

**IUNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

CRISTIANO ERNO DIEFENTHALER

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA
METALMECÂNICA QUE OPERA COM PEDIDOS *ASSEMBLE TO ORDER***

São Leopoldo - RS

2020

CRISTIANO ERNO DIEFENTHALER

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA
METALMECÂNICA QUE OPERA COM PEDIDOS *ASSEMBLE TO ORDER***

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Área de Concentração: Planejamento e Gestão da Competitividade

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

São Leopoldo - RS

2020

D559a

Diefenthaler, Cristiano Erno.

Análise da eficiência operacional em uma empresa da indústria metalomecânica que opera com pedidos *assemble to order* / Cristiano Erno Diefenthaler. – 2020.

170 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, 2020.

“Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto.”

1. Engenharia de produção. 2. Administração da produção. 3. Indústrias metalúrgicas. 4. Eficiência industrial. 5. Produtividade. I. Título.

CDU 658.5

CRISTIANO ERNO DIEFENTHALER

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA
METALMECÂNICA QUE OPERA COM PEDIDOS ASSEMBLE TO ORDER

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovado em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – Unisinos

Prof. Dr. Cristiano Richter – Unisinos

Prof. Dr. Ismael Cristofer Baierle – UFSM

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela vida e pela saúde. Esta dissertação não seria possível sem a ajuda e apoio de pessoas importantes durante todo o processo. Assim sendo, gostaria de agradecer:

Quero agradecer em especial aos meus pais, pelos ensinamentos, educação e valores transmitidos, pelo especial apoio em todos os momentos ao longo dessa caminhada. A meu irmão pela parceria, compreensão e apoio em todo esse período.

Ao professor Dr. Miguel Afonso Sellito, pelo acolhimento, pelas muitas contribuições significativas, orientando-me em todas as etapas deste projeto.

Aos professores Dr. José Antônio Valle Antunes Jr. e Dr. Daniel Pacheco Lacerda, pelas contribuições dadas na banca de qualificação.

Aos professores Dr. Ismael Cristofer Baierle, Dr. Daniel Pacheco Lacerda e Dr. Cristiano Richter pelas contribuições dadas na banca de defesa.

Agradeço a empresa Bruning Tecnometal, pelo apoio com informações e pelo investimento realizado em meu mestrado.

Aos meus colegas de mestrado, em especial João Gabriel e Mauricio, pelos vários quilômetros rodados de Panambi até São Leopoldo, pelas inúmeras conversas e discussões sobre os assuntos abordados nas disciplinas.

Aos demais professores do curso de Engenharia de Produção que deixaram suas contribuições em cada tema e assunto abordado nesses 2 anos.

Ao meu time de supervisores da Bruning, os quais me auxiliaram com a coleta de informações. Em especial ao André Scholtz pelas contribuições relacionadas ao processo de pintura.

Em especial a minha noiva, a qual me acompanhou nesses últimos meses dessa jornada, me incentivando, apoiando e acreditando em mim. Raiana, obrigado por ter chegado na minha vida, você está fazendo a diferença em todos os momentos.

RESUMO

No contexto econômico em que as organizações estão inseridas, a constante busca por melhoria de desempenho operacional a fim de se manterem competitivas e lucrativas conduz as organizações a buscarem ferramentas que auxiliem a monitorar e analisar os seus desempenhos, fornecendo dados, informações e subsídios para a equipe de gestão tomar decisões e agir em prol de melhores desempenhos. Os conceitos relacionados aos Sistema de Produção e os Modelos Operacionais: *make-to-stock*, *assemble-to-order*, *make-to-order*, *engineering-to-order* são discutidos e avaliados dentro da conjuntura da Eficiência Operacional e da Produtividade fabril. Uma ampla pesquisa sobre os métodos de medição e análise da eficiência encontrados na literatura, propõe através de um estudo de caso analisar a eficiência dos equipamentos em uma unidade de fabricação do setor metalmeccânico que opera com pedidos *assemble-to-order*. Por meio da análise da eficiência nos macroprocessos fabris, utilizou-se o processo com menor desempenho para a aplicação de três métodos diferentes de medição e de análise da eficiência e assim entender o comportamento dos resultados encontrados. Ademais, a pesquisa evidenciou que independentemente do método utilizado para medição e análise da eficiência os resultados verificados são muito similares, alterando apenas a forma de visualização da informação, sendo que para uma tomada de decisão dos gestores a correta e adequada coleta de dados é mais importante do que o método usado para medir a eficiência operacional.

Palavras-chave: Sistema de Produção. Modelos Operacionais. Eficiência Operacional. Eficiência. Produtividade.

ABSTRACT

In the economic context in which organizations operate, the constant search to improve operational performance in order to remain competitive and profitable leads organizations to seek tools that help to monitor and analyze their performance, providing data, information and subsidies to the management team to make decisions and act for better performance. The concepts related to the Production System and the Operational Models: make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order, engineering-to-order are discussed and evaluated within the context of Operational Efficiency and easy Productivity. An extensive research on the methods of measurement and analysis of efficiency found in the literature, proposes through a case study to analyze the efficiency of equipment in a manufacturing unit in the metal-mechanical sector that operates with assemble-to-order orders. Through the efficiency analysis in the manufacturing macroprocesses, the process with the lowest performance was used for the application of three different methods of measurement and efficiency analysis and thus understand the behavior of the results found. In addition, the research showed that regardless of the method used to measure and analyze efficiency, the results verified are very similar, changing only the way of viewing the information, and for the decision making of the managers the correct and adequate data collection is more important than the method used to measure operational efficiency.

Keywords: Production system. Operational Models. Operational efficiency. Efficiency. Productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos publicados por tema	18
Tabela 2 – Dados sociais da Indústria em Panambi.	24
Tabela 3 – Índice de Saúde do Equipamento	74
Tabela 4 – Índice de Saúde do Equipamento	123
Tabela 5 – Resultado da EPR e da Taxa de falha	124
Tabela 6 – Resultado das eficiências pelos 3 métodos de medição	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia da estratégia organizacional	18
Figura 2 – Principais autores publicando em relação a Eficiência Operacional	19
Figura 3 – Dados salariais da Indústria no Brasil	22
Figura 4 – Importância da Indústria no crescimento do País	23
Figura 5 – Relação entre os sistemas de manufatura e o sistema de produção.....	28
Figura 6 – Representação simplificada do sistema de manufatura.....	29
Figura 7 – Estrutura da produção.....	32
Figura 8 – Representação da eficiência operacional, entradas e saídas	39
Figura 9 – Quatro tipos de subsistemas fabris	52
Figura 10 – Gráfico de velocidade de processamento de equipamentos.....	69
Figura 11 – Template de análise da eficiência do equipamento.....	70
Figura 12 – Estratégias para condução de pesquisa científicas	80
Figura 13 – Sequência para condução do estudo de caso	85
Figura 14 – Esquema do método de trabalho	86
Figura 15 – Representação do <i>layout</i> da fábrica 2.....	88
Figura 16 – Planilha para coleta de dados na fábrica.	93
Figura 17 – Planilha de coleta de dados na pintura	94
Figura 18 – Passos do processo de análise dos dados coletados no estudo de caso	95
Figura 19 – Distribuição dos equipamentos da fábrica 2.....	99
Figura 20 – Fluxo de informações no sistema produtivo	100
Figura 21 – Layout sistema de pintura	102
Figura 22 – Imagem do BOX de carregamento.....	103
Figura 23 – Imagem do Jato de Granalha	104
Figura 24 – Sistema de pintura E-coat.....	105
Figura 25 – Sistema de pintura pó	108
Figura 26 – Sistema de movimentação <i>power and free</i>	110
Figura 27 – Combinações possíveis no processo de pintura	111
Figura 28 – Planilha de cálculo da Eficiência (Exemplo do processo de solda).....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de medição da eficiência.....	45
Quadro 2 – Classificação dos sistemas de medição	77
Quadro 3 – Exploratória x Descritiva	81
Quadro 4 – Pesquisa qualitativa x pesquisa quantitativa	83
Quadro 5 – Critérios para garantir a qualidade da pesquisa científica	84
Quadro 6 – Informações referente a coleta de dados	91
Quadro 7 – Dados coletados em cada box de carregamento	115
Quadro 8 – Cálculo da OEE no equipamento de pintura	116
Quadro 9 – Dados coletados por box de carregamento.....	121
Quadro 10 – Cálculo da eficiência através do EPR.....	122
Quadro 11 – Insumos gastos no processo de pintura	126
Quadro 12 – Planilha de cálculo da ORE	127
Quadro 13 – Cálculo da OEE para o Jato de Granalha	146
Quadro 14 – Cálculo da OEE para o processo de corte plasma	147
Quadro 15 – Cálculo da OEE para a Usinagem.....	151
Quadro 16 – Cálculo da OEE para a solda	159
Quadro 17 – Cálculo da OEE para a pintura.....	170

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Participação da indústria no PIB do Brasil	20
Gráfico 2 – Participação da indústria no PIB do Rio Grande do Sul.....	20
Gráfico 3 – Índice de produtividade do Brasil comparado com alguns países do mundo	21
Gráfico 4 – Participação da Indústria no PIB de Panambi.....	23
Gráfico 5 – Publicações relacionadas aos métodos de medição de eficiência	90
Gráfico 6 – Distribuição do faturamento na empresa alfa	98
Gráfico 7 – Eficiência dos processos macros da fábrica 2	101
Gráfico 8 – Resultado diário da OEE na pintura.....	117
Gráfico 9 – Análise da disponibilidade, performance e qualidade	118
Gráfico 10 – Análise da OEE por box de carregamento.....	119
Gráfico 11 – Resultado da eficiência através do método da EPR	120
Gráfico 12 – Abertura da análise da eficiência pelo método da EPR	123
Gráfico 13 – Resultados da medição da ORE.....	128
Gráfico 14 – Gastos diários com matéria prima e insumos no processo de pintura	129
Gráfico 15 – Comparação da eficiência entre os 3 métodos.....	129
Gráfico 16 – Resultado mensal dos 3 métodos de medição da eficiência	130

LISTA DE SIGLAS

ATO	<i>Assemble-to-order</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CRS	Retorno Constante de Escala
CUB	<i>Capacity Utilization Bottleneck</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	Unidades de Tomada de Decisão
EPR	<i>Equipment Performance Reliability</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETO	<i>Engineering-to-order</i>
GPE	<i>Global Production Effectiveness</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e de Estatística
IDH	Índice de desenvolvimento Humano
IROG	<i>Índice de rendimento operacional global</i>
MPT	Manutenção Produtiva Total
MRP	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
MTO	<i>Make-to-order</i>
MTS	<i>Make-to-Stock</i>
OAE	<i>Overall Asset Effectiveness</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEEML	<i>Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line</i>
OFE	<i>Overall Factory Effectiveness</i>
OLE	<i>Overall Line Effectiveness</i>
OPE	<i>Overall Plant Effectiveness</i>
ORE	<i>Overall resource effectiveness</i>
OTE	<i>Overall Throughput Effectiveness</i>
PEE	<i>Production Equipment Effectiveness</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNDU	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SCM	<i>Supply Chain Management</i>

STP	Sistema Toyota de Produção
TEEP	<i>Total Effective Equipment Productivity</i>
TOC	Teoria das Restrições
TOEE	<i>Total Overall Equipment Effectiveness</i>
VRS	Retorno Variável de Escala
WIP	<i>Work in Process</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA DE PESQUISA	15
1.2 JUSTIFICATIVA ACADÊMICA	17
1.3 JUSTIFICATIVA EMPRESARIAL	19
1.4 JUSTIFICATIVA SOCIOECONÔMICA	22
1.5 QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS	24
1.5.1 Objetivo Geral	24
1.5.2 Objetivos Específicos	24
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
1.7 DELIMITAÇÕES	26
2 EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO	27
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO	27
2.2 MODELOS OPERACIONAIS DO AMBIENTE DE PRODUÇÃO	33
2.2.1 Produção para estoque (MTS)	34
2.2.2 Produção sob Encomenda (MTO)	35
2.2.3 Engenharia sob Encomenda (ETO)	36
2.2.4 Montagem sob Encomenda (ATO)	37
2.3 EFICIÊNCIA OPERACIONAL - HISTÓRIA E TEORIA	37
2.4 EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE	41
2.4.1 Produtividade	42
2.4.2 Eficiência	43
2.5 MEDIÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL	44
2.5.1 Eficácia Geral do Equipamento (OEE)	46
2.5.2 Eficiência Geral da Taxa de Transferência (OTE)	50
2.5.3 Eficácia do Equipamento de Produção (PEE)	53
2.5.4 Eficiência Geral da Fábrica (OFE)	56
2.5.5 Produtividade Total de Equipamentos Efetivos (TEEP)	57
2.5.6 Eficácia geral da planta/ativos (OPE/OAE)	58
2.5.7 Eficiência Geral da Linha (OLE)	60
2.5.8 Eficácia geral do equipamento de uma linha de fabricação e Eficácia total do equipamento (OEEML/TOEE)	61
2.5.9 Eficácia Global de Produção (GPE)	62

2.5.10 Eficácia Geral dos Recursos (ORE)	65
2.5.11 Gargalo de Utilização da Capacidade (CUB)	67
2.5.12 Confiabilidade no desempenho do equipamento (EPR)	72
2.5.13 Análise Envoltória de Dados (DEA)	75
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO	76
3 MÉTODO DE PESQUISA	79
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	79
3.1.1 Razões para realizar a pesquisa	80
3.1.2 Objetivos da pesquisa	80
3.1.3 Métodos científicos	81
3.1.3.1 Quanto à natureza da pesquisa	82
3.1.3.2 Quanto à forma de abordagem do problema.....	82
3.1.4 Métodos de pesquisa	83
3.1.5 Método de trabalho	85
3.1.5.1 Projeto do modelo de análise	88
3.1.5.2 Definição dos métodos de medição de eficiência utilizados na análise	90
3.1.6 Técnicas de coleta de dados	91
3.1.7 Análise dos dados e Resultados confiáveis	94
4 OBJETO DE PESQUISA	97
4.1 AMBIENTE DE PESQUISA	97
4.2 EQUIPAMENTO DE PINTURA	101
4.2.1 Carregamento e Descarregamento	103
4.2.2 Jato de granalha	103
4.2.3 Pré-tratamento e pintura eletroforese – E-coat	104
4.2.4 Pintura Pó	107
4.2.5 Estufas de polimerização	108
4.2.6 Transportador <i>Power and Free</i>	109
4.2.7 Operações (possibilidades ou combinações de processo)	110
5 RESULTADOS DA PESQUISA	112
5.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NOS MACRO PROCESSOS	112
5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA OEE	114

5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA EPR.....	119
5.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA ORE	124
5.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM CADA UM DOS MÉTODOS	129
6 CONCLUSÃO	132
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	136
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	137
REFERÊNCIAS.....	138
APÊNDICE A - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE JATO DE GRANALHA.....	146
APÊNDICE B - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE CORTE PLASMA	147
APÊNDICE C - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE USINAGEM.....	151
APÊNDICE D - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE SOLDA	159
APÊNDICE E - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE PINTURA	170

1 INTRODUÇÃO

O acesso a mercados internacionais, informações, recursos de baixo custo nas economias em desenvolvimento e serviços eficientes de cadeia de suprimentos e logística transformaram a forma como as organizações de manufatura estão fazendo negócios (CHATHA e BUTT, 2014). Dentro desse cenário a indústria necessita trabalhar de forma constante em sua produtividade.

A necessidade de realizar intervenções e iniciativas para melhorar a produtividade são numerosas: pressão da concorrência global, novos regulamentos, atualização de produtos, desenvolvimentos tecnológicos, fusões e aquisições. Essas forças de mudança exigem que as empresas busquem novas formas de organização, novas maneiras de gerenciar pessoas, novas formas de conduzir negócios, novos processos e uma nova cultura organizacional (CROUZET *et al.*, 2014). De fato, o objetivo da empresa é preservar e desenvolver sua vantagem competitiva. Em outras palavras, as organizações precisam de esforços transformacionais para se adaptar a um ambiente externo cada vez mais desafiador, competitivo e acelerado (CROUZET *et al.*, 2014).

O desenvolvimento dessa vantagem competitiva e o aumento da competição entre as empresas, obriga as mesmas a melhorarem sua eficiência tanto nos processos operacionais como nos processos de gestão, a fim de assegurarem sua sobrevivência (ANTUNES JR. *et al.*, 2013).

Segundo Antunes Jr. (2008) a indústria brasileira modernizou-se a partir da década de 90. A realização de investimentos em novas instalações e equipamentos, a adoção de novos conceitos, métodos e técnicas de gestão da produção e das operações de forma geral, são as marcas mais evidentes desse processo. Essa modernização da indústria visou constantemente melhorar sua eficiência produtiva e, assim, aumentar sua rentabilidade e competitividade (SOUZA *et al.*, 2018).

Para aumentar sua rentabilidade e competitividade a empresa precisa identificar os fatores que impactam nesses dois indicadores. Existem várias maneiras de identificar os fatores críticos que contribuem para aumentar a competitividade que se originam nas áreas de manufatura (PIRAN *et al.*, 2016). Portanto, o uso de técnicas e métodos robustos para avaliar e medir esses fatores é essencial para apoiar a tomada de decisão (SOUZA *et al.*, 2018).

Muitos indicadores de eficiência têm restrições quanto a visão que o mesmo pode oferecer para os gerentes de manufatura. Assim, há a necessidade de medidas reconhecidas e válidas quanto à eficiência das operações. Portanto, é importante usar tais medidas pelos gestores que visam melhorar o desempenho operacional das organizações (GANDJOUR *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2018). Empresas que operam com baixa eficiência operacional, em geral, competem com baixas margens de lucro. Nesse sentido, o uso de técnicas robustas para avaliar o desempenho da organização interna é essencial (SOUTHARD E PARENTE, 2007; SOUZA *et al.*, 2018).

O uso dessas técnicas, possibilita aumentos consideráveis de produtividade dentro da empresa, gerando uma melhora na eficiência operacional da mesma. Ao longo do tempo, a tarefa de desenvolver e gerenciar sistemas de produção tem-se tornado progressivamente mais complexa. Alterações nos produtos, processos, tecnologias de gestão, conceitos e culturas, estão resultando em maiores desafios e demandas diferenciadas (SOUZA *et al.*, 2018).

Os conceitos de produtividade e eficiência são muitas vezes utilizados de forma iguais. Para essa discussão, é necessário diferenciá-los e contextualiza-los como: Produtividade é a relação entre recursos de entrada utilizados e resultados gerados em uma máquina, uma operação, um processo ou um sistema (CHARNES *et al.*, 1978). Eficiência é uma medida comparativa que representa o aproveitamento de recursos, ou seja, o que foi produzido com a utilização de determinado recurso comparado ao que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos (CUMMINS E WEISS, 2013).

Os sistemas de produção modernos compreendem uma ampla variedade de modelos de análise, conceitos e métodos de gestão. Inserem-se nesse conjunto as abordagens do Sistema Toyota de Produção, da Produção Enxuta, do modelo sueco de produção, do controle de qualidade total, da Teoria das Restrições, dos sistemas integrados de gestão, entre outros (ANTUNES JR., *et al.*, 2008; WANG e LI, 2015; DA SILVA e ANTUNES JR., 2017).

Inserido dentro desse sistema de produção, encontra-se as ferramentas para planejamento e controle da produção, que por sua vez permeiam todas as atividades dentro da organização. Todos esses baseiam-se em certos princípios que formam as estratégias de Planejamento e Controle da Produção. Cada um desses modelos tem suas particularidades, vantagens e desvantagens, que permitem diferenciais para as empresas que os adotam (WANG e LI, 2015).

As estratégias de planejamento e gerenciamento da produção tornam-se fundamentais para sustentar e guiar a atuação das empresas nesse cenário de competitividade global, uma vez que essas estratégias guiam as empresas frente à os cenários de prospecção de novos mercados e em situações de crises que podem estar vivenciando (EHIE e MUOGBOH, 2016; ANG, *et al.*, 2015).

Empresas que optarem por tornar a produção como uma vantagem competitiva devem direcionar esforços em decisões mais assertivas e eficazes na gestão de capacidades. Decisões essas que precisam levar em consideração o aspecto financeiro da empresa, uma vez que o modelo de programação da fábrica, pode contribuir positivamente na redução da necessidade de recursos financeiros para sustentar a operação da empresa (DONG *et al.*, 2015).

O aumento da produtividade é fundamental para garantir uma vantagem sustentável e o sucesso da empresa a longo prazo (CHEN e WHANG, 2016). Constantes melhorias, permitem o aumento da eficiência operacional da empresa. Goldtratt (1984) afirma que a meta de uma organização é ganhar dinheiro hoje e no futuro, sendo assim, melhorar a eficiência operacional se torna um dos caminhos para o aumento da lucratividade em uma empresa.

O entendimento da relação das entradas e saídas de uma empresa, permite mensurar sua eficiência operacional, possibilitando o entendimento dos fatores que podem estar interferindo em seu processo produtivo e ocasionando perdas nessa eficiência. Muitas vezes, visando proteger o cliente final as empresas adotam uma operação com mais estoque/ material em processamento (*Work in Process – WIP*) ou com uma ociosidade de recursos, compensando as perdas de eficiência decorrentes do processo de manufatura, por outro lado, isso gera uma necessidade financeira maior para a empresa manter a operação (SELLITTO, 2018).

Essa situação levou à necessidade de sistemas de medição de desempenho, capaz de levar diferentes elementos para análise da produtividade e da eficiência operacional de um processo de fabricação, com o intuito de identificar as perdas e otimizar a utilização dos ativos. É possível encontrar diversos sistemas de medição na literatura, onde a grande maioria deriva dos conceitos da métrica quantitativa chamada eficácia geral do equipamento, os quais foram surgindo para adequar esses sistemas de medição de acordo com o modelo de operação e as características específicas de algumas empresas ou processos (MUCHIRI e PINTELON, 2008). Ao

longo dessa pesquisa identificou-se dezesseis sistemas de medição de eficiência, os quais serão descritos na capítulo 2.

Essa dissertação está inserida, portanto, no contexto da análise da eficiência operacional de uma unidade fabril, fornecendo dados para tomada de decisões quanto a melhor utilização dos recursos de entrada e obtenção de uma maior relação entre esses recursos de entrada e os recursos de saída, aumentando assim a eficiência operacional da empresa (KORTMANN *et al.*, 2014).

1.1 TEMA DE PESQUISA

O desempenho relativo de uma empresa na eficiência operacional depende de seus recursos, rotinas e capacidades. Recursos referem-se a ativos produtivos tangíveis e intangíveis, rotinas são processos organizacionais que utilizam um conjunto complexo de recursos e capacidades são a proficiência na implantação de um conjunto dinâmico de rotinas (LAM *et al.*, 2016). Ambas as rotinas e capacidades são socialmente complexas e operacionalmente sofisticadas. Eles estão incorporados em interfaces dinâmicas de várias fontes de conhecimento vibrantes dentro e fora das organizações. Como resultado, a capacidade de uma empresa em alcançar operações eficientes é estabelecida por meio de informações dinâmicas e troca de conhecimento entre indivíduos, com clientes e entre instituições (KUSUNOKI *et al.*, 1998, PENG *et al.*, 2008, LAM *et al.*, 2016).

A eficiência operacional, no entanto, está associada à economia de custo e tempo que geram benefícios de curto prazo. A eficiência operacional captura a razão de saídas para insumos no processo de criação de valor e compreende duas dimensões, ou seja, eficiência baseada em custo e eficiência baseada em tempo. Embora a eficiência baseada em custos esteja relacionada a “custos de qualidade, custos de engenharia e custos de fabricação”, a eficiência baseada no tempo está associada à “velocidade e confiabilidade da fabricação, lead time de fabricação e taxa de rotatividade de estoque” (KORTMANN *et al.*, 2014).

A prática gerencial, buscando maneiras mais eficientes e produtivas de rodar a operação, através do entendimento das deficiências que o sistema produtivo apresenta, atuação na redução de lead times e diminuição de estoque, ilustra a importância de medir e aumentar a eficiência operacional, para garantir a

sustentabilidade das empresas frente a um mercado amplamente globalizado e competitivo (KORTMANN *et al.*, 2014).

Nessa busca do aumento da eficiência operacional, os sistemas de produção modernos estão inseridos nas abordagens do Sistema Toyota de Produção, da produção enxuta, do modelo sueco de produção, do controle de qualidade total, da Teoria das Restrições, da reengenharia de processos e negócios e os sistemas integrados de Gestão (ANTUNES JR. *et al.*, 2008). Em cada um desses modelos encontram-se ferramentas que buscam reduzir o *lead time*, reduzir estoque, estabilizar a produção, controlar a produção e eliminar desperdícios, ou seja, atividades voltadas a aumentar a eficiência operacional da empresa.

O planejamento de recursos está no âmago de qualquer organização, atravessando todas as suas diferentes áreas funcionais. Ele requer planos de vendas e de operações, informações de processos como padrões de tempo e itinerários e informações sobre como serviços ou produtos são produzidos, e, então, planeja as necessidades de insumo (SOUZA, *et al.*, 2018).

O controle da operação em uma empresa é fundamental para fornecer à equipe de gestão subsídios para tomadas de decisões. Essas informações precisam ser de fácil acesso e atualizadas da maneira mais rápida possível, permitindo assim análises de dados e tomadas de decisão em tempo real, possibilitando aos gestores o controle da empresa, sendo que quando algo não está indo bem, seja possível mudar o rumo da operação e colocar a empresa de volta aos trilhos (EHIE e MUOGBOH, 2016).

Os modelos de planejamento e controle da produção oferecem esse subsídio a equipe de gestão das empresas, mas acima disso, permitem gerenciar, ditar o ritmo da organização, analisar sua eficiência operacional e os pontos que a mesma precisa atuar para aumentar sua eficiência operacional (ANTUNES JR. *et al.*, 2008).

Para uma empresa de manufatura a capacidade de trabalhar com um plano de produção que possibilite o planejamento e alocação dos recursos da fábrica, de tal forma que as necessidades dos clientes sejam atendidas, permite um controle sobre a eficiência operacional, mostrando as oportunidades de melhoria do seu processo, podem ser o diferencial competitivo em seu mercado de atuação.

Atingir entregas no prazo, nível mínimo de WIP, períodos mínimos de espera dos clientes, utilização máxima dos recursos da fábrica e menor necessidade de recursos financeiros para a operação constituem os desafios de todo gestor industrial. Infelizmente esses objetivos são conflitantes entre si. O objetivo da programação da

produção é achar um equilíbrio entre esses fatores, porém com pouca ênfase na necessidade financeira que a empresa necessita desprender para colocar em execução essas estratégias de produção (CHEN e WANG, 2016).

Selecionar a melhor estratégia de manufatura pode fornecer benefícios e vantagens competitivas para a empresa, para isso o entendimento de como o pedido do cliente penetra na cadeia de suprimentos da empresa e como é o acionamento da atividade de produção ajudam a definir o melhor ambiente de produção. Os ambientes de produção são categorizados em: produção para estoque (*Make-to-Stock - MTS*), montagem sob encomenda (*Assemble-to-order - ATO*), produção sob encomenda (*Make-to-order - MTO*) e engenharia sob encomenda (*Engineering-to-order - ETO*) (ATAN et al., 2017).

Os diversos sistemas de medição da eficiência operacional, combinados com a estratégia do ambiente produtivo, são decisivos para mensurar o resultado operacional e visualizar os pontos de perda e como pode ser melhorada a relação de entradas versus saídas dos sistemas produtivos. A escolha adequada de um sistema de medição da eficiência, proporciona uma maior qualidade nos dados e uma assertividade na tomada de decisão por parte da gestão fabril, otimizando o tempo de resposta e dando agilidade para a cadeia produtiva na resolução de problemas voltados a um aumento de produtividade (MUTHIAH e HUANG, 2007).

Diante desse cenário, o presente trabalho busca analisar a eficiência operacional em uma empresa da indústria metalmecânica que opera com pedidos *assemble to order*.

1.2 JUSTIFICATIVA ACADÊMICA

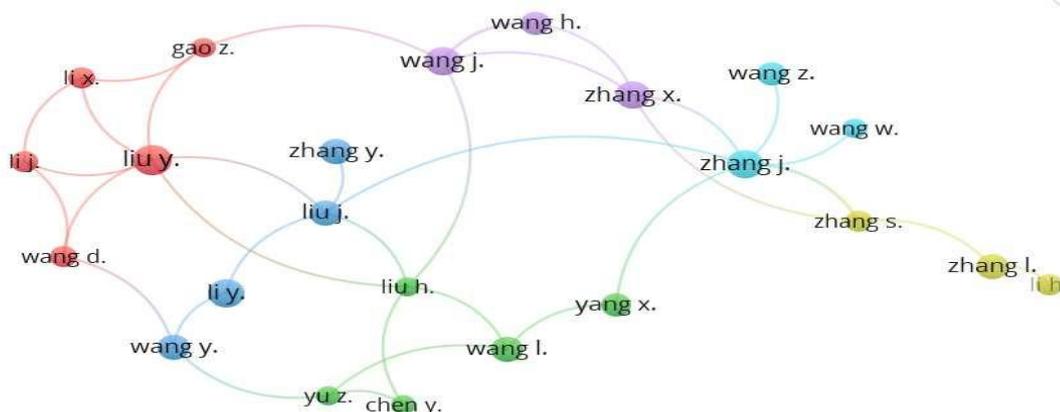
Para a construção da justificativa acadêmica do trabalho, foi realizado uma pesquisa na base de dados da Scopus. Para a pesquisa, foi utilizado as palavras chaves: *Operational Efficiency or Productivity or Factory Efficiency*, pesquisando apenas artigos que contém esses termos em suas palavras chaves. Foi restringido a pesquisa apenas para artigos e para assuntos ligados à área de Engenharia e Negócios, Gestão e Contabilidade.

Com esses dados foi realizado uma análise das principais palavras chaves utilizadas nos artigos relacionados a esse tema, utilizando o software VOSviewer. O resultado mostrou que as principais palavras que aparecem em artigos desse tema

O número de publicações em relação ao assunto de Eficiência operacional e Produtividade, vem crescendo a cada ano. O termo eficiência operacional começou a ser pesquisado no ano de 1985, porém ganhou relevância no número de publicações a partir de 2006. Recentemente, de 2011 até o ano de 2018 o número de publicações vem apresentando um leve crescimento.

O termo eficiência operacional é amplamente discutido, analisando os dados da *Scopus*, três autores aparecem em destaque no número de publicações em relação ao tema: Liu, Zhang e Wang. A relação entre os principais autores é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Principais autores publicando em relação a Eficiência Operacional



Fonte: VOSviewer.

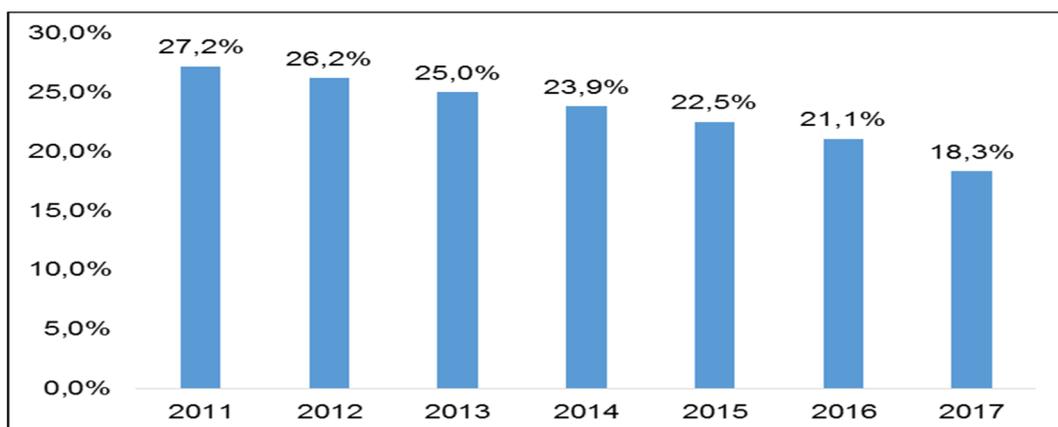
Considerando esse crescente número de publicações em relação ao tema eficiência operacional, essa pesquisa se justifica no âmbito de explorar esse assunto dentro da indústria metalmeccânica, possibilitando além do estudo teórico em relação ao tema, também a oportunidade de implementar os resultados dentro de uma indústria.

1.3 JUSTIFICATIVA EMPRESARIAL

Os gestores das empresas estão constantemente discutindo sobre alternativas para otimizar seus processos produtivos, buscando um aumento da eficiência da operação da indústria Brasileira.

A indústria tem um papel importante na econômica do Brasil. Em 2017, o setor industrial foi responsável por 18,3% do total do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. A indústria já teve uma representatividade maior, conforme Gráfico 1, porém desde 2011 a mesma vem perdendo participação, motivada pela retração industrial que ocorreu no Brasil a partir de 2012.

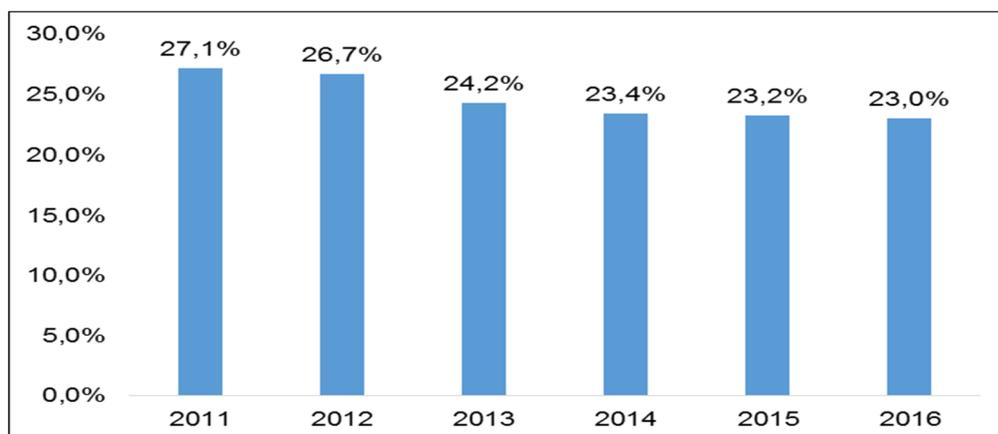
Gráfico 1 – Participação da indústria no PIB do Brasil



Fonte: Adaptado de CNI. Apresenta uma perda média de 6% ao ano.

