quais fatores indiretamente relacionados à produtividade industrial podem afetá-la.

Método: A pesquisa é quantitativa. Os dados utilizados foram obtidos de 25 linhas de produção de indústrias brasileiras que possuíam os softwares e equipamentos de coletas de dados utilizados neste estudo entre os meses de janeiro e outubro de 2017. Os dados foram agrupados em 285 registros diários. As hipóteses foram testadas através da correlação linear para variáveis com distribuição normal e correlação de Spearman para as demais.

Implicações práticas: O trabalho chama a atenção para que as indústrias, de qualquer tamanho, possuam uma clara visão dos seus indicadores de produtividade industrial. O indicador de produtividade industrial deverá ser selecionado de acordo com a realidade da empresa, do processo produtivo e dos operadores, considerando e respeitando o atual nível de evolução de todos e com foco nos objetivos que se buscam atingir; deve ainda permitir uma justa comparação entre diferentes cenários, permitindo correta comparação da produtividade entre operadores, linhas de produção, turnos, líderes, produtos e períodos; e deve gerar uma informação confiável, com cálculo conhecido e aceito por todos e imune a ajustes que possam distorcê-lo.

Resultados: Foram detectadas associações da OEE com as variáveis Observações de falhas de segurança, *Process Capability*, Índice de rejeição, MTBF (*Mean time between failure*) e MTTR (*mean time to repair*). Os testes não apontaram associação da OEE com as variáveis Etiquetas de Manutenção Abertas, Perdas de Matérias-Primas e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento). Ao final do trabalho foi realizada uma correlação entre todas as variáveis onde foram encontradas novas associações.

Palavras-chave: Gestão da Produção; Produtividade Industrial; OEE; Eficiência de Produção

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to investigate the association of the general equipment efficiency variable (OEE), considered here as the main indicator of industrial productivity, with other indicators of performance and industrial activities, in order to understand what factors indirectly related to productivity can affect it.

Method: The research is quantitative. The data used were obtained from 25 production lines of Brazilian industries that had the software and data collection equipment used in this study between January and October 2017. Data were grouped in 285 daily records. The hypotheses were tested through linear correlation for variables with normal distribution and Spearman correlation for the others.

Practical implications: The work draws attention to the fact that industries, of any size, have a clear vision of their indicators of industrial productivity. The indicator of industrial productivity should be selected according to the reality of the company, the production process and the operators, considering and respecting the current level of evolution of all and focusing on the objectives that are sought to achieve; it should also allow a fair comparison between different scenarios, allowing a correct comparison of productivity between operators, production lines, shifts, leaders, products and periods; and must generate reliable information, with calculation known and accepted by all and immune to adjustments that may distort it.

Results: OEE associations were detected with the Observations of safety failures, Process Capability, Rejection Index, MTBF (mean time between failure) and MTTR (mean time to repair). The tests did not indicate the association of OEE with the variables Open Maintenance Labels, Raw Material Losses and TEEP (total effective productivity of the equipment). At the end of the study, a correlation was made between all variables where new associations were found.

Keywords: Production Management; Industrial Productivity; OEE; Efficiency of Production

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Divisão dos tempos no cálculo da OEE 13
- Figura 2 - Representação Geral das Perdas Temporais 14
- Figura 2. 1 - 16 grandes perdas de Kaizen 29
- Figura 2. 2 - Estrutura das 6 perdas de tempo observadas no indicador de OEE 30
- Figura 2. 3 - Estratégias a adotar para o aumento do OEE 31
- Figura 3. 1 - Processo de captura dos dados das linhas de produção 40
- Figura 3. 2 - Tela do software de apontamento de produção e cálculo da OEE 41
- Figura 3. 3 - Tela do software de registro de observações de segurança 42
- Figura 3. 4 - Tela do software de registro de etiquetas de manutenção 42
- Figura 4. 1 - Outliers tratados na variável OEE 45
- Figura 4. 2 - Teste de normalidade realizado na variável OEE 46
- Figura 4. 3- Associação entre OEE e Observações de segurança 47
- Figura 4. 4 - Associação entre OEE e Etiquetas Abertas 48
- Figura 4. 5 - Associação entre OEE e Perdas de Matéria Prima 49
- Figura 4. 6 - Associação entre OEE e Process Capability 50
- Figura 4. 7 - Associação entre OEE e Índice de Rejeição 51
- Figura 4. 8 - Associação entre OEE e MTBF 52
- Figura 4. 9 - Associação entre OEE e MTTR 53
- Figura 4. 10 - Associação entre OEE e TEEP 54
- Figura 5. 1- Análise comparativa de tendências entre OEE e PC 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1- Dados obtidos e cálculo dos indicadores 43

Tabela 4. 1 - Estatísticas descritivas da variável OEE 46

Tabela 4. 2 - Análise de regressão: Process Capability versus OEE 50

Tabela 4. 3 - Correlações entre as variáveis de estudo 55

Tabela 4. 4 - Associações muito significativas (nível de significância de 0.01) 55

Tabela 4. 5 - Associações significativas (nível de significância de 0.05) 56

Tabela 4. 6 - Associações não significativas (nível de significância de 0.05) 56

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
Capítulo 1 - DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS	16
1.1-1. Configuração do problema.....	16
1.2- Objetivos da pesquisa.....	16
1.2-1. Objetivo geral	16
1.2-2. Objetivos específicos	16
1.3- Aplicabilidade e utilidade da pesquisa	18
1.4- Relevância do tema	19
1.5- Contribuição científica da pesquisa.....	19
1.6- Contribuição gerencial da pesquisa.....	22
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1- Gestão da Produção.....	22
2.2- Manufatura enxuta ou lean manufacturing.....	24
2.3- Métodos de pesquisa na área de gestão de operações	25
2.4- Manutenção Produtiva Total (TPM)	25
2.5- Produtividade Industrial	27
2.5-1. OEE.....	29
2.5-2. Demais indicadores de produtividade industrial	33
2.6- Segurança Industrial.....	34
2.7- Manutenção Industrial.....	35
2.8- Refugos	36
CAPÍTULO 3 - MÉTODO	38
3.1- Justificativa do método e das técnicas a serem utilizadas	38
3.2- População e amostra.....	38
3.3- Operacionalização da pesquisa.....	39
3.4- Obtenção dos dados.....	39
3.5- Tabulação dos dados coletados	43
3.6- Delimitações da pesquisa	44
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS	45
4.1- Variável OEE	45
4.2- Testes das Hipóteses.....	47
4.3- Resultados das correlações	55
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.1- Testes das Hipóteses.....	57
5.2- Análise das correlações	61
5.3- Variável OEE e Recomendações	62
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

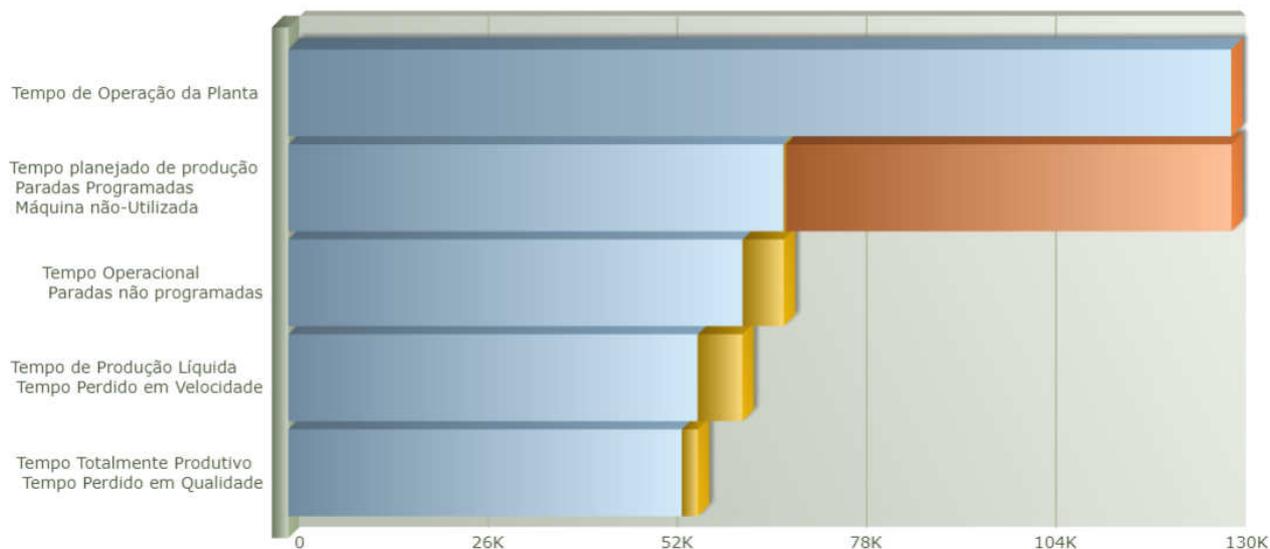
As informações obtidas a partir da avaliação de desempenho dos processos de produção e sistemas de fabricação levam os diretores e gerentes a tomar melhores decisões sobre como gerenciar seus sistemas de produção com mais eficiência e eficácia. Para isso, é necessário estabelecer métricas apropriadas para fins de mensuração (Nachiappan e Anantharam, 2006).

Duas das métricas de desempenho na fabricação mais importantes e utilizadas são produtividade e qualidade. A eficiência geral do equipamento (OEE) é uma métrica quantitativa que tem sido cada vez mais utilizada na indústria não apenas para controlar e monitorar a produtividade dos equipamentos de produção, mas também como um indicador e motor de melhoria de processos e desempenho. Nesse contexto, o OEE é capaz de medir o desempenho, identificar oportunidades de desenvolvimento e direcionar o foco de esforços de melhoria em áreas relacionadas à utilização de equipamentos ou processos (disponibilidade), taxa operacional (desempenho) e qualidade (Garza-Reyes et al., 2008)

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) foi apresentado pela primeira vez por Nakajima. Esta ferramenta tem um papel proeminente na maximização da eficiência dos equipamentos, pois, não só gera o resultado da eficiência como permite análises detalhadas a partir do seu cálculo. Desta forma, permite medir as melhorias implementadas com a metodologia manutenção produtiva total, analisando as reais condições da utilização dos ativos da organização, segundo Santos e Santos (2007).

A Figura 1 mostra a divisão dos tempos das linhas de produção, partindo do tempo de operação da planta até o tempo totalmente produtivo.

Figura 1 – Divisão dos tempos no cálculo da OEE



Nota. Fonte: Software utilizado para cálculo da OEE desenvolvido pelo Autor.

O tempo de Operação da planta também chamado de tempo total disponível ou tempo de calendário é formado pela soma de todos os minutos do período considerado.

A partir deste tempo são subtraídos os tempos de paradas programadas e o tempo de máquina não utilizada gerando o tempo planejado de produção, também chamado de tempo disponível para produção ou tempo de carregamento. A OEE é calculada a partir do tempo de planejado da produção.

O tempo operacional é calculado subtraindo-se as paradas não programadas do tempo planejado de produção.

Obtém-se o tempo de produção líquida subtraindo-se o tempo perdido em velocidade ao tempo operacional. Subtraindo-se o tempo perdido em velocidade obtêm-se o tempo totalmente produtivo.

Uma OEE de 100% significa que o tempo planejado de produção é igual ao tempo totalmente produtivo, sem as perdas de paradas não programadas, tempo perdido em velocidade e tempo perdido em qualidade.

A Figura 2 mostra um exemplo gráfico de OEE, relacionando tempo produtivo e perdas.

Figura 2 - Representação Geral das Perdas Temporais



Nota. Fonte: SANTOS et al., 2010

Apesar de sua importância, o OEE não é o único indicador de produtividade industrial. Muitas empresas utilizam outros índices como PC (*process capability*), índice de rejeição, MTBF (*Mean time between failure*), MTTR (*mean time to repair*) e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento).

No entanto, embora essas medidas sejam tradicionalmente aplicadas separadamente e com diferentes objetivos de medição, os esforços direcionados para melhorar, por exemplo, PC (*process capability*) podem ter um efeito direto sobre o OEE de uma máquina ou processo. Portanto, supõe-se que exista uma relação entre ambas as medidas de desempenho, segundo (Garza-Reyes et al., 2008).

Este trabalho tem por objetivo investigar essas relações, como se interagem e se afetam, e o possível efeito que essas relações podem ter na tomada de decisões. Para isso, esta pesquisa revisa brevemente os indicadores utilizados. Os dados da pesquisa são fornecidos através de um software e equipamento de coleta de dados, conectados às linhas de produção. Finalmente, as hipóteses foram

testadas através da correlação linear para variáveis com distribuição normal e correlação de Spearman para as demais.

Capítulo 1 - DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS

1.1-1. Configuração do problema

Para delimitar o tema definido, é importante a configuração do problema:

Campo da pesquisa: Gestão de Produção;

Tema: Indicadores de produtividade industrial;

Tópico: Eficiência Geral de Equipamento (OEE);

Problema: Qual a relação da OEE com outros principais indicadores de produtividade industrial comumente utilizados?

1.2- Objetivos da pesquisa

A eficiência geral do equipamento (OEE) e a capacidade do processo (PC) são comumente usadas e medidas bem aceitas de desempenho na indústria. Estas medidas, no entanto, são tradicionalmente aplicadas separadamente e com finalidades diferentes (Garza-Reyes et al., 2008). Além destes dois indicadores, a indústria utiliza outros indicadores de desempenho.

O objetivo deste trabalho é investigar a relação entre os principais indicadores de desempenho industriais, como eles interagem e se afetam, e o possível efeito que essa relação pode ter na tomada de decisões.

1.2-1. Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é associar a variável OEE a outros indicadores de atividade produtiva.

1.2-2. Objetivos específicos

- a) Conhecer como demais indicadores da produtividade industrial PC (*process capability*), índice de rejeição, MTBF (*Mean time between failure*), MTTR (*mean time to repair*) e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento) estão associados à OEE.

- b) Conhecer a associação entre indicadores de atividades industriais: observações de segurança, abertura de etiquetas de manutenção e perdas de matérias primas à OEE.
- c) Conhecer e analisar a associação entre todos os indicadores de atividades industriais utilizados neste trabalho.
- d) Analisar a eficácia de outros indicadores eventualmente utilizados para medir a produtividade industrial

1.4- Hipóteses testadas

Esta pesquisa testou as seguintes hipóteses:

Ha: Há uma associação significativa entre OEE e Observações-de-Segurança, ao nível de significância de 0.05.

Nota: As observações de segurança são registradas manualmente pelos funcionários das indústrias e detectam problemas de comportamentos ou condições inseguras que podem ocasionar acidentes.

Hb: Há uma associação significativa entre OEE e Etiquetas-abertas, ao nível de significância de 0.05.