Analisando a representatividade do setor industrial no estado do Rio Grande do Sul, encontra-se um cenário muito similar ao do Brasil, onde em 2016 esse setor foi responsável por 23% do PIB gerado no Rio Grande do Sul. Seguindo a mesma tendência de âmbito nacional, ocorreu uma redução expressiva da participação da indústria na geração do PIB desde 2011, conforme dados do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Participação da indústria no PIB do Rio Grande do Sul

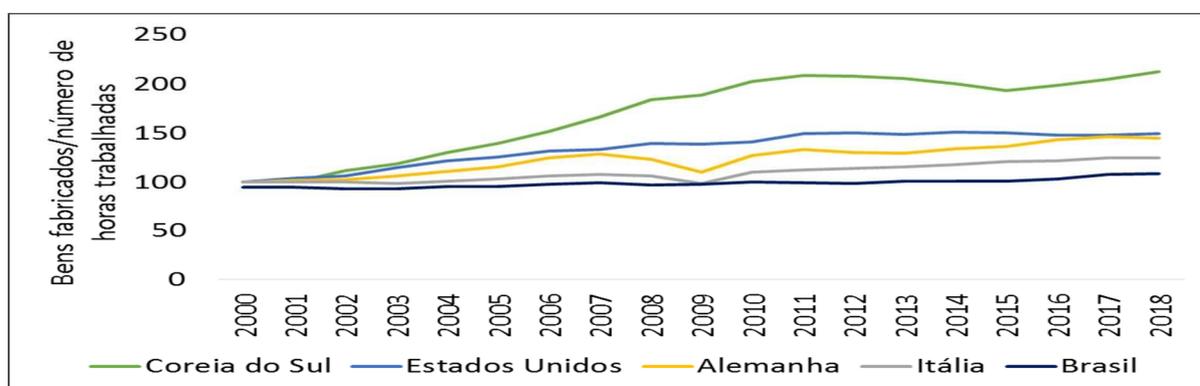


Fonte: Adaptado de IBGE. Redução média de 3% ao ano na participação da indústria no PIB.

Essa redução da participação industrial na economia do país, mostra a necessidade de intervenções em empresas desse setor, para aumentar a eficiência operacional, permitindo ganho de competitividade frente a outros mercados, possibilitando assim um maior movimento em exportações dos produtos manufaturados no Brasil.

Outro indicador importante para o setor industrial do país é o índice de produtividade. Conforme o Confederação Nacional da Indústria – CNI que realiza a medição da produtividade do trabalho na indústria, através da medição da quantidade produzida dividida pelas horas trabalhadas, a produtividade desse setor vem aumentando ano a ano. Conforme o Gráfico 3, desde o ano de 2000 verifica-se um aumento anual na produtividade, porém são números anuais “tímidos”. Analisando os dados de 2018 o Brasil apresenta uma produtividade 15% menor que a Itália, 33% menor que a Alemanha, 38% menor que os Estados Unidos e 95% menor do que a Coreia do Sul.

Gráfico 3 – Índice de produtividade do Brasil comparado com alguns países do mundo



Fonte: Adaptado de CNI. Aumento médio de 0,73% ao ano no Brasil

Com base nesses dados da CNI, que mostram a importância da indústria metalmeccânica para a economia do Brasil, e com base na importância que o crescimento da produtividade representa para o fortalecimento das vantagens competitivas da indústria brasileira, essa pesquisa se justifica dentro desse setor, possibilitando a análise e o desenvolvimento de ações que venham a contribuir para o aumento da eficiência operacional de indústrias do setor metalomeccânico, garantindo assim melhoras no índice de produtividade e uma retomada na participação da mesma dentro do PIB do País.

Analisando os dados de desempenho da empresa, a qual utiliza uma divisão em cinco dimensões para classificar os indicadores internos e externos (Pontualidade de Entrega, Qualidade Externa, Segurança, Produtividade e Custo), a fábrica 2 apresenta indicadores de entrega com performance consolidada acima de 99%, indicadores de qualidade externo dentro das metas estipuladas pelos clientes e segurança em constante melhora. Contudo, verificou-se que questões relacionadas a produtividade e custo merecem uma maior atenção, uma vez que o indicador atual de produtividade da empresa mensura apenas a relação de horas pessoas planejado por horas pessoas realizado no processo de fabricação, fazendo necessário uma análise da eficiência operacional mais abrangente e eficaz, que forneça informações sobre entradas e saídas, além dos motivos que estejam interferindo no desempenho operacional.

O presente estudo pretende contribuir com uma análise da eficiência operacional em uma indústria metalmeccânica, possibilitando assim um melhor entendimento dos fatores que afetam diretamente nesse indicador e fornecendo informações que permitam a empresa a melhorar seu desempenho através da implementação de ações em seu processo produtivo.

1.4 JUSTIFICATIVA SOCIOECONÔMICA

Analisando a importância da indústria na economia do país, pode-se verificar que esse setor emprega 9,4 milhões de pessoas, em torno de 20% dos empregos formais estão nesse setor. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), os melhores salários também estão nesse setor. Os dados da Figura 3, mostram essa diferença de salário entre a indústria e os demais setores.

Figura 3 – Dados salariais da Indústria no Brasil



Fonte: CNI.

Outro fator que mostra a importância desse setor na economia nacional é a capacidade de gerar crescimento que existe na indústria. Em uma análise da CNI, a cada R\$ 1,00 produzido na indústria, são gerados R\$ 2,32 na economia brasileira, reforçando a importância que esse setor possui para o desenvolvimento econômico do Brasil. A importância da indústria no crescimento do país é apresentada na Figura 4.

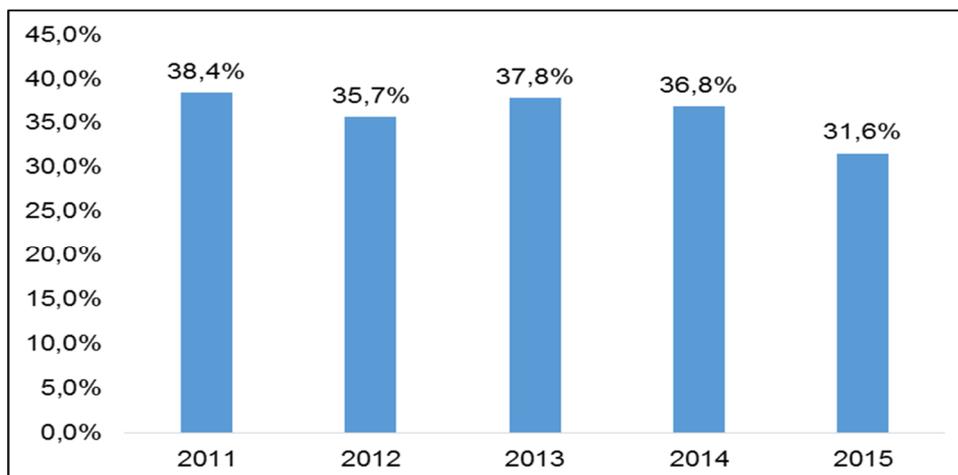
Figura 4 – Importância da Indústria no crescimento do País



Fonte: CNI.

Para a cidade de Panambi o setor industrial possui uma representatividade alta no PIB da cidade, com percentuais maiores do que o estado e do que em âmbito nacional. Em 2015 31,6% do PIB da cidade foi oriundo do setor industrial. O Gráfico 4 mostra a participação da indústria no PIB de Panambi.

Gráfico 4 – Participação da Indústria no PIB de Panambi.



Fonte: Adaptado de Deepask. Redução média de 4,4% ao ano.

A população de Panambi, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e de Estatística (IBGE), para dezembro de 2018 era de 43.170 pessoas. Segundo o Programa das Nações Unidas - PNDU, no ano de 2010, o município ocupava a 63ª posição no ranking do Índice de desenvolvimento Humano – IDH, com 0,761. Na Tabela 2, são apresentados dados da indústria em Panambi.

Tabela 2 – Dados sociais da Indústria em Panambi.

Município de Panambi	Número unidades locais	Pessoal ocupado		Salário médio mensal (salários mínimos)
		Total	Assalariado	
Outras atividades	1 794	14 618	12 438	2,9
Indústria	682	5 593	5 593	2,9

Fonte: Adaptado de IBGE

A partir desses dados verifica-se a importância que a indústria metalmeccânica representa para a cidade, sendo de grande contribuição pesquisas realizadas nesse segmento da economia de Panambi, buscando alternativas para tornar a indústria mais competitiva no cenário nacional e global.

1.5 QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS

A questão de pesquisa dessa dissertação é: como controlar a eficiência operacional em uma empresa da indústria metalmeccânica que opera com pedidos *assemble to order*?

1.5.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise da eficiência operacional em uma empresa da indústria metalmeccânica que opera com pedidos *assemble to order*, através da utilização de diferentes sistemas de medição da eficiência no equipamento com menor desempenho.

1.5.2 Objetivos Específicos

São os seguintes os objetivos específicos do trabalho:

- a) Analisar a eficiência em todos os equipamentos da fábrica;
- b) Identificar o equipamento com menor desempenho;
- c) Aplicar diferentes métodos de medição de eficiência no equipamento com menor desempenho;
- d) Entender o comportamento e os resultados do uso de diferentes métodos de medição da eficiência em um mesmo equipamento;
- e) Identificar as principais causas para a perda da eficiência;
- f) Propor possíveis soluções para aumento da eficiência operacional;

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação é composta por seis capítulos, sendo estruturada conforme segue:

Capítulo 1 – Nesse capítulo, já apresentado, são abordados os fatores em relação à introdução, contendo a apresentação geral do trabalho, as justificativas empresariais, acadêmicas e socioeconômicas, e além dos objetivos gerais e específicos, a delimitação do tema e a estrutura do projeto.

Capítulo 2 - São tratados os conceitos norteadores da pesquisa, que são: eficiência operacional, sistemas de produção, ambientes de produção e sistemas de medição de eficiência. Os conceitos são abordados considerando o ponto de vista dos principais autores.

Capítulo 3 - Neste capítulo, é apresentado o método utilizado para a conduzir a pesquisa, a justificativa da adoção do método, e o referencial teórico para embasamento do método proposto. O instrumento para a coleta dos dados também consta nesse capítulo.

Capítulo 4 – As características da indústria metalmecânica e o detalhamento do objeto de pesquisa são apresentados neste capítulo, evidenciando os equipamentos que compõem a fábrica, bem como o fluxo produtivo.

Capítulo 5 - As análises dos resultados obtidos através da pesquisa são tratadas neste capítulo, bem como a reflexão sobre o atendimento do estudo à proposta originalmente apresentada nos objetivos gerais e específicos desta dissertação.

Capítulo 6 - São apresentadas, as discussões acerca dos principais achados na pesquisa.

1.7 DELIMITAÇÕES

Essa dissertação busca analisar o comportamento da eficiência operacional em empresas da indústria metalmecânica, analisando a relação de entradas e saídas em um sistema produtivo. Concentra-se na aplicação e simulação dos métodos de medição de eficiência para equipamentos, sendo possível em um futuro próximo, aplicar o modelo mais adequado para os demais equipamentos.

Os sistemas de medição de eficiência são amplamente estudados na literatura, sendo que nessa dissertação limitada aos quinze modelos aqui descritos.

A escolha da empresa fonte de estudo, ocorre pela facilidade de obtenção das informações, uma vez que o autor atua nessa empresa e possui acesso aos dados necessários para elaborar as análises de eficiência.

2 EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico capaz de sustentar o desenvolvimento da pesquisa e de orientar teoricamente a construção dessa dissertação, além de identificar os construtos capazes de nortear o estudo. Serão abordados os conceitos com base nos principais autores, identificados na bibliografia, sobre sistemas de produção, eficiência operacional e produtividade.

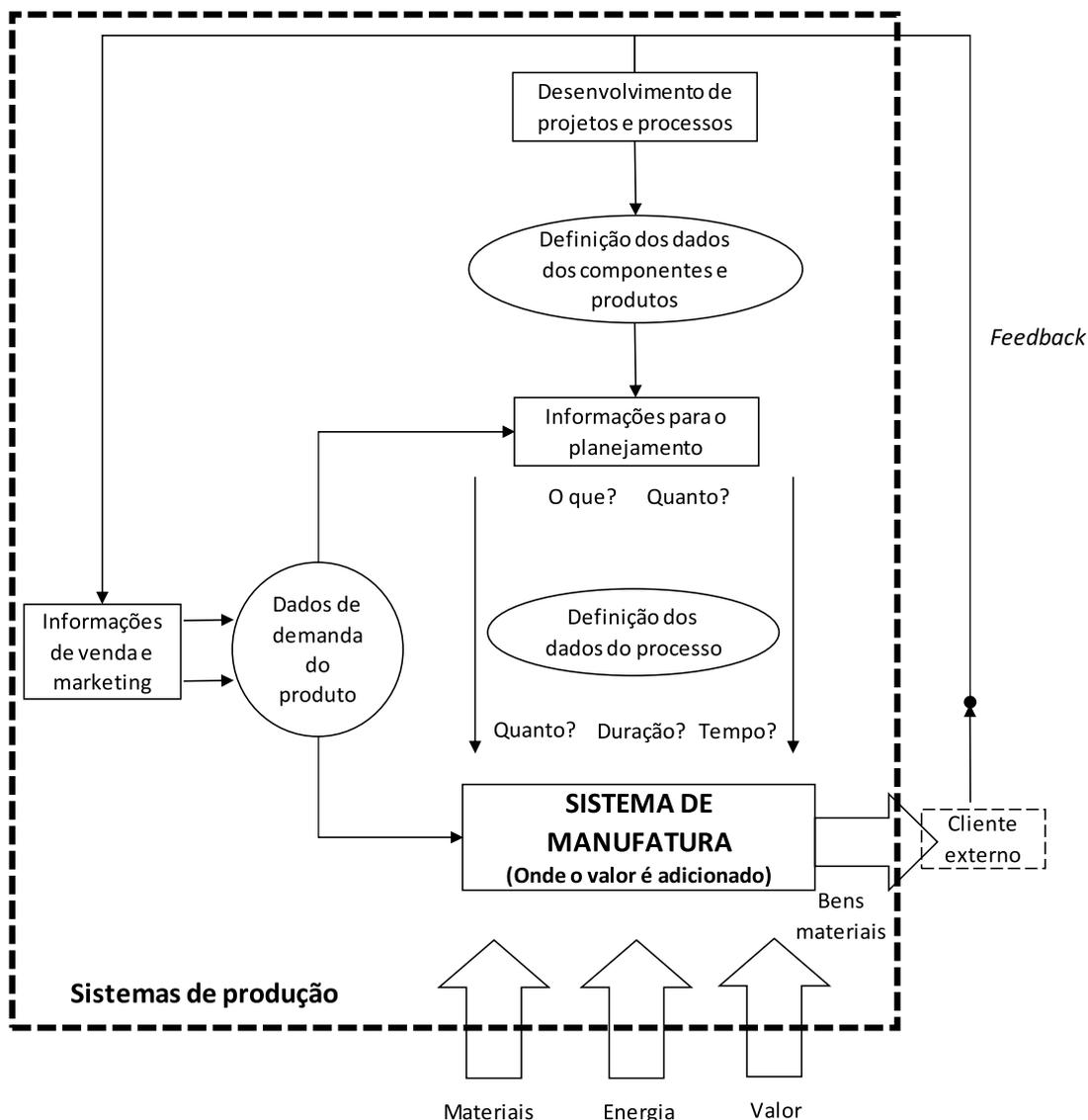
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Fabricar é o termo econômico utilizado para descrever o ato de fazer e disponibilizar produtos e serviços a fim de satisfazer as necessidades humanas. Manufaturar ou fabricar significa agregar valor a um produto ou serviço, através da aplicação de esforço mental ou físico (BLACK, 1998; ROSIO e BRUCH, 2018).

Processos de manufatura combinados formam um sistema de manufatura, que através de um conjunto de entradas, produz produtos para os consumidores. O sistema produtivo inclui sistemas de manufatura, portanto diz respeito a toda a empresa e incluindo os sistemas fabris. O sistema produtivo é o termo mais elevado na hierarquia, onde inclui as pessoas, dinheiro, equipamentos, materiais e suprimentos, mercados, administração e o sistema de manufatura (BLACK, 1998).

Os Sistemas de Produção foram construídos para suportar e apoiar de forma efetiva o funcionamento dos sistemas de manufatura. O Sistema de Produção engloba as informações mais gerais do fluxo produtivo e extremamente necessárias para o desenvolvimento adequado do sistema de manufatura e das estratégias de produção. Informações de venda, demanda de produtos, o desenvolvimento de projeto e de processos e informações de planejamento (o que, quando, quanto, tempo e duração) são estruturadas nesse maior objeto da engenharia de produção. O sistema de manufatura é um subsistema dentro do sistema de produção, sendo responsável pela transformação efetiva de insumos em produtos finais (ANTUNES JR., *et al.*, 2008). A Figura 5 explica essa relação entre os sistemas de manufatura e de produção:

Figura 5 – Relação entre os sistemas de manufatura e o sistema de produção.

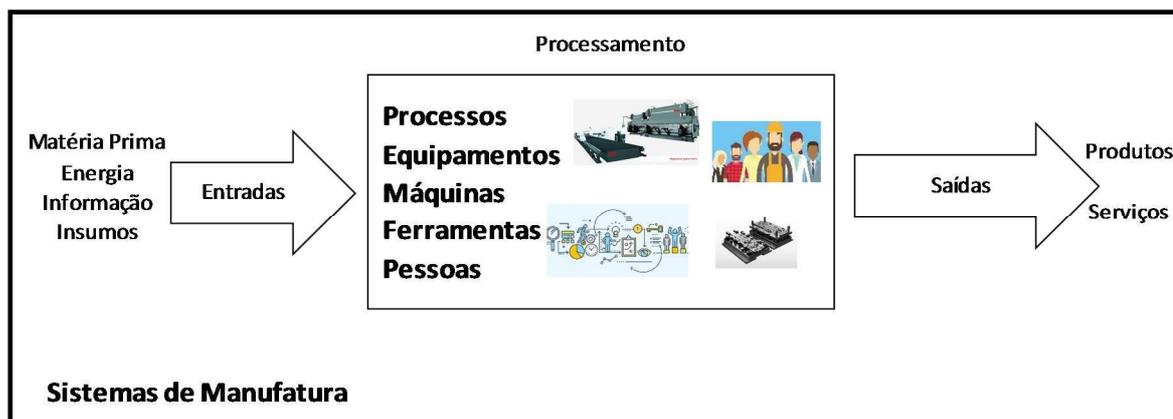


Fonte: Adaptado de Antunes Jr. *et al.*, (2008).

Conforme Black (1998), o sistema de manufatura é uma coleção ou arranjo de operações e processos utilizado para fabricar um determinado produto ou componente, incluindo o uso efetivo dos equipamentos existentes, conjunto de pessoas e procedimentos organizados que compõem o processo e o arranjo/ design destes processos (DA SILVA e ANTUNES JR., 2017). O controle de um sistema aplica-se ao controle de um todo, não de um processo ou equipamento individual. Todo sistema de manufatura deve ser controlado para regular níveis de estoques, movimentação de materiais pela fábrica, taxas de produção e qualidade do produto. (BLACK, 1998; COCHRAN *et al.*, 2017).

O sistema de manufatura se divide em processos de manufatura, que é cada equipamento específico projetado para realizar processos específicos, o agrupamento desses equipamentos forma o sistema de manufatura. Em cada equipamento específico existe um conjunto ou sequência de operações que são realizadas, o qual é denominado de tarefa. A tarefa é composta por uma ação ou tratamento específico, o conjunto do qual é composta a tarefa de um trabalhador. Por fim, os implementos utilizados para fixar, cortar, moldar ou conformar os materiais de trabalho são denominados de ferramentas ou ferramental, compondo assim todo o sistema produtivo (BLACK, 1998). Uma representação desse fluxo de entradas e saídas é demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Representação simplificada do sistema de manufatura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Investimento em material, informação e energia em um grupo complexo de elementos (máquinas e pessoas) são processados e ganham valor no sistema de manufatura, sendo bens de consumo ou elementos para um outro processo, as saídas desse sistema. A configuração ou projeto desses sistemas e a integração de todas as partes é um aspecto fundamental para uma ótima utilização de todos os seus elementos, obtendo assim um melhor desempenho operacional da empresa (GARIBIE, 2014).

A necessidade de gerir e controlar o sistema de manufatura, torna imprescindível a tarefa do sistema de produção em controlar o fluxo de materiais. Em uma analogia com o corpo humano, o sistema de manufatura bombeia o sangue (fluxo de material) e o sistema de produção checa a pressão sanguínea e o pulso (controla o fluxo). O uso dos sistemas de produção fornece práticas de fabricação que lhe

permitam desenvolver flexibilidade de volume, qualidade superior em seus produtos, eliminação de desperdícios no fluxo produtivo, obtendo um melhor uso de seu capital, bem como melhorando o seu desempenho operacional (EHIE e MUOGBOH, 2016).

Produtos e/ ou serviços são as principais saídas do sistema de manufatura. Em relação aos produtos e serviços, as saídas devem atender a ao menos seis atributos, cuja importância relativa pode variar: custo, qualidade, entrega, desempenho, flexibilidade e inovação. Sistemas de produção podem se organizar segundo ao menos sete diferentes lógicas (MILTENBURG, 2008):

- a) *layout* funcional;
- b) fluxo de lote;
- c) fluxo de linha orientado pelo operador;
- d) fluxo de linha com ritmo de equipamento,
- e) fluxo contínuo;
- f) sistemas de manufatura flexíveis;
- g) *just-in-time*.

Pode-se agrupar sistemas de produção em ao menos três categorias: produção artesanal (trabalho com baixos volumes e em lotes), produção em massa (trabalho em grande escala de produção, com fluxo de produção em linha de um único produto), e produção enxuta (produção com maior flexibilidade, atendendo grandes volumes e diversidades de produtos) (MILTENBURG, 2008).

A produtividade em uma organização industrial está diretamente relacionada ao sistema de manufatura ou ao sistema de produção. Uma vez que o sistema de manufatura é composto por todos os equipamentos (pessoas, operações e processos) o arranjo desse conjunto proporciona ganhos de produtividade e de eficiência. O projeto do sistema de manufatura passa por um arranjo adequado do layout dos equipamentos na fábrica, possibilitando a eliminação de desperdícios ao longo do processo produtivo. Um *layout* eficaz ajuda a reduzir os custos de produção (NEGAHBAN e SMITH, 2014).

Por sua vez, os sistemas de produção compreendem amplos modelos, conceitos e métodos de gestão, bem como, práticas de fabricação, que são direcionadas e usadas para definir as estratégias de produção, controles de processos, medidas de desempenho, identificação de gargalos e de análises de como

os materiais fluirão no processo fabril (WANG e LI, 2015). Inserem-se nesse conjunto as abordagens do Sistema Toyota de Produção (STP), da Teoria das Restrições (TOC), e dos sistemas integrados de Gestão (MRP II, ERP, SCM etc.), entre outros (DA SILVA e ANTUNES JR., 2017). Empresas que conseguem definir um bom modelo de gestão da produção, levando em consideração os fatores internos e externos, consolidam uma vantagem competitiva em relação aos custos, qualidade, flexibilidade e desempenho de entregas (EHIE e MUOGBOH, 2016; ANG *et al.*, 2015).

A busca por aumentar a eficiência operacional de uma empresa, está diretamente associada ao Sistema de Produção. O aumento da eficiência operacional passa pela redução dos desperdícios (YANG e YANG, 2013; SUTRISNO *et al.*, 2017). Segundo os mesmos, estão classificados em sete grandes grupos: Superprodução, Processamento em Excesso, Estoques, Movimentação, Produtos Defeituosos, Transporte e Espera. Pode-se inserir um oitavo desperdício nessa lista - O Desperdício da Criatividade - este relacionado direto aos funcionários da empresa (SHINGO, 1996; OHNO, 1997; SUTRISNO *et al.*, 2017). A seguir tem-se um detalhamento de cada um desses desperdícios:

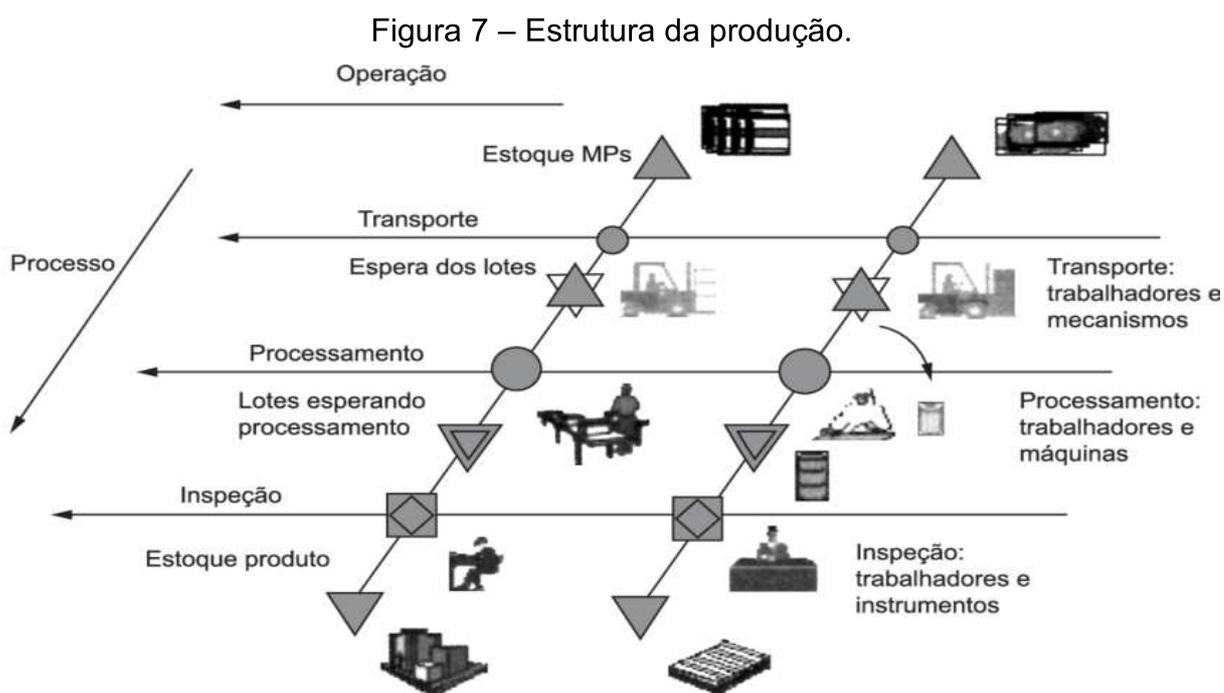
- a) superprodução: produção de itens sem a necessidade do cliente interno ou externo. Os mesmos são manufacturados sem haver necessidade;
- b) processamento em excesso: atividades executadas que não agregam valor ao produto, como por exemplo atividades de rebarbeamento;
- c) estoques: peças e produtos que ficam parados na fábrica para esconder instabilidades do fluxo produtivo;
- d) movimentação: são todos os deslocamentos e movimentos que o operador ou máquina necessitam fazer para processamento do produto;
- e) produtos defeituosos: são peças produzidas com algum desvio e que impactam na funcionalidade ou aspecto visual do produto;
- f) transporte: é a atividade de movimentação do material entre uma operação e outra. Como exemplo, podemos citar a movimentação com empilhadeiras, correias transportadoras e calhas de transporte;
- g) espera: refere-se aos lotes de itens não processados que ficam parados aguardando a execução de uma tarefa/operação. São os chamados estoques intermediários dentro do fluxo de produção. Ocorrem quando as operações de trabalho estão desbalanceadas ou quando os sistemas

produtivos não têm um fluxo contínuo, gerando o processamento das peças em grandes lotes;

- h) desperdício da criatividade: é a não utilização de toda a capacidade intelectual das pessoas. Por exemplo, um operador que foi contratado para executar a montagem de um parafuso, na qual utiliza basicamente seus braços e mãos, este poderia contribuir com ideias visando a otimizar o fluxo produtivo e também a sugerir melhorias que evitem demais desperdícios.

Atuando nesses desperdícios, conseqüentemente, atua-se no Sistema de Produção, possibilitando melhorias no sistema de manufatura da empresa. A razão entre entradas e saídas é otimizada, com isso a empresa aumenta sua eficiência e produtividade, atingindo resultados operacionais mais expressivos, gerando mais retorno para os *stakeholders*.

A atuação sobre os elementos de desperdício em um sistema de produção ocorre na observação do fluxo do objeto de trabalho ou no fluxo do sujeito trabalho. Surge aqui a visão do Sistema de Produção através de duas holísticas distintas, porém inter-relacionadas: o conceito da função produção e o da função processo (DA SILVA e ANTUNES JR, 2017). Esse conceito é exemplificado na Figura 7.



Fonte: Shingo, (1996).

A função processo refere-se ao fluxo de materiais ou produtos nos diferentes estágios de produção, que se modifica de acordo o curso simultâneo do tempo e do espaço. Nessa visão do fluxo produtivo observa-se a transformação da matéria-prima em produtos acabados. A finalidade principal da função processo é o atendimento das necessidades do cliente, fornecendo uma visão completa de todo o sistema produtivo (SHINGO, 1996; DA SILVA e ANTUNES JR., 2017).

A função operação refere-se aos estágios, nos quais trabalhadores e máquinas encontram-se relacionados ao longo do trabalho. Ela representa os operadores e máquinas que se modificam com o curso simultâneo do tempo e do espaço. A função operação deve ser pensada como um conjunto de atividades subordinadas à função processo, buscando a melhor eficácia das partes envolvidas no sistema produtivo, uma vez que oferece uma análise completa de cada parte da atividade executada para produzir um produto (SHINGO, 1996; DA SILVA e ANTUNES JR., 2017).

O fluxo dos materiais no sistema produtivo (função processo) pode ser da ordem puxada ou empurrada. O sistema puxado é caracterizado por mecanismos que puxam os materiais ao longo do sistema de manufatura, ou seja, só se inicia uma atividade quando o cliente interno ou externo faz uma solicitação. Por outro lado, sistemas de fluxo empurrado são caracterizados por seguirem um fluxo produtivo mesmo sem haver demanda do cliente interno ou externo, baseado em uma demanda do cliente é iniciada a produção e o material flui de uma etapa a outra, conforme concluída cada operação (GUPTA e GUPTA, 1989; ANTUNES JR. *et al.*, 2008).

A incessante competitividade industrial, força as organizações de forma constante na redução de preços. O controle, medição e análise do desempenho fabril é fundamental para possibilitar análises e detectar desperdícios no sistema produtivo. Uma vez identificado esses pontos de melhorias, os gestores podem atuar com ações para aumentarem a eficiência operacional de suas unidades fabris, tornando a empresa mais lucrativa e competitiva em seu mercado de atuação (NARKHEDE, 2017; TARANCÓN *et al.*, 2018).

2.2 MODELOS OPERACIONAIS DO AMBIENTE DE PRODUÇÃO

Em um ambiente de crescentes interconexões econômicas, as empresas são tomadas de incertezas macroambientais, competitivas, de mercado e tecnológicas. O desenvolvimento sustentável nesse ambiente leva à necessidade de uma atenção

extra entre o equilíbrio da capacidade e da demanda em todos os níveis da organização. Em um mercado com grandes oscilações de demanda, as decisões relacionadas ao que produzir e quando produzir são de grande importância para uma boa utilização da capacidade instalada e da otimizando dos lucros da empresa, uma vez que, através das estratégias de produção pode-se garantir um bom atendimento das demandas e evitar investimentos em aumentos de capacidade devido aos picos sazonais de demanda. (LU e CHEN, 2018).

A incerteza relacionada a demandas futuras representa um risco aos planejadores, soluções robustas precisam ser encontradas para trabalhar com essas incertezas a fim de otimizar a utilização da capacidade instalada, garantindo o atendimento ao cliente final. (AGRA *et al.*, 2018). Por outro lado, existe uma pressão do mercado externo pela redução dos prazos de entrega sem afetar desempenhos de qualidade e de custos (MORIKAWA *et al.*, 2014).

Para alcançar esse equilíbrio, as empresas confiam em várias estratégias operacionais, as quais buscam aumento da eficiência operacional, reduções de estoques, redução de *lead time* mantendo a qualidade final, possibilitando um ambiente competitivo em relações aos custos também. Por outro lado, as empresas precisam lidar com a otimização de sua capacidade instalada de tal forma que consigam atender às demandas do mercado. Considerando esse cenário, os modelos operacionais adotados pelas empresas são categorizados como: produção para estoque (*Make-to-Stock - MTS*), montagem sob encomenda (*Assemble-to-order - ATO*), produção sob encomenda (*Make-to-order - MTO*) e engenharia sob encomenda (*Engineering-to-order - ETO*) (ATAN *et al.*, 2017).

2.2.1 Produção para estoque (MTS)

Em um sistema de Produção para Estoque (*Make-to-stock – MTS*) a produção é iniciada antes da demanda ocorrer, os produtos entram em estoque antes de serem vendidos ao cliente. Esse sistema é apropriado para produções em massa, onde é possível uma padronização dos produtos. Os principais benefícios são curtos lead times de entregas e economias em escala de produção (ZHANG *et al.*, 2013).

A produção em um sistema MTS inicia-se com antecedência, mesmo sem pedidos confirmados, garantindo os níveis de abastecimento dos *buffers*. Os *buffers* são dimensionados de acordo com as previsões de demanda, as quais podem ser do

mercado externo ou das necessidades de abastecimento interno da empresa, mediante o consumo dos itens desse *buffer* é enviada a informação da necessidade de fabricação de novos itens para repor o mesmo (LU e CHEN, 2018). Dessa forma, no momento que o cliente coloca um pedido ou faz a solicitação de compra, o produto está disponível, reduzindo o tempo entre pedido e entrega do produto final. Encontrar os níveis ideais de itens para os *buffers* não é uma tarefa fácil, uma vez que, as retiradas podem aumentar ou reduzir de acordo com as demandas do cliente, assim, mesmo trabalhando com esse nível de estoque, existe o risco de o cliente não ter o produto disponível no momento que faz seu pedido (MORIKAWA *et al.*, 2014).

Em um ambiente de variações de demandas e de restrições da capacidade produtiva, o sistema MTS pode proporcionar uma solução adequada para garantir o atendimento das necessidades ao longo de todo o ano, por exemplo, se empresa tem um limite de capacidade e em alguns meses do ano a demanda é menor do que a capacidade e em outros é maior, ela pode produzir o ano inteiro com sua capacidade máxima, gerando estoque para os meses onde a demanda do mercado é maior que sua capacidade. Essa estratégia aumentam os lucros da empresa, pois se a mesma produzisse apenas pelos pedidos do cliente, nos meses em que a demanda fosse maior que a capacidade a mesma perderia vendas. Esse cenário também favorece o balanceamento e estabilização do sistema produtivo, porque mantém o volume de produção mais constante ao longo do ano (LU e CHEN, 2018).

No entanto, em um mecanismo MTS a empresa assume o risco de manter estoques, necessitando uma gestão muito assertiva sobre o dimensionamento do tamanho desses *buffers*, visto que se o produto reduzir o seu índice de venda, a empresa poderia acabar ficando com itens obsoletos em seu estoque. Outro risco nesse sistema são as incertezas de mercado, pois considera horizontes para o planejamento de produção sobre as demandas de médio e de longo prazo - demandas essas que podem diminuir ou aumentar muito rapidamente. Diante disso, a equipe de gestão precisa estar muito atenta aos movimentos externos, para evitar produções desnecessárias (LU e CHEN, 2018).

2.2.2 Produção sob Encomenda (MTO)

Em um ambiente de Produção sob Encomenda (*Make-to-order – MTO*), a produção ou montagem de produtos é orientada pelas necessidades do cliente, desta

forma, só se inicia a produção depois que a demanda do cliente é conhecida. Cada item é entregue diretamente ao cliente após a conclusão da produção, este modelo é especialmente utilizado para sistemas de produção que buscam atender às necessidades específicas do consumidor, fazendo produtos customizados. (YANG e FUNG, 2014; ZHANG *et al.*, 2013).

Os sistemas MTO geralmente possuem *lead time* de entregas maiores, gerados em função do início de produção só ocorrer após a confirmação do pedido do cliente. Em resumo, proporcionam menores eficiências para os sistemas fabris, porém trazem menores níveis de estoque e a opção de customização dos produtos como diferencial para o cliente, gerando uma sensação de exclusividade (ZHANG *et al.*, 2013). Além disso, permitem uma maior variedade, flexibilidade de produtos e de menores custos (CHUA *et al.*, 2018).

Existe o risco de perdas de vendas por restrições de capacidade da empresa, principalmente em produtos que apresentam uma sazonalidade de vendas. A empresa operando em MTO, quando recebe um pedido maior que sua capacidade produtiva, precisará de adequações em sua instalação para elevar a sua capacidade e atender a esse pedido, situação essa que pode demorar para ser implementada ou então por características do processo, talvez nem seja possível de ser realizada. Nesse cenário é inevitável a perda de vendas, já que o cliente buscará outras fontes para atender sua necessidade. (ZHANG *et al.*, 2013).

2.2.3 Engenharia sob Encomenda (ETO)

Empresas que operam em um modelo de Engenharia sob Encomenda (*Engineering-to-Order – ETO*) projetam e constroem produtos exclusivos de acordo com uma especificação ou necessidade do cliente. É uma abordagem para atender às variações de requisitos de seus clientes, sendo mais adotada a produtos de baixo volume e em muitas vezes a produtos únicos. (SRIRAM *et al.*, 2014; LEVANDOWSKI *et al.*, 2015).

É uma abordagem que apresenta longos prazos de entrega, e que necessitam de um envolvimento do cliente ao longo de grande parte do ciclo de vida do produto. São projetos limitados no tempo e que incluem as fases de projeto, fabricação, instalação e comissionamento (SRIRAM *et al.*, 2014).

O ambiente de operação é muito dinâmico, obrigando as empresas exercerem uma condição de flexibilidade para gerenciar as flutuações. A baixa demanda e longos lead times, expõem o processo e os produtos a muitas mudanças ao longo do desenvolvimento, gerando um clima de incerteza no projeto (SRIRAM *et al.*, 2014).

2.2.4 Montagem sob Encomenda (ATO)

Em um sistema de Montagem sob Encomenda (*Assemble-to-Order – ATO*) a produção consiste em uma combinação de duas etapas. Na primeira parte do fluxo produtivo os componentes são produzidos sem a existência de um pedido de compra do cliente final e estocados em um determinado local, a necessidade de produção é ditada pelo gerenciamento desse estoque, garantindo a existência de componentes prontos assim que receber um pedido do cliente final. Quando o cliente coloca um pedido é realizado a segunda parte da produção, ou seja, o produto final só é confeccionado mediante o sinal do cliente, caracterizando uma montagem sob encomenda (ATAN *et al.*, 2017).

Geralmente os sistemas ATO são utilizados para fabricação de produtos complexos e que possuem longos *lead time* de fabricação, pelo qual, através dessa forma de produção, é possível reduzir o tempo de atravessamento do produto, possibilitando uma redução no tempo de resposta e um melhor atendimento ao cliente, pois o produto estará rapidamente disponível para entrega (ATAN *et al.*, 2017).

Empresas do segmento automotivo e indústrias da linha branca adotam essa estratégia de produção, visando operar com menores custos e um alto nível de serviço. Retardando a montagem final as empresas se beneficiam do agrupamento de inventários, conseguem fazer um melhor planejamento e ter uma melhor ocupação da fábrica através da otimização do tamanho dos lotes produtivos, conseqüentemente, aumentam a relação entre entradas e saídas, melhorando seu desempenho operacional (ATAN *et al.*, 2017).

2.3 EFICIÊNCIA OPERACIONAL - HISTÓRIA E TEORIA

Pesquisas sobre a avaliação da Eficiência Operacional remontam a meados do século XIX, quando foi realizado o primeiro estudo de produtividade dentro das empresas. A escala das empresas era muito pequena e o negócio em si era

relativamente simples, as empresas concentravam-se na avaliação do custo. No entanto, com o desenvolvimento da economia, os negócios das empresas tornaram-se mais complexos e o sistema de avaliação também se tornou complicado, expandindo de custos para uma série de índices financeiros, voltados a medição mais ampla do quão a empresa mantém uma operação eficiente (DONG *et al.*, 2015).

A melhoria do desempenho operacional nos sistemas de manufatura necessita a adoção das melhores práticas e métodos de produção, além de técnicas e ferramentas apropriadas para a medição do desempenho desse sistema de manufatura. A medição de desempenho é um processo chave para as empresas, e um dos objetivos dos métodos, técnicas e ferramentas de medição é proporcionar a análise da produtividade e da eficiência nas organizações e dos sistemas produtivos de bens e serviços, fornecendo subsídios para análise do uso adequado dos recursos produtivos existentes (SOUZA *et al.*, 2018).

Por outro lado, o processo de produção pode ser analisado como sendo o processo de transformação do capital utilizado na compra de ativos fixos, estoques, etc., no valor recebido após a venda dos produtos manufaturados, por meio da agregação de valor. Dessa forma, quanto maior for o tempo de atravessamento, maior será a necessidade de capital de giro para possibilitar o funcionamento do sistema produtivo (ANTUNES JR. *et al.*, 2013). Considerando que as taxas de juros são relativamente altas no Brasil, a maximização do uso dos ativos fixos e a redução do tempo de atravessamento afetam diretamente o resultado econômico das empresas.

O cenário de alta competitividade atualmente vivenciado pelas empresas, faz com que elas busquem maximizar a utilização de seus recursos, constituídos de máquinas, pessoas e instalações, com o objetivo de reduzir os custos operacionais e aumentando a produtividade, uma vez que isso acaba gerando um diferencial competitivo para a organização dentro do seu mercado de atuação. No Brasil, constata-se que em muitos casos as empresas apresentam um baixo rendimento. É necessário, portanto aumentar a eficiência operacional (TARANCÓN *et al.*, 2018).

A eficiência operacional consiste na busca de melhorar o desempenho com o uso de um conjunto de técnicas e ferramentas de gestão como: qualidade total, parcerias estratégicas, reengenharia e gestão da mudança, visando uma produtividade e qualidade cada vez maior para os clientes. Assim, busca-se aumentar a produtividade, a qualidade, os lucros e, como o nome diz, cada detalhe da operação. Essa prática gera melhorias que permitem exercer atividades semelhantes melhor que

os rivais, proporcionando uma vantagem competitiva sobre as rivais. Muitas empresas revelam incapacidade de traduzir estes ganhos em vantagens sustentáveis, o que faz com que as técnicas de gestão tomem o lugar da estratégia (FRANÇA e NETO, 2009; PORTER, 1996).

Ao medir e comparar a eficiência de várias unidades dentro de um sistema de produção, geralmente a estratégia a ser adotada busca traçar uma fronteira da tecnologia ideal para produzir a saída desejada a partir dos insumos necessários. Essa fronteira de produção é obtida a partir de evidências empíricas e, em essência, a melhor saída é identificada por um procedimento matemático. A distância de cada unidade específica a essa fronteira estabelecerá seu nível de eficiência de produção. A abordagem alternativa para medir e comparar a eficiência produtiva global de vários sistemas de produções inter-setoriais utiliza a razão entre as entradas e saídas desse sistema produtivo. A análise de insumo-produto pode ser levada em consideração ao avaliar a eficiência produtiva geral dos vários sistemas de produção (TARANCÓN *et al.*, 2018). De forma simplificada essa relação de entradas e saídas é mostrada na Figura 8, onde que através do uso da equação 1, faz-se a razão dessas duas informações e obtém a eficiência operacional do sistema.

Figura 8 – Representação da eficiência operacional, entradas e saídas



Fonte: Elaborado pelo autor.

$$Eficiência\ Operacional = \frac{Saídas}{Entradas} \quad (1)$$

A eficiência operacional representa a competência gerencial de uma empresa, ou quão bem ela harmoniza insumos para alcançar resultados no processo de produção. Conseqüentemente, a eficiência operacional é um indicador substituto da excelência operacional de uma empresa para transformar vários recursos em produtos de valor agregado (AMESS e GIRMA, 2009). Ao emparelhar fatores estratégicos e desempenho, a eficiência relativa de uma empresa, reflete a eficiência

técnica geral de uma empresa na geração de saídas (por exemplo, receita de vendas) para recursos alocados. Portanto, um alto nível de eficiência operacional é um indicador das melhores práticas de gestão de uma empresa em um ambiente competitivo (KWON e LEE, 2019).

Em um cenário de alto desempenho os gestores buscam entrega no prazo, nível mínimo de WIP, período mínimo de espera dos cliente e utilização máxima dos recursos da fábrica. Esses objetivos são muitas vezes conflitantes entre si, dessa forma os sistemas de produção oferecem ferramentas de programação e planejamento da produção para buscar encontrar um equilíbrio entre esses objetivos, evitando perdas de competitividade (CHEN e WANG, 2016). Empresas que operam com esses problemas geralmente apresentam uma baixa eficiência operacional, competindo e aperando com baixas margens de lucro. Nesse sentido, o uso de técnicas robustas para avaliar o desempenho da organização interna é essencial (SOUZA *et al.*, 2018).

Na prática, a contabilidade de custos encoraja a utilização máxima dos equipamentos, sendo que, no projeto do sistema de produção, quanto maior a utilização dos equipamentos, maior será o retorno sobre o investimento, desde que sua utilização seja para aumentar a receita. Porém a maior utilização necessita andar em paralelo com um maior número de vendas, caso contrário irá apenas aumentar os estoques, e não os lucros, necessitando um maior capital de giro para manter a operação funcionando (WANG e TANG , 2018).

A lei da capacidade implica que é impossível operar o tempo todo em 100% da capacidade. Quão próximo da capacidade máxima uma linha poderá operar, mantendo níveis razoáveis de WIP e de tempo de ciclo (tempo necessário para execução de uma peça) depende do seu nível de variabilidade. Quanto maior a variabilidade menor a utilização a ser compensada (HOPP e SPEARMAN, 2013).

Uma correlação entre o tempo de ciclo e o WIP é importante para medir a taxa de operação do sistema. Essa é uma das maneiras de controlar os níveis de entrada e saída da fábrica, mostrando o nível de eficiência operacional da mesma, uma vez que essas taxas de entrada e saída precisam ser iguais, quando as mesmas são diferentes estamos aumentando o estoque dentro da fábrica e conseqüentemente mais recurso financeiro se faz necessário para manter a operação funcionando (SELLITTO, 2018).

A lei de *Little* implica que a redução do tempo de ciclo e do WIP é equivalente, desde que a produtividade se mantenha constante. Porém a lei da criação de reservas contra a variabilidade sugere que minimizar o WIP sem reduzir a variabilidade resultara em uma diminuição também da produtividade. Assim a redução da variabilidade é um importante componente dos programas de redução do WIP e do tempo de ciclo (HOPP e SPEARMAN, 2013). Nesse caso o controle da carga de trabalho que é liberada para o sistema de manufatura se faz necessária para manter a eficiência do sistema, estabilizando o inventário para que o mesmo não caia abaixo de um determinado nível. Por outro lado, para o *lead time* permanecer baixo, o estoque não pode crescer em excesso e precisa ser mantido em um nível ótimo para o melhor fluxo produtivo (SELLITTO, 2018).

A análise da eficiência operacional, normalmente é realizada e comparada apenas internamente. A falta de dados confiáveis e o fato de envolver, por muitas vezes dados estratégicos, existe uma certa dificuldade de obter informações da eficiência operacional das empresas, dificultando a comparação do quão eficiente uma empresa é perante outra. Com isso o coeficiente entre entradas e saídas fornece o desempenho da empresa em análise, gerando uma informação importante na definição da estratégia de uso dos recursos internos para buscar o melhor rendimento possível, maximizando o lucro da organização (SOUZA *et al.*, 2018).

2.4 EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE

A melhoria da produtividade e da eficiência é um desafio para muitas organizações que produzem bens e serviços. É necessário medir de forma precisa, objetiva e globalmente a produtividade e a eficiência, para gerar e fornecer dados confiáveis ao grupo de gestores da empresa, possibilitando assim análise e tomada de decisão dos gestores. Essas decisões auxiliam à condução da organização a melhor utilização dos recursos, redução de custos, melhor alocação dos investimentos, definição mais precisa de metas, aumento da eficiência operacional, entre outras (PHUSAVAT *et al.*, 2013).

Produtividade e eficiência são muitas vezes tratados como iguais, porém apresentam conceitos bem distintos. Para alinhamento desses conceitos, será usado as seguintes definições: Produtividade é a relação entre os recursos de entrada utilizados (*inputs*) e o resultados gerados em uma máquina, uma operação, um

processo ou um sistema (*outputs*). Eficiência é uma medida comparativa que representa o aproveitamento dos recursos, ou seja, uma comparação entre o que foi produzido e o que poderia ser produzido com a utilização de determinado recurso. (PIRAN *et al.*, 2018; PIRAN *et al.*, 2016).

As equações 2 e 3 evidenciam a diferença entre produtividade e eficiência, facilitando o entendimento desse conceito, sendo que com a equação 2, a razão de saídas e entradas, gera a produtividade do sistema e para a medição da eficiência a equação 3 calcula essa mesma razão e compara com o máximo possível daquele objeto de análise.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Outputs (saídas)}}{\text{Inputs (entradas)}} \quad (2)$$

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Outputs (saídas)}}{\text{Inputs (entradas)}} \text{ realizada e comparada com } \frac{\text{Outputs (saídas)}}{\text{Inputs (entradas)}} \text{ máxima} \quad (3)$$

2.4.1 Produtividade

A produtividade evidencia como um determinado processo utiliza seus recursos. Refere-se ao quociente obtido dividindo o volume de itens produzidos com uma determinada quantidade de insumos, ou seja, obtendo uma relação ao que foi produzido com o que foi consumido. A produtividade pode ser entendida como a relação entre a quantidade de bens e serviços gerados e a quantidade de recursos consumidos para gerá-los em um mesmo período de tempo (RAHMANI, 2017; CHEN e WANG, 2016).

Quando apenas uma entrada e saída são incluídas no processo de fabricação, o índice de produtividade pode ser representado em unidades físicas. Em casos de múltiplas entradas e saídas, esses elementos não são homogêneos e se faz necessário consolidar pesos de valor ou custo para cada elemento (RAHMANI, 2017).

A produtividade depende de diversos fatores inseridos em um sistema de manufatura, diferentes tecnologias de produção disponíveis às organizações, na maneira de executar o plano de operações, na sequência de operações de um determinado processo, no ambiente que ocorre a produção e de acordo com as estratégias de produção empregadas. A incessante busca pelo aumento da

produtividade a degradação de outros setores, como por exemplo o meio ambiente. Isso aumenta a importância da existência de um bom critério de medição e análise desse indicador (OJHA, 2014).

Para o desenvolvimento sustentável e o sucesso de uma organização as melhorias em produtividade precisam ser consideradas. A produtividade do trabalho é umas das medidas utilizadas para avaliar o desempenho da organização. O número de funcionários, folha de pagamento, nível de qualificação, etc., são fatores que interferem nesse índice e devem ser explorados, uma vez que seu gerenciamento possibilita aumento da produtividade. Melhorar a produtividade é uma parte importante da gestão de negócios. A melhor utilização dos recursos da empresa possibilita redução dos desperdícios e aumento do lucro, tornando assim o negócio mais rentável e eficiente aos olhos dos *stakeholders*. O desenvolvimento de métodos de medição e análise da produtividade permitem a empresa o estabelecimento de estratégias de negócio apropriadas para proteger a competitividade futura (JIN *et al.* 2016). A produtividade no trabalho é uma das fontes de sucesso do negócio, contribuindo para o desenvolvimento econômico em âmbito regional e nacional (TARANCÓN *et al.*, 2018).

2.4.2 Eficiência

A medição da eficiência nas empresas de manufatura e de serviços é fundamental para fornecer uma visão adequada e ajudar a equipe de gestão na concepção de teorias e políticas adequadas para o aumento constante da lucratividade e competitividade (SOUZA *et al.*, 2018). Uma empresa torna-se tecnicamente eficiente quando utiliza um nível mínimo de insumos para a obtenção de determinado nível de produtos, assim quanto mais resultados obtidos para uma determinada quantidade recursos utilizados, maior a eficiência. A eficiência produtiva e de serviços pode ser analisada sob dois aspectos, eficiência técnica e eficiência de escala. Além disso, existe a eficiência alocativa e eficiência de custos/econômica (PIRAN *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2018).

A eficiência técnica é representada pela capacidade de um processo utilizar a menor quantidade de insumos para produzir o melhor resultado de uma quantidade de produtos ou serviços. Para simplificar o entendimento, a eficiência técnica pode ser entendida como a habilidade de obter a máxima produção a partir de um determinado

conjunto de insumos. A maximização da quantidade de insumos utilizados para produzir um produto ou serviço, está ligada à tecnologia de produção existente, uma vez que a combinação adequada de diferentes quantidades de insumos para um determinado volume de produção proporciona um melhor rendimento do sistema, conseqüentemente aumentando a eficiência do mesmo (TARANCÓN *et al.*, 2018; GIOLONGO e GOMILA, 2016).

A eficiência de escala é resultado do nível de máxima produção situada sob a fronteira eficiente. Consiste em uma escala ótima de funcionamento na qual a redução ou aumento na escala de produção implica a redução da eficiência. Está relacionada as melhores práticas de produzir (PIRAN *et al.*, 2018; PORTELA, 2014).

Os modelos de eficiência alocativos devem ser preferidos quando os dados utilizados das variáveis (entrada e saída) são mensuradas e representadas por unidades monetárias. A eficiência alocativa reflete a capacidade de minimizar os custos, utilizando os insumos em proporções ótimas, considerando os preços desses insumos. Em outras palavras, a eficiência alocativa é a razão entre o custo unitário da empresa para produzir seus produtos e o custo unitário para produzir com a melhor prática produtiva (PIRAN *et al.*, 2018; HOLMES *et al.*, 2014; PORTELA, 2014).

A eficiência de custos/econômica é um conceito mais amplo do que a eficiência técnica e alocativa, na medida que envolve a escolha e combinação ótima de um mix de insumos de entrada e/ou saídas com base no comportamento dos preços de mercado. Para ser eficiente em custos, a empresa precisa tem que definir seus níveis de entrada e/ou saída para otimizar determinado objetivo econômico (GIOLONGO e GOMILA, 2016).

2.5 MEDIÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

A operação industrial inserida em um mercado altamente competitivo, força o desenvolvimento de ferramentas voltadas a reduzir os desperdícios fabris e aumentar a eficiência operacional. Para melhorar o desempenho industrial é necessário medir, analisar e comparar os resultados obtidos, fornecendo assim subsídios aos gestores facilitando o processo de tomada de decisão (ANTUNES JR., *et al.*, 2008). No Quadro 1 apresenta-se a descrição desses modelos, os quais serão detalhados na sequência:

Quadro 1 – Indicadores de medição da eficiência

Indicador	Descrição do Indicador	Unidade de análise	Autores
<i>OEE – Overall Equipment Effectiveness</i>	Identificar e medir as perdas nas operações dos equipamentos	Equipamento	Nakajima (1989)
<i>OTE – Overall Throughput Effectiveness</i>	Utilizado para medir a performance da fábrica e identificar gargalos e capacidades ocultas	Fábrica	Muthiah e Huang (2007)
<i>PEE – Production Equipment Effectiveness</i>	Utiliza os mesmos indicadores do OEE, porém atribui pesos diferentes para cada um deles, de acordo com a importância de cada um no processo em que está sendo medido	Equipamento ou Fábrica	Raouf (1994)
<i>OFE – Overall Factory Effectiveness</i>	Mede atividades combinadas na quais há o relacionamento entre diferentes máquinas e equipamentos	Células de produção ou Fábrica	Oechsner et al. (2002)
<i>TEEP – Total Effective Equipment Productivity</i>	Mede a eficiência do equipamento considerando o tempo das paradas planejadas, aplicado principalmente em máquinas gargalo	Equipamento	Ivancic (1998)
<i>OPE – Overall Plant Effectiveness</i>	Propõe medir as saídas (<i>outputs</i>) reais da fábrica em relação às saídas (<i>outputs</i>) previstos	Fábrica	Scott e Pisa (1998)
<i>OAE – Overall Asset Effectiveness</i>	Propõe medir as saídas (<i>outputs</i>) reais da fábrica em relação às saídas (<i>outputs</i>) previstos	Fábrica	Neely et al. (2008)
<i>OLE – Overall Line Effectiveness</i>	Mede a eficiência de uma linha de produção considerando a integração de várias máquinas ou etapas do processo	Células de produção	Lanza et al. (2013)
<i>OEEML – Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line</i>	Traz uma análise mais ampla da fábrica, permitindo a determinação das máquinas que influenciam a eficiência geral	Células de produção	Lanza et al. (2013)
<i>TOEE – Total Overall Equipment Effectiveness</i>	Traz uma análise mais ampla da fábrica, permitindo a determinação das máquinas que influenciam a eficiência geral	Células de produção	Lanza et al. (2013)
<i>GPE – Global Production Effectiveness</i>	Utiliza uma sequência de medidas individuais combinadas para determinar a performance do sistema após cada integração entre os processos	Fábrica	Lanza et al. (2013)
<i>ORE – Overall resource effectiveness</i>	Avalia o desempenho da máquina ou processo em um modelo mais amplo levando em consideração a disponibilidade, performance, qualidade, eficiência do material, custo do processo e variações do custo do material	Equipamento ou Células de Produção	Reyes (2015)
<i>CUB – Capacity Utilization Bottleneck</i>	Mede as saídas do gargalo em relação à produção teórica que o mesmo deveria estar realizando	Equipamento	Konopka (1995)

<i>EPR – Equipment Performance Reliability</i>	Mede a confiabilidade do equipamento, relacionada com a sua condição de atender às características técnicas para as quais foi projetado	Equipamento	Muchiri e Pintelon (2008)
<i>DEA – Data Envelopment Analysis</i>	Metodologia de análise da eficiência através da comparação de uma eficiência ótima com a eficiência das unidades de análise	Equipamento, Fábrica ou Células de Produção	Charnes et al. (1978)

Fonte: Adaptado de Piran *et al.*, (2018).

2.5.1 Eficácia Geral do Equipamento (OEE)

Durante a construção dos sistemas de produção enxuta, foram desenvolvidas ferramentas para acabar com as perdas e atingir o zero defeito no fluxo de produção. Uma dessas ferramentas é a manutenção produtiva total (MPT), cujo objetivo é desenvolver um método de gestão do processo produtivo no intuito de manter os equipamentos operando, reduzir o número de falhas e defeitos, conseqüentemente, aumentando o rendimento operacional do sistema produtivo, reduções de custo e redução de estoque. O MPT dá uma grande atenção aos equipamentos, dessa forma a Eficácia Geral do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness – OEE*) foi projetada para identificar perdas que reduzem a eficácia dos equipamentos (MUCHIRI e PINTELOON, 2008).

Atualmente, a OEE é uma métrica amplamente aceita e aplicada em indústrias. Por se tratar de uma métrica geral simples e clara, com capacidade de integrar vários fatores de desempenho dentro de um nível global, vem se tornando cada vez mais popular seu uso para medir a produtividade em operações de fabricação. Reyes (2015) define o OEE como uma métrica ou medida para a avaliação da eficácia do equipamento, buscando identificar perdas de produção e outros custos indiretos e ocultos (REYES, 2015).

A medição da OEE é baseada nas seis grandes perdas existentes nos equipamentos definidas no estudo de Nakajima (1989) (SILVA *et al.*, 2017; CHIARADIA, 2004):

- a) perdas por quebra: o equipamento fica parado por um determinado tempo até que se estabeleça novamente a condição de operação, seja pela atividade da manutenção, pre-set, engenharia ou outro departamento;

- b) perdas por setup: estão relacionadas a mudanças de produtos e regulagens do equipamento até ser concluído o setup;
- c) perdas por ociosidade e pequenas paradas: pequenas interrupções dos ciclos dos equipamentos, gerando paradas e partidas constantes. São interrupções curtas e de rápida resolução;
- d) perdas por redução de velocidade: velocidade real de operação ser menor do que a velocidade teórica especificada para o equipamento. Podem estar relacionadas a problemas de manutenção, operação, qualidade ou processo;
- e) perdas por problemas de qualidade e Retrabalhos: é relativa a geração de produtos não conformes durante a operação;
- f) perdas por queda de rendimento: estão relacionadas a restrições de operação do equipamento.

A ferramenta de medição OEE tem sua força na maneira de integrar diferentes aspectos importantes da fabricação em uma única ferramenta de medição. Em essência, o OEE é mensurado através da estratificação dessas seis grandes perdas, e seu resultado é obtido pela multiplicação dos índices de disponibilidade, performance e qualidade, conforme apresentado na equação 4 (SILVA *et al.*, 2017):

$$OEE = D \times P \times Q \quad (4)$$

Onde:

D = Disponibilidade

P = Performance

Q = Qualidade

O índice de disponibilidade representa o tempo em que o equipamento ficou efetivamente em produção, ou seja, significa o tempo disponível para produção, menos o somatório dos tempos de paradas que ocorreram no equipamento. É calculado pela equação 5. As perdas por quebra e por setup fazem parte desse cálculo (SILVA *et al.*, 2017).

$$D = \frac{T_{pr} - T_{pa}}{T_{pr}} \quad (5)$$

Onde:

T_{pr} = Tempo programado

T_{pa} = Tempo de paradas

O índice de performance está relacionado ao desempenho do posto de trabalho. Compara o tempo de produção real (isto é, tempo de produção menos as perdas de velocidade, paradas menores e tempo de inatividade) com o tempo de produção em que deveria ter sido realizado a atividade. É composto pelas perdas de queda de velocidade e pelas perdas por pequenas paradas. É calculado conforme equação 6:

$$P = \frac{T_c \times Q_p}{T_r} \quad (6)$$

Onde:

T_c = Tempo de ciclo teórico

Q_p = Quantidade produzida

T_r = Tempo real de operação

O índice de qualidade significa o número de produtos bons produzidos em função do número total de itens produzidos, calculado pela equação 7:

$$Q = \frac{Q_c}{Q_c + Q_n} \quad (7)$$

Onde:

Q_c = Quantidade de itens conformes

Q_n = Quantidade de itens não conformes

O cálculo e monitoramento constante da eficiência produtiva dos recursos, torna possível elaboração de planos de ação visando solucionar os principais motivos de ineficiência dos sistemas produtivos. Uma forma simplificada e confiável de calcular o OEE pode ser construída pela razão entre o somatório da quantidade peças boas produzidas, multiplicada pelo tempo de ciclo teórico, dividido pelo tempo de carga disponível (HUANG *et al.*, 2002), conforme equação 8:

$$OEE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_c \times T_c}{T_{cd}} \quad (8)$$

Onde:

T_{cd} = Tempo de carga disponível

Os dados de OEE fornecem subsídios aos gerentes de fábrica para realização de análises, elaboração de planos de ação e tomadas de decisão em relação ao

planejamento futuro da Fábrica. Diante disso, os dados utilizados para a medição da OEE são de extrema importância e precisam fornecer informações confiáveis aos gestores (REYES, 2015). Essa coleta de dados é obtida por um método manual ou automático (CHIARADIA, 2004).

Dados coletados e registrados manualmente através de formulários preenchidos pelos operadores podem apresentar uma acuracidade duvidosa, sendo necessário um cuidado maior durante a implementação do cálculo. A relação de confiança entre chefia e operadores é fundamental para obter-se a acuracidade desejada nos dados. A condição mais adequada para coleta de dados seria inserir um sistema de coleta automática, uma vez que esse registra as informações de início e fim. Mesmo assim ainda temos interferência humana nos dados, pois os motivos de paradas são informados manualmente pelo operador (CHIARADIA, 2004).

Segundo Hansen (2002), algumas informações mínimas precisam ser coletadas para iniciar a análise do OEE, de modo que seja possível fazer o planejamento de atividades de melhorias e elaboração de planos de ação para aumento do desempenho do equipamento. Informações de: quantidade de peças produzidas por produto, quantidade de peças retrabalhadas e sucateadas, informações dos tempos de ciclo atual e de engenharia por produto, tempos de parada do equipamento, tempo de produção por produto, horário de trabalho por produto (início e término), nome dos operadores, data de produção e código do produto. Com base nestas informações, também é possível montar planilhas para coleta de dados para proceder aos registros manualmente (CHIARADIA, 2004).

O método de análise de uma empresa através do uso da OEE abrange apenas uma parte dos recursos utilizados no sistema de produção (PIRAN *et al.*, 2018). Os principais recursos utilizados no processo de fabricação de uma produção são: matéria prima, mão de obra, consumíveis gerais de fabricação (energia, água, óleo, arame de solda, tinta, etc.) e máquinas/equipamentos. Com a OEE estamos analisando a eficiência especificamente do equipamento. Dependendo de como a empresa adota a formação do custo do produto, os gastos gerais de fabricação e a mão de obra acabam inseridos dentro do custo de operação de um centro de trabalho, no qual a máquina também faz parte. Dessa forma, a OEE acaba abrangendo um número maior de recurso. Contudo, matéria prima não entra nessa análise da eficiência, que para algumas empresas, esse item pode representar uma parte considerável do custo de produção.

2.5.2 Eficiência Geral da Taxa de Transferência (OTE)

Para medir e analisar o desempenho total de uma fábrica, é necessário ir além da medição de equipamentos ou processos isolados, precisa-se ter um olhar mais amplo e buscar um sistema integrado altamente eficiente, ao invés de ferramentas individuais brilhantes. A Eficiência Geral da Taxa de Transferência (*Overall Throughput Effectiveness - OTE*) consiste em combinar e relacionar a atividade entre diversas máquinas e processos, integrando informações, ações e decisões em muitos sistemas e subsistemas independentes, de tal forma que permita o monitoramento e diagnóstico de desempenho da fábrica (MUTHIAH e HUANG, 2007).

No cálculo convencional da OEE o índice de performance compara o tempo real em processamento com o tempo previsto para processar. Com isso as perdas de velocidade do equipamento, decorrentes de paradas, redução de velocidade e entre outras paradas, são consideradas. Porém paradas e perdas de velocidade a nível fabril não são relacionadas nesse índice da OEE. A métrica da OTE é desenvolvida com base na ideia de comparar a produtividade real com a produtividade máxima alcançável, sendo considerada uma função do OEE teórico (MUTHIAH e HUANG, 2007).