Nota: As etiquetas de manutenção são solicitações de correções de quaisquer defeitos ou problemas encontrados nos equipamentos de produção.

Hc: Há uma associação significativa entre OEE e Perda-Matéria-Prima, ao nível de significância de 0.05.

Nota: As ordens de produção possuem quantidades padrão de utilização de cada uma de suas matérias primas, calculadas de acordo com a quantidade de produto acabado fabricado. Através da comparação destas quantidades padrão com a quantidade real consumida por ordem, obtêm-se a quantidade desperdiçada de matéria prima por ordem de produção.

Hd: Há uma associação significativa entre OEE e *Process Capability*, ao nível de significância de 0.05.

Nota: O *process capability* é um indicador de produtividade industrial e esta hipótese relacionará o PC (*process capability*) à OEE. Esta relação foi realizada em um artigo publicado em 2010 no *Journal of Quality & Reliability Management*, porém, através de dados simulados.

He: Há uma associação significativa entre OEE e Índice-Rejeição, ao nível de significância de 0.05.

Nota: O Índice-Rejeição considera a quantidade de produtos rejeitados por qualquer controle de qualidade automático ou manual dos equipamentos de produção.

Hf: Há uma associação significativa entre OEE e MTBF, ao nível de significância de 0.05.

Nota: Para um determinado sistema reparável o *Mean Time Between Failures*, MTBF, corresponde ao tempo médio entre o fim de uma reparação e o início da reparação seguinte. Este tempo indica quanto o equipamento de produção está permanecendo sem falhas, na média. Em alguns equipamentos, este indicador é considerado crucial devido à curva de aceleração do equipamento. Falhas de poucos segundos podem gerar uma grande quantidade de produtos não produzidos pelo tempo em que a máquina leva para retornar à sua velocidade máxima, após uma falha.

Hg: Há uma associação significativa entre OEE e MTTR (*mean time to repair*), ao nível de significância de 0.05.

Nota: O *Mean Time to Repair*, MTTR (*mean time to repair*), corresponde ao tempo médio para reparação, onde TTR (Time To Repair) corresponde ao tempo de reparação da falha do componente.

Hh: Há uma associação significativa entre OEE e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento), ao nível de significância de 0.05.

Nota: O TEEP ou *Total Effectiveness Equipment Performance* mede a efetividade total do equipamento em relação a cada minuto do relógio. Na TEEP o tempo de máquina não utilizada afeta o indicador, o que não ocorre na OEE.

1.3- Aplicabilidade e utilidade da pesquisa

A vivência de muitos anos nesta área mostra que muitas empresas e gestores utilizam indicadores inadequados para medir a produtividade industrial, problema geralmente associado a utilização de indicadores que consideram apenas um dos aspectos da perda de produtividade, que não ponderam diferentes cenários e que não permitem um detalhamento e investigação de onde a produtividade foi perdida. Estima-se, portanto, que o resultado desta pesquisa poderá levar indústrias a um melhor entendimento de alguns indicadores de produtividade industrial para que se aplique o adequado a cada situação e necessidade, buscando a melhoria contínua da performance e redução de custos de produção.

1.4- Relevância do tema

A preocupação por aumento da qualidade e redução dos custos é assunto constante na grande maioria de empresas de todos os ramos, inclusive nas grandes indústrias.

A melhoria da OEE reflete diretamente na redução do custo do produto acabado. Por exemplo, uma máquina que produza 100 unidades por minuto, com custo de matéria prima de R\$ 0,20 e custo do minuto da máquina de R\$ 5,00 obtém produtos a um custo de R\$ 0,43 quando trabalha a uma OEE de 40%. Já com uma OEE de 85% este custo do produto se reduz a R\$ 0,28, gerando uma economia mensal de R\$ 280 mil a cada milhão de itens produzidos.

A medição da OEE permite a visualização detalhada dos tempos e recursos perdidos no processo produtivo, comparando a produção real com a produção teórica ótima.

1.5- Contribuição científica da pesquisa

A Pesquisa realizada para o desenvolvimento deste trabalho encontrou alguns artigos objetivando a criação de outros indicadores derivados ou semelhantes ao OEE:

- Raouf (1994) propôs o Production Equipment Effectiveness (PEE) buscando medir o OEE de forma diferente conforme o tipo de produção: no caso de produção discreta, considera os mesmos três componentes do OEE (disponibilidade, desempenho e qualidade), mas no caso de processo contínuo inclui componentes adicionais para considerar outros tipos de perdas como falta de demanda.

- Ivancic (1998) propôs uma variante do OEE chamada de Total Equipment Effectiveness Performance (TEEP) que considera as paradas planejadas no cálculo do indicador.
- Chand e Shirvani (2000) propõem estender a aplicação do conceito de OEE para a avaliação de uma célula de produção/linha, considerando dados de saída de produtos conformes, tempo médio de ciclo e tempo de carregamento da célula/linha.
- Högfeltdt (2005) propôs a criação do Overall Factory Effectiveness (OFE) – ou Plant OEE - para levar a ideia da medição pelo OEE ao nível de toda uma fábrica.
- Nachiappan e Anantharaman (2006) propõem o cálculo do Overall Line Effectiveness (OLE), uma extensão do OEE para o cálculo do desempenho global da linha, que considera, além das 6 grandes perdas, as perdas relacionadas às paradas por manutenção planejada.
- Muthiah e Huang (2007) propõem uma variante do OFE chamada Overall Throughput Effectiveness (OTE), que considera a forma de conexão existente entre os equipamentos. Sugere que os subsistemas que constituem uma fábrica podem assumir quatro tipos básicos de configuração – equipamentos em série, em paralelo, montagem alimentada por múltiplos equipamentos e equipamento que fornece para vários outros –, sendo que no cálculo do OTE para cada tipo de subsistema é preciso observar como sua produção total é limitada pela capacidade dos recursos restritivos e ineficiências encontradas no percurso do fluxo produtivo.
- Braglia, Frosolini e Zammori (2009) apresentam o conceito de Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line (OEEML). Trata-se de uma variação do OEE que, além das perdas de disponibilidade e qualidade, considera as perdas decorrentes de problemas de alimentação de matéria-prima na linha, as ineficiências do gargalo e as paradas planejadas de manutenção.
- Braglia, Frosolini e Zammori (2009) também definiram o Total Overall Equipment Effectiveness (TOEE) como um indicador que considera o efeito das paradas denominadas de perdas independentes do equipamento, tais como perdas por falta de operador, por falta de suprimento, e pela realização do controle de qualidade, que não dependem das condições de funcionamento do equipamento em si.

Outros trabalhos descreveram a implantação e utilização do OEE em estudos de caso:

- DORNELES, J.V. & SELLITO, M.A. (2015) descreveram a implantação do Indicador de Eficácia Global dos Equipamentos (Overall Equipment Effectiveness – OEE) na unidade de fundição de uma empresa da indústria mecânica através de um estudo de caso.
- ZATTAR, I; RUDEK, S; TURQUINO, G.S. (2010) realizaram um estudo de caso avaliando o uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica.
- SERRA, N. R. C, et al. (2010) utilizaram o OEE como ferramenta na análise do desempenho dos processos e na melhoria contínua da produção em uma empresa de condutores elétricos de alumínio.
- MACEDO, D. F, et al. (2015) buscaram propor ações de melhorias baseadas na análise dos valores do OEE obtidos após a implantação do indicador, em uma empresa do setor de vestuário de Franca/SP.

Em apenas um trabalho obtido buscou-se a relação da OEE com outro índice de produtividade industrial (Garza-Reyes et al., 2008). O artigo relacionou a OEE com o *Process Capability* porém utilizando dados simulados.

A partir desta pesquisa encontrou-se então uma lacuna científica no relacionamento do OEE com demais indicadores de atividades industriais e utilizando dados reais de produção.

Espera-se, com a pesquisa, gerar as seguintes contribuições científicas ao tema:

- Buscar a compreensão de quais indicadores não diretamente relacionados ao cálculo do OEE podem afetar a produtividade industrial, sendo estes indicadores de produtividade ou de outras atividades industriais como manutenções e segurança, utilizando dados reais de produção.
- Constatar a existência de relações significativas entre a OEE e outros índices de produtividade industrial.
- Constatar se há diferença significativa de produtividade em situações onde são constatadas falhas de segurança, abertura de etiquetas de manutenção ou perdas de matérias primas.

1.6- Contribuição gerencial da pesquisa

Muitas grandes indústrias ainda utilizam indicadores de produtividade industrial já inaceitáveis academicamente como quantidade produzida ou quantidade de rejeitos gerados, desconsiderando fatores como o diferente grau de dificuldade para produzir diferentes produtos, falta de demanda e diferença de performance entre máquinas e operadores.

Este trabalho busca utilizar dados reais de produção para mostrar a importância de se utilizar um indicador mais completo e ponderado como o OEE para medição da produtividade industrial, considerando que este indicador permite a visualização das fontes das perdas de tempo em cada processo produtivo e se adapta a grande maioria de processos, podendo ser utilizado como o principal indicador de produtividade industrial.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Gestão da Produção

A Gestão da Produção, de acordo com Moreira (2011) diz respeito àquelas atividades orientadas para a produção de um bem físico ou à prestação de um serviço. A administração da produção e operações é o campo de estudo dos conceitos e técnicas aplicáveis à tomada de decisões na função de produção (empresas industriais) ou técnicas (empresas de serviços).

Para Slack (2008), o gerenciamento de operações e processos é a atividade de gerenciar os recursos e processos que produzem produtos e serviços.

Segundo Meireles (2005), a Engenharia de Produção sob o comando da Gestão da Produção trata do planejamento de sistemas integrados de pessoas, materiais, equipamentos e energia da função Produção, com vistas a conquistar, manter ou ampliar a vantagem competitiva, isto é: qualquer característica do produto ou serviço da empresa que os clientes reconhecem como um diferenciador positivo em relação a outros produtos ou serviços e por isso, são atraídos para a compra.

Desta forma pode-se afirmar que cabe à Gestão da Produção o planejamento de sistemas integrados de pessoas, materiais, equipamentos e energia da função Produção, com vistas a

conquistar, manter ou ampliar vantagem competitiva, por meio de método procedimental predominantemente matemático-computacional-estatístico.

Quando são bem gerenciados, os processos e as operações podem contribuir para o impacto estratégico do negócio de quatro formas: custo, receita, investimento e capacidade, segundo Slack (2008).

Sobre os fatores que afetam a competitividade de empresas de manufatura, Fleischer, Weismann e Niggenschmidt (2006) afirmam que ela depende da disponibilidade e produtividade de seus recursos de produção.

A necessidade de priorizar a racionalização do uso de um recurso ou outro depende do tipo de processo e produto que a empresa oferece ao mercado: empresas mais intensivas em mão de obra precisam investir mais na capacitação e motivação dos recursos humanos; empresas de produção em massa precisam buscar elevada eficiência na utilização de equipamentos e recursos humanos, bem como no consumo de insumos materiais; já as empresas de processo contínuo precisam assegurar fluxo altamente previsível por meio de tecnologias intensivas em capital, segundo SLACK et al. (2002).

Segundo Costa (2013), os sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenham um importante papel na busca contínua da melhoria no uso dos recursos de produção.

De acordo com Rocha (1995), a função do Planejamento e Controle da Produção (PCP) tem como objetivo responder algumas perguntas a respeito da produção:

- O que produzir (determinando o produto a ser feito);
- Quanto produzir (quantificando a produção);
- Com que produzir (definindo o material a ser usado);
- Como produzir (determinando o processo ou o modo de fazer);
- Onde produzir (especificando equipamentos);
- Com quem produzir (quantificando a mão de obra);

- Quando produzir (estipulando prazo de execução).

Slack, Chambers e Johnston (2002) afirmam que mesmo após feito o planejamento e o controle da produção, deve-se buscar o aprimoramento de seus processos, pois todas operações podem ser melhoradas. Para isso é necessário criar medidas de desempenho para todas as operações produtivas, o que tornará mais evidente aonde se pode melhorar.

2.2- Manufatura enxuta ou *lean manufacturing*

Segundo Proença (2011), a expressão Manufatura Enxuta (ME), originalmente *lean manufacturing*, foi criada após uma pesquisa de *benchmarking* em empresas do ramo automobilístico, para denominar aquelas que, no desempenho de suas atividades, procuravam sempre “fazer cada vez mais com cada vez menos”. Esta pesquisa, realizada pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), resultou, em 1992, no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK; JONES; ROOS, 1992), que relata as práticas encontradas nas organizações de origem japonesa que vinham apresentando um desempenho superior no mercado mundial. A este conjunto de práticas os autores chamaram Manufatura Enxuta e às empresas que as aplicavam, empresas enxutas.

De acordo com Proença (2011), a Manufatura Enxuta tem como base a redução dos desperdícios existentes no fluxo de materiais e informações com base em melhorias. Os princípios da Manufatura Enxuta permitem aos sistemas produtivos a possibilidade concreta de uma maior eficiência a custos mais baixos, impactando também em flexibilidade, agilidade e qualidade de produtos e processos, desde o desenvolvimento dos produtos até a entrega para o cliente.

Womack, Jones e Roos (1992) elencaram cinco princípios que, segundo eles, servem como um guia confiável para implantar a Manufatura Enxuta. São eles:

- Valor: a partir da ótica do cliente. Por que o cliente está disposto a pagar? A resposta a esta pergunta pode ser: prazos de entrega menores, menores preços, etc;
- Identificar o fluxo de valor: consiste em identificar o que agrega valor, o que não agrega, porém, é necessário identificar o que não agrega valor ao cliente e pode ser eliminado imediatamente;

- Fazer o valor fluir: consiste em dar fluxo às atividades que restaram, reorganizar as atividades de forma que elas aconteçam sem interrupções;
- Puxar a produção: significa fazer de acordo com a demanda do cliente;
- Buscar a perfeição: significa melhorar sempre.

Segundo Piatkowski (2004), “fluxo contínuo é onde todo o conhecimento sobre as ferramentas, os processos e metodologia enxuta são colocados em prática para redução de custos e melhorias em qualidade, eficiência e desempenho”. A ideia básica da manufatura enxuta é a manufatura em fluxo contínuo através da produção no momento exato, passando peça por peça entre os processos ou em pequenos lotes, obtendo-se, como resultado, o aumento da produtividade e a redução de custos, segundo Mondem (1984).

2.3- Métodos de pesquisa na área de gestão de operações

Em extensiva pesquisa sobre métodos de pesquisa adotados no âmbito dos principais periódicos internacionais da área de gestão de operações, Craighead e Meredith (2008) apontam como resultado:

- A predominância do paradigma positivista / empirista;
- A estabilização da pesquisa envolvendo modelagem / simulação;
- Crescimento das pesquisas de cunho interpretativista.