A medição da produtividade em um equipamento em relação a sua capacidade máxima é dada através do cálculo da OEE, a qual é definida pela equação 9:

$$OEE = Aeff \times Peff \times Qeff \quad (9)$$

Onde:

Aeff = Disponibilidade

Peff = Performance

Qeff = Qualidade

O cálculo da disponibilidade, performance e da qualidade é realizado conforme as equações 10, 11 e 12:

$$Aeff = \frac{Tu}{Tt} \quad (10)$$

$$Peff = NOR \times SR = \frac{Tp}{Tu} \times \frac{Ract}{Rth} \quad (11)$$

$$Qeff = \frac{Pg}{Pa} \quad (12)$$

Onde:

T_u = Tempo de atividade do equipamento

T_t = Tempo total de observação do equipamento

NOR = Taxa operacional líquida

SR = Relação de velocidade

T_p = Tempo de produção do equipamento

R_{act} = Taxa de processamento real do equipamento

R_{th} = Taxa de processamento teórico do equipamento

P_g = Saídas boas do equipamento

P_a = Produtos reais processados pelo equipamento durante o tempo de observação

As métricas da OTE são desenvolvidas com base na mesma ideia da OEE, comparando a produtividade real com a produtividade máxima alcançável. Com isso podemos simplificar as equações da OEE e OTE conforme a equação 13 e 14:

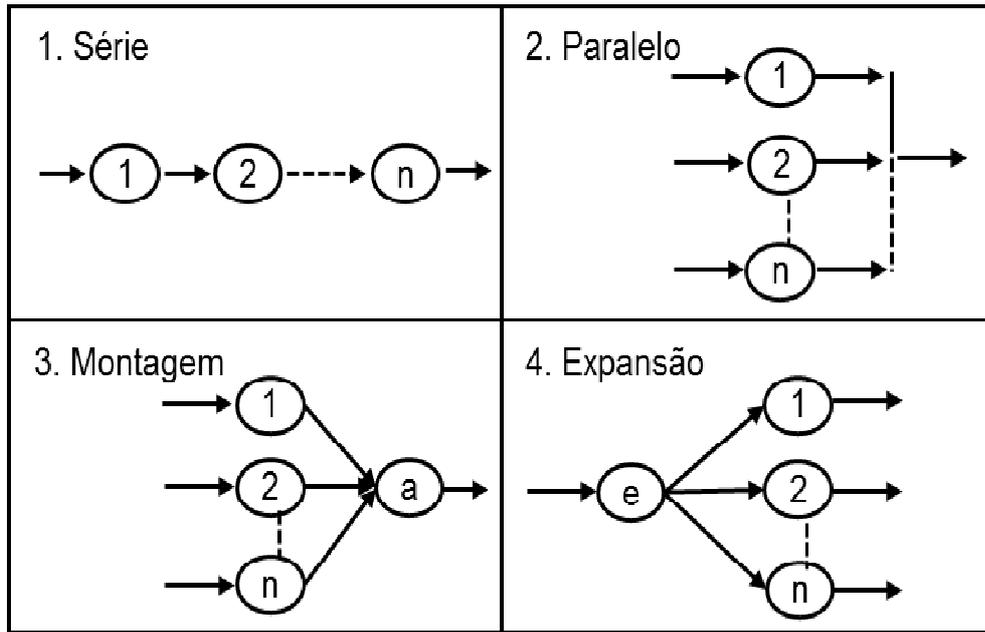
$$OEE = \frac{\text{Unidades reais de rendimento do equipamento em tempo total}}{\text{Unidades teóricas de rendimento do equipamento em tempo total}} \quad (13)$$

$$OTE = \frac{\text{Unidades reais de rendimento da fábrica em tempo total}}{\text{Unidades teóricas de rendimento da fábrica em tempo total}} \quad (14)$$

O equipamento é numerado sequencialmente de 1 a n conforme figura 9. O equipamento “A” é a estação de montagem e o equipamento “E” é a estação de expansão. As métricas de OTE para esses quatro subsistemas exclusivos são derivadas com base em uma abordagem de restrição de sistema que contabiliza o tempo ocioso do equipamento (MUTHIAH e HUANG, 2007).

O cálculo da OTE é realizado modelando a fábrica em subsistemas, os quais podem ser de 4 tipos, em série, paralelos, de montagem ou de expansão, conforme figura 9:

Figura 9 – Quatro tipos de subsistemas fabris



Fonte: Muthiah e Huang (2007)

As métricas OTE são derivadas para equipamentos em série (equação 15), em paralelo (equação 16), de montagem (equação 17) e em expansão (equação 18):

$$OTE_{Série} = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n-1}\{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}\}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)}\}}{\min_{i=1,2,\dots,n}\{R_{th(i)}\}} \quad (15)$$

$$OTE_{Paralelo} = \frac{\sum_{i=1}^n (OEE_{(i)} \times R_{th(i)})}{\sum_{i=1}^n R_{th(i)}} \quad (16)$$

$$OTE_{montagem} = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n}\{OEE_{(i)} \times (R_{th(i)} / k_{A(i)}) \times Q_{eff(a)}\}, R_{th(a)} \times OEE_{(a)}\}}{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n}\{R_{th(i)} / k_{A(i)}\}, R_{th(a)}\}} \quad (17)$$

$$OTE_{expansão} = \frac{\sum_{i=1}^n \min\{R_{th(e)} \times OEE_{(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{eff(i)}, R_{th(i)} \times OEE_{(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \min\{R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)}\}} \quad (18)$$

Onde:

$OEE_{(i)}$ = OEE teórico do equipamento

$R_{th(i)}$ = Taxa teórica de processamento do equipamento

$Q_{eff(i)}$ = Eficiência de qualidade do equipamento

$k_{A(i)}$ = Número de peças necessárias do equipamento para fazer uma montagem final

(a) = Indica estação de montagem

$k_{E(i)}$ = Número das peças que seguem para o equipamento da estação de expansão

(e) = Indica a estação de expansão

T_T = Tempo total de observação

N = Indica o número total de peças resultantes do processamento de uma parte na estação de expansão.

Cabe abordar ainda a questão de um equipamento que processa vários produtos. Isso requer que as equações para calcular $R_{th(i)}$, $Q_{eff(i)}$ e $OEE(i)$ sejam usadas nas métricas do OTE. Supondo que o equipamento processe n produtos diferentes. Sem perda de generalidade, que $Q_{eff(i)}$ e $R_{th(ij)}$, denotem a eficiência da qualidade e a taxa de processamento teórico do equipamento i ao processar o produto j . Seja $X_{(ij)}$ a porcentagem do mix de produtos do produto j no equipamento i . $R_{th(i)}$ e $Q_{eff(i)}$ para vários produtos podem ser calculados pelas equações 19 e 20 (MUTHIAH e HUANG, 2007):

$$R_{th(i)} = \sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{th(ij)}) \quad (19)$$

$$Q_{eff(i)} = \sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times Q_{eff(ij)}) \quad (20)$$

Supondo que a disponibilidade do equipamento i , $A_{eff(i)}$ permaneça a mesma, independentemente do tipo de produto. Seja $R_{act(ij)}$ a taxa média real de processamento (número total de peças processadas dividido pelo tempo real de processamento) do equipamento i ao processar o produto j . $OEE(i)$ usada no cálculo da OTE pode ser calculado pela equação 21 (MUTHIAH e HUANG, 2007):

$$OEE_i = A_{eff(i)} \times \frac{\sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{act(ij)})}{\sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{th(ij)})} \times Q_{eff(i)} \quad (21)$$

2.5.3 Eficácia do Equipamento de Produção (PEE)

Em uma abordagem considerando a manutenção produtiva total (TPM), na qual a melhoria da eficácia do equipamento, a qualidade e a quantidade de produção, são analisados para aumentar a eficácia do equipamento de produção, gerando uma maior produtividade do capital. Uma organização eficiente deve produzir com qualidade e quantidade certa do produto para gerar alta produtividade. Nesse conceito, a Eficácia do Equipamento de Produção (*Production Equipment Effectiveness – PEE*) é discutida em uma nova abordagem, considerando os

elementos de suporte do TPM, e através da definição de pesos diferentes para cada equipamento de acordo com o grau de importância do mesmo dentro do sistema (RAOUF, 1994).

As atividades de manutenção, que operam em paralelo à produção, possuem com principal objetivo garantir que os equipamentos de produção estejam em boas condições de operação, possibilitando assim uma boa eficiência desse sistema. A manutenção produtiva total – TPM, busca maximizar a eficácia do equipamento envolvendo todos os departamentos e funções de uma empresa. A eficácia do equipamento de produção é uma função das perdas devido a inatividades do sistema, perdas de velocidade e perdas de tempo devido a qualidade do produto produzido, conforme equação 22 (RAOUF, 1994):

$$PEE = A \times E \times Q \quad (22)$$

Onde:

A = Disponibilidade

E = Eficiência

Q = Qualidade

Esses três fatores são calculados de acordo com as equações 23, 24 e 25:

$$A = \frac{\text{Tempo Planejado} - \text{Tempo de Inatividade}}{\text{Tempo planejado}} \quad (23)$$

$$E = \frac{\text{Tempo unitário} \times \text{Unidades produzidas}}{\text{Tempo de operação} = (\text{Tempo Planejado} - \text{Tempo de Inatividade})} \quad (24)$$

$$Q = \frac{\text{Produção total} - \text{Defeitos}}{\text{Produção total}} \quad (25)$$

No método de cálculo da eficiência da fábrica utilizando o PEE os fatores de disponibilidade, eficiência e qualidade recebem pesos de acordo com o processo de hierarquia do sistema. Suponha que A tenha um peso K_1 , E tenha um peso K_2 e Q tenha um peso K_3 , onde $0 \leq K_i \leq 1$, temos a equação 26 (RAOUF, 1994):

$$PEE = A^{K_1} \times E^{K_2} \times Q^{K_3} \quad (26)$$

Para operações contínuas do processo o PEE pode ser definido como uma função da disponibilidade, realização, eficiência de desempenho, taxas de qualidade, eficiência de suporte do produto e utilidade operacional (RAOUF, 1994).

A disponibilidade e realização são expressos pelas equações 27, 28 e 29:

$$A_1 \text{Disponibilidade} = \frac{T_p - T_{ip}}{T_p} \quad (27)$$

$$A_2 \text{Realização} = \frac{T_{op} - T_{inp}}{T_{op}} \quad (28)$$

$$T_{op} = T_p - T_{ip} \quad (29)$$

Onde:

T_p = Tempo planejado

T_{ip} = Tempo de inatividade programado

T_{op} = Tempo operacional programado

T_{inp} = Tempo de inatividade não programado

A eficiência de desempenho é calculada pelas equações 30 e 31:

$$E = \text{Eficiência de desempenho} = \frac{T_{OL} - TAXA_{PT}}{T_{OL}} \quad (30)$$

$$T_{OL} = T_{op} - T_{ip} \quad (31)$$

Onde:

T_{OL} = Tempo operacional líquido

$TAXA_{PT}$ = Taxa de perda de tempo

A taxa de qualidade é calculada pelas equações 32 e 33:

$$QR = \text{Taxa de qualidade} = \frac{T_{Car} - T_{PerR}}{T_{Car}} \quad (32)$$

$$T_{Car} = T_{OL} - TAXA_{PT} \quad (33)$$

Onde:

T_{Car} = Tempo de carregamento

T_{PerR} = Tempo de perda de rendimento

A eficiência de suporte do produto é calculada pelas equações 34 e 35:

$$PSE = \text{Eficiência de suporte do produto} = \frac{T_{OQ} - T_{PerT}}{T_{SP}} \quad (34)$$

$$T_{OQ} = T_{Car} - T_{PerR} \quad (35)$$

Onde:

T_{OQ} = Tempo operacional de qualidade

T_{PerT} = Tempo de perda de transação

T_{SP} = Tempo de suporte do produto

T_{SD} = Tempo sem demanda

O utilitário operacional é calculado pelas equações 36 e 37:

$$OU = \text{Utilitário Operacional} = \frac{T_{SP} - T_{SD}}{T_{SP}} \quad (36)$$

$$T_{SP} = T_{OQ} \quad (37)$$

Onde:

T_{SD} = Tempo sem demanda

Com a aplicação de todos esses fatores chega-se na equação 38, a qual representa o PEE, sendo: $0 < K_i \leq 1$ e $\sum K_i = 1$:

$$PEE = (A_1)^{K_1} \times (A_2)^{K_2} \times (E)^{K_3} \times (QR)^{K_4} \times (PSE)^{K_5} \times (OU)^{K_6} \quad (38)$$

2.5.4 Eficiência Geral da Fábrica (OFE)

A melhoria da produtividade do equipamento, bem como da produtividade da fábrica, envolve métricas para medir e comparar a eficiência e a eficácia do equipamento e da fábrica. Hoje, as métricas para a eficiência geral do equipamento são amplamente instaladas na maioria das fábricas, mas considerar o OEE apenas como um número não é suficiente, uma vez que nenhuma máquina funciona isolada em uma fábrica. O fluxo de material em um sistema de produção cada vez mais complexo influencia o equipamento e vice-versa. É necessária uma abordagem em toda a fábrica para controlar e melhorar a Eficácia Geral da Fábrica (*Overall Factory Effectiveness - OFE*). OFE significa combinar atividades diferentes, relacionamentos entre diferentes máquinas e processos, integração de informações, decisões e ações em sistemas e subsistemas independentes (OECHSNER *et al.*, 2003).

Para medir a produtividade do equipamento o modelo da OEE considera a eficiência da disponibilidade (AE), eficiência operacional (OE) e a eficiência da qualidade (QE), as quais são calculadas pelas equações:

$$OEE = AE \times OE \times QE \quad (39)$$

$$AE = \frac{\text{Tempo de atividade do equipamento}}{\text{Tempo total}} \quad (40)$$

$$RE = \frac{\text{Tempo teórico de produção para unidade reais}}{\text{Tempo de produção}} \quad (41)$$

$$QE = \frac{\text{Tempo teórico de produção para unidade efetiva}}{\text{Tempo teórico de produção para unidade reais}} \quad (42)$$

Porém é importante observar que a produtividade do equipamento é impactada por fatores além do próprio equipamento, incluindo operador, receita, instalações, disponibilidade de material, requisitos de programação, etc. As métricas de OEE estão relacionadas a equipamentos únicos, o que não é suficiente para melhorar constantemente a fábrica. Assim a OFE concentra-se na análise de toda a fábrica, medindo o como a fábrica está operando comparada com o seu potencial de operação, constituindo em um produto da eficiência de produtividade e eficiência de rendimento, incluindo em seu modelo a análise através da OEE (OECHSNER *et al.*, 2003). O cálculo é realizado conforme as equações 43, 44, 45 e 46.

$$OFE = \text{Eficiência de produtividade} \times \text{Eficiência de Rendimento} \quad (43)$$

$$\text{Eficiência de produtividade} = \left(\frac{\text{Taxa de transfêrencia e}}{\text{eficiência do tempo de ciclo}} \right)^{\text{(Expoente de normalização)}} \quad (44)$$

$$\text{Eficiência de rendimento} = \text{Rendimento de linha} \times \text{Rendimento de teste} \quad (45)$$

$$\text{Eficiencia de rendimento} = \frac{\text{Saídas de peças boas equivalentes}}{\text{Total de saídas de peças}} \quad (46)$$

2.5.5 Produtividade Total de Equipamentos Efetivos (TEEP)

A Produtividade Total de Equipamentos Efetivos (*Total Effective Equipment Productivity – TEEP*), proposto por Ivancic (1998), é muito semelhante ao OEE. A principal diferença está na inclusão do tempo de inatividade planejado no horizonte total de tempo planejado. Dessa forma é possível mostrar como a manutenção contribui para a produtividade final da planta, fazendo uma distinção clara entre o tempo de inatividade planejado e o tempo de inatividade não planejado. Minimizar as paradas não planejadas (falhas) é um objetivo comum da área de manutenção. Com a ajuda do TEEP, o tempo de inatividade planejado e não planejado pode ser medido (MUCHIRI e PINTELON, 2008).

Os outros elementos incluídos na medida TEEP são as perdas de velocidade e a taxa de qualidade, que também estão no OEE. O TEEP é calculado dividindo o tempo operacional valioso (VOT) pelo tempo total disponível (TT). Os elementos constituintes (perdas) no TEEP são analisados e medidos. A medida do TEEP, como OEE, é limitado à produtividade no nível do equipamento. Também é aplicável a uma planta de processamento ou uma loja de fluxo onde o processo de produção pode ser tratado como uma única entidade de produção (MUCHIRI e PINTELON, 2008).

Enquanto o OEE usa o tempo de produção planejado como a referência temporal, o tempo do calendário teoricamente utilizável deve ser integrado. Dessa forma, as atividades de configuração e manutenção podem ser transferidas para o tempo de inatividade planejado, a fim de obter um OEE mais alto às custas da utilização da planta. É necessário considerar que o tempo total de operação também pode ser definido como o tempo planejado de produção. Depois, apenas os tempos de inatividade planejados são integrados ao TEEP conforme equação 47 (LANZA *et al.*, 2013).

$$TEEP = UE \times D \times P \times Q \quad (47)$$

Onde:

UE = Utilização do equipamento

D = Disponibilidade

P = Performance

Q = Qualidade

2.5.6 Eficácia geral da planta/ativos (OPE/OAE)

Baseado no conceito original da OEE em identificar e analisar a eficácia geral do equipamento, Lanza *et al.* (2013) apresenta um modelo para identificação e análise das perdas da planta através da Eficácia Geral dos Ativos (*Overall Asset Effectiveness - OAE*) e a Eficácia Geral das Plantas (*Overall Plant Effectiveness - OPE*). A principal diferença entre essas duas métricas é que para o cálculo da OAE é levado em consideração a quantidade produzida e no cálculo do OPE leva-se em consideração a unidade de tempo (LANZA *et al.*, 2013).

Os sistemas de medição de desempenho consistem em várias medidas individuais de desempenho. Existem várias maneiras pelas quais essas medidas de

desempenho podem ser categorizadas, sendo importante as mesmas estarem posicionadas em um contexto estratégico, pois influenciam o que as pessoas fazem. A tarefa de fabricação, pode ser definida em termos de qualidade, velocidade de entrega, confiabilidade de entrega, preço/custo e flexibilidade (NEELY *et al.*, 1995).

A dimensão da qualidade é definida em termos de conformidade com as especificações, concentrando-se no número de defeitos produzidos e o custo da qualidade. Os custos podem ser classificados em prevenção, aqueles gastos para evitar divergências de especificação, custos de avaliação, gastos para análise da qualidade do produto e custos de falha, resultados por desvios durante o processo de fabricação que geram necessidade de retrabalhos. O custo da qualidade é uma medida do custo extra incorrido pelo desempenho abaixo ou acima do esperado (NEELY *et al.*, 1995).

A dimensão da velocidade de entrega/ tempo e na confiabilidade de entrega, analisa o tempo entre receber o pedido e entregar o produto, medindo o tempo de fabricação, as entregas antecipadas e atrasadas ao cliente final. Essa medição ocorre em termos da taxa na qual o dinheiro é recebido e não como absoluto. Portanto, as equações 48 e 49 a taxa de transferência principal como retorno por hora de fábrica dividido pelo custo por hora de fábrica (NEELY *et al.*, 1995):

$$\text{Retorno por hora da fábrica} = \frac{\text{Preço de venda} - \text{Custo do material}}{\text{Tempo no recurso principal}} \quad (48)$$

$$\text{Custo por hora da fábrica} = \frac{\text{Custo total da fábrica}}{\text{Tempo total disponível no recurso principal}} \quad (49)$$

A dimensão do custo deve possibilitar a avaliação da verdadeira lucratividade dos setores em que atua, entender os custos do produto e saber o que gera sobrecarga. Os sistemas de gerenciamento de custos devem apoiar a melhoria do processo e as medidas de desempenho devem estar alinhadas com os objetivos estratégicos e comerciais da empresa (NEELY *et al.*, 1995).

Através desse conceito Lanza *et al.* (2013) aborda o cálculo da OAE e da OPE conforme as equações 50 e 51:

$$OAE = \frac{O_{act} (\text{Saída realizada})}{O_{th} (\text{Saída programada})} \quad (50)$$

$$OPE = \frac{T_{value} (\text{Hora global programada})}{T_{th} (\text{Hora de criação de valor})} \quad (51)$$

2.5.7 Eficiência Geral da Linha (OLE)

Uma possibilidade alternativa de extensão é a Eficiência Geral da Linha (*Overall Line Effectiveness - OLE*). Nesta abordagem, o sistema de produção é descrito como a totalidade de várias etapas do processo para a conclusão do produto. Isso está de acordo com as críticas do OEE de que o foco em máquinas ou fábricas isoladas não é significativo porque a interferência entre fábricas é considerável. O resultado dessa integração de processos é um método holístico de uma abordagem para etapas do processo de linha única que permite um cálculo / medição simples das linhas individuais OEE. Durante o cálculo, é preciso considerar que as máquinas são diretamente interdependentes. Assim, a saída de uma máquina é determinada por sua entrada. Esta entrada, por sua vez, corresponde à saída das máquinas a montante. Ao fazer isso, é assumida uma sequência de fluxo contínua para n etapas do processo, enquanto os defeitos e as peças a serem retrabalhadas são removidos (LANZA *et al.*, 2013).

Se as plantas individuais são dissociadas, o método perde sua validade. A disponibilidade da linha correspondente resulta da razão entre o tempo de operação real e o tempo de espera planejado, em que o tempo de espera planejado depende dos tempos de parada planejados da primeira máquina. Sobreposições de paradas programadas não são levadas em consideração. Além disso, essa abordagem leva em consideração a dependência de tempo entre as diferentes plantas e máquinas. No caso de um fluxo contínuo de produção, o OLE fornece resultados muito bons. No entanto, as hipóteses relativas à definição do tempo de operação para *buffers* intercalados e desacoplamento precisam ser abandonadas. Além disso, a equação 52 concentra-se apenas no último processo n na linha, de modo que a identificação das etapas críticas do processo é problemática (LANZA *et al.*, 2013).

$$OLE = \frac{T_{th,op,n}}{T_{th}} \times \frac{O_n \times \max_{i=1}^n t_i}{T_{th,op,1}} \quad (52)$$

Onde:

$T_{th,op}$ = Tempo de operação geral agendado

n = Índice da última estação

O = Saídas

t = tempo de ciclo

2.5.8 Eficácia geral do equipamento de uma linha de fabricação e Eficácia total do equipamento (OEEML/TOEE)

A Eficácia Geral do Equipamento de uma Linha de Fabricação (*Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line - OEEML*) ou a Eficácia Total do Equipamento (*Total Global Equipment Effectiveness - TOEE*) traz uma análise mais ampla da fábrica, permitindo a determinação precisa das máquinas que influenciam a eficácia geral. Por meio de contramedidas e configuração de *buffers*, o sistema geral pode ser influenciado positivamente como consequência. Isso representa, portanto, uma vantagem real sobre o OLE. As abordagens da eficiência geral da produtividade, da eficiência geral da linha e da eficiência geral do equipamento de uma linha de fabricação são, portanto, extensões muito boas do conceito OEE. Os tempos de parada planejados para manutenção preventiva e fontes externas de perda de linha são integrados, além disso, as perdas de disponibilidade da linha externa causadas devido a processos de transporte a montante ou melhor a jusante são determinadas e calculadas se o tempo de ciclo da máquina for aumentado devido à interligação. Desde que a linha ainda não seja operada com produtividade ideal, a consideração do desacoplamento por meio de *buffers* pode levar ao resultado de que máquinas isoladas na linha têm um tempo de ciclo mais curto do que a estação de trabalho de gargalo real. Se as capacidades do *buffer* estiverem esgotadas, a linha deverá seguir o tempo de ciclo da estação de trabalho de gargalo real. Como a estação de trabalho de gargalo real pode variar da teórica, a alteração da estação de gargalo deve ser integrada na determinação do OEEML. O valor agregado resultante dessa extensão pode, portanto, ser descrito pela identificação da estação de trabalho teórica e real dos gargalos, levando em consideração o desacoplamento e sua influência no OEEML. A abordagem da OEEML pode envolver um cálculo que pode ser complicado devido às categorias de perda crescentes ver equações 53 e 54 (LANZA *et al.*, 2013).

$$OEEML = \frac{O_n^{act}}{T_L^{th}} = \frac{T_{BS}}{t_L} \times TOEE_L \quad (53)$$

$$TOEE = AL_{int} \times AL_{ext} \times OEE \quad (54)$$

Onde:

BS = Estação gargalo

AL_{int} = perdas de disponibilidade devido a manutenção preventiva

AL_{ext} = perdas de disponibilidade devido a efeitos internos

2.5.9 Eficácia Global de Produção (GPE)

Baseado nos princípios da OEE, a métrica da Eficácia Global de Produção (*Global Production Effectiveness - GPE*) apresenta um método de avaliação que transfere a ideia da disponibilidade geral da planta para a rede global de produção no qual descreve todos os determinantes essenciais no sistema de produção distribuído globalmente. Para o desenvolvimento do GPE, são apresentados inicialmente os fatores únicos que fornecem uma base para o índice integrado. Esses parâmetros são construídos individualmente e depois transferidos para a análise global. A infraestrutura da empresa fornece a rede na qual a empresa opera e, portanto, determina sua orientação geográfica. Se o horizonte é global, deve existir uma rede transnacional de suprimento, produção e vendas que distribua estruturas e processos estrategicamente para diferentes locais. Para o GPE, a rede de produção é particularmente significativa porque o GPE deve ser projetado em vários departamentos provenientes das máquinas de produção (LANZA *et al.*, 2013).

A Eficácia na Fabricação (ME) representa um elemento essencial do GPE. Com sua ajuda, a eficácia de locais únicos pode ser medida e, adicionalmente, é fornecida uma indicação da interconexão entre os componentes do GPE. Os sistemas de produção são modelados em subsistemas, classificados em: união, serial, paralela ou expansão. A alteração ainda existe na união do valor k . Este valor indica quantas partes da planta i são necessárias para a união na planta. O mesmo se aplica à expansão. Além disso, é introduzido um fator variável (VAR) (LANZA *et al.*, 2013).

Resultam as equações 55, 56, 57 e 58 de cálculo para os possíveis subsistemas:

$$ME_J \text{ União} = \min \left\{ \min_{i=1}^n \left\{ \frac{VAR_i \times Q_a}{t_i \times k_i^j} \right\}, \frac{VAR_a}{t_a} \right\} \times \min \{ \min_{i=1}^n k_i^j \times t_i \times t_a \} \quad (55)$$

$$ME_S \text{ Série} = \min \left\{ \min_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{VAR_i}{t_i} \times \prod_{j=i+1}^n Q_j \right\}, \frac{VAR_n}{t_n} \right\} \times t_{BS} \quad (56)$$

$$ME_P \text{ Paralelo} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{VAR_i}{t_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i}} \quad (57)$$

$$ME_E \text{ Expansão} = \frac{\sum_{i=1}^n \min \left\{ \frac{VAR_i x k_i^E x Q_i}{t_i}, \frac{VAR_i}{t_i} \right\}}{\sum_{i=1}^n \min \left\{ \frac{k_i^E}{t_i}, \frac{1}{t_i} \right\}} \quad (58)$$

Onde:

ME = eficácia de fabricação

VAR = fator variável

t = tempo de ciclo

Q = qualidade

a = índice da estação após a união

n = índice da última estação

k = partes necessárias para união da planta

BS = estação gargalo

Os fatores do OEE também são usados para numerar a eficácia de fornecimento (SE) para a qual disponibilidade, desempenho e qualidade devem ser definidos. A disponibilidade pode ser definida como a proporção da entrega pontual de quantidades corretas por um fornecedor. O grau de qualidade corresponde à proporção de peças boas entregues e a taxa de desempenho é padronizada em uma escala de 0 a 1, que se baseia em um cálculo comparativo em relação ao manuseio de estoque. A multiplicação desses valores individuais leva à eficácia do fornecedor (SupE). Para uma SE, os números individuais do fornecedor devem estar vinculados e relacionados entre si (LANZA *et al.*, 2013).

$$SE_j = \min_{i=1}^n \left\{ \frac{SupE_i}{T_i^S} \right\} x \min_{i=1}^n \{T_i^S\} \quad (59)$$

Onde:

T_i^S = tempo para pedido e transporte do fornecedor

Para a eficácia do transporte (TE), emerge a avaliação total, considerando os danos no transporte (Q), a velocidade em relação à velocidade máxima possível (L) e, se aplicável, o tempo de espera proporcional até o meio de transporte (V) pode ser disponibilizado, com n meios de transporte (LANZA *et al.*, 2013):

$$TE_{total} = Q^T x L^T x \prod_{i=1}^n V_i^T \quad (60)$$

Onde:

TE = eficácia do transporte

Q = danos de qualidade

L = velocidade em relação a velocidade máxima possível

V = tempo de espera proporcional até o meio de transporte

Para a efetividade do estoque (StE), surge a seguinte fórmula para os três componentes do OEE, levando em consideração possíveis danos causados pelo estoque (Q), o nível de serviço de logística (L) e, se aplicável, uma consideração de áreas de armazenamento disponíveis, dependendo da alocação aleatória ou fixa de espaço de armazenamento (V) (LANZA *et al.*, 2013):

$$StE = V^{St} \times L^{St} \times Q^{St} \quad (61)$$

Onde:

StE = eficácia do estoque

V = áreas de armazenamento disponível

L = nível de serviço de logística

Q = danos causados pelo estoque

Para a eficácia do pessoal (PE), resulta a seguinte fórmula, levando em consideração as peças boas criadas / movidas (Q), a disponibilidade de um funcionário menos licença médica e férias (V) e um índice de produtividade padronizado em comparação com outros estados (L) (LANZA *et al.*, 2013):

$$PE = V^P \times L^P \times Q^P \quad (62)$$

Onde:

PE = eficácia das Pessoas

V = disponibilidade do funcionário menos férias e licença medica

L = índice de produtividade em comparação com outra estado

Q = peças boas criadas ou movidas

Para determinar a eficácia total global, todo o sistema é dividido em subsistemas. Cada um desses subsistemas é modelado de acordo com as dimensões individuais apresentadas, após esses subsistemas são percebidos como um sistema geral serial (LANZA *et al.*, 2013).

2.5.10 Eficácia Geral dos Recursos (ORE)

A Eficácia Geral dos Recursos (*Overall Resource Effectiveness – ORE*) é um sistema de medição de desempenho desenvolvido com o objetivo de fornecer uma avaliação mais inclusiva do desempenho de uma máquina ou processo do que o OEE. A principal diferença entre o ORE e o OEE tradicional é que o primeiro avalia o desempenho geral de uma máquina ou processo baseado não apenas em sua disponibilidade (A), desempenho (P) e qualidade (Q), mas também em termos de mais três elementos: eficiência do material (M), custo do processo e variações de custo do material (REYES, 2015).

A medida ORE considera que é necessário um investimento econômico em materiais e recursos para executar um processo de fabricação. No caso do investimento em material, ele é representado pelo valor do monitoramento de insumos do material (MIMV), enquanto o dinheiro investido nos recursos necessários para executar o processo é representado pelo conceito de valor do monitoramento de insumos do processo (PIMV). Além disso, o ORE assume um investimento geral no processo (entrada = PIMV + MIMV), e também um investimento recuperado no processo e no material (saída), que é obtido a partir do número de unidades produzidas e aprovadas. O investimento recuperado de recursos e materiais é representado, por meio dos conceitos de valor recuperado do monitoramento do processo (PRMV) e valor recuperado do monitoramento do material (MRMV). O ORE também pressupõe que um processo possa apresentar algum desperdício de recursos e materiais, representados pelos conceitos de valor do monitoramento desperdiçado do processo (PWMV) e valor de monitoramento desperdiçado do material (MWMV). A medida ORE avalia a eficiência com que um processo utiliza as entradas de material e recursos, tomando como referência suas saídas de material e recursos (REYES, 2015). Isso é mostrado matematicamente através das equações 63, 64, 65, 66, 67 e 68:

$$ORE = \frac{\text{Investimento Recuperado (Saída)}}{\text{Investimento Geral (Entrada)}} \quad (63)$$

$$ORE = \frac{\text{Investimento Geral} - \text{Perdas}}{\text{Investimento Geral}} \quad (64)$$

$$\text{Investimento geral (Entrada)} = PIMV + MIMV \quad (65)$$

$$Saída = Investimento\ geral - perdas = PIMV + MIMV - PWMV - MWMV \quad (66)$$

$$Saída = (PIMV - PWMV) + (MIMV - MWMV) \quad (67)$$

$$ORE = \frac{(PIMV - PWMV) + (MIMV - MWMV)}{PIMV + MIMV} \quad (68)$$

Os resíduos mais comuns e importantes gerados nos processos de fabricação com problemas e disponibilidade de desempenho são utilizados. A qualidade obtida a partir deles também é importante e o conceito PIMV-PWMV é calculado pelas equações 69 e 70 (REYES, 2015):

$$PIMV - PWMV = OEE \times PIMV \quad (69)$$

$$MIMV - MWMV = M \times MIMV \quad (70)$$

Finalmente, usando e substituindo na equação 68, as equivalências de PIMV-PWMV e MIMV-MWMV apresentadas nas equações 69 e 70, temos a equação 71 como proposta para cálculo da ORE (REYES, 2015):

$$ORE = \frac{(OEE \times PIMV) + (M \times MIMV)}{PIMV + MIMV} \quad (71)$$

O conceito de eficiência do material (M) avalia com que eficiência a matéria-prima é usada no processo de fabricação. As taxas de eficiência da matéria-prima (M) e qualidade tradicional (Q) avaliam um processo de fabricação com base no relacionamento saída / entrada. A principal diferença é que a qualidade (Q) é uma medida baseada em unidades e a eficiência do material (M) foi definida como baseada em custos. A medida baseada em custo foi escolhida, entre outros tipos de unidades de medida, como peso ou volume, como a mais adequada para avaliar a eficiência do material, devido à sua capacidade de levar em conta e traduzir todos os elementos e diferentes matérias-primas usadas em um processo. Portanto, a característica baseada em custo do cálculo de eficiência do material permite que o conceito M faça uma avaliação mais completa da utilização do material do que a taxa de qualidade e, assim, capture as perdas de material, como excesso ou excesso de peso, ignoradas por esse conceito. M é calculado da seguinte forma as equações 72 e 73 (REYES, 2015):

$$M = \frac{MRMV \times 100\%}{MIMV} \quad (72)$$

$$M = \frac{MIMV - MWMV \times 100\%}{MIMV} \quad (73)$$

Se o elemento M for substituído na equação 71 da ORE, ele será reduzido à equação 74:

$$ORE = \frac{(OEE \times PIMV) + MRMV}{PIMV + MIMV} \quad (74)$$

Os conceitos MIMV e PIMV podem ser definidos, respectivamente, como a quantidade total de dinheiro investido em matéria-prima e os recursos necessários para executar um processo. No caso do MRMV, pode ser definido como a quantidade de dinheiro recuperado na forma de material, aceito e / ou reciclado, depois de introduzido e processado no sistema (REYES, 2015). É calculado pela equação 75:

$$MRMV = MIMV - MWMV \quad (75)$$

PRMV refere-se à quantidade de dinheiro ou investimento recuperado no processo (produto), que depende do número de unidades produzidas e aceitas. Calculado pela equação 76:

$$PRMV = PIMV - PWMV \quad (76)$$

Finalmente, o material e os PWMVs consideram o investimento total perdido nas formas de material e processo. No caso do MWMV, inclui todas as formas de material rejeitadas que não foram recicladas, bem como perdas de material, como enchimento excessivo e / ou excesso de peso. Por outro lado, o PWMV responde pelo investimento total perdido em recursos (processo) por problemas de disponibilidade, desempenho e qualidade. Esses conceitos são calculados pelas equações 77 e 78 (REYES, 2015):

$$MWMV = MIMV - MRMV \quad (77)$$

$$PWMV = PIMV - PRMV \quad (78)$$

2.5.11 Gargalo de Utilização da Capacidade (CUB)

Aumentar a capacidade de um equipamento, linha de fabricação ou de uma fábrica inteira é um objetivo muito desejável para todos gestor. Para isso entender a capacidade desses equipamentos, da linha e da fábrica é fundamental. A capacidade

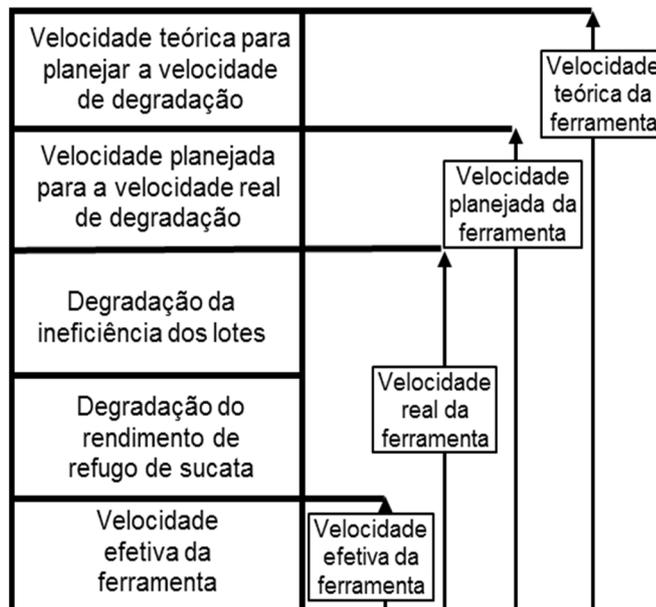
é algo variável, geralmente temos um ou dois equipamentos que são o gargalo da fábrica, sendo esses os pontos que determinam a capacidade da linha de fabricação ou da fábrica como um todo. Todavia para aumentarmos a taxa de transferência das máquinas gargalo, é possível aumentar a capacidade da fábrica, aumentando a receita e reduzindo os custos, conseqüentemente temos um aumento do lucro (KONOPKA, 1995).

O Gargalo de Utilização da Capacidade (*Capacity Utilization Bottleneck – CUB*) é um modelo que analisa os equipamentos de fabricação. Ele se concentra em duas métricas principais: 1) Taxa de transferência do equipamento e 2) Eficiência do equipamento. Ele avalia rapidamente as alterações nas condições operacionais da ferramenta e seu efeito na eficiência do equipamento e no todo. O CUBES fornece sua análise em formas analítica e gráfica. Ele não apenas fornece cálculos de eficiência e rendimento do equipamento, mas também detalha as perdas de eficiência e rendimento devido a qualquer um dos fatores que afetam o equipamento (KONOPKA, 1995).

Para determinar a taxa de transferência de um equipamento gargalo, é necessário multiplicar a velocidade de processamento do equipamento pelo tempo em que a atividade é executada. O próximo passo é fornecer uma diretriz para os cálculos de velocidade do equipamento. Dependendo dos requisitos, pode ser desejável abordar todos os níveis de detalhe. Para analisar como o equipamento é utilizado em relação à velocidade de processamento, Konopka (1995) desenvolveu o gráfico de velocidade de processamento de equipamentos, conforme exibido na figura 10. Este gráfico tenta estabelecer uma diretriz para medir o desempenho da velocidade de processamento de equipamentos em um ambiente de fabricação. Geralmente, quando os equipamentos são adquiridos para a fábrica, eles vêm com certas premissas de velocidade de processamento. A especificação do fornecedor do equipamento ou da estimativa da equipe de desenvolvimento é geralmente usada para calcular essa velocidade. Isso é referido aqui como a velocidade teórica do equipamento. Depois que o equipamento é instalado na fábrica, os engenheiros de equipamentos, manufatura e processos trabalham juntos e desenvolvem uma velocidade do equipamento para que processos específicos sejam executados na fábrica. Isso é chamado de velocidade da ferramenta planejada. A velocidade teórica para planejar a degradação da velocidade pode ser atribuída à diferença entre a velocidade teórica do equipamento e a velocidade planejada do equipamento. Depois

que o mesmo entra em operação, é possível medir a velocidade real do equipamento (KONOPKA, 1995).

Figura 10 – Gráfico de velocidade de processamento de equipamentos

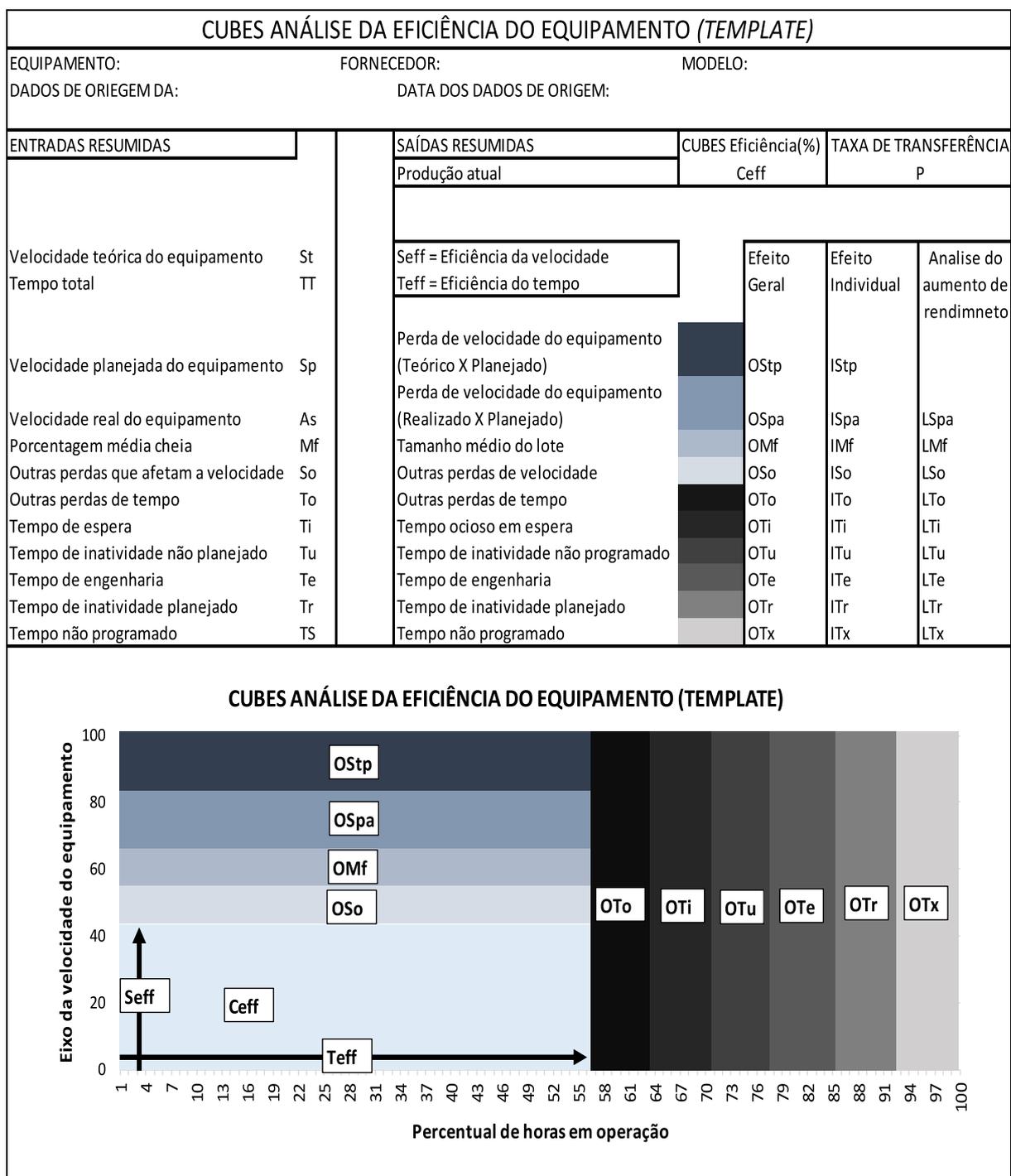


Fonte: Konopka (1995).

A degradação pode ser atribuída à diferença entre a velocidade planejada do equipamento e a velocidade real do equipamento. A degradação da ineficiência do lote pode ser atribuída à porcentagem de perda devido à não execução de um equipamento. Retrabalho, sucata e degradação do rendimento ocorrem quando os efeitos de rendimento, retrabalho e sucata são avaliados. Velocidade efetiva do equipamento é a velocidade restante de processamento da ferramenta após o impacto dessas degradações ter sido abordado (KONOPKA, 1995).

O CUBES é único, pois vê a eficiência, gráfica e analiticamente, como combinações de fatores em velocidade e tempo. Utiliza uma abordagem bidimensional (velocidade e tempo) para analisar a eficiência e o rendimento de um equipamento gargalo. O modelo CUBES foi projetado para permitir que o usuário se concentre rapidamente nos principais parâmetros de perda de eficiência do equipamento (KONOPKA, 1995). Na figura 11 é apresentado o template padrão:

Figura 11 – Template de análise da eficiência do equipamento



Fonte: Konopka (1995).

P = Taxa de transferência real do equipamento

S_{eff} = Medição da eficiência da velocidade do equipamento

T_{eff} = Medição da eficiência do tempo do equipamento

C_{eff} = CUBES métrica de eficiência

S_t = Velocidade teórica do equipamento em peças por hora

S_p = Velocidade planejada do equipamento em peças por hora

S_a = Velocidade real do equipamento em peças por hora

M_f = Porcentagem média cheia

S_o = Outras perdas que afetam a velocidade

T_T = Tempo total

T_S = Tempo não programado

T_r = Tempo de inatividade planejado

T_e = Tempo de engenharia

T_o = Outras perdas de tempo

T_u = Tempo de inatividade não planejado

T_i = Tempo de espera

I_{Stp} = Efeito individual devido a diferença de: $S_t - S_p$

I_{Spa} = Efeito individual devido a diferença de: $S_p - S_a$

I_{Mf} = Efeito individual devido a percentual médio completo do tamanho do lote do equipamento

I_{So} = Efeito individual devido a outras perdas que afetam a velocidade teórica e a velocidade planejada do equipamento

I_{Tx} = Efeito individual devido a horários não programados

I_{Tr} = Efeito individual devido do tempo de inatividade planejado

I_{Te} = Efeito individual devido ao tempo de engenharia

I_{To} = Efeito individual devido a outras perdas de tempo

I_{Tu} = Efeito individual devido ao tempo de inatividade não planejado

I_{Ti} = Efeito individual devido ao tempo ocioso/ em espera

O_{Stp} = Efeito geral devido a diferença de: $S_t - S_p$

O_{Spa} = Efeito geral devido a diferença de: $S_p - S_a$

O_{Mf} = Efeito geral devido a percentual médio completo do tamanho do lote do equipamento

O_{So} = Efeito geral devido a outras perdas que afetam a velocidade teórica e a velocidade planejada do equipamento

O_{Tx} = Efeito geral devido a horários não programados

O_{Tr} = Efeito geral devido do tempo de inatividade planejado

O_{Te} = Efeito geral devido ao tempo de engenharia

O_{To} = Efeito geral devido a outras perdas de tempo

O_{Tu} = Efeito geral devido ao tempo de inatividade não planejado

O_{Ti} = Efeito geral devido ao tempo ocioso/ em espera

L_{Spa} = Taxa de transferência perdida devido a diferença de: $S_p - S_a$

L_{Mf} = Taxa de transferência perdida devido a percentual médio

L_{So} = Taxa de transferência perdida devido a outras perdas que afetam a velocidade teórica e a velocidade planejada do equipamento

L_{Tx} = Taxa de transferência perdida devido a horários não programados

L_{Tr} = Taxa de transferência perdida devido do tempo de inatividade planejado

L_{Te} = Taxa de transferência perdida devido ao tempo de engenharia

L_{To} = Taxa de transferência perdida devido a outras perdas de tempo

L_{Tu} = Taxa de transferência perdida devido ao tempo de inatividade não planejado

L_{Ti} = Taxa de transferência perdida devido ao tempo ocioso/ em espera

2.5.12 Confiabilidade no desempenho do equipamento (EPR)

A medição do desempenho de equipamentos possibilita a coleta e análise de dados buscando o entendimento do funcionamento do equipamento e assim tornar o mesmo mais eficiente através do aumento da confiabilidade de operação do mesmo. A confiabilidade e o bom desempenho de um equipamento está diretamente relacionada as atividades de manutenção deste, requerendo um modelo para medição desse desempenho (SAMAT et al., 2012).

O índice de eficiência de um processo está ligado ao equipamento utilizado, sendo a medição do desempenho da manutenção necessário para apresentar o estado de efetividade do processo. O modelo de Confiabilidade no Desempenho do Equipamento (*Equipment Performance Reliability – EPR*) consiste em quatro fases: identificação da máquina, avaliação crítica do sistema, medição do desempenho de manutenção e avaliação do nível de desempenho da manutenção. A primeira fase envolve a identificação de 'máquinas críticas' em uma planta de fabricação onde os processos de produção são conduzidos. Depois que a máquina crítica é identificada, as falhas da máquina são analisadas, usando o modo de falha e análise (FMEA). O objetivo dessa abordagem é implementar atividades que eliminem ou reduzam falhas, começando pelos problemas de maior prioridade. Após essa análise o foco é direcionado para medir a eficácia geral do equipamento (OEE) e a confiabilidade da máquina. OEE é uma função de diagnóstico para fatores com vários atributos, como disponibilidade, taxa de desempenho e taxa de qualidade do produto. O método de

medição fornece a eficácia total do desempenho da máquina durante sua operação. Enquanto isso, o princípio da confiabilidade pode ser usado para medir o desempenho da manutenção com base na confiabilidade e na vida útil da máquina. Os principais objetivos da análise de confiabilidade são reduzir a taxa de falhas e estender o tempo de operação da máquina (SAMAT *et al.*, 2012).

Essa fase de medição da eficácia é dividida em duas etapas. Na primeira etapa utiliza-se o método de medição da OEE para analisar a eficiência da máquina, medindo a disponibilidade da máquina e a performance da máquina, conforme equação 79:

$$\text{Eficácia da Máquina (ME)} = A_{eff} \times P_{eff} \quad (79)$$

A disponibilidade da máquina é calculada pelo somatório de horas disponíveis para produção dentro do período de tempo de análise, menos os tempos de paradas planejadas mais as paradas por falhas que ocorrem na máquina, divididos pelo tempo total disponível (SAMAT *et al.*, 2012). Calculado pela equação 80:

$$\text{Disponibilidade (} A_{eff} \text{)} = \frac{\sum_{t=1}^{\infty} T_{plan} - (T_{updt} + T_{pdt})}{T_{plan}} \times 100 \quad (80)$$

Onde:

T_{plan} = tempo total disponível para produção

T_{updt} = tempo de inatividade durante o período disponível para produção

T_{pdt} = tempos de parada por falhas

A performance é calculada pela razão entre o tempo de ciclo multiplicado pelo número de produtos produzido, sendo esse valor dividido pelo tempo total disponível para produção, menos os tempos de inatividade e os tempos de paradas ocasionados por falhas (SAMAT *et al.*, 2012):

$$\text{Performance (} P_{eff} \text{)} = \frac{\sum_{t=1}^{\infty} T_{tc} \times \alpha}{\sum_{t=1}^{\infty} T_{plan} - (T_{updt} + T_{pdt})} \times 100 \quad (81)$$

Onde:

T_{tc} = tempo de ciclo

α = número de produtos processados

A medição na segunda etapa é baseada no princípio da confiabilidade, definido como a capacidade de uma máquina executar uma atividade específica, dentro um

tempo planejado, sem sofrer falhas. O cálculo da confiabilidade é realizado calculando o número de ocorrências de falhas, com base nas falhas identificadas e analisadas na fase II, na qual os resultados finais estão na RPN. Durante essa etapa o número de falhas é calculado pelo número de ocorrências de falhas pelo tempo disponível para produção (SAMAT et al., 2012), ver equação 82:

$$\text{Taxa de Falha } (\lambda) = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{f(t)}{T_{plan}} \quad (82)$$

Onde:

f = número de falhas

Uma vez calculado as porcentagens de ME e de confiabilidade do equipamento, é necessário um meio para contabilizar a pontuação de desempenho da máquina com o desempenho de manutenção. Samat (2012), propõe um sistema de classificação que pode converter o desempenho da máquina em desempenho de manutenção, denominado Índice de Saúde (IH). Esse índice representa um método prático para quantificar os resultados das observações de operação, inspeções de campo e testes no local em um índice quantitativo que representa a condição geral de uma máquina. O IH é desenvolvido em cinco níveis de desempenho de manutenção, com o Nível 1 em desempenho muito bom e o Nível 5 em desempenho fraco (Tabela 3) (SAMAT et al., 2012):

Tabela 3 – Índice de Saúde do Equipamento

Machine effectiveness – ME (%)	Taxa de Falha (%)	Índice de Saúde	Nível de Desempenho de manutenção	Requisitos/ Ações Recomendadas
85 – 100	0 – 5	Muito bom	Nível 1	Manutenção normal
65 – 84	5 – 10	Bom	Nível 2	Manutenção normal e manutenção preventiva
45 – 64	10 – 50	Razoável	Nível 3	Aumente a análise de falhas para identificar possíveis ações corretivas ou substituições necessárias
25 – 44	50 – 90	Ruim	Nível 4	Iniciar plano para substituir ou construir, considerando os riscos e as consequências da falha
Abaixo de 24	Acima de 90	Muito ruim	Nível 5	Avalie imediatamente o risco, substitua ou mantenha com base na avaliação

Fonte: Samat, 2012.

2.5.13 Análise Envoltória de Dados (DEA)

A complexidade de informações e dados geradas dentro de uma organização, tornam complexo o modelo de medição da eficiência operacional da mesma. A melhoria do desempenho operacional nos sistemas de manufatura requer a adoção das melhores práticas de produção e de métodos, técnicas e ferramentas apropriadas para a medição e análise do sistema produtivo. A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma metodologia para avaliação de desempenho e benchmarking, onde múltiplas medidas de desempenho estão presentes e estabelecem uma fronteira eficiente formada pelas unidades decisórias (DMUs) de melhor desempenho e atribuem um índice de eficiência a cada unidade não-fronteira de acordo com suas distâncias até a fronteira eficiente (LIU *et al.*, 2016).

Nas análises utilizando o DEA obtém-se uma curva de eficiência não paramétrica, considerando a relação ótima entre múltiplos dados de entrada/insumos e múltiplas saídas/produtos. A proporção dessas duas combinações lineares é utilizada para representar a eficiência do sistema. Essa curva pode ser definida como a fronteira de eficiência. Assim as unidades consideradas eficientes estarão nessa curva, enquanto as ineficientes se localizaram abaixo dessa curva. A fronteira fornecerá os parâmetros para que se possa tornar eficiente uma unidade de análise que se encontra com índices ineficientes, ou seja, fornecendo informações de onde o sistema está operando com problemas e o que precisa ser feito para aumentar a eficiência operacional (LIU *et al.*, 2017).

Com o uso do DEA é possível determinar as quantidades máximas de saída produzidas para determinado níveis de consumo de entradas. É possível comparar várias unidades de negócio para avaliar a qual possuem a operação mais eficiente, servindo de referência para as demais. Com a DEA é possível analisar múltiplas entradas e saídas, gerando um resultado único de eficiência e a possibilidade de identificar economias de insumos ou aumentos de produção (PIRAN *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2018).

A DEA possibilita a avaliação global e holística da produtividade e eficiência de um sistema. Um sistema pode ser entendido como um arranjo complexo de elementos que operam em relações organizadas entre si. Uma característica básica de um sistema é que ele possui entradas e saídas, conhecidas como as variáveis do sistema (PIRAN *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2018).

A ideia original da DEA é fornecer uma forma que, dentro de um conjunto de Unidades de Tomada de Decisão (DMU), seja possível identificar as DMUs mais produtivas, apresentando as melhores práticas e formando uma fronteira de eficiência. A eficiência de cada DMU é definida pela razão da soma ponderada de seus produtos pela soma ponderada de seus insumos necessários para gera-los. DMU é definida como uma unidade de tomada de decisão, pode ser projetos, produtos, departamentos, divisões, unidades administrativas ou a própria empresa. (PIRAN *et al.*, 2018).

Existem diversos modelos em DEA. Atualmente os modelos mais utilizados são: modelo retorno constante de escala (CRS) e modelo retorno variável de escala (VRS) (PIRAN *et al.*, 2018).

No modelo CRS, é possível uma avaliação objetiva da eficiência global, identificando o valor percentual da eficiência e, conseqüentemente, da ineficiência. Também permite a identificação das fontes ou motivos de ineficiência. Devem ser utilizados quando existe uma relação constante na escala entre outputs e inputs. Normalmente são recomendados para análises internas, isso porque, nesse caso é efetuado uma comparação do desempenho de uma organização ao longo do tempo. A orientação pode ser voltada aos inputs, ou seja, o objetivo é minimizar as entradas, ou então voltada aos outputs, onde se busca maximizar as saídas (PIRAN *et al.*, 2018). No modelo VRS é adequado para análise de DMUS que não podem ser comparadas uniformemente (PIRAN *et al.*, 2018).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS AO CAPÍTULO

A medição e avaliação do desempenho dos processos de produção e dos sistemas de manufatura fornecem informações importantes para a equipe de gestão da empresa gerenciar e tomar decisões mais eficazes (REYES, 2015). Existem várias maneiras para mensurar o desempenho fabril, em sua totalidade cada maneira busca objetivos similares, focando na eliminação dos desperdícios e aumento da eficiência operacional. Essas maneiras de medição precisam ser escolhidas e posicionadas de acordo com o contexto de operação de cada organização industrial (NEELY *et al.*, 2008).

Cada modelo de medição existente possui vantagens e desvantagens, sendo que o contexto ao qual a metodologia será aplicada indica se o mesmo será

apropriado para fornecer as informações adequadas e uma representação realista do que de fato ocorre dentro da fábrica. Isso é fundamental para que as tomadas de decisão sejam realizadas de forma correta e possibilitam a organização reduzir suas perdas e conseqüentemente melhora a sua lucratividade e competitividade dentro do mercado de atuação que está inserida.

Na revisão sistemática da literatura, foi possível identificar 15 métodos de medição e análise da eficiência em ambientes fabris. As literaturas pesquisadas especificam para quais ambientes cada um dos métodos é mais indicado para fazer as medições. Dessa forma é possível classifica-los para equipamento, células de produção e Fábrica. No quadro 2 segue o agrupamento dos métodos dentro da classificação proposta.

Quadro 2 – Classificação dos sistemas de medição

Indicador	Unidade de análise
<i>OEE – Overall Equipment Effectiveness</i>	Equipamento
<i>ORE – Overall resource effectiveness</i>	
<i>CUB – Capacity Utilization Bottleneck</i>	
<i>TEEP – Total Effective Equipment Productivity</i>	
<i>EPR – Equipment Performance Reliability</i>	
<i>PEE – Production Equipment Effectiveness</i>	
<i>DEA – Data Envelopment Analysis</i>	
<i>OFE – Overall Factory Effectiveness</i>	Células de produção
<i>OLE – Overall Line Effectiveness</i>	
<i>DEA – Data Envelopment Analysis</i>	
<i>OEEML – Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line</i>	
<i>TOEE – Total Overall Equipment Effectiveness</i>	
<i>OPE – Overall Plant Effectiveness</i>	Fábrica
<i>PEE – Production Equipment Effectiveness</i>	
<i>OPE – Overall Plant Effectiveness</i>	
<i>OAE – Overall Asset Effectiveness</i>	
<i>GPE – Global Production Effectiveness</i>	
<i>OFE – Overall Factory Effectiveness</i>	
<i>DEA – Data Envelopment Analysis</i>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por sua vez, cada organização possui seu “jeito” de trabalhar, ou seja, características particulares de seus processos, cultura organizacional, ferramentas de trabalho, etc., tornando difícil encontrar um modelo pronto que se adapte a seu formato. Isso acaba sendo um dos dificultadores para implementação de modelos prontos e que atendam aos requisitos que a empresa busca.

A escolha do modelo adequado a ser utilizado na medição da eficiência é fundamental para obtenção dos dados e informações reais do ambiente fabril, sendo que em muitos casos são necessárias adaptações para tornar esses modelos apropriado para o jeito operante da organização. O contrário também pode ser verdade, onde que necessita adequar o fluxo de produção da organização para possibilitar medições apropriadas da sua eficiência operacional.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que indicam o caminho a ser seguido para se chegar a determinado fim, garantindo objetividade e precisão no estudo (MACKE, 1999). Uma condução adequada do método de pesquisa é fundamental para construção de conhecimento científico confiável, visando melhorar os sistemas existentes ou no desenvolvimento de novos sistemas, produtos ou serviços (DRESCH *et al.*, 2015).

Para o sucesso na condução do estudo, um método robusto é imprescindível. A pesquisa acadêmica deve ser desenvolvida apresentando rigor e a possibilidade de debate e verificação, isso garante a solidez e a relevância tanto no mundo acadêmico como na sociedade em geral (LACERDA *et al.*, 2013)

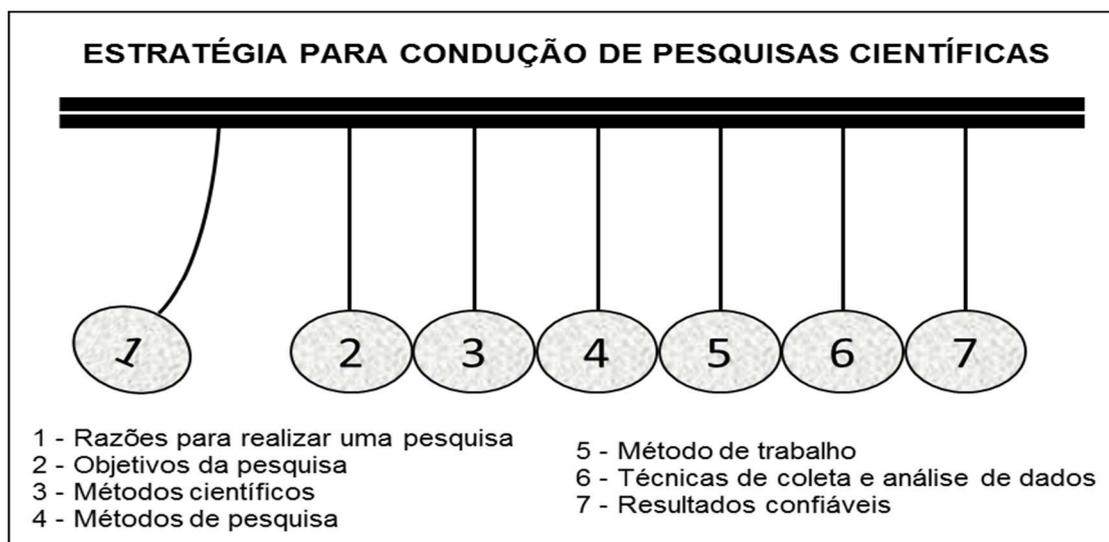
Quanto ao método de pesquisa as metodologias mais abordadas na área de engenharia de produção e gestão de operações são do tipo *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação, modelagem quantitativa e *design science research* (MIGUEL *et al.*, 2010). Esses métodos podem apresentar limitações quando se deseja estudar o projeto, a construção ou a criação de um artefato, ou realizar pesquisas voltadas a solução de problemas (DRESCH *et al.*, 2015). Diante da relevância do procedimento metodológico, nessa seção são descritos os procedimentos e etapas utilizados na realização desta pesquisa.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa é a forma de apresentar o detalhamento de como a pesquisa foi realizada, auxiliando o pesquisador planejar o trabalho, definir a forma de coleta dos dados e a maneira de interpretar essas informações, considerando o ambiente em que os dados são coletados. Com isso facilita ao leitor a compreensão dos resultados, uma vez que todas as etapas para execução da pesquisa são pontuadas (PARIS, 2016; TELLES, 2019).

A condução das pesquisas possui uma ordem prioritária de atividades que precisam ser consideradas. Neste trabalho será adotada a estratégia para condução de pesquisas científicas sugeridas por Dresch *et al.*, (2015). Essa estrutura é amplamente utilizada para a produção de conhecimento científico sendo fundamentada nas ciências naturais e sociais, conforme apresentada na figura 12.

Figura 12 – Estratégias para condução de pesquisas científicas



Fonte: Dresch *et al.* (2015).

3.1.1 Razões para realizar a pesquisa

As razões existentes para realização de uma pesquisa podem estar fundamentadas no desejo do investigador em compartilhar uma nova informação, na busca por resposta a uma questão importante ou a compreensão de um fenômeno (DRESCH *et al.*, 2015). O capítulo um apresenta as razões para realização dessa pesquisa. Foi demonstrado a importância da eficiência operacional nos cenários acadêmicos e sociais, principais problemas e justificativas para a realização dessa pesquisa. Na revisão sistemática da literatura, foi possível identificar quinze métodos para medição da eficiência operacional, sendo cada um desses métodos indicado para determinados contextos. Nesse cenário tão amplo de possibilidades, essa pesquisa segue para identificar possíveis variações ou diferenças entre a utilização de métodos diferentes dentro de um mesmo ambiente fabril, possibilitando assim a identificação do cenário de eficiência operacional do ambiente estudado e entendendo o que está impactando o mesmo.

3.1.2 Objetivos da pesquisa

Os objetivos de uma pesquisa são classificados em relação ao tipo de conhecimento que o pesquisador deseja produzir: em exploratória, descritiva ou explicativa. Estudos exploratórios tem por objetivo identificar ideias e soluções na tentativa de obter maior compreensão dos fenômenos, estabelecendo critérios,

métodos e técnicas para a elaboração da pesquisa. A pesquisa descritiva é utilizada para analisar, observar, registrar e correlacionar aspectos (variáveis) que envolvem fatos ou fenômenos, sem manipulá-los, não tem compromisso em explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação. A pesquisa explicativa busca identificar os fatores que contribuem para determinado para a ocorrência de determinado fenômeno, explica as razões ou porquês das coisas. (FREITAS e JABBOUR, 2011; LUCHESE, 2015).

Em relação aos objetivos pretendidos com esta pesquisa, a mesma se classifica como exploratória e descritiva, uma vez que a mesma busca analisar a eficiência operacional em todos os equipamentos da empresa, identificando o equipamento com menor desempenho para aplicação de 3 métodos diferentes de medição da eficiência e assim descrever possíveis soluções para aumentar a eficiência desse equipamento e conseqüentemente de toda a fábrica. No Quadro 3, segue um resumo das diferenças entre uma pesquisa exploratória e uma descritiva.

Quadro 3 – Exploratória x Descritiva

	Exploratória	Descritiva
Objetivo:	Descobrir ideias e informações	Descrever características ou funções do mercado
Características:	Flexível versátil	Marcada pela formulação prévia de hipóteses
	Muitas vezes, ponto de partida de toda concepção	Concepção pré-planejada e estruturada
Métodos:	Entrevistas com especialistas	Dados secundários: análise quantitativa
	Levantamentos piloto, estudo de caso	Levantamentos
	Dados secundários: análise qualitativa	Painéis
	Pesquisa qualitativa	Observação e outros dados

Fonte: Luchese (2015).

3.1.3 Métodos científicos

O método científico adotado, proporciona esclarecer a perspectiva ou premissa sobre como o conhecimento é construído. A escolha do método científico deve levar em consideração uma lacuna teórica, um problema prático, ou a observação de um fenômeno. Além disso deve ser considerado o objetivo da pesquisa, ou seja, o que se deseja é explicar, descrever, explorar ou prever (DRESCH *et al.*, 2015).

De acordo com Dresch *et al.* (2015) os métodos de pesquisa mais utilizados em estudos da área de gestão são: Indutivo, o qual é fundamentado em premissas e na inferência de uma ideia a partir de dados previamente constatados ou observados. Dedutivo, parte de leis ou teorias para propor elementos que poderão servir para explicar ou prever fenômenos, se a premissa do argumento é verdadeira, a conclusão também deve ser verdadeira. Ou Hipotético-dedutivo, a partir de conhecimentos prévios, identificar um problema, propor e testar hipóteses que poderão resultar em previsões e explicações. O método científico adotado nessa dissertação é o dedutivo, uma vez que buscasse entender o fenômeno da eficiência operacional e os problemas que afetam a mesma dentro de uma indústria metalmeccânica.

3.1.3.1 Quanto à natureza da pesquisa

Essa dissertação busca analisar a eficiência operacional de todos os equipamentos operantes em uma empresa do setor metalmeccânico e aplicar diferentes sistemas de medição no equipamento de menor eficiência para analisar as diferenças ou semelhanças nos resultados encontrados. Dentro desse contexto esse estudo é de natureza aplicada, pois busca gerar conhecimento para entender a eficiência operacional dentro da empresa. A pesquisa aplicada surge da necessidade de solucionar problemas reais, e tem por objetivo proporcionar conhecimentos para posterior aplicação numa situação específica (MIGUEL *et al.*, 2010).

3.1.3.2 Quanto à forma de abordagem do problema

Quanto a forma de abordar determinado problema, a mesma pode ser de maneira quantitativa, qualitativa ou combinada. Para esse estudo a abordagem será quantitativa e qualitativa, uma vez que a combinação dessas duas abordagens proporciona um melhor entendimento do problema.

A abordagem quantitativa examina conceitos em termos de quantidade, intensidade ou frequência (KETOKIVI e CHOI, 2014). Para Miguel *et al.* (2010) o ato de mensurar as variáveis é a característica mais marcante na abordagem quantitativa, sendo que o pesquisador não interfere ou interfere pouco nessas variáveis de pesquisa, o pesquisador captura as evidências através de mensuração das variáveis.

Para Ketokivi e Choi (2014) a abordagem qualitativa examina conceitos em termos de significado e interpretação em contextos específicos de investigação. Deimling (2014), complementa que a abordagem qualitativa tem os pesquisadores como instrumento principal e o ambiente natural como a fonte direta para a coleta dos dados.