No Brasil, em análise nos anais do ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), pode-se verificar (Nakano, 2010):

- Predominância dos estudos de caso;
- Predominância dos estudos empíricos;
- Reduzida participação relativa das *surveys*; e
- Pouca aplicação da modelagem e da simulação computacional.

2.4- Manutenção Produtiva Total (TPM)

A Manutenção Produtiva Total – MTP (do inglês *Total Productive Maintenance* – TPM) é uma metodologia que tem como objetivo implementar um senso de união e responsabilidade entre os supervisores, operadores e técnicos de manutenção. A ideia é não se limitar a simplesmente manter o equipamento funcionando, mas também estender e otimizar o seu desempenho global, segundo Souza (2008).

Para Liker (2005), a principal ideia da manutenção produtiva total é fazer com que a produção e a manutenção trabalhem conjuntamente, com troca de conhecimentos e com ações específicas. A manutenção produtiva total, ao longo da sua utilização, moldou-se às novas atribuições e designações impostas pelas necessidades do mercado, pela busca do avanço na automação industrial, melhoria da qualidade, maior competitividade e maior consciência quanto à preservação ambiental e conservação de energia. Nesse sentido, ao seu enfoque tradicional se incorporou o conceito que atualmente é utilizado e que representa as necessidades atuais, podendo, então, ser definida como a Manutenção da Produtividade Total, o que amplia a sua atenção, antes exclusiva da divisão de manutenção, para os demais setores da empresa, segundo Gouws e Gouws (1997).

Conforme afirma Moubray (1997), uma das alternativas para se minimizar os desperdícios associados com paradas e quebras de equipamento é a implementação da Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* - TPM), um modelo de gestão do trabalho dependente do envolvimento de toda a empresa e que possibilita melhorias significativas de produtividade e qualidade na manufatura.

Para Takahashi e Osada (1995), a manutenção produtiva total objetiva aumentar a produtividade do equipamento existente, em geral sem a necessidade de investimentos adicionais e tendo como resultado uma melhor utilização dos equipamentos, alta qualidade dos produtos e redução dos custos de mão de obra aumentando a disponibilidade do equipamento, reduzindo conseqüentemente as grandes perdas mencionadas.

De acordo com Lima (2014), a manutenção produtiva total baseia-se na eliminação de todo o tipo de desperdício que ocorre durante os processos produtivos. Tendo o conhecimento que os problemas nos processos e nos equipamentos são a causa da maior parte das anomalias não expectáveis, é necessário, além de adquirir equipamento sem falhas, ter um plano de manutenção que englobe a monitorização e a melhoria da estrutura da organização. Desta forma, consegue-se

eliminar as perdas e melhorar a relação do operador com o equipamento, dando-lhe formação, enquanto tudo isto é conseguido sem diminuir a qualidade do produto nem aumentando os tempos de entrega dos mesmos. A manutenção produtiva total foca assim a manutenção como parte integrante do negócio e tem como pilar fundamental da sua ideologia o Kobetsu Kaizen.

A implementação da manutenção produtiva total tem como objetivo o engajamento de todos os funcionários da empresa, sendo fundamental reduzir a resistência por parte da produção, segundo Nakajima (1989).

O autor define cinco pilares como fundamentais nesse processo:

- Aumento do rendimento do equipamento;
- Treinamento operacional;
- Manutenção autônoma;
- Manutenção preventiva planejada;
- Gerenciamento do equipamento.

O programa é implementado em quatro fases (preparação, introdução, implantação e consolidação) que podem desdobrar em 12 etapas, cada etapa deve ser realizada de forma clara e concisa para proporcionar uma implementação total do programa, segundo Suzuki (1993).

Conforme Nakajima (1989), a implementação do programa de manutenção produtiva total em uma empresa é uma tarefa complexa por envolver vários departamentos num mesmo projeto além de provocar uma mudança na cultura interna. Além disso, a implementação da manutenção produtiva total traz vantagens para os funcionários oferecendo treinamentos, valorizando suas opiniões e conhecimento, aumentando a vida útil dos equipamentos, ocorrendo por meio da manutenção preventiva contribuindo para um melhor gerenciamento da empresa.

2.5- Produtividade Industrial

Segundo Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade.

Para Mueller et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, sendo que um bom indicador deve conter os seguintes atributos: simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado.

De acordo com Tangen (2002), de um modo geral e para efeito deste trabalho, a produtividade é, em engenharia industrial, definida como a relação, medida em porcentagem, de saída (isto é, as mercadorias produzidas) para a entrada (isto é, recursos consumidos) no processo de transformação industrial.

A produtividade é, portanto, por um lado, intimamente ligado ao uso e disponibilidade de recursos. Isto significa que a produtividade é reduzida se os recursos de uma empresa não são utilizados de forma adequada ou se existe uma ausência deles. Por outro lado, a produtividade está fortemente ligada à criação de valor. Assim, a alta produtividade é alcançada quando as atividades e recursos no processo de transformação de fabricação agregar valor aos produtos produzidos.

Para Ljungberg (1998), houve uma gradual evolução na forma de avaliação das perdas que impactam na disponibilidade dos equipamentos. Disponibilidade refere-se a porcentagem de tempo em que o equipamento está sem quebras não programadas, ou seja, disponível. Na década de 1970, a ênfase incidia na avaliação das perdas de produção dos ativos fixos, que eram divididas em falhas mecânicas, elétricas, eletrônicas e hidráulicas. Já na década de 1980, procurou-se avaliar os obstáculos para produção classificando-os como causas técnicas e causas organizacionais. Na década de 1990, acentuou-se a preocupação em medir as perdas por paradas classificando-as como planejadas ou não planejadas.

Eficácia é geralmente descrito como “fazer as coisas certas”, enquanto os meios de eficiência “fazer as coisas direito”, de acordo com Sink e Tuttle (1989). A eficiência de produção pode ser vista como o nível mínimo de recursos que é teoricamente necessário para executar as operações desejadas num determinado sistema, em comparação com a quantidade de recursos que são realmente utilizados. O índice de eficiência é bastante simples de medir, se ele está baseado em tempo, dinheiro ou outro.

Segundo Nakajima (1989), a produtividade e eficiência industrial são afetadas por 16 grandes perdas. A Figura 2.1 exhibe as 16 grandes perdas de Kaizen e em que categoria cada uma se enquadra.

Figura 2. 1 - 16 grandes perdas de Kaizen

Perda	Categoria
1. Perda por falha / Perda por Avaria 2. Perda durante o Setup / Ajustamento 3. Perda durante o Arranque 4. Perda por pequenas paragens ou inatividade 5. Perda de velocidade 6. Perda por defeitos ou "retrabalho" 7. Perda por Downtime Planejado 8. Perda por mudança de ferramenta	Perdas que impedem a eficiência dos equipamentos
9. Perda por falta de gestão 10. Perda de movimento durante as operações 11. Perda de organização das linhas 12. Perda de logística 13. Perda de medição e ajustamento	Perdas que impedem a eficiência do trabalho das pessoas
14. Perda energética 15. Perda de consumíveis 16. Perda de rendimento (perdas relacionadas ao trabalho da máquina em velocidades inferiores ao padrão)	Perdas que impedem o uso eficaz dos recursos de produção

Nota. Fonte: Nakajima (1989)

De acordo com Lima (2014), "Kai" significa em japonês mudança e que "Zen" significa bom, o objetivo desta linha de pensamento na manutenção produtiva total é executar pequenas melhorias continuamente ao invés de revolucionar toda uma organização de forma violenta. Kaizen não envolve grandes custos e está intimamente ligado aos pilares de educação e treino, manutenção contínua, manutenção planejada e outros pilares da manutenção produtiva total.

2.5-1. OEE

O advento da filosofia de manutenção produtiva total (TPM) sob os auspícios do *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) trouxe a noção de que é necessário desenvolver uma visão mais holística do sistema de manufatura e que para isso é fundamental estabelecer uma forma mais abrangente de medir o aproveitamento da capacidade produtiva. O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) que mede a utilização efetiva da capacidade dos equipamentos foi então proposto como um indicador que cumpre essa função de controle gerencial segundo Nakajima (1989) e Ljungberg (1998).

Segundo Nakajima (1989), o cálculo do OEE é realizado pela identificação de 6 tipos básicos de perdas, que são agrupados nas seguintes 3 classes, conforme ilustra a Figura 2.1.

A. Perdas de disponibilidade

A1. Paradas devido à falha de equipamento;

A2. Paradas para setup ou ajustes.

B. Perdas de desempenho

B1. Pequenas paradas ou interrupções devido ao mau funcionamento do equipamento;

B2. Redução da velocidade do equipamento devido a alguma anomalia que o faça operar com tempo de ciclo maior que o tempo padronizado.

C. Defeitos e perdas de qualidade

C1. Produção defeituosa ou retrabalho;

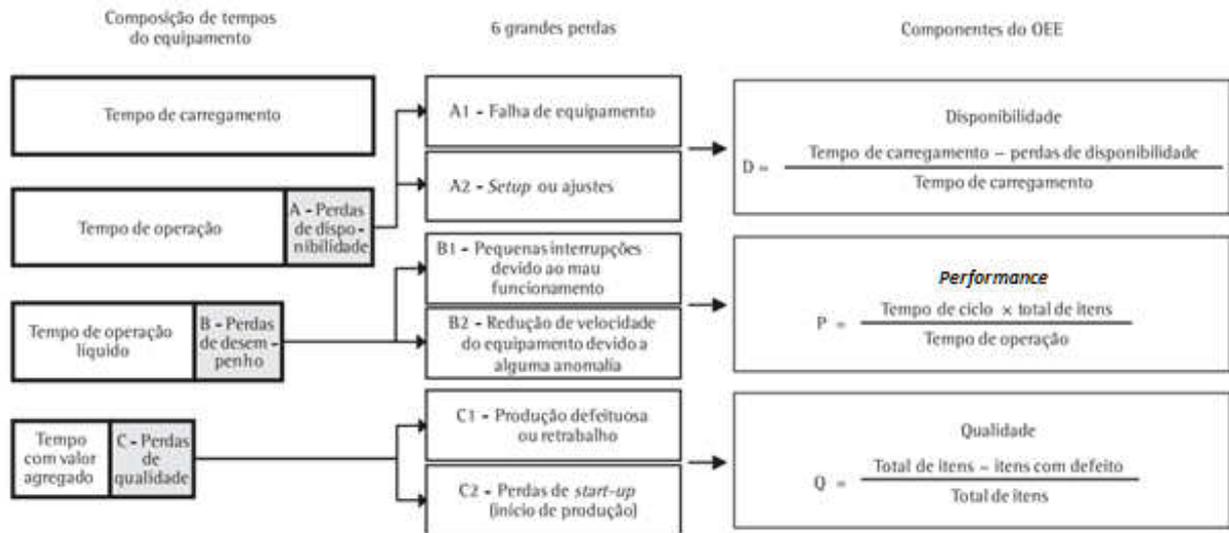
C2. Perdas de *start-up* ou perdas ocasionadas no início da produção devido aos ajustes para estabilização do equipamento.

O OEE pode ser entendido como uma relação entre o tempo em que houve agregação de valor ao produto e o tempo de carregamento de máquina, ou seja, descontando-se as perdas de disponibilidade (A), perdas de desempenho (B) e perdas de qualidade (C).

Uma outra forma de calcular o OEE é obtendo-o através das variáveis Disponibilidade, Performance e Qualidade, conforme mostrado na figura 1.1:

A figura 2.2 mostra o cálculo do OEE.

Figura 2. 2 - Estrutura das 6 perdas de tempo observadas no indicador de OEE



Nota. Fonte: Nachiappa, Anantharaman (2006), Braglia, Frosolini, Zammori (2009)

A Equação 1 considera as definições dadas à direita na Figura 2.2 para os componentes referentes à disponibilidade (D), performance (P) e qualidade (Q).

$$(1) OEE = D \times P \times Q$$

O OEE também pode ser calculado pela razão entre o total de produtos bons, ou seja, itens produzidos sem defeitos e o tempo de carregamento (tempo em que a máquina foi utilizada para a produção) multiplicado pela capacidade de produção técnica por hora (tempo de ciclo ou cadência máxima), conforme a Equação 2, segundo Kwon e Lee (2004).

$$(2) OEE = \frac{\text{Total de Produtos Bons}}{\text{Tempo de Carregamento} \times \text{Capacidade de Produção Teórica por Hora}}$$

Sendo a melhoria do OEE um processo contínuo, significa que está frequentemente enquadrado em programas de manutenção preventiva. Assim, é necessário definir estratégias com o intuito de eliminar as perdas associadas a cada uma das componentes, adotando estratégias de prevenção, segundo Silva (2009) como mostra a Figura 2.3.

Figura 2.3 - Estratégias a adotar para o aumento do OEE

Perdas	Estratégias de eliminação	Estratégias de prevenção
1 - Falha/avaria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparação rápida e eficaz. ▪ Detectar e corrigir as causas das avarias. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção preventiva. ▪ Manutenção centrada na fiabilidade (RCM).
2 – Setups e afinações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzir tempo de mudança. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conceber ou alterar equipamentos.
3 - Pequenas paragens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminação das pequenas paragens. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção centrada na fiabilidade (RCM). ▪ Automação. ▪ Autonomia. ▪ Modificar equipamentos para alimentação contínua.
4 - Redução de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Balanceamento das linhas de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Engenharia da fiabilidade
5 – Defeitos de qualidade e retrabalho	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detectar e corrigir as causas dos problemas de qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manutenção da Qualidade. ▪ Acções Preventivas. ▪ Autonomia.
6 - Perdas de arranque	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detectar e corrigir as causas das perdas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudar e implementar as condições ideais de arranque. ▪ Modificar equipamentos e ferramentas.

Nota. Fonte: Adaptado de Silva (2009)

O indicador do OEE tem sido amplamente utilizado nas indústrias de manufatura no diagnóstico de seu sistema produtivo e direcionamento das ações de melhoria contínua, notadamente nas organizações que utilizam modelos gerenciais como *Total Quality Management* (TQM), *World Class Manufacturing* (WCM), Seis Sigma e Produção Enxuta, além da própria manutenção produtiva total (Bohoris et al., 1995; Tsarouhas, 2007; Wee & Wu, 2009; Gibbons & Burgess, 2010).

A utilização do OEE apresenta os seguintes benefícios:

- Possibilita a análise de problemas de produção ou manutenção e consequente atuação na causa raiz, segundo Jeong & Phillips (2001);
- Possibilita a identificação de máquinas que devem ser foco de atividades de gestão da manutenção, segundo Bamber et al. (2003);
- Permite comparação interna entre as máquinas de uma mesma planta segundo Bamber et al. (2003);
- Registros de paradas para identificação das perdas permitem a complementação dos planos de manutenção já existentes, segundo Chand e Shirvani (2000).