A abordagem combinada, permite uma complementariedade das concepções metodológicas de pesquisa científica. A combinação das abordagens, possibilita um entendimento melhor do problema, uma vez que o pesquisador analisa o problema através de dados mensuráveis e também utilizando as percepções encontradas durante o levantamento qualitativo, compensando os pontos fracos de cada uma das duas abordagens (MIGUEL *et al.*, 2010). No quadro 4 é apresentando uma análise comparativa entre as abordagens possíveis:

Quadro 4 – Pesquisa qualitativa x pesquisa quantitativa

	Pesquisa qualitativa	Pesquisa quantitativa
Objetivo:	Obter uma compreensão qualitativa das razões e motivações subjacentes	Quantificar os dados e generalizar os resultados da amostra para a população de interesse
Amostra:	Pequeno número de casos não representativos	Grande número de casos representativos
Análise de dados:	Não estatística	Estatística
Resultados	Desenvolvimento de uma compreensão inicial	Recomendação de uma linha de ação final

Fonte: Luchese (2015).

3.1.4 Métodos de pesquisa

Ainda falando sobre a estratégia de condução da pesquisa, a próxima etapa consiste na definição do método de pesquisa. O método de pesquisa ajuda ao pesquisador garantir que sua investigação de fato irá resolver um problema de pesquisa. Além disso o método de pesquisa adequado ajuda no reconhecimento pela comunidade científica de que a pesquisa é confiável e válida para a área (DRESCH *et al.*, 2015).

Como o objetivo dessa dissertação é analisar o comportamento da eficiência operacional em uma empresa da indústria metalmeccânica que opera com pedidos *assemble to order*, o procedimento técnico abordado é o estudo de caso. Para Miguel

et al. (2010) é um estudo de caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se inserem não estão claramente definidos. Na visão de Barreto (2010) o estudo de caso consiste no estudo aprofundado de um ou poucos objetos, para proporcionar uma visão ampla do problema, ou identificar possíveis fatores que influenciam ou são influenciados. O estudo de caso pode analisar dados de um ou mais casos, utilizando métodos de coleta de dados, como análise de arquivos, entrevistas, pesquisas, questionários e observações, tendo como objetivos: fornecer descrição, testar teoria ou gerar teoria (RAVENSWOOD, 2011).

Dentre os principais benefícios da condução de um estudo de caso estão a possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. Entretanto em muitas vezes os trabalhos que adotam o estudo de caso são alvos de críticas, em função de limitações metodológicas na escolha do caso, coleta e análise dos dados, apresentação dos resultados e geração de conclusões suportadas pelas evidências (MIGUEL *et al.*, 2010).

Apesar dessas limitações o estudo de caso ainda é um dos métodos mais adequados para conhecer em profundidade um determinado assunto (FREITAS e JABBOUR, 2011). De acordo com Yin (2015), o poder diferenciador do estudo de caso está relacionado com sua capacidade de lidar com uma ampla variedade de evidências, documentos, artefatos, entrevistas e observações.

Para garantir a qualidade e o sucesso da pesquisa científica, essa deve atender três critérios básicos: validade, generalização e confiabilidade apresentados no Quadro 5 (LUCHESE, 2015):

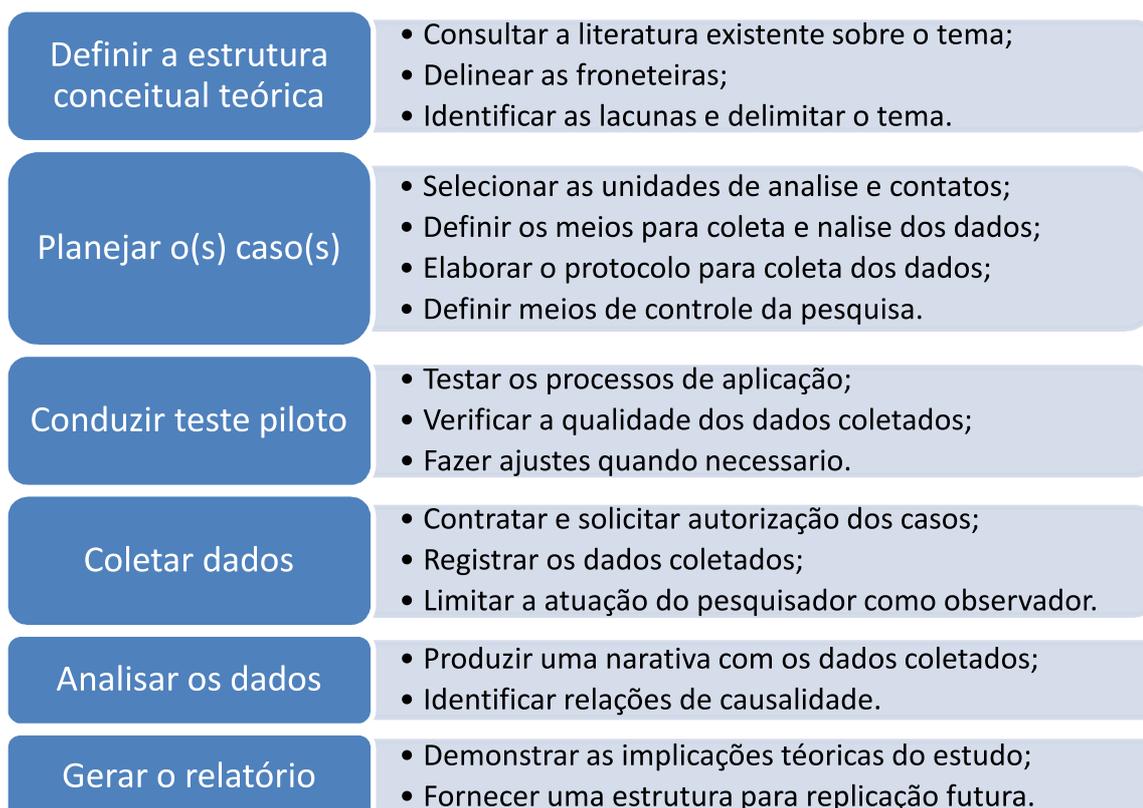
Quadro 5 – Critérios para garantir a qualidade da pesquisa científica

Validade	Implica o que se pretende avaliar e se foi verificada pelo uso de fontes diversas. Pode ser interna, quando se refere a estudos explanatórios que buscam relações causais; e externa, quando as descobertas do estudo de caso são generalizáveis, ou seja, seus resultados são aplicáveis a outros casos.
Generalização	A generalização está intimamente relacionada com a validade, e às vezes é chamada validade externa, sendo que os resultados da pesquisa são utilizados em aplicações específicas, obtidas através da multiplicidade de casos e comparações entre eles com os achados na literatura.
Confiabilidade	O principal critério da ciência é a confiabilidade. Um estudo com alta confiabilidade pode ser reaplicação por outros pesquisadores, sendo que o objetivo é garantir que o outro pesquisador possa chegar aos mesmos resultados, para tanto se utiliza o protocolo de pesquisa.

Fonte: Luchese (2015).

Para garantir a qualidade da pesquisa, é importante adotar uma sequência de estruturação do estudo de caso, a qual permite ordenar as etapas a serem seguidas para atender a qualidade requerida na pesquisa. A figura 13, detalha as etapas que devem ser desenvolvidas para a condução do estudo de caso (MIGUEL *et al.*, 2010):

Figura 13 – Sequência para condução do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.*(2010).

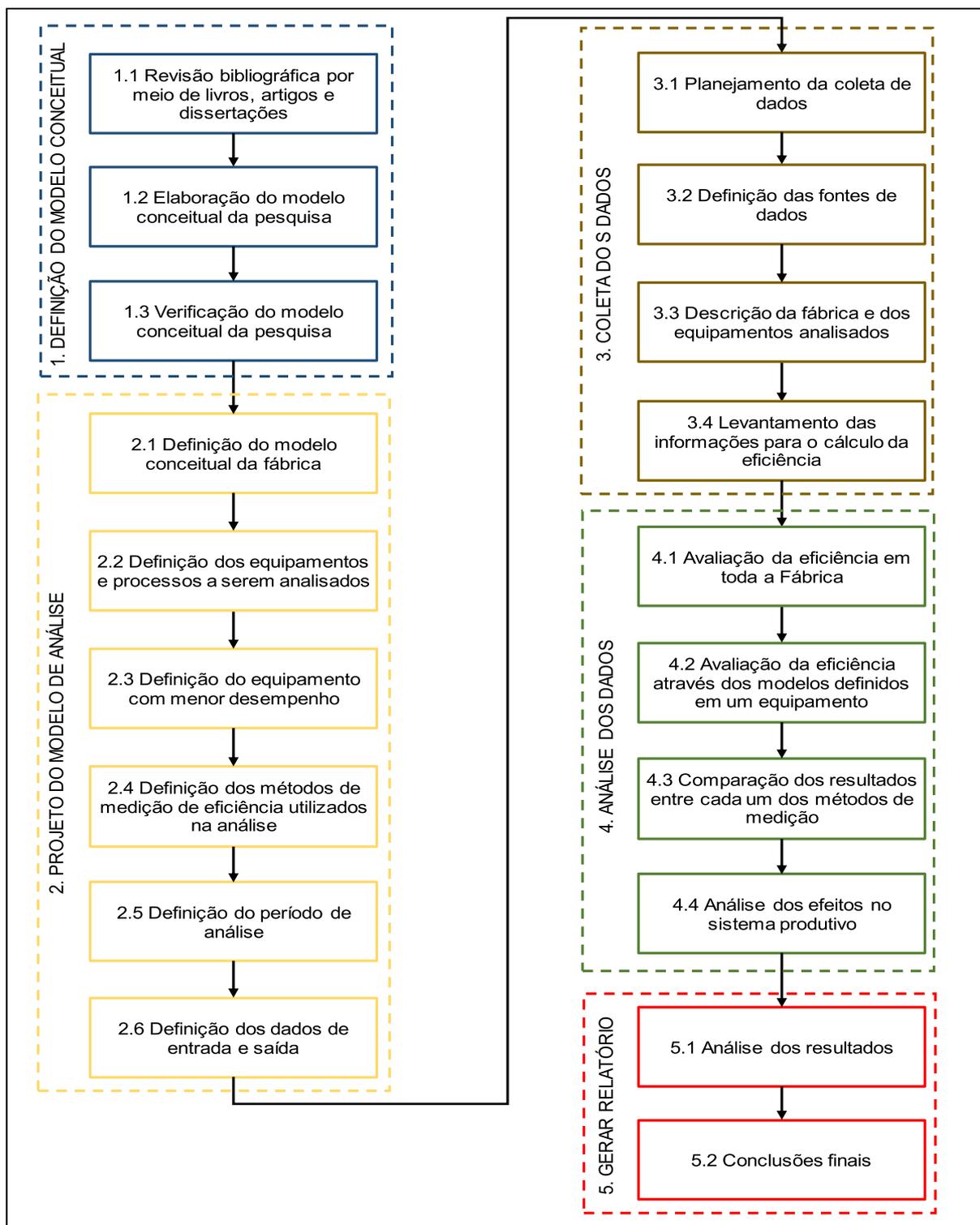
3.1.5 Método de trabalho

O método de trabalho tem como objetivo definir os passos lógicos que serão adotados pelo pesquisador para conduzir a pesquisa aos objetivos finais propostos, detalhando o seu desdobramento e fundamentado no método científico definido. A estruturação adequada do método de trabalho é fundamental para permitir a replicabilidade do estudo, concedendo assim a possibilidade de a pesquisa ser validada e reconhecida por outros pesquisadores, além de fornecer clareza e transparência na sua condução (DRESCH *et al.*, 2015; TELLES, 2019).

O método de trabalho foi baseado nas etapas de aplicação de um estudo de caso mencionadas por Miguel *et al.* (2010), exibido na figura 13 com algumas

adaptações. O método de trabalho é composto por cinco etapas: Definição do modelo conceitual, Projeto do modelo de análise, Coleta dos dados, Análise dos dados e Construção do relatório, o mesmo é apresentado na figura 14:

Figura 14 – Esquema do método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

A fase 1 do método de trabalho consiste na definição do modelo conceitual teórico, no qual realizou-se um mapeamento da literatura existente em livros, dissertações e artigos em bases de dados nacionais e internacionais relevantes sobre o tema. Nessa etapa é realizada uma pesquisa sobre os conceitos do Sistemas de Produção, Modelos Operacionais do Ambiente de Produção (MTO, MTS, ATO e ETO), Eficiência Operacional, Análise de eficiência e produtividade e métodos de mediação da eficiência em operações. O modelo conceitual da pesquisa é apresentado nos capítulos 1 e 2 desse trabalho.

Na fase 2 tem como objetivo projetar o modelo de como será realizado a análise da eficiência na fábrica. Um mapeamento do fluxo de produção se faz necessário nessa etapa, buscando a elaboração de um modelo de como os equipamentos estão distribuídos na fábrica e quais equipamentos apresentam uma menor eficiência, para concentrar a pesquisa nesse equipamento e após o modelo construído estender para os demais equipamentos da fábrica. Nessa análise é possível identificar os produtos que são processados nessa unidade fabril, definir o período de análise, os dados de entrada e saída que serão utilizados no cálculo e simulação do modelo de eficiência operacional.

Uma vez definido o modelo de análise, na fase 3 será elaborado o planejamento e execução da coleta de dados. Os passos que serão seguidos para a coleta dos dados são definidos no planejamento inicial dessa fase, logo em seguida são definidas as fontes de coleta dos dados para o cálculo da eficiência fabril, bem como a explicação do funcionamento da fábrica e do equipamento analisado.

Na fase 4 os dados são analisados através de tabelas de cálculo da eficiência em cada um dos modelos construído, dentro do período de análise definido. Com essa análise é possível fazer as comparações entre cada um dos métodos e entendendo os efeitos dentro da fábrica, possibilitando a avaliação do modelo mais adequado e eficaz para ser utilizado na medição e análise da eficiência operacional de uma indústria metalmeccânica.

A fase 5 é destinada a gerar o relatório dos resultados e as discussões sobre a pesquisa. Os resultados são apresentados aos especialistas para realização de um debate, com o propósito de identificar quais foram as contribuições dessa pesquisa para a empresa analisada e para a teoria. Por fim, a conclusão sobre o problema é escrita, sendo apresentadas as delimitações do estudo e sugestões de pesquisas futuras. Em seguida serão apresentados mais detalhes das fases 2, 3, 4 e 5.

A quantidade de equipamentos que compõem o parque fabril da fábrica 2 forma um ambiente de alta complexidade para aplicar as medições de eficiência com os modelos propostos, dessa forma aplicou-se a medição da eficiência através do método da OEE em todos os equipamentos da fábrica ao longo do mês de Junho de 2019, com a finalidade de analisar a eficiência operacional em toda a fábrica e identificar o processo/equipamento com pior desempenho, e assim focar a análise experimental nesse ponto da fábrica. Os equipamentos serão agrupados em processos de: Jato de Granalha, Corte Plasma, Usinagem, Solda e Pintura.

Atualmente a empresa utiliza apenas uma medição da produtividade da fábrica através da comparação das horas pessoas planejado versus as horas pessoas realizadas, existindo assim uma carência de dados para análise. Diante desse cenário a definição do período de análise, passa pela implementação de uma metodologia de monitoramento das entradas, saídas e interferências em cada equipamento, para assim gerar um banco de dados e possibilitar a análise da eficiência dos equipamentos e por consequência da fábrica como um todo. Foi implementado um diário de bordo para cada equipamento no dia primeiro de agosto de 2019, com o intuito de gerar as informações necessárias para posterior análise. Dessa forma o período de análise será limitado em 6 meses, contando do mês de agosto de 2019 até janeiro de 2020.

Para analisar a eficiência da fábrica, será necessário coletar as informações:

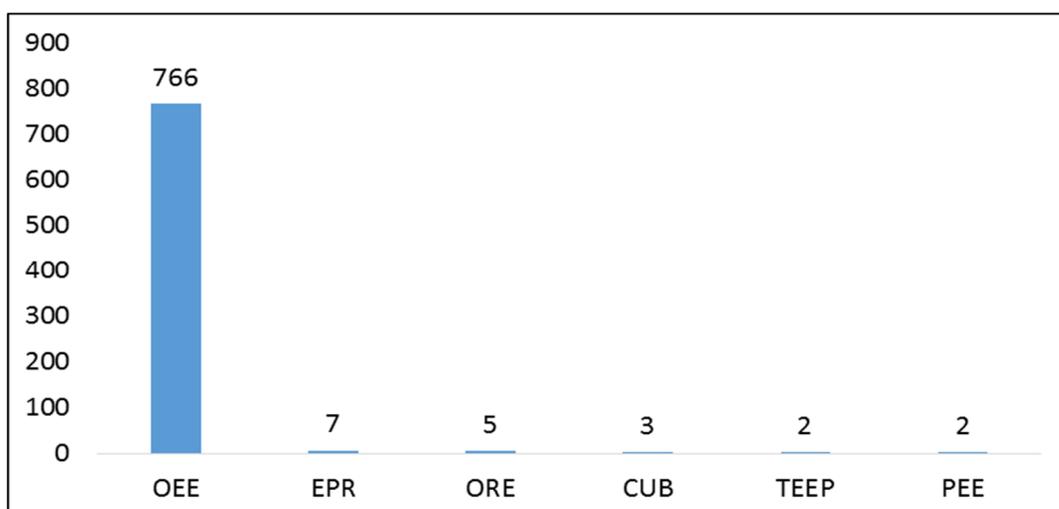
- a) tempo de ciclo: essa informação será consultada no banco de dados da empresa, o cadastro de cada produto possui a informação do tempo previsto para executar a operação;
- b) item produzido, quantidade de itens bons e de refugos: planilha disponibilizada em cada posto de trabalho;
- c) tempo realizado: planilha disponibilizada em cada posto de trabalho;
- d) tempos de máquina parada e motivos de parada: planilha disponibilizada em cada posto de trabalho;
- e) tempo programado/ capacidade: essa informação será consultada no banco de dados da empresa, e através de entrevista aos supervisores de fábrica e analistas de planejamento.

3.1.5.2 Definição dos métodos de medição de eficiência utilizados na análise

Na revisão sistemática da literatura, apresentada no capítulo 2 dessa dissertação, foi possível identificar 15 métodos de medição e análise da eficiência em ambientes fabris. Esse estudo vai estar focado na análise do equipamento de pintura localizado na fábrica 2 da empresa alfa, com isso restam 7 métodos de medição que são mais apropriados para aplicação em equipamentos, conforme identificado no quadro 2. Para avaliar o comportamento de diferentes métodos de medição em um mesmo equipamento, vamos restringir a utilização de 3 métodos, os quais serão comparados na aplicação do mesmo equipamento, buscando identificar a existência ou não de resultados similares para os mesmos.

A metodologia DEA será desconsiderada para a aplicação dessa dissertação, uma vez que a mesma possui características e utilização como técnica de análise, e comparação de produtividade entre equipamentos, processos e diferentes unidades de negócio. Para fazer a restrição dos métodos a serem utilizados foi realizado uma pesquisa do nível de relevância de cada um dos sete métodos na plataforma de pesquisa de artigos acadêmicos da Scopus, utilizando o nome do método para pesquisas em títulos, resumo e palavras chaves de artigos publicados a partir do ano de 2010. Nessa pesquisa identificou-se o número de artigos para cada um dos 8 métodos, conforme apresentado no gráfico 5.

Gráfico 5 – Publicações relacionadas aos métodos de medição de eficiência



Fonte: Elaborado pelo autor

Com essas definições a análise comparativa da eficiência operacional no equipamento de pintura será realizada com a aplicação dos 3 métodos a seguir: OEE, EPR e ORE.

3.1.6 Técnicas de coleta de dados

A etapa de coleta de dados é fundamental para garantir a operacionalização dos métodos de pesquisa. Miguel *et al.*, (2010) afirma que é importante um contato inicial com algum executivo sênior da empresa para autorizar a coleta dos dados da pesquisa, permitindo acesso e resolvendo possíveis impasses. Para o cumprimento dessa etapa inicial foi realizado um contato com o Diretor Industrial, solicitando assim autorização para a consulta e utilização dos dados para a realização dessa pesquisa.

O acesso as informações da empresa são facilitadas em função de o pesquisador atuar dentro da mesma, com isso todos os dados necessários serão consultados no ERP e através de coletas nos postos de trabalho, conforme necessidade.

A técnica de coleta de dados costuma ser o primeiro passo para operacionalização de uma pesquisa, permitindo a coleta das informações previstas sobre os tópicos pesquisados. As fontes de documentais são numerosas, uma vez que qualquer documento que contenha informações relevantes ao andamento da pesquisa pode ser utilizado (DRESCH *et al.*, 2015). As técnicas utilizadas nessa pesquisa estão descritas no quadro 6:

Quadro 6 – Informações referente a coleta de dados

Técnica	Fonte	Informações coletadas
Documental	Sistema ERP utilizado pela empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos produzidos; • Tempos planejados para operação;
Documental	Documentos da empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Número de peças produzidas; • Tempo produzindo peças boas; • Número de defeitos produzidos; • Tempo produzindo defeitos; • Motivos de paradas que interromperam a operação; • Tempos de paradas.
Entrevistas	Funcionários	<ul style="list-style-type: none"> • Informações dos processos de fabricação; • Atividades de atuação da empresa; • Dados relacionados a empresa;
Observação	Empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo produtivo;

		<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos produtivos; • Problemas existentes no fluxo de produção; • Informações da rotina operacional; • Validação e verificação dos dados coletados.
--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise documental se concretizou através de pesquisas nos diretórios eletrônicos e na base de dados da empresa. Os documentos analisados compreendem os roteiros de processo produtivo, cadastros de produtos, relatórios do resultado operacional e demais arquivos internos com informações pertinentes ao estudo da eficiência operacional da Fábrica.

A entrevista é um dos métodos mais importantes para a condução do estudo de caso (YIN, 2015), sendo um procedimento para a coleta de informações realizado por iniciativa do entrevistador, com o objetivo de fornecer informações sobre o objeto de pesquisa, e que pode ser realizada com um único entrevistado ou com um grupo de pessoas (FREITAS e JABBOUR, 2011). A entrevista é considerada um excelente instrumento de coleta de dados, permite a interação entre pesquisador e pesquisado, possibilitando a aquisição de informações que estejam presentes apenas na experiência prática do entrevistado (LUCHESE, 2015).

Ainda, como fonte de dados, destaca-se a realização da técnica de observação direta na rotina organizacional. A coleta de dados, através da técnica de observação, busca conseguir informações da rotina operacional, identificando os resultados que ocorrem na fábrica ao longo da operação. Essa técnica permite registrar os eventos assim que eles ocorrem. É um instrumento de investigação, advindo da Antropologia, onde se constitui uma técnica de pesquisa fundamental. Essa técnica auxilia o pesquisador a obter e identificar provas sobre os objetivos que os indivíduos não têm consciência, entretanto, guiam seu comportamento. A observação desempenha papel importante, pois obriga o investigador a estabelecer um contato direto com a realidade estudada (SILVA, 2015).

Informações relevantes como atividade da empresa, estrutura da empresa, principais produtos, dados financeiros, faturamento, região de atuação, dimensão da empresa serão obtidos através da análise da documentação interna, uma vez que os pesquisadores possuem acesso a essas informações.

Os dados relativos a quantidades e tempo de peças produzidas boas e defeituosas bem como os motivos e tempos de interrupção do processo produtivo,

serão coletados com o auxílio de um diário de bordo que será disponibilizado em cada equipamento, conforme modelo apresentado na figura 16.

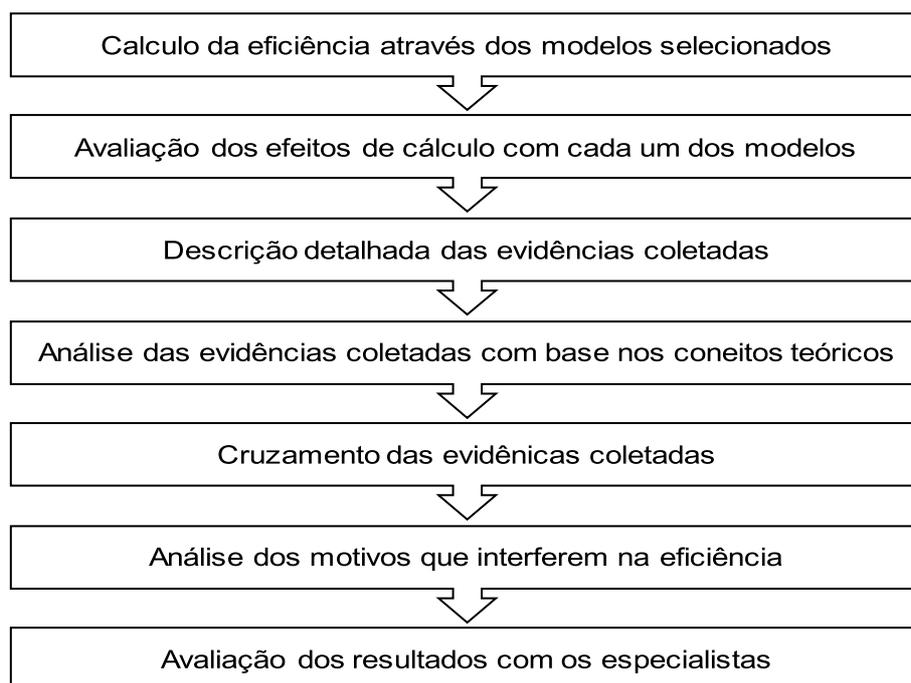
No equipamento de pintura será disponibilizado um modelo de planilha diferente para coletar as informações necessárias para análise da eficiência, uma vez que as mesmas possuem características distintas dos demais processos da fábrica, a mesma é mostrada na figura 17.

Figura 16 – Planilha para coleta de dados na fábrica.

Planilha de coleta de dados para medir a eficiência						
Mês	Horas trabalhadas	Operação/Máquina	Part Number produzido	Horas produzindo peças boas	Horas produzindo peças defeituosas	Responsável
						Horas de paradas
						Motivo de paradas
Dia 1						
Dia 2						
Dia 3						
Dia 4						
Dia 5						
Dia 6						
Dia 7						
Dia 8						
Dia 9						
Dia 10						
Dia 11						
Dia 12						
Dia 13						
Dia 14						
Dia 15						
Dia 16						
Dia 17						
Dia 18						
Dia 19						
Dia 20						
Dia 21						
Dia 22						
Dia 23						
Dia 24						
Dia 25						
Dia 26						
Dia 27						
Dia 28						
Dia 29						
Dia 30						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Passos do processo de análise dos dados coletados no estudo de caso



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados coletados para a análise da eficiência foram organizados em planilhas eletrônicas com o intuito de comparar os resultados entre cada um dos métodos de medição de eficiência fabril. O procedimento de análise seguiu os passos conforme figura 18.

O cruzamento dos resultados obtidos fornece uma análise das diferenças existente em cada um dos modelos de análise da eficiência. É possível identificar os impactos positivos e negativos de cada um dos métodos e assim fornecer subsídio para decidir qual deles é o mais apropriado para o modelo organizacional, considerando o que se espera medir e melhorar dentro da organização.

Com os cálculos da eficiência operacional, também é possível analisar as perdas e propor sugestões de ações para melhorar o resultado operacional da empresa. Atualmente não é realizado um monitoramento da eficiência nos processos/equipamentos da empresa, existe apenas a mensuração do desempenho da mão de obra. Com isso será possível fornecer subsídios para os gestores tomarem ações no fluxo produtivo e melhorarem a operação da empresa. Essas informações foram apresentadas e disponibilizadas pelo pesquisador aos gestores durante as reuniões de análise.

Seguindo essas fases de análise, os resultados foram comparados com as evidências coletadas na revisão da literatura, possibilitando a verificação da criação de um padrão para análise da eficiência operacional.

Por último, foi realizada a análise dos resultados com os objetivos da pesquisa dessa dissertação, procurando identificar se foram atendidos os objetivos.

4 OBJETO DE PESQUISA

Este capítulo é reservado para a apresentação do objeto de pesquisa: uma empresa da indústria metalmeccânica situada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Primeiramente, é apresentada uma visão geral da empresa, contextualizando o mercado de atuação, processos de manufatura, estrutura organizacional e produtos da indústria em questão. A operação da empresa Alfa está dividida em duas unidades de fabricação, denominadas Fábrica 1 e Fábrica 2, localizadas dentro do mesmo complexo fabril. A pesquisa será realizada na Fábrica 2, que terá seu funcionamento detalhado para possibilitar o entendimento dos processos macros de fabricação. Por fim, um detalhamento do equipamento de pintura, o qual será o objeto piloto para implementação desse estudo, explicando o seu funcionamento técnico, capacidades e finalidade do equipamento.

4.1 AMBIENTE DE PESQUISA

A empresa da indústria metalmeccânica Alfa situada na cidade de Panambi, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, teve seu início de operação no ano de 1947. No início de sua operação dedicava-se a manutenção de equipamentos agrícolas importados e nos anos seguintes a construção de pequenas máquinas agrícolas e de beneficiamento de madeiras.

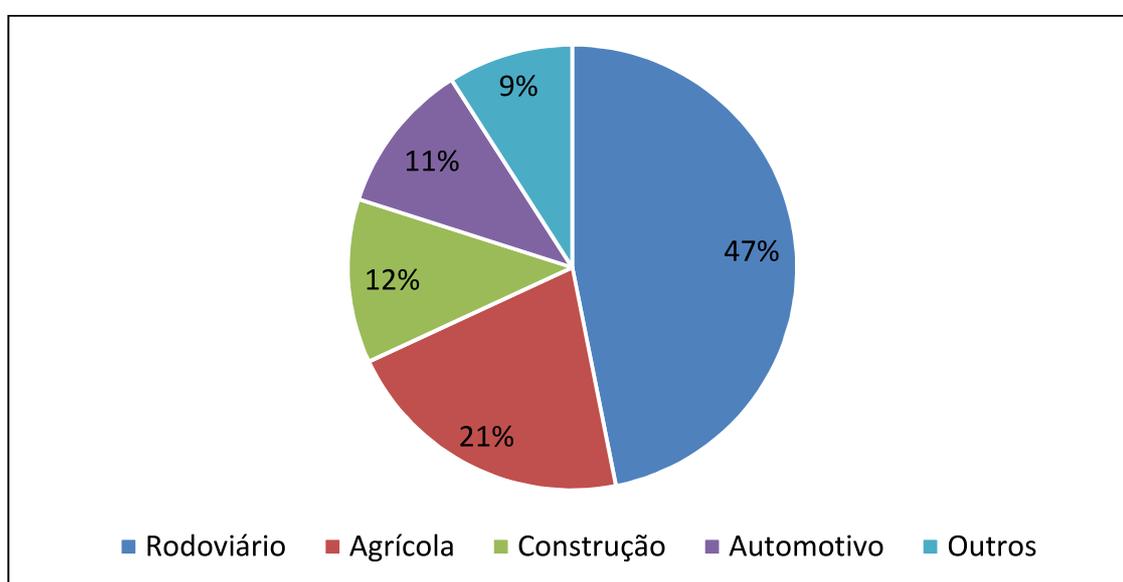
Em 1967 com a nacionalização das colheitadeiras automotrizes começou a produzir e fornecer de forma seriada, componentes para esses equipamentos. Esse foi o marco inicial e que introduziu a empresa Alfa no segmento metalmeccânico. Com o passar dos anos e mesma iniciou o fornecimento de componentes para as indústrias de tratores agrícolas, caminhões e ônibus. Em meados dos anos 90 iniciou o fornecimento de componentes para a indústria automobilística e mais recentemente, no ano de 2012 começou o fornecimento de componentes para o segmento de máquinas de construção civil.

A empresa opera em um parque fabril com estrutura de 135 mil metros quadrados de área construída, dividida em fábrica 1 e fábrica 2, sendo essas fábricas dentro do mesmo parque fabril, processando anualmente aproximadamente 40 mil toneladas de aço e gerando um faturamento bruto de R\$ 650 milhões por ano com 2600 funcionários.

A empresa alfa é especializada em fornecimento de componentes para as indústrias do segmento agrícola, rodoviário, automotivo e de construção. Não possui produto próprio, sua característica principal é no desenvolvimento de processos, recebe o projeto do cliente e desenvolve o processo de fabricação, entregando o produto final dentro das especificações fornecidas pelos clientes.

A empresa alfa conta com processos de jato de granalha, corte laser, corte plasma, desbobinador, prensa hidráulica e excêntrica, usinagem, solda manual e robotizada, pintura e-coat, pintura líquida e pó.

Gráfico 6 – Distribuição do faturamento na empresa alfa



Fonte: Elaborado pelo autor

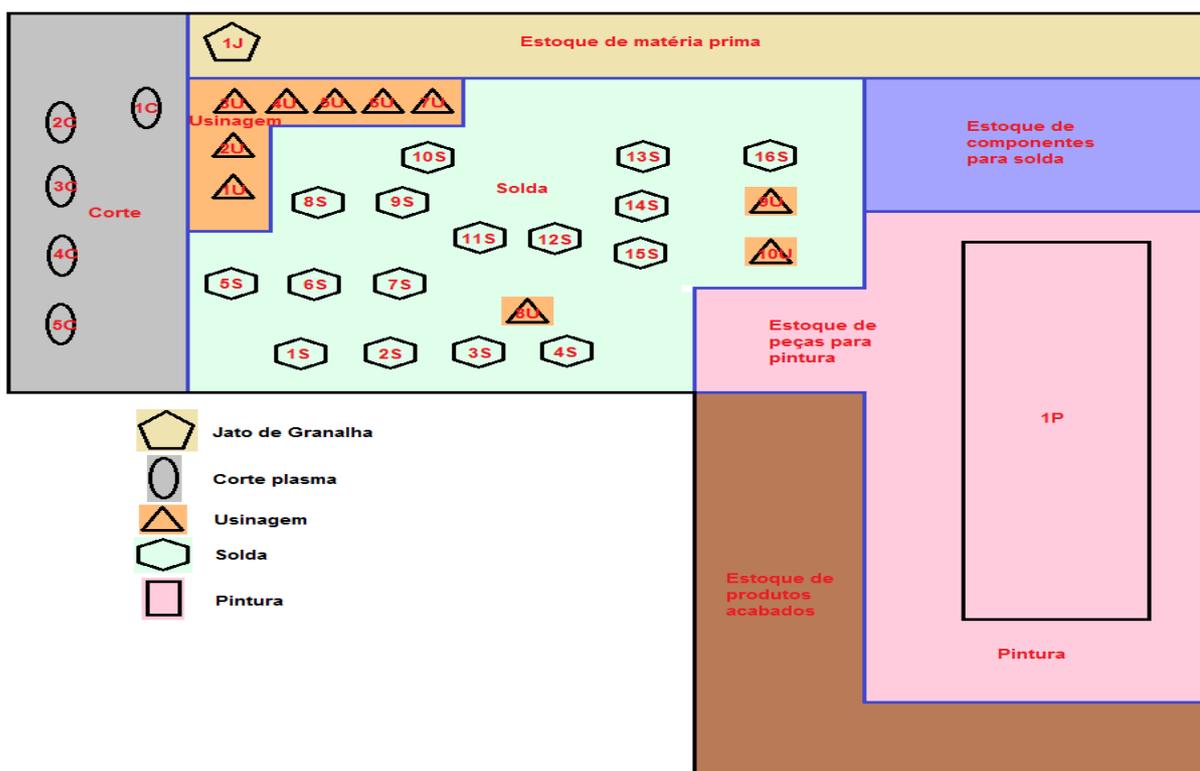
A empresa alfa fornece atualmente 1600 produtos que totalizam o seu faturamento, sendo a Fábrica 2 responsável pela produção de 47 produtos fornecidos exclusivamente para o segmento de construção, gerando uma participação de 12% do faturamento total da empresa alfa. Devido a tamanha representatividade da Fábrica 2 no faturamento, a mesma foi utilizada para aplicação do estudo.

A fábrica 2 é composta por um parque fabril de 32 mil metros quadrados, contando com os processos de jato de granalha, corte laser e plasma, usinagem, solda manual e robotizada e processo de pintura.

Na figura 19, é possível identificar os equipamentos que compõem cada um dos processos. O processamento de todos os itens se inicia com o jateamento das chapas em aço, através de um jato de granalha (1J). Após o material é cortado por

um equipamento de corte laser (1C) e quatro equipamentos de corte plasma (2C, 3C, 4C e 5C). Na operação de corte, alguns itens já vão direto para o estoque de componentes para solda e outros seguem para os processos de usinagem, composto por sete equipamentos que realizam usinagem de itens antes da solda (1U, 2U, 3U, 4U, 5U, 6U e 7U), concluída a usinagem todos os itens seguem para serem armazenados no estoque de componentes para solda. A solda inicia o processamento após receber a confirmação dos pedidos dos clientes, através de 16 células de solda robotizada é processado todos os 47 produtos da fábrica (1S, 2S, 3S, 4S, 5S, 6S, 7S, 8S, 9S, 10S, 11S, 12S, 13S, 14S, 15S e 16S). Alguns produtos sofrem operações de usinagem após o processo de solda, realizado por três equipamentos de usinagem (8U, 9U e 10U). A última operação é o processo de pintura desses produtos, realizado por um equipamento (1P).

Figura 19 – Distribuição dos equipamentos da fábrica 2

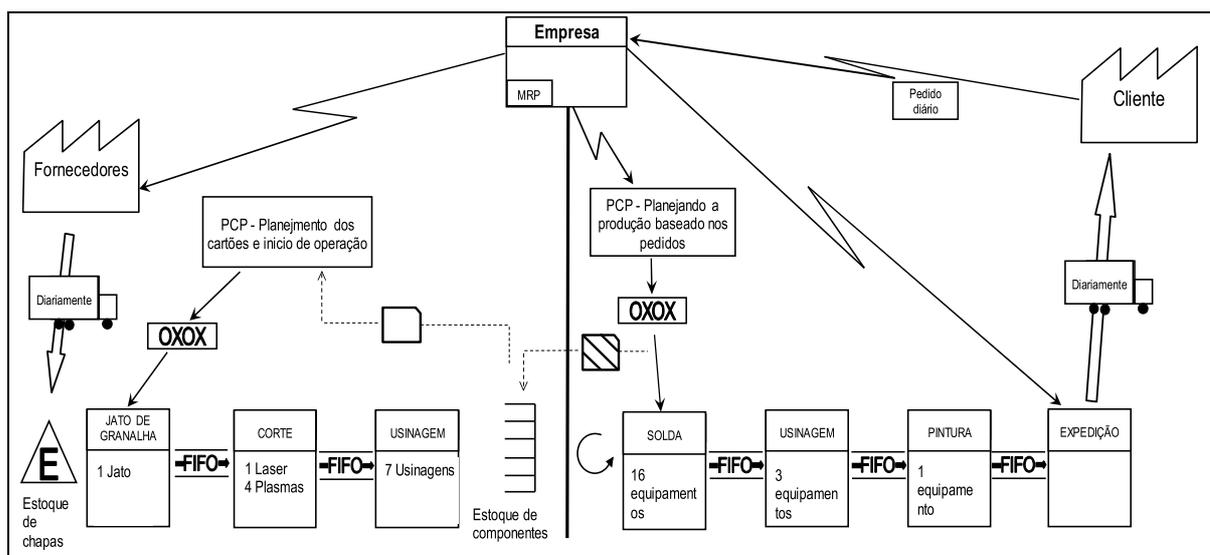


Fonte: Elaborado pelo autor

A empresa opera em fluxo de produção *make to order*, porém na fábrica 2, após o desenvolvimento de projetos para melhorar o fluxo produtivo, foi alterado o mesmo para um fluxo *assemble to order* onde após receber a confirmação do pedido do

cliente, faz-se a montagem dos componentes através do processo de solda, confeccionando os produtos finais. Após a solda os mesmos são pintados e expedidos para o cliente. A produção dos componentes, antes da solda se dá por um sistema *kanban*, onde o sinal para início de produção dos componentes ocorre após o seu consumo, através de um ponto de disparo. A figura 20 mostra esse fluxo.

Figura 20 – Fluxo de informações no sistema produtivo



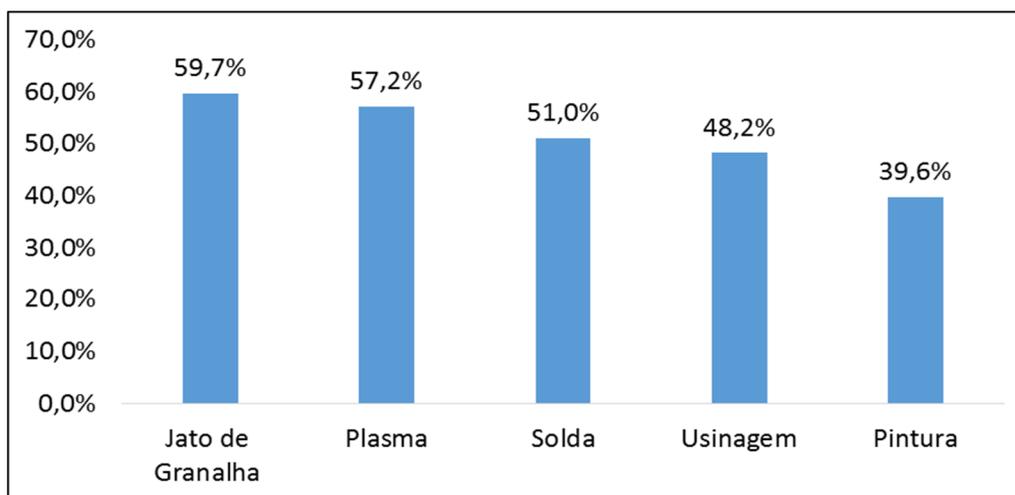
Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o modelo produtivo e os tipos de processos de manufatura utilizados é possível dividir a fábrica 2 em cinco macros processos:

- a) Jato de granalha;
- b) Corte plasma e laser;
- c) Usinagem;
- d) Solda;
- e) Pintura;

Fazendo uma análise da eficiência operacional de cada um desses processos é possível constatar que o processo de pintura é o que apresenta o pior desempenho. Para tal análise foram coletados dados produtivos desses processos e aplicados à medição da eficiência operacional com o método da OEE, obtendo o resultado conforme gráfico 7.

Gráfico 7 – Eficiência dos processos macros da fábrica 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Diante desse cenário o processo de pintura foi escolhido para aplicação dos diferentes métodos de medição de eficiência e assim validar a metodologia de análise para posteriormente estender para o restante da Fábrica, caso os gestores da empresa queiram adotar essa metodologia.

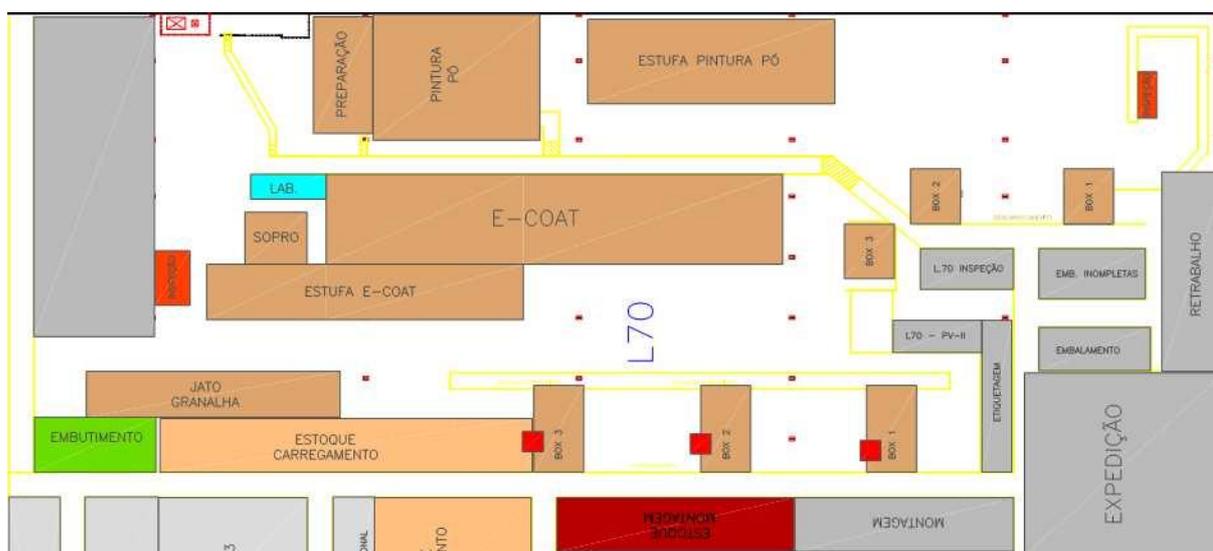
4.2 EQUIPAMENTO DE PINTURA

A instalação de pintura ocupa uma área de 12.000 metros quadrados e entrou em operação em 2015. O Sistema é constituído por carregamento, jateamento, pré-tratamento, pintura e-coat, pintura pó, secadores (estufas de polimerização e-coat e pintura pó), descarregamento, cabine de retoque. O sistema tem capacidade de produzir em média de 10 a 20 cargas/hora, com as seguintes capacidades:

- a) Carga máxima em cada barra de carga: 1.450 kg;
- b) Dimensões máximas das Cargas:
 - Comprimento: 5500 mm
 - Largura :600mm / 1300 mm
 - Altura: 2000 mm

O sistema de pintura da fábrica 2 é representado na Figura 21:

Figura 21 – Layout sistema de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor

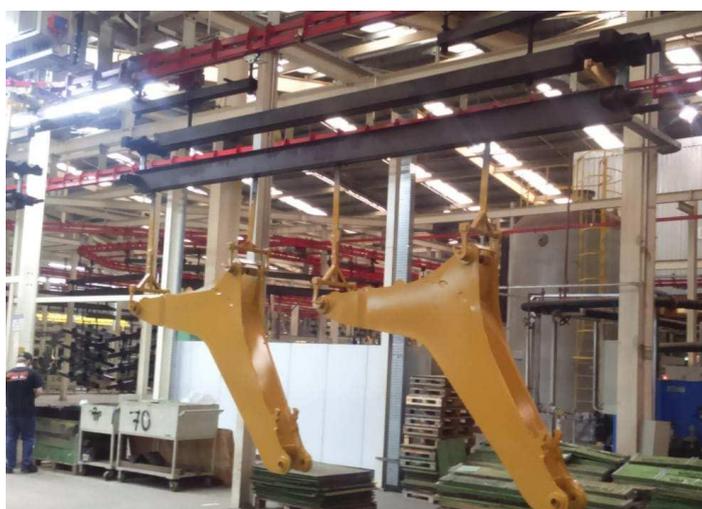
A largura máxima da carga tem a condição de 600mm e 1300mm, pois para o melhor aproveitamento das instalações de pré-tratamento e e-coat existe a possibilidade de tratar 2 barras de carga de 600mm ao mesmo tempo em cada estágio de imersão, ou então 1 barra de carga com 1300mm de largura, o que na pintura a pó não é possível em virtude das “sombras” que uma carga causa sobre a outra.

A variação de arranjos entre quantidades de largura das cargas tem influência direta sobre a capacidade de produção, ou seja, a quantidade máxima de 20 cargas/hora é considerando o processamento somente de cargas com largura de 600mm, e ainda depende do tempo de cura necessário para o tipo de peça que está sendo processado. Conforme especificações do fornecedor, as melhores combinações é fazer 50% de cargas estreitas e 50% de cargas largas por hora, com isso a capacidade máxima por hora do equipamento é de 15 cargas, ou seja, a cada 4 minutos uma carga entra no sistema. A movimentação e interligação de cada etapa do processo é realizada por um transportador aéreo denominado de *Power and Free*, que consiste em um monovia transportadora segmentada por cada etapa do processo. Toda a pintura é gerenciada através de um *software* (supervisório) que monitora e controla toda a operação.

4.2.1 Carregamento e Descarregamento

Os postos de carregamento e descarregamento possuem 3 boxes para carga e descarga das peças no sistema de pintura, conforme figura 22. Cada posto conta com 3 elevadores operados manualmente pelos operadores. No carregamento as peças são isoladas (as faces que requerem ser livres de pintura), na sequência, com um conjunto de gancheiras específicas as peças são içadas nos vagões de carga e liberadas para o processo correspondente. No descarregamento, as peças são removidas das gancheiras e vagões acondicionadas em embalagens específicas para serem transportadas até as unidades dos clientes.

Figura 22 – Imagem do BOX de carregamento



Fonte: Empresa alfa

4.2.2 Jato de granalha

O jato de granalha (figura 23) opera com 4 turbinas de projeção de granalhas, fazendo que todas as superfícies das peças sejam limpas neste estágio. As granalhas que estão no equipamento passam por um sistema de peneiras classificatórias onde são selecionadas de acordo com seu tamanho, as granalhas quebradas ou com menor tamanho são descartadas automaticamente. A intensidade de limpeza depende do tempo de contato da peça com as granalhas, o tempo de jateamento pode ser ajustado entre 3 e 4,5 minutos.

Figura 23 – Imagem do Jato de Granalha



Fonte: Empresa alfa

O processo de jateamento nos conjuntos soldados é realizado com o objetivo de remover óxidos e carepas oriundos do processo de soldagem, remoção dos óxidos do processo de corte laser e plasma e a remoção de carepas provenientes da laminação do aço. Este processo de limpeza do aço é bastante eficiente quando a remoção de óxidos além de melhorar a superfície do aço para aderência da tinta.

Para um melhor jateamento e preparo da superfície do aço o processo é realizado com uma mistura de granalhas onde, 30% granalhas angulares e 70% são granalhas esféricas. As granalhas angulares possuem excelente poder de corte, porém deixam a superfície do aço mais rugosa. As granalhas esféricas possuem menor poder de corte, quando comparadas as granalhas angulares, mas proporcionam acabamento com menor rugosidade à superfície do aço. Este *mix* de granalhas nos confere uma rugosidade não superior a 6,0 Ra e uma boa limpeza da superfície. O jateamento por granalha não deposita uma camada inibidora de corrosão na peça, mas prepara a superfície para os processos subsequentes de fosfatização e pintura.

4.2.3 Pré-tratamento e pintura eletroforese – E-coat

O sistema de pré-tratamento e fosfatização (figura 24) conta com um conjunto de tanques para imersão das peças. Os tanques são constituídos de aço carbono (exceto o tanque de fosfato que é confeccionado em aço inoxidável), com volumes de 28.000

litros. Ao todo, o processo conta com 10 estágios distribuídos em: 3 estágios de desengraxe, 3 estágios de enxágue, ativador de camada, fosfatização, passivador e enxágue com água deionizada. O sistema pode processar de 10 a 20 vagões por hora, dependendo da quantidade de cargas largas e estreitas.

Figura 24 – Sistema de pintura E-coat



Fonte: Empresa alfa

Os estágios de desengraxe e fosfatização são aquecidos através de trocadores de calor tipo placas, tendo água quente a 90°C como fluido de aquecimento. O controle do volume de água necessária para o aquecimento é feito através da modulação de válvulas de controle pneumáticas para os respectivos estágios. O aquecimento da água é feito através de boiler, que utiliza um queimador a combustão alimentado por GLP.

A pintura E-coat é constituída por 4 tanques sendo 1 tanque de tinta E-coat e 3 estágios de enxágue. O tanque de tinta possui um volume de 45.000 litros com capacidade para pintura de 50m²/vagão. A tinta necessita permanecer em constante circulação entre filtros bag e células de ultrafiltração, mantendo a agitação no tanque e evitando a sedimentação de tinta. Um gerador de eletricidade garante que não falte energia ao sistema em caso de interrupções de fornecimento pela concessionária de energia elétrica.

Para melhor eficiência na pintura a tinta deve manter a temperatura entre 27 e 33°C, um sistema de resfriamento mantém a temperatura dentro da faixa determinada.

Os enxágues pós-pintura são alimentados pelo sistema de ultrafiltração da tinta, que separa parte do solvente e água da tinta. Para evitar que os vapores produzidos nos banhos do pré-tratamento e pintura eletroforética contaminem o ambiente da fábrica todos tanques de pré-tratamento e pintura E-coat estão enclausurados por uma estrutura de perfis de aço.

Um dos grandes desafios das indústrias metal-mecânicas é a proteção contra oxidação para seus conjuntos metálicos. Dentre os diversos processos que conferem a proteção corrosiva, a empresa Alfa utiliza o processo de fosfatização tricatiônica como camada protetiva contra corrosão e preparo da superfície metálica para receber as camadas de pintura.

O processo é composto pelos estágios de desengraxante, enxágue, ativador de camada (refinador), fosfato tricatiônico, enxágue, passivador e enxágue com água deionizada. O desengraxe é formado por uma base alcalina que tem como função a remoção das superfícies metálicas os óleos protetivos ou residuais dos processos anteriores a pintura. Os enxágues são constituídos de água industrial e tem por finalidade impedir a contaminação dos banhos subsequentes do processo. A finalidade do ativador de camada é condicionar a superfície para a formação de uniforme da camada de fosfato. O fosfato tricatiônico é um banho formado por uma solução aquosa de ácido fosfórico com cátions de metais de zinco, níquel e manganês. Em contato com o aço é formado uma camada cristalina de fosfatos, que conferem a proteção corrosiva da superfície metálica e aderência a pintura. O passivador sela a porosidade da camada de fosfato formada. Por último o enxágue com deionizada garante que superfície fosfatizada não carregue contaminantes para o tanque de pintura E-coat.

A pintura eletroforese, também conhecida como E-coat, é um processo de pintura que ocorre pela diferença de potencial elétrico entre a peça e o banho de pintura. A peça quando mergulha no tanque de tinta, recebe carga negativa e o banho de tinta recebe a carga positiva. Neste processo a tinta, carregada positivamente, é atraída para a superfície da peça formando uma camada de tinta uniforme na peça. A quantidade de tinta aplicada dependerá da tensão aplicada (260 a 350 volts) e da condutividade do banho que pode variar entre 800 a 2.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Após a aplicação da tinta as peças são enviadas para a estufa de cura, para que ocorra a reticulação polimérica do filme de tinta. A estufa de cura opera à temperatura de 210°C, o tempo de permanência a esta temperatura está relacionado

a espessura de cada peça, ou seja, quanto maior a espessura da peça maior o tempo de permanência na estufa obedecendo a recomendação do fornecedor da tinta quanto a relação temperatura e tempo.

A pintura E-coat é caracterizada pela sua uniformidade na camada de tinta (20 a 25 microns de espessura), a alta proteção anticorrosiva, boa resistência química, excelente adesão na superfície metálica e é considerado um primer adequado para posteriores pinturas pó ou líquida.

4.2.4 Pintura Pó

A pintura pó é composta por duas cabines de pintura automáticas que trabalham simultaneamente com cores e tintas diferentes. A estrutura da pintura conta com:

- a) Central de pó: nele é colocada a caixa de tinta de pó, e faz a distribuição da tinta para todas as pistolas. A central pó conta com o software que contém as receitas para aplicação de tinta em cada peça;
- b) Cabine de aplicação: constituída em PVC antiestético, evita que a tinta pó fique acumulada. Um conjunto de pistolas automáticas e manuais realizam a aplicação da tinta nas peças. As cabines constam com um sistema de limpeza automático que removem o pó que não aderiu nas peças;
- c) Ciclone: recebe a tinta que não aderiu na peça. Conta um conjunto de peneiras e pela diferença de peso das partículas separam a tinta reutilizável da tinta para descarte. As tintas com baixo peso são descartadas e a tinta que mantém suas propriedades retornam para o sistema de pintura;
- d) Unidade de descarte: unidade que recebe as tintas que são descartadas pelo ciclone.

O sistema de pintura conta com robôs programáveis para aplicação da tinta pó, para cada peça há uma receita pintura distinta e as receitas são programáveis considerando a geometria da peça, o tipo de tinta que será utilizado e a espessura de camada desejada. Dois pintores realizam a pintura em regiões específicas de cada peça, onde os robôs não conseguem uma boa eficiência de aplicação devido a geometria da peça. Na figura 25 tem-se o sistema de pintura pó:

Figura 25 – Sistema de pintura pó



Fonte: Empresa alfa

O processo de pintura com tintas pós é considerado um dos processos de pintura mais eficientes quanto a perdas de processo. O processo possui uma eficiência próxima de 95%, pois parte da tinta que não ficou aderida na peça retorna para o sistema de aplicação. A aplicação da tinta, embora necessite controles da tensão de aplicação, velocidade e pressão do ar comprimido é bastante simples. A peça ao entrar na cabine de aplicação a peça recebe uma carga negativa e a tinta projetada recebe a carga positiva, esta diferença de cargas faz a tinta pó ser atraída para a peça. A tinta pó já vem do fabricante pronta para a utilização, não requer preparo antes da aplicação.

A espessura de camada de tinta aplicada depende de cada tinta e da aplicação da peça, mas a camada média é de 50 a 100 micros. Assim como no processo de pintura E-coat a tinta pó também requer cura em estufa, sendo o tempo e a temperatura determinados pelo fabricante da tinta. Em geral a pintura pó confere bom aspecto visual, boa resistência a corrosão e adesão ao primer Ecoat.

4.2.5 Estufas de polimerização

Após cada etapa de pintura E-coat e pó as peças passam pelo processo de polimerização (cura) das tintas. O sistema de pintura conta com 3 estufas de polimerização, sendo 1 estufa para cura do E-coat e 2 para cura da tinta pó. As estufas da pintura são do tipo convecção, onde o aquecimento ocorre através da circulação forçada de ar aquecido. O gerador de calor (queimador) tem a função de promover a

temperatura no interior da estufa de acordo com a temperatura programada. Cada estufa conta com queimadores e ventiladores que aquecem e fazem a distribuição uniforme do ar quente no interior de cada estufa, utilizando o GLP como fonte de energia.

4.2.6 Transportador *Power and Free*

Os transportadores *power and free* (figura 26) é conjunto de vários trilhos independentes que estão interligados e movimentam todo um circuito de pintura. Cada circuito possui dois trilhos, sendo um trilho localizado acima do outro. Em um trilho, conhecido como o trilho “*power*”, uma corrente transportadora sem rebites está fixada e opera continuamente quando o transportador aéreo está em operação. No segundo trilho, as cargas transportadas são presas no sistema através de troles e barras de carga, esse trilho é denominado de “trilho *free*” do transportador. Engates mecânicos chamados “*pusher dogs*” se localizam a distâncias regulares ao longo da corrente em movimento. O objetivo do *pusher dog* é empurrar os troles livres ao longo do trilho do transportador.

A movimentação das cargas ocorre quando o trilho da frente estiver livre tanto de outros troles quanto de locais de parada mecânica. Quando um trole se encontra com outro carregador, o sistema de troles livres automaticamente desengata o trole. Isso permite à corrente motorizada continuar em movimento.

As cargas também podem acumular (ou seja, se agrupar) em determinados pontos do sistema quando necessário; ou podem ser separadas para seguir uma a uma através de um sistema denominado *stopper*. O sistema é acionado de um comando eletropneumático, que interrompe o movimento dos troles livres. A organização de todos os transportadores é realizada por software que recebe as informações de cada carga quando inserida no sistema. Através deste sistema é possível visualizar e localizar os vagões na pintura.

Figura 26 – Sistema de movimentação *power and free*



Fonte: Empresa alfa

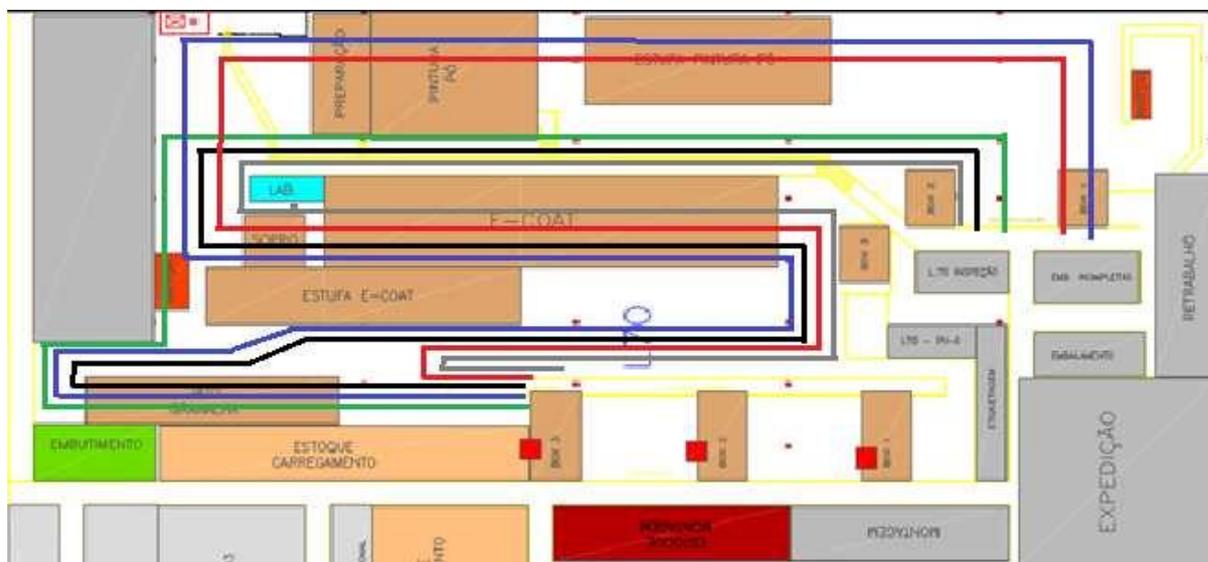
4.2.7 Operações (possibilidades ou combinações de processo)

A operação do sistema ocorre através do processo de pintura de cada peça, sendo a determinação do processo baseada de acordo com: geometria da peça, espessura do material, tinta a ser utilizada e o tipo de acabamento requisitado pelo cliente. A linha de pintura possibilita operar com 5 fluxos de processo:

- a) Jateamento : peças que são fornecidas sem pintura, pois serão soldadas nos veículos na linha de montagem do cliente. Linha verde na figura 27;
- b) Pintura E-coat: peças fornecidas somente com o primer E-coat e não necessitam de jateamento. As peças recebem a pintura acabamento na linha de produção do cliente. Linha cinza na figura 27;
- c) Jateamento + Pintura E-coat: peças fornecidas somente com primer E-coat, mas requerem o jateamento para remoção de óxidos de corte e/ou carepas de laminação. As peças recebem a pintura acabamento na linha de produção do cliente. Linha preta na figura 27;
- d) Pintura E-coat + Pintura a Pó: processo utilizado para peças que não necessitam de jateamento mas são fornecidas com primer e pintura acabamento. As peças são fornecidas diretamente para a linha de montagem do cliente. Linha vermelha na figura 27;
- e) Jateamento + Pintura E-coat + Pintura a pó: neste processo as peças passam pelo jato de granalha para remoção de óxidos e carepas, antes de

receber a pintura. As peças são fornecidas diretamente para a linha de montagem do cliente. Linha azul na figura 27;

Figura 27 – Combinações possíveis no processo de pintura



Fonte : Elaborado pelo autor

5 RESULTADOS DA PESQUISA

Nesse capítulo são apresentados os achados da pesquisa. Primeiramente será apresentado uma análise da eficiência operacional dos processos macros da fábrica através do método de análise da OEE. Posteriormente a pesquisa se direcionou na aplicação dos métodos de medição da eficiência OEE, EPR e ORE no equipamento/processo com menor desempenho, observando o comportamento dos três métodos e propondo sugestões para aumento do desempenho operacional da empresa através dos achados expressos nessa pesquisa.

5.1 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NOS MACRO PROCESSOS

Considerando a divisão da fábrica 2 em cinco macros processos: jato de granalha, corte, usinagem, solda e pintura, realizou-se a coleta de dados nos equipamentos que compõem cada um desses processo, com o objetivo de mensurar a eficiência operacional e assim direcionar a pesquisa para o processo ou equipamento mais crítico da fábrica 2, no qual será aplicado os demais modelos de medição e análise da eficiência.

Para a análise desses equipamentos utilizou-se o método da OEE, metodologia essa uma das mais populares e usadas para medição de eficiência em ambientes fabris (OECHSNER *et al.*, 2003; HUANG *et al.*, 2003; MUCHIRI e PINTELON, 2008). Foi disponibilizado uma planilha de coleta de informações (figura 16 e 17) em cada posto de trabalho da Fábrica 2 durante o mês de junho de 2019, coletando as quantidades de peças produzidas, o código da peça produzida, o tempo em produção de cada peça, a quantidade de itens não conformes, o tempo total programado para produção e os tempos de paradas. O tempo planejado para cada produto foi retirado do banco de dados da empresa. De posse dessas informações é possível mensurar a OEE através de uma planilha em excel para cada máquina e conseqüentemente cada processo. Na figura 28 encontra-se o exemplo de cálculo da OEE para o processo de solda. Os cálculos da OEE para os demais processos se encontram no Apêndice A, B, C, D e E.

Figura 28 – Planilha de cálculo da Eficiência (Exemplo do processo de solda)

Data	OEE	D = (Tpr - Tpa)/Tpr	P = (Tc x Qp)/Tr	Q = Qc/(Qc + Qn)	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
Total H	67,5%	86,7%	79%	98%	11172	1482	46	167	9690	164	3
Total L	67,1%	85,9%	81%	96%	11172	1572	23	169	9600	164	5
							23	170		162	8
Total Braço	67,5%	85,8%	79%	100%	11172	1590	23	164	9582	164	0
							23	164		164	0
Total Torre	54,5%	76,0%	72%	100%	11172	2685	12	173	8487	173	0
							12	177		177	0
							1	186		186	0
							1	186		186	0
							2	184		184	0
							2	184		184	0
							4	195		195	0
Total Engate	35,5%	87,2%	41%	99%	21888	2810	42	51	19078	50	1
							42	6		6	0
							42	17		16	1
							32	33		33	0
							32	61		61	0
							32	50		50	0
							32	4		4	0
Total Nave	29,7%	83,6%	35,6%	100%	21888	3600	25	39	18288	39	0
							7,25	76		76	0
							30	74		74	0
							25	52		52	0
							5	35		35	0
							9,75	132		132	0
Total Engate	70,0%	82,6%	85%	100%	11172	1940	46	170	9232	170	0
Total Stick	50,6%	81,3%	62%	100%	11172	2090	46	123	9082	123	0
Total Boom	70,0%	84,8%	83%	100%	11172	1700	46	170	9472	170	0
Total Lateral	45,9%	81,9%	56%	100%	11172	2025	42	122	9147	122	0
Total Plantadeira	37,6%	82,2%	46%	100%	11172	1988	17,5	240	9184	240	0
Total H-carregadeira	45,6%	80,3%	57%	100%	11172	2200	85	60	8972	60	0
Total Lateral H	55,3%	79,7%	69%	100%	11172	2270	45	117	8902	117	0
							15	61		61	0
	51,0%	83,2%	62%	99,5%	166668	27952			138716	3794	18

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os resultados calculados da eficiência nos macroprocessos da fábrica, chegou-se ao gráfico 7 (apresentado no capítulo 4), onde é expresso o resultado do monitoramento de um mês de produção.

Partindo dessa análise da eficiência operacional por macroprocessos de fabricação é possível identificar que o menor desempenho da fábrica se encontra no processo de pintura, com uma OEE de 39,6%. Com isso utilizou-se a mesma técnica de coleta de dados para o processo de pintura (Figura 17) porém aumentando o período de análise de agosto de 2019 até janeiro de 2020, onde os resultados são

apresentados na sequência desse trabalho, através da aplicação dos três métodos de análise de eficiência definidos anteriormente.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA OEE

Para a medição da OEE no equipamento de pintura adotamos como unidade de produção cada vagão de peças que entra no sistema, fazendo a leitura da eficiência através da quantidade de vagões que entram por dia no equipamento versus a quantidade especificada pelo fabricante. Como o sistema possui um transportador que liga a entrada da pintura até a sua saída, analisando apenas o ponto de entrada é possível fazer uma leitura e análise de resultados da eficiência operacional de forma confiável e que vão expressar diretamente o cenário atual de todo o processo de pintura.