No entanto, alguns autores notaram limitações na utilização do OEE, abaixo listadas:

- Quando aplicado a um escopo maior que uma única máquina (linha de produção ou planta), não direciona adequadamente as ações para melhoria contínua, segundo Braglia, Frosolini e Zammori (2009);
- Não fornece visão sistêmica das perdas do negócio, pois não considera interações além do equipamento, segundo Jonsson e Lesshammar (1999);
- A utilização somente do OEE pode definir responsabilidades para a área de produção que não necessariamente são da mesma, segundo Ljungberg (1998);
- Dificuldade de reconhecer outras perdas com base na taxonomia das seis grandes perdas do OEE, segundo Jeong e Phillips (2001).

2.5-2. Demais indicadores de produtividade industrial

Esta seção busca comentar sobre os indicadores alternativos ao OEE como ferramenta de gestão de empresas de manufaturas.

Braglia, Frosolini e Zammori (2009) apresentam o conceito de *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* (OEEML). Trata-se de uma variação do OEE que, além das perdas de disponibilidade e qualidade, considera as perdas decorrentes de problemas de alimentação de matéria-prima na linha, as ineficiências do gargalo e as paradas planejadas de manutenção.

Chand e Shirvani (2000) propõem estender a aplicação do conceito de OEE para a avaliação de uma célula de produção/linha, considerando dados de saída de produtos conformes, tempo médio de ciclo e tempo de carregamento da célula/linha seguindo a lógica da Equação 2.

Nachiappan e Anantharaman (2006) propõem o cálculo do *Overall Line Effectiveness* (OLE), uma extensão do OEE para o cálculo do desempenho global da linha, que considera, além das 6 grandes perdas, as perdas relacionadas às paradas por manutenção planejada.

Um dos indicadores alternativos ao OEE é o *Process capability* (PC), definido por Wetherill e Brown (1991) como a capacidade inerente de um processo para produzir peças semelhantes durante um período sustentado de tempo sob um determinado conjunto de condições. Avaliação da capacidade de um processo é importante uma vez que permite quantificar o quão bem um processo pode produzir produtos aceitáveis. Como resultado, os gerentes e engenheiros podem priorizar

melhorias de processos necessários e identificar os processos que não necessitam de atenção imediata

A avaliação do PC (*process capability*) é realizada através de uma estrutura chamada de análise de capacidade do processo (PCA). PCA é definida por Deleryd (1999) como um método de melhoria em que uma característica do produto é medida e analisada a fim de determinar a capacidade do processo para satisfazer as especificações para a característica estudada.

$$(3) PC = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Na equação 3, USL é o limite superior da especificação, LSL o limite de especificação inferior e σ indica o desvio padrão estimado da característica estudada.

Quanto maior for o índice, é menor a probabilidade de a característica de qualidade medida estar fora das especificações, o que indica que menos produtos defeituosos estão sendo produzidos.

Outro indicador alternativo ao OEE é o TEEP também chamado de IROG (Índice de Rendimento Operacional Global). Conforme Nakajima (1988), o IROG assume o conceito de Produtividade Efetiva Total do Equipamento (TEEP - *Total Effective Equipment Productivity*) e deve ser aplicado quando o recurso for considerado crítico. Nestes casos o tempo total é igual ao tempo calendário disponível para produção, ou seja, neste recurso não deve haver paradas programadas. A TEEP indica a produtividade real do sistema no gargalo.

De acordo com Antunes (2007) o TEEP é encontrado pela equação 4:

$$(4) TEEP = \frac{\sum_{i=1}^n tp_i * q_i}{T}$$

Onde: tp = tempo de ciclo ou tempo padrão de um produto x;

q = quantidade produzida;

T = tempo total

2.6- Segurança Industrial

Considerando que este trabalho buscará também relacionar a eficiência industrial à segurança no ambiente de trabalho, esta seção torna-se necessária.

Cruz e Oliveira (1997), afirmam que somente ver as normas de segurança como uma imposição legal acarreta em prejuízos à efetividade dos programas de melhoria, tanto da própria segurança como da qualidade e produtividade na construção civil. O reconhecimento de que as falhas ligadas à segurança têm sua origem na má administração é um bom começo para uma abordagem mais realista do problema. Nesse sentido, ressalta-se a importância de um sistema de gestão de segurança para gerenciar os riscos ocupacionais.

A compreensão de que a gestão da segurança é uma atividade coletiva e que, desta forma, deve ser exercida e realizada, é o passo inicial para que a implementação desse projeto alcance o sucesso esperado. A conscientização e a capacitação dos indivíduos, para que possam reconhecer as possibilidades de riscos, propiciarão as condições mínimas necessárias para que possam colaborar ativamente na condução do gerenciamento do ambiente em que estão inseridos como trabalhadores, segundo Barbosa Filho (2011).

2.7- Manutenção Industrial

Esta seção torna-se necessária pelo fato deste trabalho buscar o relacionamento entre a eficiência industrial e indicadores de manutenção.

Manutenção preventiva consiste nas tarefas de manutenção realizadas em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios estabelecidos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um determinado componente, segundo EN 13306 (2010).

Na manutenção, os indicadores de desempenho são utilizados de forma ser possível analisar e compreender o ritmo a que ocorrem as falhas, os tempos de reparação, a disponibilidade dos equipamentos, bem como o sucesso da política de manutenção da empresa, segundo Cabral (2006).

Segundo Cabral (2006), os indicadores da gestão da manutenção mais conhecidos são o MTBF (*Mean time between failure*), o MTTR (*mean time to repair*), a manutibilidade e a disponibilidade do equipamento.

Segundo Bormio (2000), quando iniciam-se as atividades de manutenção produtiva total em um equipamento, os defeitos encontrados pelos operadores deverão ser registrados. O registro é realizado através da criação de uma etiqueta fixada no próprio local. Estas etiquetas são geralmente divididas em duas classes e identificadas por cores diferentes:

- Etiquetas vermelhas: defeitos encontrados pelo operador e que ele não tem condições para solucionar;
- Etiquetas azuis: defeitos encontrados pelo operador e por ele solucionados.

Para um determinado sistema reparável o *Mean Time Between Failures*, MTBF, corresponde ao tempo que decorre entre o fim de uma reparação e o início da reparação seguinte.

O indicador MTBF (Mean time between failure) pode ser obtido através da equação 5, segundo Dias (2002):

$$(5) \quad MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{n_f}$$

Em que T corresponde ao tempo total de duração da produção e n_f ao número de falhas. É de referir que a taxa de falhas, λ , é descrita pela expressão seguinte, segundo Birolini (2010):

$$\lambda = \frac{n_f}{T}$$

O *Mean Time to Repair*, MTTR, corresponde ao tempo médio para reparação, onde TTR (*Time To Repair*) corresponde ao tempo de reparação da falha do componente.

O *Mean Time to Repair*, MTTR é assim definido pela equação 6, segundo Dias (2002):

$$(6) \quad MTTR = \frac{\sum TTR}{n_f}$$

2.8- Refugos

Segundo Ferreira (2007), refugo é produção que não satisfaz aos padrões dimensionais ou de qualidade e, portanto, é refugado e vendido por um valor inferior ao do produto que atenda as especificações.

De acordo com Ferreira (2007), unidades defeituosas é a produção que não satisfaz os padrões dimensionais ou de qualidade e é subsequentemente reusinada e vendida através dos canais normais como mercadoria de primeira ou de segunda, dependendo das características do produto e das alternativas disponíveis. Normalmente estes produtos são vendidos no mercado como “pontas de estoque”.

É importante observar que mesmo quando os recursos de produção estão disponíveis, a sua utilização pode ocorrer de forma ineficiente. Nesse sentido, Staudt, Coelho e Gonçalves (2011) colocam que a geração de refugos e a necessidade de retrabalhos são desprezadas por muitas empresas na análise de sua capacidade, mas que no planejamento da capacidade real necessária para se atender a demanda é fundamental considerar que elas também consomem tempo de recursos produtivos.

CAPÍTULO 3 - MÉTODO

Neste capítulo é abordada a metodologia utilizada na pesquisa. Na seção 3.1 é realizada a justificativa do método e das técnicas utilizadas e na seguinte são discutidos os universos populacional e amostral.

No subcapítulo 3.5 é apresentada a forma de como a pesquisa foi operacionalizada e no subcapítulo seguinte é descrito o processo de obtenção dos dados. O subcapítulo 3.5 mostra a tabulação dos dados e o subcapítulo 3.6 apresenta as limitações da pesquisa.

3.1- Justificativa do método e das técnicas a serem utilizadas

A presente pesquisa lida com dados com registros de produção e atividades industriais. Tais dados referem-se aos tempos de operação das linhas de produção, quantidade e tempos de paradas de produção, tempos de máquinas não utilizadas, tempos planejados de produção, cadências máximas por ordem de produção, observações de segurança realizadas, etiquetas de manutenção registradas e perdas de matérias primas. Tais dados basicamente permitem o cálculo da OEE e a obtenção dos demais indicadores necessários a análise das hipóteses propostas.

Alguns dos dados utilizados foram coletados automaticamente por meio de software e coletores de dados conectados a equipamentos de produção e outros foram registrados manualmente por operadores. Os dados foram analisados por meio de técnicas estatísticas paramétricas e não paramétricas de acordo com a distribuição normal das amostras. Pereira (1999, p.44);

3.2- População e amostra

O universo populacional é composto por indústrias brasileiras que possuíam os softwares de coletas de dados utilizados neste estudo entre os meses de janeiro e outubro de 2017. Realizou-se a coleta de dados em 25 linhas de produção. Agrupando-se os dados por dia foram obtidos 285 registros com uma soma total de 5.603.545 minutos de tempo de carregamento, 49.424 paradas de produção, 2.029.950.472 de itens bons produzidos, 1.855 observações de segurança e 21.607 etiquetas de manutenção.

3.3- Operacionalização da pesquisa

Anteriormente à pesquisa, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Preparação do software e equipamentos para coleta, registro e análise dos dados em questão. O software e equipamento já estavam previamente desenvolvidos e vêm sendo utilizado comercialmente a vários anos por várias empresas;
2. Seleção de indústrias com disponibilidade e capacidade técnica e organizacional em utilizar os softwares necessários a coleta dos dados relacionados a produção, segurança e manutenção;
3. Implantação do software e demais equipamentos nas empresas selecionadas;
4. Treinamento dos operadores e líderes para correta utilização do software;
5. Fornecimento de suporte à utilização do software;

A pesquisa foi operacionalizada seguindo as etapas abaixo:

1. Realização do acompanhamento e validação dos dados registrados;
2. Agrupamento dos dados das diferentes empresas e linhas de produção em uma única base de dados;
3. Teste das hipóteses;
4. Extração das conclusões e realização das inferências;
5. Redação do Relatório Final.

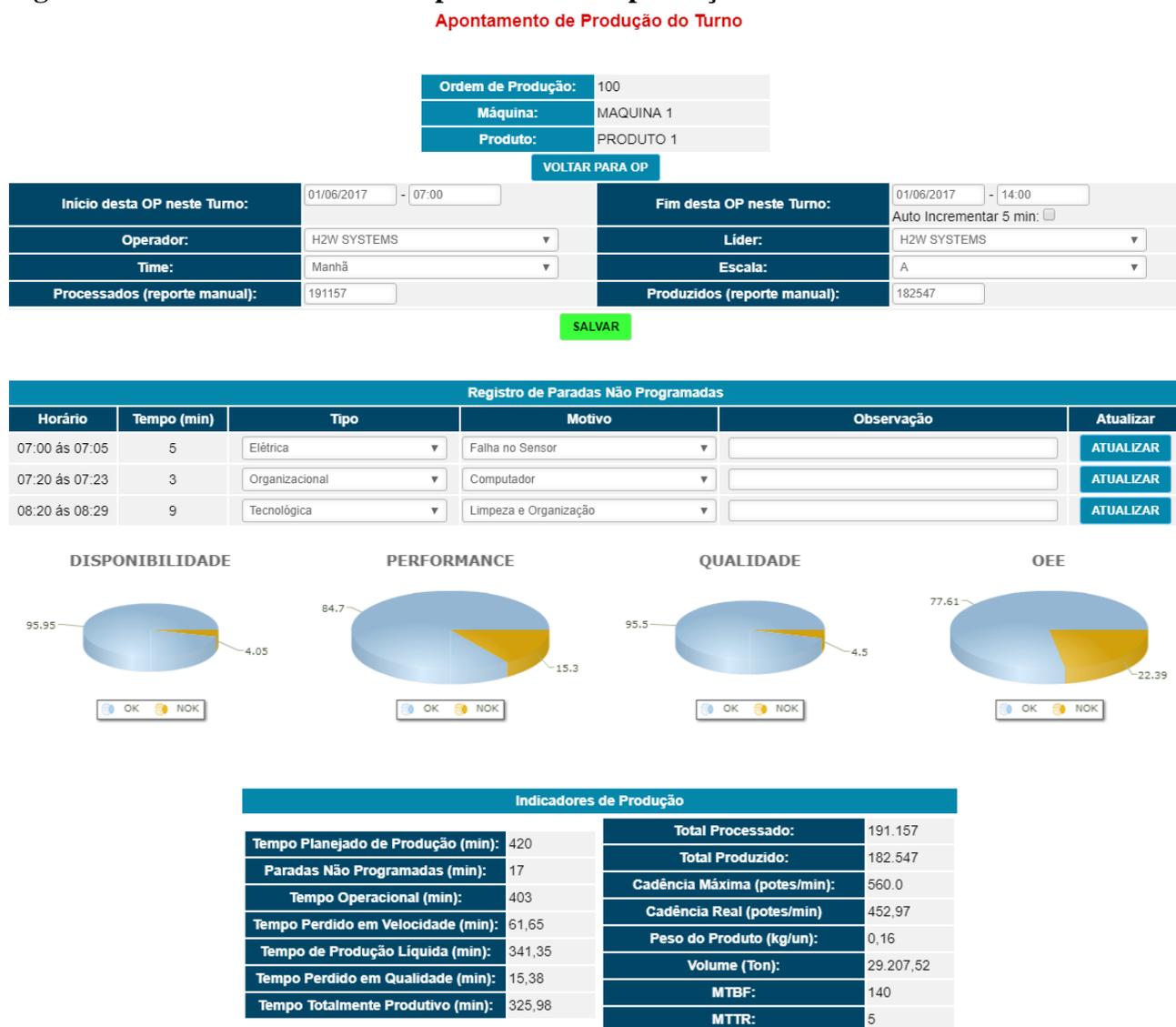
3.4- Obtenção dos dados

Selltiz et all. (1974), afirmam que a etapa de coleta e validação dos dados é muito importante, na medida em que dados incorretos comprometem definitivamente a pesquisa. E afirmam:

Neste software, os operadores ou líderes informaram o período de produção de cada produto e o software relacionou ao tempo de ciclo (quantidade máxima de unidades produzidas por minuto que, se obtida, gerará uma OEE de 100%) daquele produto e máquina previamente cadastrados.

A Figura 3.2 exibe o software de apontamento de produção

Figura 3. 2 - Tela do software de apontamento de produção e cálculo da OEE



Nota. Fonte: o Autor

Os dados pertinentes à segurança e manutenção foram obtidos através de dados registrados por funcionários das empresas participantes, em software específico para este fim.

A Figura 3.3 exibe uma das telas do software de registro de observações de segurança

Figura 3.3 - Tela do software de registro de observações de segurança

Observações de Segurança

Registro:	1	Nome:	Alberto Marques
Data:	2013-06-08 10:03:20.403	Qty Mês:	14
Área:	2		

Local da Ocorrência:	local de inspeção MAQUINA 1	Horário da Ocorrência:	11 : 00
Empresa da Ocorrência:	H2W SYSTEMS	Escala da Ocorrência:	C
Turno da Ocorrência:	Noite		

OK
 Não OK

Comportamento	
Categoria:	EPIs - LUVA TÉRMICA
Ato:	ATO INSEGURO - ANDAR FALANDO/ESI
Risco:	RISCO DE CORTE

Comentário	
Risco de corte em Máquina 1	

ATUALIZAR

Nota. Fonte: o Autor

A Figura 3.4 exibe uma das telas do software de registro de etiquetas de manutenção

Figura 3.4 - Tela do software de registro de etiquetas de manutenção

Cadastro de Etiquetas de Manutenção

Nome:	H2W SYSTEMS	Qty Mês:	9
Nro. Etiqueta :	1	Prioridade:	Urgente <input type="radio"/> Não Urgente <input checked="" type="radio"/>
Tipo da Etiqueta:	Manutenção (Azul)	Tipo de Defeito:	CONTROLE VISUAL
Módulo :	PRODUÇÃO	Célula :	PRODUÇÃO
Área:	MAQUINA 1	Local de Inspeção:	Local de Inspeção MAQUINA 1
Escala:	A	Resolveror:	H2W SYSTEMS

Descrição da Etiqueta	Solução
Folga no eixo do motor	Apertar suporte do eixo

ATUALIZAR
EXCLUIR

Nota. Fonte: o Autor

Os dados pertinentes às perdas de matérias primas foram obtidos através da extração de dados de sistemas ERP's e de *Business Intelligence* das empresas que participaram da pesquisa.

Estes dados apontam a quantidade padrão de utilização de cada matéria prima e a quantidade realmente utilizada em cada ordem de produção, permitindo o cálculo das matérias primas desperdiçadas por ordem de produção.

3.5- Tabulação dos dados coletados

A coleta e organização dos dados foi realizada através do software de gerenciamento de banco de dados SQL Server®.

Os dados foram agrupados por dia, portanto, cada registro agrupado é referente aos dados de todas as linhas de produção durante aquele dia. Como muitas linhas de produção produzem mais de uma ordem de produção no mesmo dia, alguns dos registros agrupados contém 80 registros de distintas máquinas e ordens de produção.

Escolheu-se agrupar os dados por dia devido às características dos processos de apontamento das Observações de Falhas de Segurança e Aberturas de Etiquetas de Manutenção. Nestes processos um operador de uma linha de produção pode realizar observações de segurança e abrir etiquetas de manutenção para qualquer outra área da empresa e não somente para sua linha. Agrupando os dados por linha, muitas das observações de falhas de segurança e etiquetas de manutenção geradas para outras áreas no mesmo dia seriam desconsideradas, impossibilitando o teste destas hipóteses.

A tabela 3.1 mostra o total dos dados obtidos e como os cálculos serão realizados para cada variável.

Tabela 3. 1- Dados obtidos e cálculo dos indicadores

Dados necessários à OEE

Termo utilizado na indústria	Termo Acadêmico	Unidade	Fórmula ou detalhe	Valor
Tempo de Produção	Tempo de Carregamento	minutos	Tempo em que a máquina foi utilizada na semana	5.603.545
Paradas não programadas	Quantidade de paradas	quantidade	Quantidade de paradas não programadas dentro do tempo de carregamento	49.424
<i>Downtime</i>	Perdas de Disponibilidade	minutos	Total de tempo das paradas não programadas	723.400
Tempo operacional (<i>UPTIME</i>)	Tempo de Operação	minutos	Tempo de Produção - Downtime	4.880.145
Cadência máxima	Tempo de Ciclo	unidades por minuto	Quantidade máxima de unidades produzidas por minuto que, se atingida, representará uma OEE de 100%	522,3
Total processado	Total de itens processados	unidades	Total de itens processados pela máquina	2.040.080.189
Total produzido (peças boas)	Total de Itens bons	unidades	Total de itens produzidos dentro dos padrões de qualidade	2.029.950.472
DISPONIBILIDADE	DISPONIBILIDADE	%	Tempo Operacional / Tempo de produção	87,09%
PERFORMANCE	PERFORMANCE	%	Total Processado / Cadência Máxima / Tempo Operacional	80,03%
QUALIDADE	QUALIDADE	%	Total Produzido / Total Processado	99,50%
OEE	OEE	%	Disponibilidade * Performance * Qualidade	69,36%
Índice de Rejeição				
Índice de Rejeição	Índice de Rejeição	%	1-QUALIDADE	0,50%
MTBF E MTTR				
MTBF	Tempo médio entre falhas	%	(Tempo operacional - Downtime) / Paradas não programadas	84
MTTR	Tempo médio de recuperação após falhas	%	Downtime / Paradas não programadas	15
TEEP				
Tempo Total de operação	Tempo Total disponível	minutos	Tempo total existente no período	9.849.600
Utilização Operacional	Utilização Operacional	%	Tempo de Produção / Tempo Total	56,89%
TEEP	TEEP	%	OEE * UO	39,46%
Consumo de Matéria Prima				
Consumo padrão de MP	Consumo padrão de MP	unidades	Quantidade padrão de matéria prima que deveria ter sido consumido de acordo com a quantidade produzida	615.252.904
Consumo real de MP	Consumo real de MP	unidades	Quantidade real consumida de matéria prima	541.525.449
% Consumo de MP	% Consumo de MP	%	Consumo padrão de MP / Consumo real de MP	88,02%
Process Capability				
USL Upper Specification Limit	USL Upper Specification Limit	Unidades	Limite de especificação superior	2.549.025.761
LSL Lower Specification Limit	LSL Lower Specification Limit	Unidades	Limite de especificação inferior	1.274.512.881
Process Mean	Process Mean	Unidades	Média do processo	2.029.950.472
Process Standard Deviation	Process Standard Deviation	Unidades	Desvio padrão do processo	165.686.674
Process Capability	Process Capability	%	(Mean - LSL)/(3*Deviation)	1,520
Observações de Segurança				
Observações de Segurança	Observações de Segurança	unidades	Quantidade de Observações de segurança registradas no período	1.855
Etiquetas de Manutenção				
Etiquetas de Manutenção	Etiquetas de Manutenção	unidades	Quantidade de etiquetas de manutenção registradas no período	21.607

Nota. Fonte: dados da pesquisa

3.6- Delimitações da pesquisa

A presente pesquisa se ocupou:

- a) de indústrias brasileiras;
- b) das hipóteses formuladas no presente trabalho;
- c) e testadas por meio do método descrito no presente capítulo.

Parte-se da premissa que as registros obtidos automaticamente e registrados pelos operadores estão corretos.

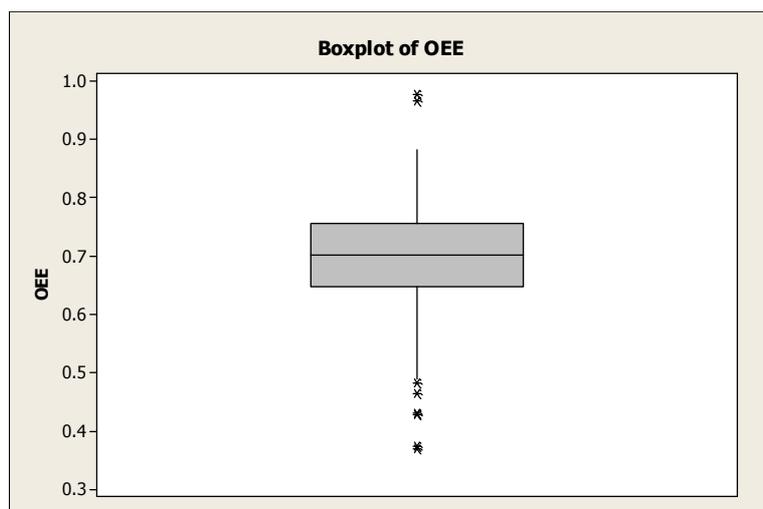
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos através da uma análise da variável OEE, testes das hipóteses e análise das correlações.

4.1- Variável OEE

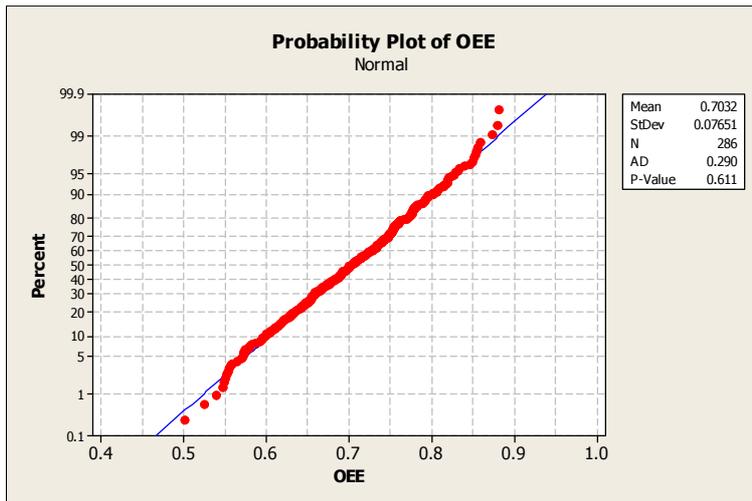
A variável OEE, a principal em análise, foi tratada face à presença de alguns *outliers* como mostra o gráfico da Figura 4.1.

Figura 4. 1 - Outliers tratados na variável OEE



Após a remoção dos outliers fez-se o teste de normalidade desta variável: pode-se afirmar que sua distribuição não difere significativamente da distribuição normal ao nível de significância de 0.05 (Teste de Normalidade Anderson-Darling, p-value=0.611) A figura 4.2 exibe o teste de normalidade realizado.

Figura 4. 2 - Teste de normalidade realizado na variável OEE



A Tabela 4.1 mostra estatísticas descritivas da variável OEE.

Tabela 4. 1 - Estatísticas descritivas da variável OEE

Total									
Variable	Count	Mean	SE Mean	TrMean	StDev	Minimum	Q1	Median	
OEE	285	0.70299	0.00453	0.70309	0.07655	0.50203	0.65072	0.70402	
Variable	Q3	Maximum							
OEE	0.75566	0.88264							

4.2- Testes das Hipóteses

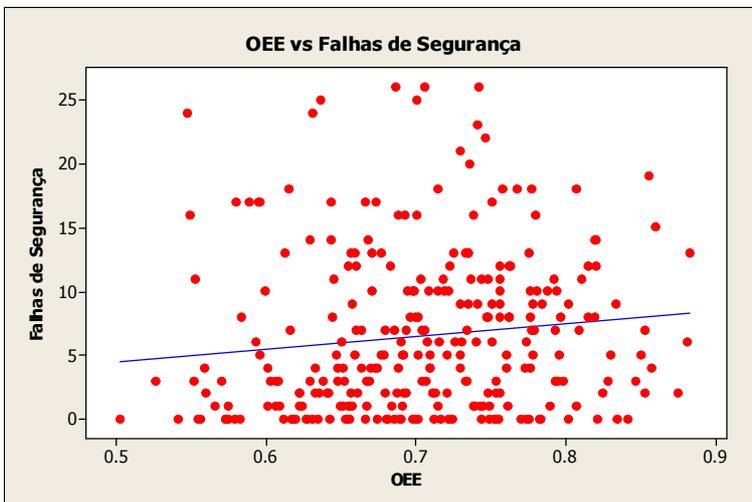
As hipóteses da pesquisa são testadas a seguir com as técnicas apropriadas aos tipos de dados.

H_a : Há associação significativa entre OEE e Observações-de-Segurança, ao nível de significância de 0.05.

A variável Observações-de-Segurança possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value=0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese não rejeitada: há associação significativa entre OEE e Observações-de-Segurança, ao nível de significância de 0.01 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s=0.189$, p-value=0.001). A Figura 4.3 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4. 3- Associação entre OEE e Observações de segurança



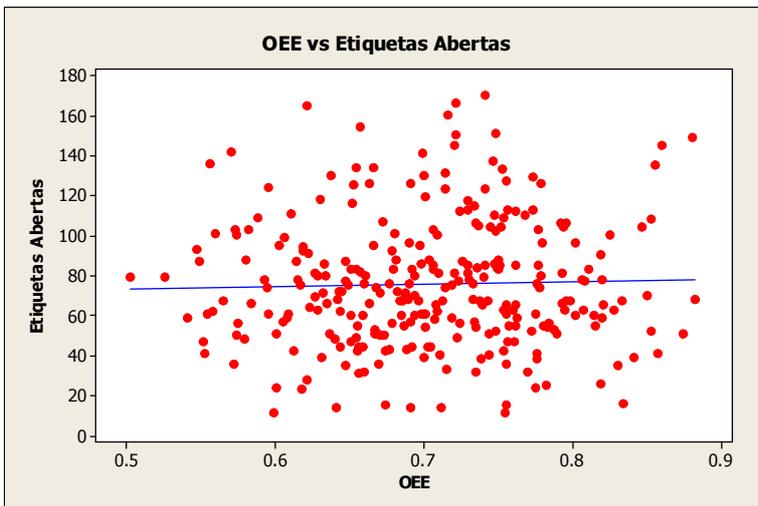
H_b: Há associação significativa negativa entre OEE e Etiquetas-abertas, ao nível de significância de 0.05.

A variável Etiquetas-Abertas possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value <0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese rejeitada: não há associação significativa negativa entre OEE e Etiquetas-abertas, ao nível de significância de 0.05 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s=0.028$, p-value=0.320).

A Figura 4.4 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4.4 - Associação entre OEE e Etiquetas Abertas

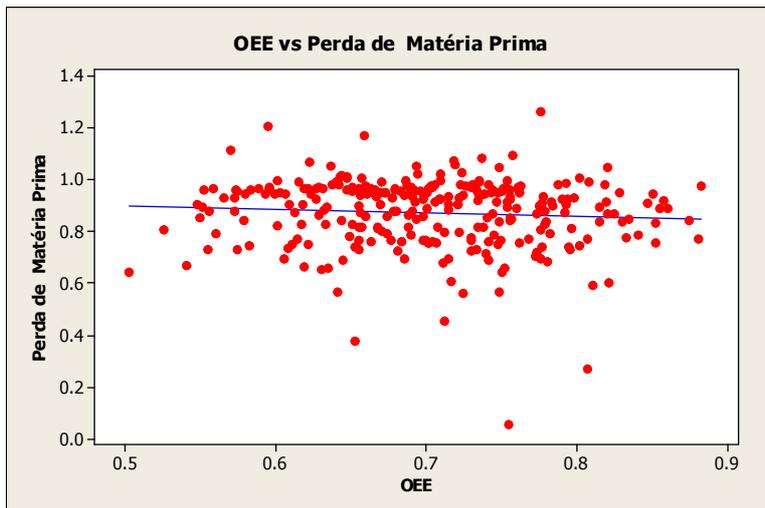


Hc: Há uma associação significativa negativa entre OEE e Perda-Matéria-Prima, ao nível de significância de 0.05.

A variável Perda-de-Matéria-Prima possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value <0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese rejeitada: não há associação significativa negativa entre OEE e Perda-de-Matéria-Prima, ao nível de significância de 0.05 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s = -0.094$, p-value=0.057). A Figura 4.5 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4.5 - Associação entre OEE e Perdas de Matéria Prima



Hd: Há associação significativa positiva entre OEE e Process Capability, ao nível de significância de 0.05.

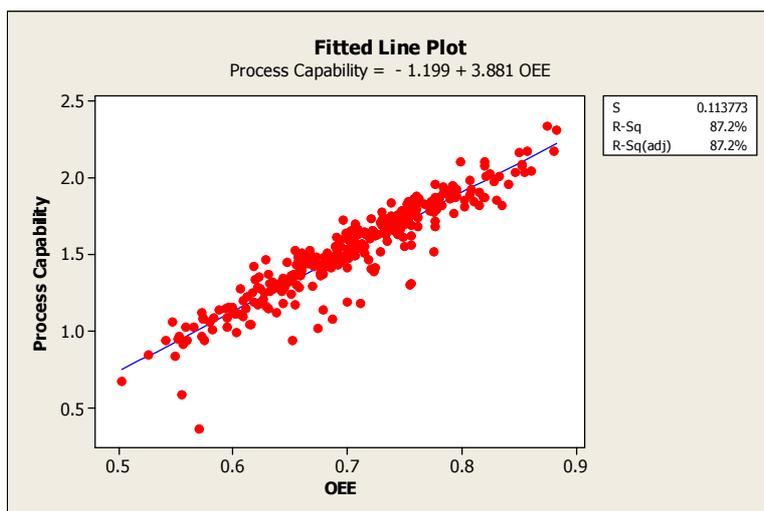
A variável Process Capability possui distribuição que não difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value =0.077) pelo que se aplica teste paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese não rejeitada: há associação significativa positiva entre OEE e Process Capability, ao nível de significância de 0.01 (Correlação Linear; $r=0.939$; $R^2=0.8724$; p-value=0.000; Ver Tabela 4.2). A Figura 4.6 mostra a associação entre as duas variáveis.

Tabela 4. 2 - Análise de regressão: Process Capability versus OEE

The regression equation is					
Process Capability = - 1.199 + 3.881 OEE					
S = 0.113773 R-Sq = 87.2% R-Sq(adj) = 87.2%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	25.0584	25.0584	1935.85	0.000
Error	283	3.6633	0.0129		
Total	284	28.7217			

Figura 4. 6 - Associação entre OEE e Process Capability



O R2 ajustado, de acordo com Triola (1999) denota o coeficiente de determinação múltipla, que é uma medida do grau de ajustamento da equação de regressão múltipla aos dados amostrais.

O coeficiente de determinação $R^2(\text{adj})=54\%$ interpretado segundo Ryan e Joiner (2001, p.301), indica que 54% da variação total do Emach é explicada pela variação da variável H. Estes coeficientes de determinação são aceitáveis. Maroco (2007, p.571) quanto a isto afirma:

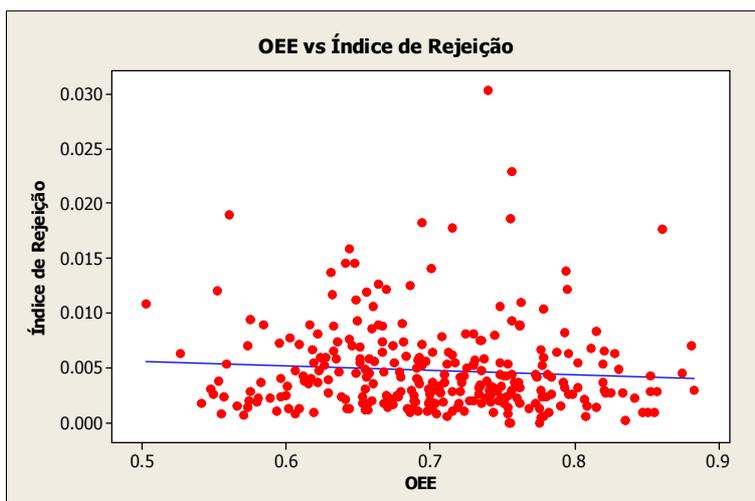
O valor de R^2 que se considera produzir um ajustamento adequado é algo subjetivo. No caso de ciências exatas, $R^2 > 90\%$ são geralmente aceites como indicadores de um bom ajustamento, enquanto que para as ciências sociais valores de $R^2 > 50\%$ consideram já aceitável o ajustamento do modelo aos dados.

H_e : Há associação significativa entre OEE e Índice-Rejeição, ao nível de significância de 0.05.

A variável Índice-Rejeição possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value < 0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese não rejeitada: há associação significativa entre OEE e Índice-Rejeição, ao nível de significância de 0.05 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s = -0.104$, p-value=0.040). A Figura 4.7 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4. 7 - Associação entre OEE e Índice de Rejeição

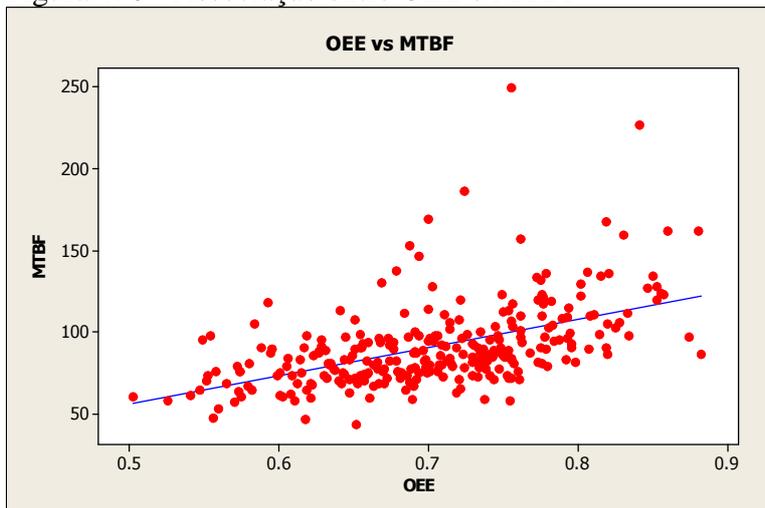


Hf: Há uma associação significativa entre OEE e MTBF (*Mean time between failure*), ao nível de significância de 0.05.

A variável MTBF (*Mean time between failure*) possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value <0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese não rejeitada: há associação significativa entre OEE e MTBF (*Mean time between failure*), ao nível de significância de 0.01 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s = 0.557$, p-value=0.000). A Figura 4.8 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4. 8 - Associação entre OEE e MTBF

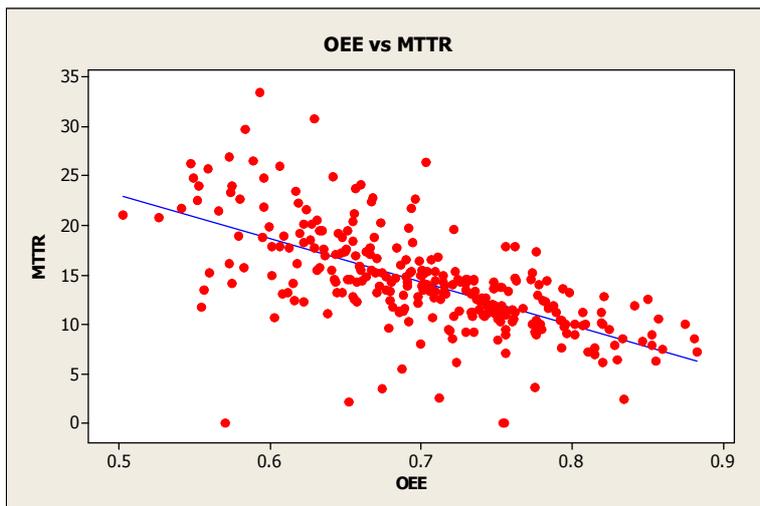


Hg: Há uma associação significativa entre OEE e MTTR (*mean time to repair*), ao nível de significância de 0.05.

A variável MTTR (*mean time to repair*) possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value <0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese não rejeitada: há associação significativa entre OEE e MTTR (*mean time to repair*), ao nível de significância de 0.01 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s = -0.703$, p-value=0.000). A Figura 4.9 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4.9 - Associação entre OEE e MTTR

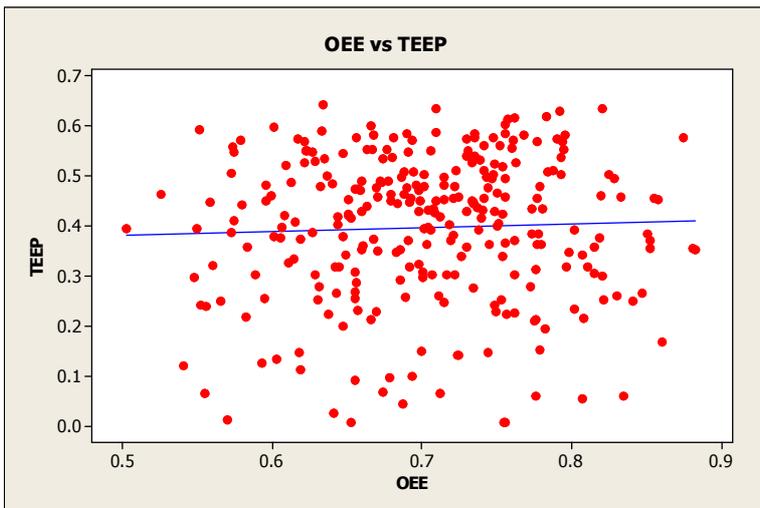


Hh: Há uma associação significativa positiva entre OEE e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento), ao nível de significância de 0.05.

A variável TEEP (produtividade efetiva total do equipamento) possui distribuição que difere significativamente, ao nível de significância de 0.05, da distribuição normal (Teste Anderson-Darling; p-value <0.005) pelo que se aplica teste não-paramétrico para testar a presente hipótese.

Hipótese rejeitada: não há associação significativa entre OEE e TEEP (produtividade efetiva total do equipamento), ao nível de significância de 0.05 (Teste de Correlação de Spearman, $r_s = 0.033$, p-value=0.287). A Figura 4.10 mostra a associação entre as duas variáveis.

Figura 4. 10 - Associação entre OEE e TEEP



4.3- Resultados das correlações

Uma análise das correlações entre todas as variáveis acima consideradas mostra que algumas delas são significativas ao nível de significância de 0.01 ou 0.05. Os testes são não-paramétricos (r de Spearman). A tabela 4.3 apresenta a correlação entre todas as variáveis do estudo.

Tabela 4. 3 - Correlações entre as variáveis de estudo

			Correlations ^a								
			OEE	FDS	EA	PMP	PC	IDR	MTBF	MTTR	TEEP
Spearman's rho	OEE	Correlation Coefficient	1,000	,189**	,028	-,094	,939**	-,104*	,557**	-,703**	,033
		Sig. (1-tailed)	.	,001	,320	,057	,000	,040	,000	,000	,287
	FDS	Correlation Coefficient	,189**	1,000	,010	,286**	,227**	,080	,143**	-,056	,162**
		Sig. (1-tailed)	,001	.	,434	,000	,000	,088	,008	,175	,003
	EA	Correlation Coefficient	,028	,010	1,000	-,124*	,043	,066	-,027	-,095	-,075
		Sig. (1-tailed)	,320	,434	.	,018	,233	,135	,326	,054	,104
	PMP	Correlation Coefficient	-,094	,286**	-,124*	1,000	-,043	,075	-,096	,110*	,148**
		Sig. (1-tailed)	,057	,000	,018	.	,234	,105	,053	,031	,006
	PC	Correlation Coefficient	,939**	,227**	,043	-,043	1,000	-,042	,438**	-,512**	,181**
		Sig. (1-tailed)	,000	,000	,233	,234	.	,242	,000	,000	,001
	IDR	Correlation Coefficient	-,104*	,080	,066	,075	-,042	1,000	-,079	,174**	,213**
		Sig. (1-tailed)	,040	,088	,135	,105	,242	.	,091	,002	,000
	MTBF	Correlation Coefficient	,557**	,143**	-,027	-,096	,438**	-,079	1,000	-,213**	-,223**
		Sig. (1-tailed)	,000	,008	,326	,053	,000	,091	.	,000	,000
	MTTR	Correlation Coefficient	-,703**	-,056	-,095	,110*	-,512**	,174**	-,213**	1,000	,158**
		Sig. (1-tailed)	,000	,175	,054	,031	,000	,002	,000	.	,004
	TEEP	Correlation Coefficient	,033	,162**	-,075	,148**	,181**	,213**	-,223**	,158**	1,000
		Sig. (1-tailed)	,287	,003	,104	,006	,001	,000	,000	,004	.

** . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

a. Listwise N = 285

As associações significativas significantes ao nível de 0.01 estão exibidas na Tabela 4.4.

Tabela 4. 4 - Associações muito significativas (nível de significância de 0.01)

Variável 1	Variável 2	r de Spearman	p-value
OEE	Falhas-de-segurança	0,189	0,000
OEE	Process Capability	0,939	0,000
OEE	MTBF	0,557	0,000
OEE	MTTR	-0,703	0,000
Falhas-de-segurança	Perdas de MP	0,286	0,000
Falhas-de-segurança	Process Capability	0,227	0,000
Falhas-de-segurança	MTBF	0,143	0,008
Falhas-de-segurança	TEEP	0,162	0,003
Perdas de MP	TEEP	0,148	0,006
Process Capability	MTBF	0,438	0,000
Process Capability	MTTR	-0,512	0,000
Process Capability	TEEP	0,181	0,001
Índice de Rejeição	MTTR	0,174	0,002
Índice de Rejeição	TEEP	0,213	0,000
MTBF	MTTR	-0,213	0,000
MTBF	TEEP	-0,223	0,000
MTTR	TEEP	0,158	0,004

As associações significativas significantes ao nível de 0.05 estão exibidas na Tabela 4.5.

Tabela 4. 5 - Associações significativas (nível de significância de 0.05)

Variável 1	Variável 2	r de Spearman	p-value
OEE	Índice de Rejeição	-0,104	0,040
Etiquetas Abertas	Perdas de MP	-0,124	0,018
Perdas de MP	MTTR	0,110	0,031

As associações não significativas ao nível de 0.05 estão exibidas na Tabela 4.6.

Tabela 4. 6 - Associações não significativas (nível de significância de 0.05)

Variável 1	Variável 2	r de Spearman	p-value
OEE	Etiquetas Abertas	0,028	0,320
OEE	Perdas de MP	-0,094	0,057
OEE	TEEP	0,033	0,287
Falhas de Segurança	Etiquetas Abertas	0,010	0,434
Falhas de Segurança	Índice de Rejeição	0,080	0,088
Falhas de Segurança	MTTR	-0,056	0,175
Etiquetas Abertas	Process Capability	0,043	0,233
Etiquetas Abertas	Índice de Rejeição	0,066	0,135
Etiquetas Abertas	MTBF	-0,027	0,326
Etiquetas Abertas	MTTR	-0,095	0,054
Etiquetas Abertas	TEEP	-0,075	0,104
Perdas de MP	Process Capability	-0,043	0,234
Perdas de MP	Índice de Rejeição	0,075	0,105
Perdas de MP	MTBF	-0,096	0,053
Process Capability	Índice de Rejeição	-0,042	0,242
Índice de Rejeição	MTBF	-0,079	0,091

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou observar a associação entre uma variável de produtividade industrial OEE com outras demais variáveis. A variável OEE foi escolhida por ser considerada a mais completa para a medição da produtividade industrial.

Foram avaliados dados de 2017, agrupados em 285 dias, de 25 linhas de produção de distintas empresas brasileiras.

Os testes das hipóteses confirmaram a presença de associação da variável OEE com as variáveis Observações de falhas de segurança, *Process Capability*, MTBF e MTTR.

5.1- Testes das Hipóteses

O primeiro teste realizado na hipótese H_a confirmou uma associação positiva e muito significativa entre as variáveis OEE e Observações de falhas de segurança. Esta associação mostra que um aumento na quantidade de registros de observações está associado ao crescimento da OEE, contrário do que pensam alguns gestores.

Este resultado mostra que as empresas analisadas conseguiram manter o foco em dois dos aspectos que mais preocupam a área da produção: Produtividade e Segurança Industrial. Tendo em conta a abrangência da OEE, composto pelas variáveis Disponibilidade, Performance e Qualidade, a confirmação desta hipótese indica que o aumento da preocupação com a segurança não gerou uma maior quantidade de paradas não programadas, queda na velocidade média de produção ou uma maior geração de rejeitos.

Entre as empresas cujos dados foram captados, a grande maioria possuía um bom nível de gerenciamento industrial, já utilizando o índice OEE a alguns anos e corrigindo falhas e perdas de tempo mais básicas. Este fator pode ter influenciado no resultado de alguns testes pois algumas falhas primárias da gestão da produção já não estavam presentes. A comprovação da existência da associação entre a OEE e Observações de segurança é um dos fatores que comprovam este alto nível de gestão industrial.

As etiquetas de manutenção testada na hipótese H_b foram registradas por funcionários de diversos departamentos, referentes a problemas que necessitam de manutenção em diversas áreas da empresa, não somente nos setores produtivos. Alguns destes defeitos são resolvidos no momento da detecção pelo próprio observador e outros são atribuídos a outro funcionário responsável, que

resolve o problema posteriormente. Alguns dos defeitos que serão resolvidos posteriormente podem ser realizados em uma parada programada não operacional, afetando a Utilização Operacional e a TEEP, porém sem afetar a OEE. Outros defeitos, porém, são detectados durante uma produção podendo gerar uma parada operacional não programada, afetar a velocidade de produção ou gerar produtos com defeitos.

O resultado obtido nesta análise mostra que a OEE não é afetada nos dias em que uma maior quantidade de defeitos foram encontrados e registrados. Os defeitos registrados não afetaram a disponibilidade, gerando uma maior quantidade de paradas, nem a performance, forçando a linha de produção a trabalhar em uma velocidade menor, nem a qualidade, gerando uma maior quantidade de resíduos. Esta não afetação pode ter ocorrido devido a facilidade dos operadores em registrar as etiquetas de manutenção, não perdendo o foco na produção para isto.

A perda de matéria prima calculada na hipótese Hc baseia-se na relação entre a quantidade padrão de cada matéria prima necessária para a fabricação dos produtos bons produzidos e a quantidade realmente utilizada. A característica do produto e processo de algumas das linhas pesquisadas possibilita a geração de uma economia na matéria prima em relação ao padrão, ou seja, é possível consumir uma quantidade menor de matéria prima do que a prevista para a quantidade produzida.

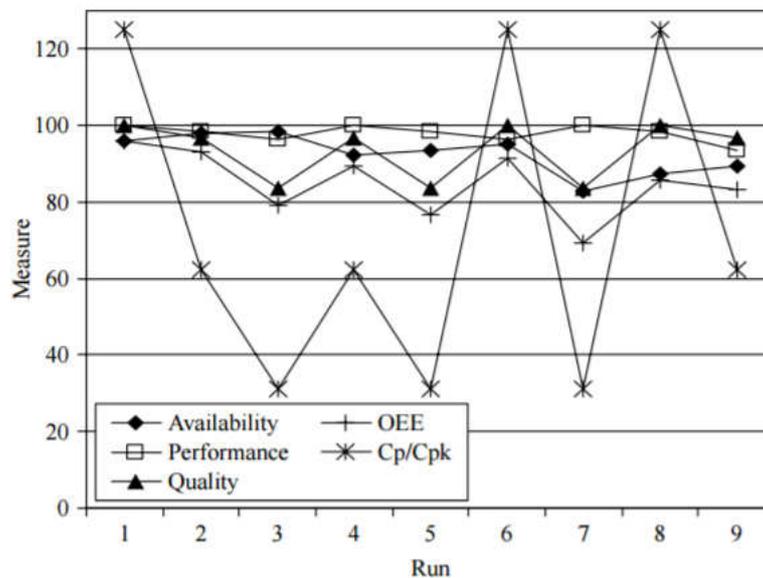
A variável Qualidade, uma das três que compõem o OEE, aponta a porcentagem de produtos bons produzidos em relação aos processados. Por esta relação direta entre a Qualidade e a OEE é comum considerar que as perdas de matéria-prima geram uma perda da produtividade como um todo, no entanto a hipótese foi rejeitada.

A rejeição desta hipótese é fundamental para mostrar o risco de se calcular a produtividade considerando somente as perdas físicas, desconsiderando as perdas de tempo. Na média dos 285 dias deste estudo, o tempo de ciclo, ou cadência máxima foi na média 522 unidades por minuto. Isto representa uma perda direta de 522 produtos a cada minuto em que a linha de produção estava parada por qualquer motivo. A medição da produtividade através da OEE considera não só as perdas físicas, mas também os tempos desperdiçados, que podem ter um custo maior do que a matéria-prima dependendo do produto que está sendo fabricado.

A hipótese Hd foi previamente testada (Garza-Reyes et al., 2008). Para definir se existe uma relação entre o OEE e PC (*process capability*). Os autores realizaram uma análise de tendência comparativa usando gráficos de linha. A análise gráfica realizada neste artigo mostrou que a medida OEE e o PC seguiram a mesma tendência em todas as corridas de produção

simuladas. Em outras palavras, quando o PC aumentou ou diminuiu de uma corrida anterior, a medida OEE também seguiu o mesmo padrão. Esse comportamento nas tendências de OEE e PC indicou a existência de uma relação entre o OEE de uma máquina e sua capacidade. Consequentemente, em termos práticos, uma melhoria no PC de uma máquina teve um impacto positivo no OEE dessa máquina. No caso das relações entre PC e os fatores de disponibilidade e desempenho, a análise de tendência gráfica mostrou que esses elementos nem sempre seguem a mesma tendência, o que indicou que uma relação inexistente entre eles, conforme mostrado na figura 4.8 (Garza-Reyes et al., 2008). A figura 5.1 mostra a análise comparativa de tendências entre OEE e PC realizada no artigo.

Figura 5. 1- Análise comparativa de tendências entre OEE e PC



Nota. Fonte: (Garza-Reyes et al., 2008)

A não-rejeição da hipótese H_d comprovou esta relação, porém agora com a utilização de dados reais de produção e utilizando um teste estatístico paramétrico.

Através da hipótese H_e confirmou-se a associação entre a OEE e o índice de rejeição. Sendo o índice de rejeição uma das variáveis que geram a OEE esta associação já era esperada. Porém foi obtida uma associação a um nível de significância de 0.05, reforçando a importância de considerar um índice mais completo como a OEE para a medição da produtividade. A medição da produtividade apenas a partir do índice de rejeição pode omitir situações de baixa produtividade e baixa qualidade, principalmente em linhas de produção que não possuem um nível de gestão

industrial tão alto quanto as empresas cujos dados foram captados e que possuem um equilíbrio entre a perdas de qualidade, disponibilidade e performance.

Através das hipóteses H_f e H_g confirmou-se as fortes associações entre a OEE e o MTBF (*Mean time between failure*) e entre a OEE e o MTTR (*mean time to repair*). O MTBF mostra o tempo médio entre as paradas operacionais não programadas. Um maior MTBF indica que a linha ficou, na média, rodando mais tempo sem paradas inesperadas.

O MTTR indica o tempo médio das paradas operacionais não-programadas. Conforme já dito, as variáveis MTBF e MTTR são geradas a partir da quantidade e tempo total de paradas não programadas, variáveis que geram também o índice Disponibilidade, uma das três variáveis que compõem a OEE. Pela existência desta relação direta entre as variáveis, a confirmação da associação era esperada.

Verificou-se, portanto, que o aumento do MTBF e a redução do MTTR foram associados ao aumento do OEE. No entanto, pode-se notar que nem sempre esta associação ocorrerá.

Para as linhas analisadas, que trabalham em uma grande velocidade média (tempo de ciclo médio de 522 unidades por minuto) uma parada não afeta somente a disponibilidade, mas também a performance.

Em uma parada operacional não programada, o operador da linha faz a correção necessária e religa a linha de produção. Neste momento a disponibilidade deixará de ser afetada pois a partir daquele momento a máquina é considerada como máquina rodando. Porém, devido a alta velocidade de produção a linha demora alguns segundos, talvez minutos para retornar à velocidade máxima, afetando a performance durante este tempo. Este processo é chamado por algumas das empresas de curva de aceleração. Algumas linhas ainda podem precisar de regulagens para voltar a produzir produtos sem defeitos, após uma parada não programada, afetando também a qualidade.

Pode-se obter um MTTR (*mean time to repair*) muito baixo operando a linha de produção a uma velocidade mais baixa do que a velocidade padrão e não parando a linha mesmo se estiver produzindo itens com defeitos. Estas duas situações não afetariam a MTTR porém afetariam a OEE.

Portanto, esta associação entre o OEE e as variáveis MTBF e MTTR pode não ocorrer em diferentes tipos de linhas de produção, principalmente caso tenham um balanceamento mais irregular entre os distintos tipos de perdas do que as linhas utilizadas neste trabalho.

O último teste realizado buscou encontrar uma associação entre TEEP (produtividade efetiva total do equipamento) e a OEE. O TEEP é calculado através de um indicador de capacidade industrial, a Utilização Operacional multiplicada pelo OEE.

A Utilização Operacional indica a porcentagem de tempo em que a linha de produção foi realmente utilizada para produção. Além do tempo de produção (tempo de carregamento), uma linha pode estar em uma parada programada não operacional ou parada devido à falta de demanda. As paradas programadas não operacionais normalmente são paradas maiores de manutenção preventiva que afetariam gravemente a OEE se fossem realizadas dentro das ordens de produção.

A OEE é medida a partir do tempo de carregamento, ou seja, mede quão eficiente a operação foi enquanto produzia determinado produto naquela linha de produção.

Este teste foi realizado pelo fato de muitas empresas considerarem o TEEP como um indicador de eficiência. Com isto obtêm-se valores inferiores à OEE e que são afetados por tempos não produtivos.

Supomos que a produtividade esteja sendo medida por turno e que esteja sendo utilizado o TEEP como indicador para este fim. Em determinado turno pode ocorrer uma troca de determinada peça através de uma manutenção programada. Esta troca afetará significativamente a TEEP pois a Utilização Operacional da máquina neste turno não será de cem por cento. Mesmo que a OEE obtida seja de cem por cento, a TEEP será afetada.

A confirmação de que estas duas variáveis não possuem uma associação significativa entre elas mostra a importância de entender a diferença e selecionar o indicador correto na medição da produtividade e eficiência industrial.

5.2- Análise das correlações

Após realizar o teste das hipóteses, este estudo realizou uma análise das correlações entre todas as variáveis consideradas no trabalho, encontrando novas associações.

Além da já comentada associação das observações de falhas de segurança com a OEE, a análise das correlações demonstrou que esta variável está também associada positivamente à Perdas de MP, *Process Capability*, MTBF e TEEP. Confirmando o que se havia notado anteriormente, estas associações mostram que os registros de observações de segurança estão associados a melhoria da OEE de diversos outros indicadores de produtividade industrial.

A Variável TEEP, apesar de não se mostrar associada à OEE, apresentou associação muito significativa com variáveis que também tiveram associação com a OEE: Falhas de segurança, *Process Capability*, Índice de Rejeição, MTBF e MTTR. Esta associação da TEEP com as demais variáveis pode ter ocorrido pelo fato da OEE ser uma das duas variáveis que compõem a TEEP.

A variável MTTR apresentou associação significativa com diversas outras variáveis além do OEE: Perdas de MP, *Process Capability*, Índice de Rejeição, MTBF e TEEP. A associação com perdas de MP, *Process Capability* e Índice de Rejeição podem ser explicados pelas características das linhas de produção, que mesmo depois de reiniciadas após uma parada podem demorar um tempo para serem reajustadas, gerando mais resíduos e produtos imperfeitos. A forte associação entre o *Process Capability* e o MTBF também reforça esta característica.

A associação entre as variáveis MTBF e MTTR são consideradas neste trabalho como esperadas pois ambas se baseiam na quantidade e tempo total de paradas operacionais não programadas.

5.3- Variável OEE e Recomendações

A seguir listamos algumas variáveis utilizadas para medir a produtividade industrial e as comparamos com a OEE.

- Quantidade de itens bons produzidos
 - Supondo que a produção seja medida por turno e o primeiro turno realizou o *change-over*, também conhecido como setup ou troca de produto durante este turno. Este processo levou uma hora e isto afetou a quantidade de itens produzidos neste turno. O próximo turno continuou produzindo o mesmo produto do turno anterior, não precisando permanecer com a linha parada pelos 60 minutos.
 - Comparando as quantidades produzidas pelos dois turnos, o segundo turno provavelmente terá produzido mais, pois teve uma hora a mais disponível para isto. O mesmo ocorre em outros nível de comparação: por dia, por operador, entre linhas, entre períodos distintos, etc.
 - Considerar somente este indicador para medir a produtividade industrial pode, portanto, gerar comparativos incorretos ao não considerar as diferentes situações ocorridas no processo produtivo.

- Índice de Rejeitos
 - Operadores avaliados somente por este indicador podem melhorá-lo parando a linha de produção a cada suspeita de falha na produção dos itens ou ainda trabalhar em velocidades menores, a fim de reduzir o risco de produzir itens com defeitos.

- Paradas não programadas
 - Considerar somente a quantidade ou tempo total das paradas como indicador de produtividade também pode gerar análises incorretas. Uma linha de produção pode passar todo um período sem nenhuma parada, porém, para isto pode estar trabalhando a uma velocidade menor do que deveria ou produzindo muitos rejeitos.

- TEEP
 - Algumas empresas consideram o TEEP como o índice geral de eficiência de suas linhas de produção. Como este índice é gerado pela multiplicação do OEE com a Utilização Operacional, o indicador mostrará um resultado bruto, desconsiderando diferenças de cenários e podendo gerar comparações injustas, como as descritas no indicador quantidade de itens produzidos.
 - Um turno que teve, por exemplo, uma reunião geral onde a linha de produção precisou ser desligada será afetado em relação aos demais.

- *Production Efficiency* (PE)
 - O PE é semelhante ao OEE, sendo baseado na quantidade produzida em relação ao quando deveria ter sido produzido com o tempo utilizado, porém com a diferença de considerar ou não os tempos das paradas programadas afetando o indicador.
 - As paradas programadas operacionais são as paradas necessárias ao processo produtivo como a troca de formatos e produtos, reuniões, limpezas e inspeções e geralmente possuem seus tempos previamente definidos com base no histórico.
 - Neste ponto, surge em muitas empresas e gestores a dúvida de considerar ou não algumas destas paradas programadas como *downtime*, afetando a eficiência, ou não, o que afetaria apenas a utilização operacional.

- A OEE considera que estas paradas devem estar fora do tempo de carregamento, ou seja, devem afetar apenas a utilização operacional.
 - Este fator pode gerar uma margem de tempo para os operadores quando conseguem realizar as paradas em um tempo menor do que o previsto.
 - Os operadores com intenção de forjar melhores resultados podem compensar as perdas de velocidade, por exemplo, aumentando os tempos das paradas não operacionais e reduzindo os tempos de carregamento.
 - Este problema pode ser evitado quando os equipamentos e softwares que realizam os controles dos tempos possuem um alto nível de precisão na captação de dados e nas validações das informações registradas.

- A PE, porém, considera que as paradas programadas operacionais devem estar dentro do tempo de carregamento, ou seja, devem afetar o indicador.
 - Esta consideração pode gerar a injustiça de comparar um turno que teve que realizar uma troca de produto com outro que não teve e conseguiu utilizar 100% do tempo para produção.
 - Alguns softwares permitem a correção desta injustiça realizando um rateio do tempo total destas paradas entre os apontamentos de produção, através da média ponderada dos tempos de carregamento. Um apontamento que representou 40% do tempo de carregamento total receberá 40% do tempo total destas paradas
 - Mesmo com o rateio, este formato não evita que um ótimo período de produção possa ser afetado por apontamentos anteriores. A utilização do PE e do OEE paralelamente pode ser a melhor opção para empresas que estão neste nível de evolução na contenção das perdas de tempos da produção.

- Nível de Aderência ao Planejamento
 - Algumas empresas que já trabalham com o OEE há alguns anos, resolvendo os principais e mais elementares problemas, começam a considerar a utilização do nível de aderência da produção real ao planejamento de produção previamente realizado conjuntamente ao OEE.

- No planejamento constam as quantidades que devem ser produzidas de cada produto e o processo necessário para se obter estas quantidades com menor tempo e custo possível.
- O planejamento deve então prever o que deverá ocorrer em cada minuto da máquina, contendo itens como:
 - Períodos em que a máquina estará parada por falta de demanda;
 - Períodos em que serão realizadas as paradas programadas não-operacionais como limpezas, lubrificações, inspeções, testes e manutenções preventivas;
 - Períodos em que serão realizadas as paradas programadas operacionais, paradas necessárias à atividade produtiva como Troca de Produto, Limpezas necessárias após determinado tempo de utilização da máquina, Reuniões, Refeições, etc.
 - Períodos em que a máquina deverá estar produzindo à plena velocidade determinado produto, definido muitas vezes na ordem de produção.
 - Dentro deste tempo produtivo (tempo de carregamento), o planejamento não deve considerar que a OEE será de 100%. Geralmente considera-se a OEE média daquela linha para aquele produto.
 - Caso a cadência máxima de uma linha seja de 500 unidades por minuto e a OEE média desta linha é de 80%, o planejamento considera que será necessário 2.500 minutos para obter 1 milhão de unidades.
- Busca-se portanto, com a utilização do nível de aderência ter um indicador que trabalhe conjuntamente com o OEE à fim de controlar também os tempos não produtivos.

Concluindo, ainda é possível verificar no dia-a-dia que muitas indústrias, independente de seus tamanhos, que seus gestores não possuem uma clara visão sobre os indicadores de produtividade industrial. Costumam adotar indicadores já existentes ou já utilizados anteriormente sem questionar se o indicador realmente se adapta ao cenário atual.

O indicador de produtividade industrial deverá ser selecionado de acordo com a realidade da empresa, do processo produtivo e dos operadores, considerando e respeitando o atual nível de evolução de todos e visando os objetivos que se buscam atingir.

Deve ainda permitir uma justa comparação entre diferentes cenários, permitindo a justa comparação da produtividade entre operadores, linhas de produção, turnos, líderes, produtos e períodos.

Porém e à frente dos demais aspectos, o indicador selecionado para medir a produtividade industrial deve gerar uma informação confiável, com cálculo conhecido e aceito por todos e imune a ajustes que podem distorcê-lo.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, J., *Sistemas de Produção: Conceitos e práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta*; 1º ed., Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BARBOSA FILHO, Antonio Nunes. *Segurança do Trabalho e Gestão Ambiental*. São Paulo: Atlas, 2011.
- BIROLINI, A. (2010). *Reliability Engineering*. New York: Springer-Verlag.
- BOHORIS, G. A. et al. TPM implementation in Land-Rover with the assistance of a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 1, n. 4, p. 3-16, 1995. <http://dx.doi.org/10.1108/13552519510105179>
- BORMIO, M, R. *Manutenção Produtiva Total (TPM)*. Unesp. 2000.
- BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) - an integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 20, n. 1, p. 8-29, 2009. <http://dx.doi.org/10.1108/17410380910925389>
- CABRAL, J. P. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção*. Lisboa: Lidel.
- CHAND, G.; SHIRVANI, B. Implementation of TPM in cellular manufacture. *Journal of Material Processing Technology*, v. 103, n. 1, p. 149-154, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00407-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00407-6)
- COSTA, H, G.: Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. *Revista Gestão e Produção*, São Carlos, SP, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013
- CRAIGHEAD, C. W.; MEREDITH, J. M. Operations management research: evolution and alternative future paths, *International Journal of Operations & Production Management*, v. 28, n. 8, p. 710-726, 2008.
- CRUZ, S.M.S.; OLIVEIRA, J.H.R. Dificuldades encontradas na adequação à NR-18 pelas empresas de construção civil de Santa Maria. In: XVII Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Anais. Gramado, 1997.
- DELERYD, M. (1999), "A pragmatic view on process capability studies", *International Journal of Production Economics*, Vol. 58 No. 3, pp. 319-30.
- DIAS, J. M. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.
- DORNELES, J.V., SELLITO, M.A. (2015). Eficácia global de equipamentos (OEE) para diagnóstico e melhoria de produtividade na indústria de fundição. *Revista GEINTEC*. São Cristóvão / SE.

EN 13306 (2010). European Standard: Maintenance terminology. European committee for standardization, Brussels.

FERREIRA, José Antonio Stark. Contabilidade de custos / José Antonio Stark Ferreira. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007

FERREIRA, J, A, S. Contabilidade de custos – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

FLEISCHER, J.; WEISMANN, U.; NIGGESCHMIDT, S. Calculation and optimisation model for costs and effects of availability relevant service elements. In: CIRP INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 13., 2006, Leuven. Proceedings... Leuven, 2006. p. 675-680. Disponível em: <http://www.mech.kuleuven.be/lce2006/154.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

GARZA REYES, J. A., Eldridge, S., Barber, K. D., Soriano Meier, H, (2010). Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: A relationship analysis, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 27 Issue: 1, pp.48-62

GIBBONS, P. M.; BURGESS, S. C. Introducing OEE as a measure of lean six sigma capability. International Journal of Lean Six Sigma, v. 1, n. 2, p.134-156, 2010. <http://dx.doi.org/10.1108/20401461011049511>

GOUWS, J. & GOUWS; L. E. 1997. Optimised Combination of Maintenance Types. First International Conference on Information Technologies in The Minerals Industry– MineIT'97.

HÖGFELDT, D. Plant efficiency: a value stream mapping and overall equipment effectiveness study. 2005. 93 f. Master Thesis (Master of Science Programme - Mechanical Engineering)-University of Technology, Lulea, 2005.

IVANCIC, I. Development of Maintenance in Modern Production: proceedings of 14th European Maintenance Conference, EUROMAINTENANCE'October (1998). Dubrovnik, Hrvatska., 98, 5-7

JEONG, K. Y.; PHILLIPS, D. T. Operational efficiency and effectiveness measurement. International Journal of Operations and Production Management, v. 21, n. 11, p. 1404-1416, 2001. <http://dx.doi.org/10.1108/EUM0000000006223>

JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE. International Journal of Operations and Production Management, v. 19, n. 1, p. 55-78, 1999. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579910244223>

LIKER, J. O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Lima, V.A.A.S.R.: Plataforma para Gestão do OEE (Overall Equipment Effectiveness). 2014. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Universidade do Porto, Portugal, 2014.

LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

MACEDO, D. F, et al. (2015). Utilização do índice de eficiência global de equipamentos para diagnóstico e melhoria do desempenho produtivo: um estudo de caso. XXXV ENEGEP. Fortaleza - CE.

MEIRELES, M, et al.: O papel da engenharia da produção. Cobenge, Campina Grande, PB, set. 2005.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MONDEN, Y. Sistema Toyota de Produção. São Paulo: IMAM,1984.

MOREIRA, D. A.: Administração da produção e operações. São Paulo: Cengage Learning, 2011

MOUBRAY, J. Gerenciamento de Manutenção: um novo paradigma. São Paulo: SQL Systems Brasil Ltda. 1997. 210p.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

MUTHIAH, K. M. N.; HUANG, S. H.; MAHADEVAN, S. Automating factory performance diagnostics using overall throughput effectiveness (OTE) metric. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 36, n. 7-8, p. 811-824, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0891-x>

NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N. Evaluation of Overall Line Effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. *Journal of Manufacturing Technology*, v. 17, n. 7, p. 987-1008, 2006. <http://dx.doi.org/10.1108/17410380610688278>

NAKAJIMA, S. Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC International, 1989.

NAKANO, D. Métodos de Pesquisa Adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. In: MIGUEL, P. A. C. et al. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Campus, 2010. cap. 4, p. 63-72.

PIATKOWSKI, M. Training Recommendations for Implementing Lean. Brookline: MA, Lean Interprise Institute, 2004.

PROENÇA, E.T, Método para monitoramento do OEE em tempo real e a cadeia de ajuda como apoio a estratégia da manufatura enxuta. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

RAOUF, A. Improving capital productivity through maintenance. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 14, n. 7, p. 44-52, 1994. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579410062167>

- ROCHA, Duílio. Fundamentos técnicos da produção. São Paulo: Makron Books, 2005.
- RYAN, B., & Joiner, B.L. (2001). Minitab handbook. Pacific Grove. CA: Duxbury.
- SANTOS, A., & Santos, M. (2007). Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufactura - um estudo de caso. XXVII encontro Nacional de Engenharia de Produção. Paraná.
- SERRA, N. R. C, et al. (2010). Utilização do indicador OEE na análise do desempenho dos processos e melhoria contínua na produção de condutores elétricos. XXX ENEGEP. São Carlos – SP.
- SLACK, N, et al.: Gerenciamento de operações e de processos. Porto Alegre: Bookman, 2008
- SILVA, J. P. (2009). OEE - A forma de medir a eficácia dos equipamentos. Retrieved Dezembro 2, 2011, from ScriBd - Lean em Portugal: <http://www.scribd.com/doc/15122575/>
- SINK, D.S.; Tuttle, T.C., Planning and measurement of in your organization of the future. Norcross, U.S.A: Industrial Engineering and Management Press, 1989, ch 5, pp 170-184.
- STAUDT, F. H.; COELHO, A. S.; GONÇALVES, M. B.; Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov. Revista Produção, v. 21, n. 4, p. 634-644, 2011.
- SOUZA, A. Manutenção Produtiva Total: Metrologia e Instrumentação. São Paulo: Ed All Print, 2008.
- SUZUKI, T. TPM in process industries. Portland: Productivity Press, 1994.
- TAKAHASHI, Y; OSADA, T. Manutenção Produtiva Total. Instituto Iman, 1995.
- TANGEN, S; Understanding the concept of productivity, Proceedings of the 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2002), Taipei, 2002.
- TRIOLA, M. F. (1999). Introdução à estatística. Rio de Janeiro: LTC.
- TSAROUHAS, P. Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 13, n. 1, p. 5-18, 2007. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510710735087>
- ZATTAR, I; RUDEK, S; TURQUINO, G.S. (2010). o uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – um caso prático. IJIE – Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial. Florianópolis – SC.
- WEE, H. M.; WU, S. Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on Ford Motor Company. Supply Chain Management: An International Journal, v. 14, n. 5, p. 335-341, 2009. <http://dx.doi.org/10.1108/13598540910980242>
- WETHERILL, G. and Brown, D. (1991), Statistical Process Control: Theory and Practice, Chapman and Hall, London.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347p.

WUTTKE, R. A., & Sellitto, M. A. (2008). Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. Revista Produção. Florianópolis