O equipamento de pintura possui três boxes de entradas de peças. Em cada um desses pontos foi colocada uma planilha (conforme a figura 17) para coletar os dados de vagões carregados, número de peças carregadas, tempo para carregar cada vagão e o tempo total de operação do equipamento. No final do processo de pintura foi coletado as informações de peças reprovadas no processo e assim ter o resultado da eficiência relacionada a qualidade da operação. O tempo planejado para carregar cada vagão foi retirado da base de dados da empresa, sendo este de 12 minutos conforme especificação do fabricante do equipamento.

Com as informações de entrada de cada box de carregamento elaborou-se um modelo de cálculo da OEE em uma planilha de excel, onde os dados são lançados de acordo com cada box de carregamento (quadro 7) e permitem o cálculo da eficiência do equipamento conforme o demonstrado no quadro 8. Os dados de OEE foram mensurados diariamente desde o dia 01/08/2019 até 31/01/2020.

Quadro 7 – Dados coletados em cada box de carregamento

Data	BOX1				BOX2				BOX3			
	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)
01/ago	588	16	200	146	662	31	529	298	623	37	378	272
02/ago	588	11	188	73	620	29	485	252	660	38	394	194
05/ago	591	7	113	65	669	28	512	299	655	25	390	125
06/ago	588	16	246	233	637	31	462	220	605	33	457	195
07/ago	588	15	161	138	669	33	474	239	639	33	426	97
08/ago	590	14	281	141	637	31	473	206	588	29	318	102
09/ago	588	7	101	80	665	38	593	275	599	29	383	169
12/ago	650	11	137	95	637	31	478	223	610	28	380	159
13/ago	618	14	189	118	637	31	466	175	665	29	353	77
14/ago	588	14	210	187	670	32	509	254	646	25	353	93
15/ago	588	14	222	156	660	41	476	402	588	28	335	105
16/ago	630	7	125	160	644	37	466	489	670	38	383	191
19/ago	588	7	157	166	668	35	444	198	628	25	355	112
20/ago	588	3	29	36	668	44	525	227	624	35	399	121
21/ago	588	1	10	10	648	35	529	395	588	30	329	91
22/ago	597	8	95	40	565	28	459	213	652	27	441	128
23/ago	588	13	211	81	660	47	454	224	634	38	420	95
26/ago	588	7	117	40	643	28	421	133	640	28	490	109
27/ago	588	9	189	69	652	33	464	233	670	34	374	101
28/ago	610	11	126	70	670	31	471	212	640	27	375	85
29/ago	588	7	168	107	671	40	470	196	588	32	355	182
30/ago	588	10	203	129	665	33	480	169	588	32	368	124
Agosto	13106	222	3478	2340	14317	747	10640	5532	13800	680	8456	2927
Setembro	11760	27	402	157	12432	654	8539	5218	12551	608	8218	4126
Outubro	12936	0	0	0	12943	666	8041	5568	14189	667	8989	3223
Novembro	12348	7	118	38	12981	680	7593	5876	12440	577	7506	2450
Dezembro	8232	0	0	0	9096	407	5322	3394	9139	458	5726	2315
Janeiro	11797	58	1027	645	11890	643	7162	4905	11762	610	6960	2903

Fonte: Elaborado pelo autor

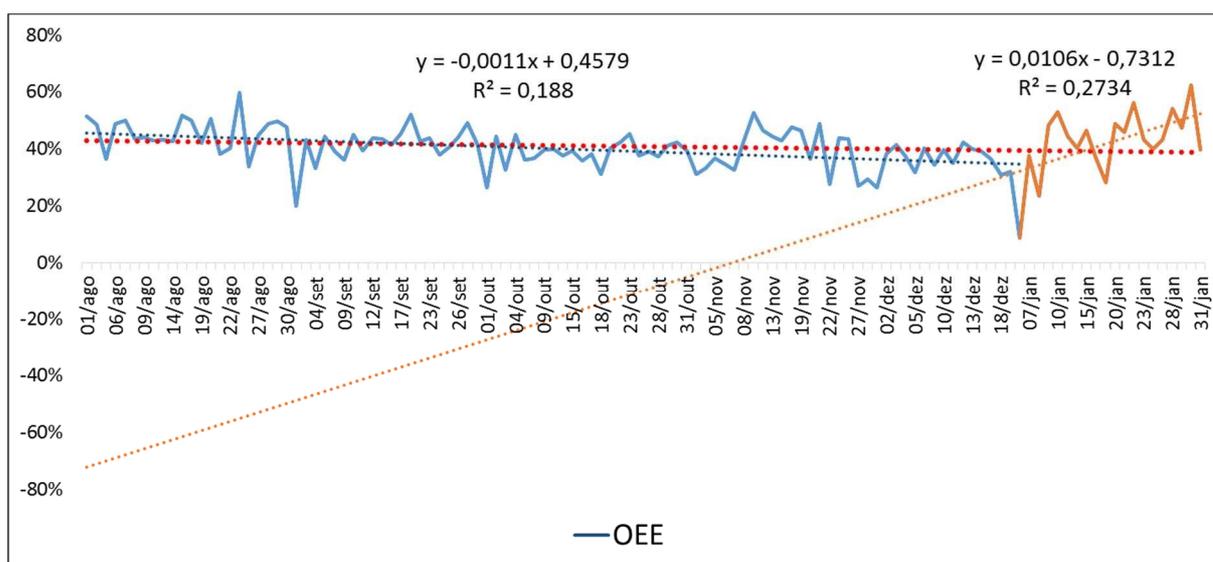
Quadro 8 – Cálculo da OEE no equipamento de pintura

Data	Produto	OEE	$D = (Tpr - Tpa)/Tpr$	$P = (Tc \times Qp)/Tr$	$Q = Qc/(Qc + Qn)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
01/ago	pintura	51,3%	59,1%	91%	95%	1873	766	12	84	1107	716	35
02/ago	pintura	48,4%	57,1%	88%	97%	1868	801	12	78	1067	519	18
05/ago	pintura	36,4%	53,0%	71%	97%	1915	900	12	60	1015	489	16
06/ago	pintura	48,8%	63,7%	82%	93%	1830	665	12	80	1165	648	49
07/ago	pintura	49,9%	56,0%	92%	97%	1896	835	12	81	1061	474	13
08/ago	pintura	43,3%	59,1%	83%	89%	1815	743	12	74	1072	449	58
09/ago	pintura	44,2%	58,2%	82%	92%	1852	775	12	74	1077	524	45
12/ago	pintura	43,0%	52,5%	84%	97%	1897	902	12	70	995	477	14
13/ago	pintura	43,2%	52,5%	88%	93%	1920	912	12	74	1008	370	26
14/ago	pintura	42,5%	56,3%	79%	95%	1904	832	12	71	1072	534	28
15/ago	pintura	51,7%	56,3%	96%	95%	1836	803	12	83	1033	663	33
16/ago	pintura	49,9%	50,1%	101%	99%	1944	970	12	82	974	840	12
19/ago	pintura	42,1%	50,7%	84%	99%	1884	928	12	67	956	476	6
20/ago	pintura	50,5%	50,7%	103%	96%	1880	927	12	82	953	384	14
21/ago	pintura	38,3%	47,6%	91%	88%	1824	956	12	66	868	496	67
22/ago	pintura	40,1%	54,9%	76%	96%	1814	819	12	63	995	381	15
23/ago	pintura	59,8%	57,7%	108%	96%	1882	797	12	98	1085	400	18
26/ago	pintura	33,8%	54,9%	74%	84%	1871	843	12	63	1028	282	55
27/ago	pintura	44,5%	53,8%	96%	86%	1910	883	13	76	1027	403	65
28/ago	pintura	48,7%	50,6%	99%	97%	1920	948	14	69	972	367	12
29/ago	pintura	49,6%	53,8%	95%	97%	1847	854	12	79	993	485	17
30/ago	pintura	47,5%	57,1%	86%	97%	1841	790	12	75	1051	422	12
Agosto	pintura	45,4%	54,8%	88%	95%	41223	18649	12	1649	22574	10799	628
Setembro	pintura	41,3%	46,7%	90%	98%	36743	19584	12	1289	17159	9501	184
Outubro	pintura	38,7%	42,5%	94%	97%	40068	23038	12	1333	17030	8791	268
Novembro	pintura	38,2%	40,3%	100%	95%	37769	22552	12	1264	15217	8364	422
Dezembro	pintura	37,1%	41,7%	94%	94%	26467	15419	12	865	11048	5709	334
Janeiro	pintura	43,4%	42,7%	104%	98%	35449	20300	12	1311	15149	8453	199

Fonte: Elaborado pelo autor

A eficiência do equipamento de pintura oscila diariamente de acordo com os eventos que ocorrem ao longo do período de análise. No gráfico 8 é possível visualizar o comportamento da OEE dia a dia, estando a mesma em uma tendência de queda, conforme mostra a linha tracejada em vermelho no gráfico 8. Se limitar a análise no período de 01/08 até 19/12 verifica-se uma queda no desempenho do equipamento, porém o coeficiente de determinação (R^2) mostra uma taxa baixa de explicação para o modelo linear, uma vez que o resultado está muito próximo a zero, o que não expressa uma tendência verdadeira de queda, uma vez que existe uma oscilação entre os dados diários. No período de 06/01 até 31/01, continua evidente uma grande oscilação nos resultados diários, e R^2 continua baixo, com isso a análise com a linha de tendência linear não deixa evidente que o sistema esteja realmente melhorando seu desempenho a longo prazo.

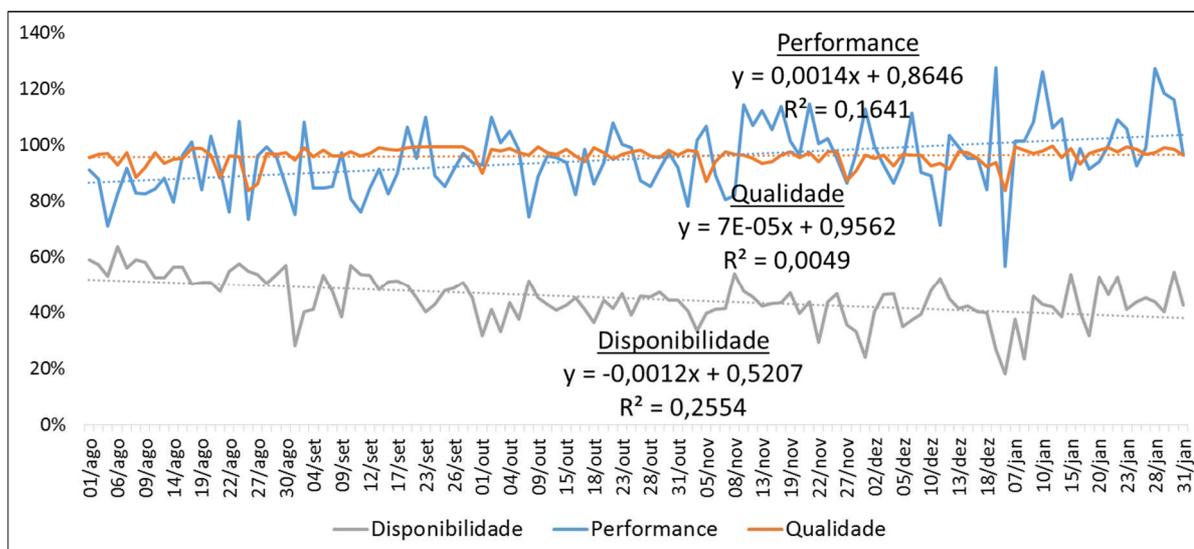
Gráfico 8 – Resultado diário da OEE na pintura



Fonte: elaborado pelo autor

A OEE é um método de mensurar a eficiência de um determinado equipamento ou processo, no qual utiliza-se a medição de três indicadores para construção do resultado final. No gráfico 9 apresenta-se o resultado de cada um desses indicadores: disponibilidade, performance e qualidade. Com a abertura dessas informações é possível direcionar a análise para o indicador de disponibilidade, o qual está apresentando menores resultados ao longo do período de análise.

Gráfico 9 – Análise da disponibilidade, performance e qualidade



Fonte: Elaborado pelo autor

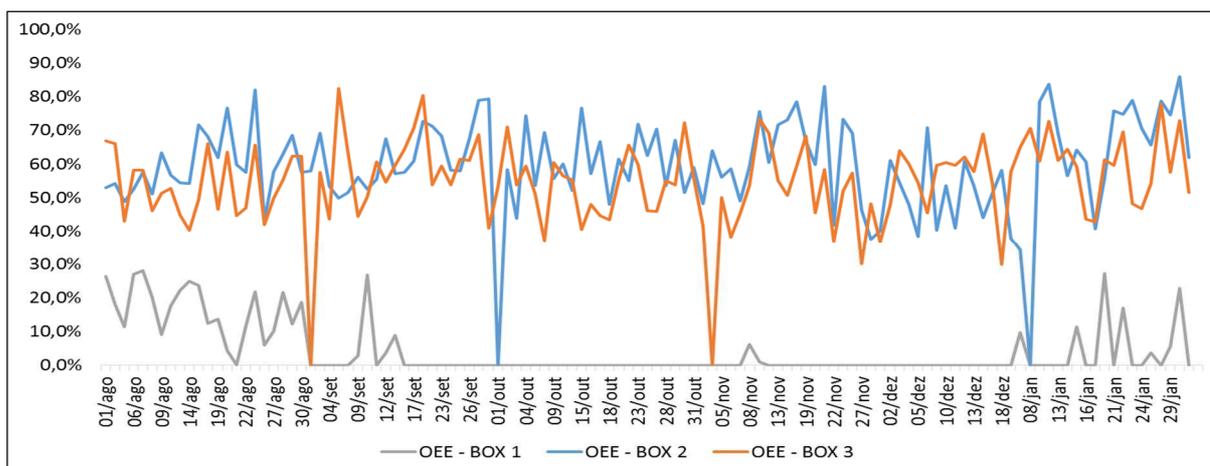
Na análise das curvas da performance, qualidade e disponibilidade, novamente evidencia-se um comportamento aleatório nos resultados diários da OEE, uma vez que os valores de R^2 estão muito próximos de zero.

Durante as observações no chão de fábrica e em conversa com as pessoas que trabalham no processo de pintura, identificou-se que o baixo desempenho do pilar da disponibilidade ocorre devido a sobra de capacidade do equipamento comparado com a demanda existente. Como o mesmo possui 3 pontos de entrada de peças, os chamados Box de carregamento, em grande parte do período analisado identifica-se que o Box 1 permanece sem operação, resultando em uma quantidade de vagões menores que são inseridos para dentro do sistema de pintura no tempo de operação.

O equipamento de pintura apresenta um bom desempenho de qualidade, operando muito próximo dos 100%. A performance do equipamento também apresenta um bom desempenho (atendimento ao tempo planejado) e vem crescendo no período de análise, chegando a resultados muito próximo a 100% nos últimos meses.

No gráfico 10 está mensurada a OEE para cada Box de carregamento. Se analisarmos isoladamente o desempenho dos Box 2 e 3, identifica-se uma melhora significativa no desempenho da pintura, chegando a faixas de operação média de 55% de OEE.

Gráfico 10 – Análise da OEE por box de carregamento



Fonte: Elaborado pelo autor

No contexto de operação do equipamento a principal ação de melhoria indicada seria aumentar a ocupação do equipamento, ou então a redução de horas trabalhadas em todo o equipamento, aproveitando as horas que o equipamento estiver em operação para trabalhar com capacidade máxima de carga nos três pontos de entrada de material.

5.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA EPR

O modelo de Confiabilidade no Desempenho do Equipamento (*Equipment Performance Reliability – EPR*) consiste em medir a eficiência do equipamento através dos índices de disponibilidade e performance do equipamento, cruzando esse resultado com o índice de confiabilidade do mesmo, o qual é calculado baseado no número de falhas que o equipamento apresenta ao longo do período de análise. Os principais objetivos da análise de confiabilidade são reduzir a taxa de falhas e estender o tempo de operação da máquina.

Os dados utilizados na primeira parte de cálculo da EPR serão os mesmos usados no cálculo da OEE, utilizando-se das mesmas fontes de dados.

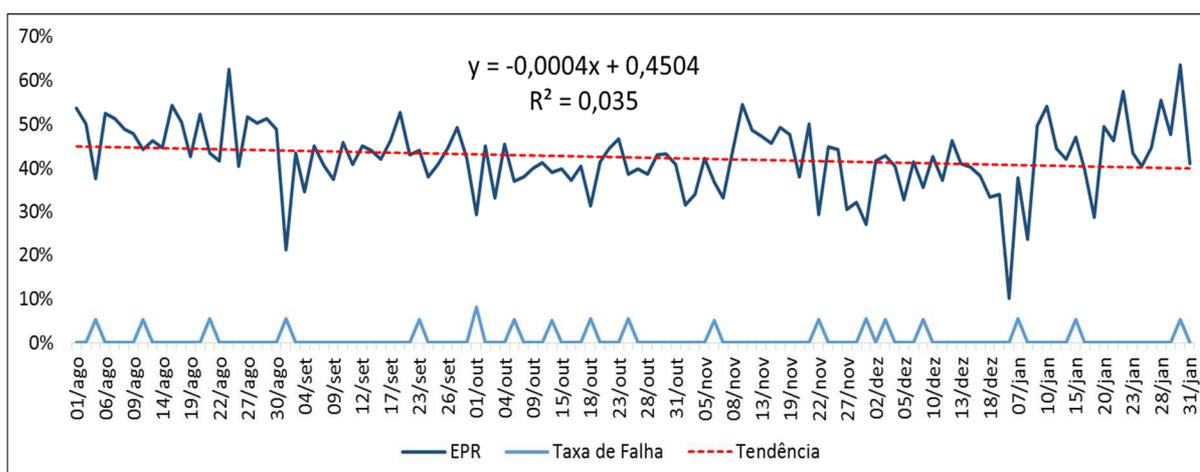
A disponibilidade da máquina é calculada pelo somatório de horas disponíveis para produção dentro do período de tempo de análise, menos os tempos de paradas planejadas mais as paradas por falhas que ocorrem na máquina, divididos pelo tempo total disponível. Esses dados são os mesmos coletados para o cálculo da OEE.

A performance é calculada pela razão entre o tempo de ciclo multiplicado pelo número de produtos produzido, sendo esse valor dividido pelo tempo total disponível para produção, menos os tempos de inatividade e os tempos de paradas ocasionados por falhas. Esses dados são os mesmos coletados para o cálculo da OEE.

A medição na segunda etapa é baseada no princípio da confiabilidade, definido como a capacidade de uma máquina executar uma atividade específica, dentro um tempo planejado, sem sofrer falhas. O cálculo da confiabilidade é realizado calculando o número de ocorrências de falhas, com base nas falhas identificadas e analisadas na fase II, na qual os resultados finais estão na RPN. Durante essa etapa o número de falhas é calculado pelo número de ocorrências de falhas pelo tempo disponível para produção. Os números de ocorrência de falhas foram coletados com a equipe de manutenção da empresa e estão lançados na planilha de cálculo da EPR de acordo com os dias que as mesmas ocorreram. Com esses dados é possível calcular os resultados através da planilha elaborada, conforme quadro 9 e 10.

Novamente identifica-se valores de R^2 muito próximos a zero, o que indica oscilação dos resultados de EPR diariamente próximo a um valor médio, sem poder afirmar uma tendência de melhora ou de queda no resultado da eficiência do equipamento de pintura. Esses resultados acompanham os mesmos encontrados na análise realizada pelo método de medição da OEE. No gráfico 11 tem-se o resultado da EPR diária e na linha em azul clara encontra-se a frequência de falha do equipamento, a qual é usada na tabela 4 para dar o diagnóstico final do equipamento.

Gráfico 11 – Resultado da eficiência através do método da EPR



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 9 – Dados coletados por box de carregamento

Data	BOX1			BOX2			BOX3		
	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Tempo programado (Tpr)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)
01/ago	588	16	200	662	31	529	623	37	378
02/ago	588	11	188	620	29	485	660	38	394
05/ago	591	7	113	669	28	512	655	25	390
06/ago	588	16	246	637	31	462	605	33	457
07/ago	588	15	161	669	33	474	639	33	426
08/ago	590	14	281	637	31	473	588	29	318
09/ago	588	7	101	665	38	593	599	29	383
12/ago	650	11	137	637	31	478	610	28	380
13/ago	618	14	189	637	31	466	665	29	353
14/ago	588	14	210	670	32	509	646	25	353
15/ago	588	14	222	660	41	476	588	28	335
16/ago	630	7	125	644	37	466	670	38	383
19/ago	588	7	157	668	35	444	628	25	355
20/ago	588	3	29	668	44	525	624	35	399
21/ago	588	1	10	648	35	529	588	30	329
22/ago	597	8	95	565	28	459	652	27	441
23/ago	588	13	211	660	47	454	634	38	420
26/ago	588	7	117	643	28	421	640	28	490
27/ago	588	9	189	652	33	464	670	34	374
28/ago	610	11	126	670	31	471	640	27	375
29/ago	588	7	168	671	40	470	588	32	355
30/ago	588	10	203	665	33	480	588	32	368
Agosto	13106	222	3478	14317	747	10640	13800	680	8456
Setembro	11760	27	402	12432	654	8539	12551	608	8218
Outubro	12936	0	0	12943	666	8041	14189	667	8989
Novembro	12348	7	118	12981	680	7593	12440	577	7506
Dezembro	8232	0	0	9096	407	5322	9139	458	5726
Janeiro	11797	58	1027	11890	643	7162	11762	610	6960

Fonte: Elaborado pelo autor

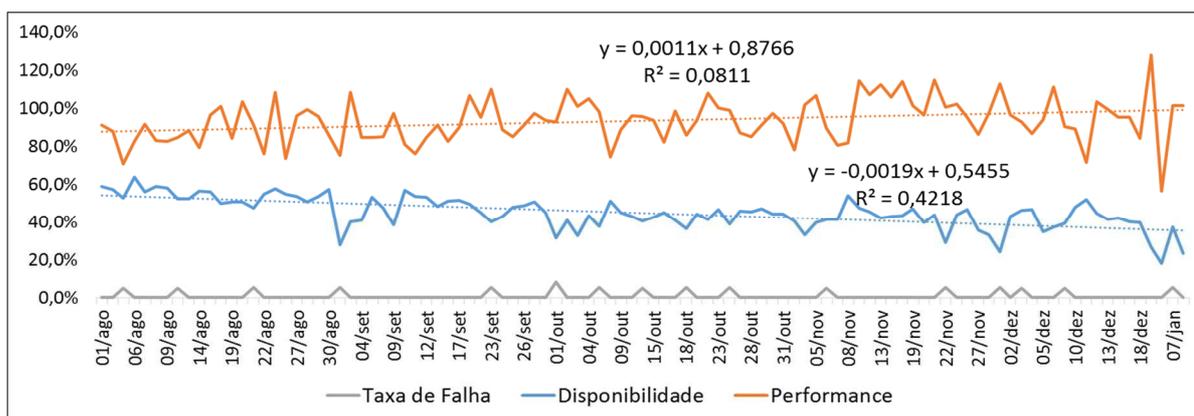
Quadro 10 – Cálculo da eficiência através do EPR

Data	Eficácia da Máquina (ME)	Taxa de Falha (λ)	$D = (T_{plan} - (T_{updt} + T_{pdt}))/T_{pla}$	$P = (T_c \times \alpha)/(T_{plan} - (T_{updt} + T_{pdt}))$	Tempo total disponível para produção	Tempo de inatividade durante o período disponível	Tempo parado por falhas	Tempo de ciclo (T_c)	Quantidade Produzida (α)	Tempo real de operação (T_r)	Número de Falhas (f)
01/ago	53,8%	0,00%	59,1%	91%	1873	0	766	12	84	1107	
02/ago	50,1%	0,00%	57,1%	88%	1868	0	801	12	78	1067	
05/ago	37,6%	5,22%	53,0%	71%	1915	0	900	12	60	1015	1
06/ago	52,5%	0,00%	63,7%	82%	1830	0	665	12	80	1165	
07/ago	51,3%	0,00%	56,0%	92%	1896	0	835	12	81	1061	
08/ago	48,9%	0,00%	59,1%	83%	1815	0	743	12	74	1072	
09/ago	47,9%	0,00%	58,2%	82%	1852	0	775	12	74	1077	
12/ago	44,3%	5,27%	52,5%	84%	1897	0	902	12	70	995	1
13/ago	46,3%	0,00%	52,5%	88%	1920	0	912	12	74	1008	
14/ago	44,7%	0,00%	56,3%	79%	1904	0	832	12	71	1072	
15/ago	54,2%	0,00%	56,3%	96%	1836	0	803	12	83	1033	
16/ago	50,6%	0,00%	50,1%	101%	1944	0	970	12	82	974	
19/ago	42,7%	0,00%	50,7%	84%	1884	0	928	12	67	956	
20/ago	52,3%	0,00%	50,7%	103%	1880	0	927	12	82	953	
21/ago	43,4%	5,48%	47,6%	91%	1824	0	956	12	66	868	1
22/ago	41,7%	0,00%	54,9%	76%	1814	0	819	12	63	995	
23/ago	62,5%	0,00%	57,7%	108%	1882	0	797	12	98	1085	
26/ago	40,4%	0,00%	54,9%	74%	1871	0	843	12	63	1028	
27/ago	51,7%	0,00%	53,8%	96%	1910	0	883	13	76	1027	
28/ago	50,3%	0,00%	50,6%	99%	1920	0	948	14	69	972	
29/ago	51,3%	0,00%	53,8%	95%	1847	0	854	12	79	993	
30/ago	48,9%	0,00%	57,1%	86%	1841	0	790	12	75	1051	
Agosto	48,0%	0,73%	54,8%	88%	41223	0	18649	12	1649	22574	3
Setembro	42,1%	0,54%	46,7%	90%	36743	11238	8346	12	1289	17159	2
Outubro	39,9%	1,25%	42,5%	94%	40068	12936	10102	12	1333	17030	5
Novembro	40,8%	0,81%	40,9%	100%	37181	11584	10380	12	1264	15217	3
Dezembro	39,2%	0,76%	41,7%	94%	26467	8232	7187	12	865	11048	2
Janeiro	44,4%	0,85%	42,7%	104%	35449	10501	9799	12	1311	15149	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Realizando a abertura da eficiência nos pilares da disponibilidade e da performance, novamente identifica-se que a disponibilidade é o fator que reduz a eficiência do equipamento. O gráfico 12 demonstra esse resultado aberto da disponibilidade, performance e da taxa de falha:

Gráfico 12 – Abertura da análise da eficiência pelo método da EPR



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse método de análise da eficiência dá uma ênfase maior sobre a manutenção do equipamento. Uma vez calculadas as porcentagens de ME e de confiabilidade do equipamento, é possível identificar o índice de saúde (IH) do equipamento através da Tabela 4, utilizando os dados de desempenho da máquina e a taxa de falha. O IH é desenvolvido em cinco níveis de desempenho de manutenção, com o Nível 1 em desempenho muito bom e o Nível 5 em desempenho fraco:

Tabela 4 – Índice de Saúde do Equipamento

Machine effectiveness – ME (%)	Taxa de Falha (%)	Índice de Saúde	Nível de Desempenho de manutenção	Requisitos/ Ações Recomendadas
85 – 100	0 – 5	Muito bom	Nível 1	Manutenção normal
65 – 84	5 – 10	Bom	Nível 2	Manutenção normal e manutenção preventiva
45 – 64	10 – 50	Razoável	Nível 3	Aumente a análise de falhas para identificar possíveis ações corretivas ou substituições necessárias
25 – 44	50 – 90	Ruim	Nível 4	Iniciar plano para substituir ou reconstruir, considerando os riscos e as consequências da falha
Abaixo de 24	Acima de 90	Muito ruim	Nível 5	Avalie imediatamente o risco, substitua ou mantenha com base na avaliação

Fonte: Samat, 2012

Na tabela 5 tem-se os valores encontrados na análise da eficiência, com os mesmos podemos entrar na tabela 4 e identificar o IH do equipamento de pintura.

Tabela 5 – Resultado da EPR e da Taxa de falha

Mês	EPR	Taxa de Falha
Agosto	48%	0,73%
Setembro	42%	0,54%
Outubro	40%	1,25%
Novembro	41%	0,81%
Dezembro	39%	0,76%
Janeiro	44%	0,85%
Média	42%	0,82%

Fonte: Elaborado pelo autor

Com uma eficiência média de 42% o equipamento de pintura fica classificado com um índice de saúde nível 4, mesmo apresentando uma taxa de falha extremamente baixa. Equipamentos com nível 4 de IH sugere-se uma análise mais profunda dos motivos que estão levando o equipamento a falhar ou ter uma baixa eficiência, para então montar um plano de substituição do mesmo.

Nesse caso, analisando os dados identificamos que o motivo de baixo desempenho do equipamento ocorre pela capacidade ociosa do mesmo. O sistema de pintura possui 3 boxes de carregamentos, onde 1 desses boxes praticamente não está sendo utilizado por não ter demanda de produção, fazendo com que o resultado da eficiência do equipamento seja impactado negativamente.

5.4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PINTURA PELO MÉTODO DA ORE

A Eficácia Geral dos Recursos (*Overall resource effectiveness – ORE*) é um sistema de medição de desempenho desenvolvido com o objetivo de fornecer uma avaliação mais inclusiva do desempenho de uma máquina ou processo do que o OEE. A principal diferença entre o ORE e o OEE tradicional é que o primeiro avalia o desempenho geral de uma máquina ou processo baseado não apenas em sua disponibilidade (A), desempenho (P) e qualidade (Q), mas também em termos de mais três elementos: eficiência do material (M), custo do processo e variações de custo do material (REYES, 2015).

Para fazer a análise da eficiência do equipamento de pintura através do método ORE, utilizamos os resultados da OEE e as informações de insumos usados no processo de pintura. Para calcular a OEE utilizamos as planilhas de coleta de dados e realizamos o cálculo da mesma conforme descrito na seção 5.2 desse documento. Para identificar os insumos gastos no processo utilizamos a base de dados da empresa, juntando as informações conforme quadro 11.

São 3 valores que necessitam ser identificados para dar sequência no cálculo: MIMV – quantidade total de dinheiro investido em matéria prima, PIMV – recursos necessários para executar um processo e MRMV – definido como a quantidade de dinheiro recuperado na forma de material, aceito e / ou reciclado, depois de introduzido e processado no sistema.

Na formação de custo adotada pela empresa são consideradas como matéria prima no processo de pintura a tinta pó e o bonderite (material base para a pintura e-coat), esses dois custos formam o resultado do MIMV e foi retirado da base de dados da empresa. Já os recursos gastos para executar o processo de pintura e formam o PIMV são divididos em gastos com energia elétrica, gás GLP, consumíveis diversos e gastos com mão de obra, sendo essas informações obtidas da base de dados da empresa.

Já os dados relativos ao dinheiro recuperado que forma o valor do MRMV, foi calculado baseado no número de peças que reprovam no final do processo e após são retrabalhadas novamente e inseridas no fluxo de pintura.

Com essas informações dos custos envolvidos no processo de pintura e com o resultado da OEE é possível calcular o valor da eficiência através do método da ORE. Para isso usou-se uma planilha em excel, conforme o quadro 12, na qual chegou-se aos valores de desempenho ao longo de período de análise conforme o gráfico 13:

Quadro 11 – Insumos gastos no processo de pintura

Data	PIMV	Energia elétrica	Consumível	Mão de Obra	Gás GLP	MIMV	E-coat	Tinta Pó	MRMV	Peças recuperadas
01/ago	R\$ 24.177,54	R\$ 820,00	R\$ 3.955,57	R\$ 9.589,14	R\$ 9.812,83	R\$ 5.406,30	R\$ 1.899,03	R\$ 3.507,27	R\$ 2.100,00	35
02/ago	R\$ 20.389,31	R\$ 820,00	R\$ 2.867,24	R\$ 9.589,14	R\$ 7.112,93	R\$ 3.918,81	R\$ 1.376,53	R\$ 2.542,28	R\$ 1.080,00	18
05/ago	R\$ 19.812,42	R\$ 820,00	R\$ 2.701,50	R\$ 9.589,14	R\$ 6.701,78	R\$ 3.692,29	R\$ 1.296,97	R\$ 2.395,33	R\$ 960,00	16
06/ago	R\$ 22.869,93	R\$ 820,00	R\$ 3.579,90	R\$ 9.589,14	R\$ 8.880,89	R\$ 4.892,85	R\$ 1.718,68	R\$ 3.174,17	R\$ 2.940,00	49
07/ago	R\$ 19.523,98	R\$ 820,00	R\$ 2.618,63	R\$ 9.589,14	R\$ 6.496,20	R\$ 3.579,03	R\$ 1.257,18	R\$ 2.321,85	R\$ 780,00	13
08/ago	R\$ 19.043,24	R\$ 820,00	R\$ 2.480,52	R\$ 9.589,14	R\$ 6.153,58	R\$ 3.390,26	R\$ 1.190,87	R\$ 2.199,39	R\$ 3.480,00	58
09/ago	R\$ 20.485,46	R\$ 820,00	R\$ 2.894,86	R\$ 9.589,14	R\$ 7.181,46	R\$ 3.956,57	R\$ 1.389,80	R\$ 2.566,77	R\$ 2.700,00	45
12/ago	R\$ 19.581,67	R\$ 820,00	R\$ 2.635,20	R\$ 9.589,14	R\$ 6.537,32	R\$ 3.601,68	R\$ 1.265,14	R\$ 2.336,54	R\$ 840,00	14
13/ago	R\$ 17.524,10	R\$ 820,00	R\$ 2.044,08	R\$ 9.589,14	R\$ 5.070,88	R\$ 2.793,76	R\$ 981,34	R\$ 1.812,41	R\$ 1.560,00	26
14/ago	R\$ 20.677,75	R\$ 820,00	R\$ 2.950,10	R\$ 9.589,14	R\$ 7.318,51	R\$ 4.032,07	R\$ 1.416,32	R\$ 2.615,75	R\$ 1.680,00	28
15/ago	R\$ 23.158,37	R\$ 820,00	R\$ 3.662,77	R\$ 9.589,14	R\$ 9.086,46	R\$ 5.006,11	R\$ 1.758,46	R\$ 3.247,65	R\$ 1.980,00	33
16/ago	R\$ 26.562,02	R\$ 820,00	R\$ 4.640,61	R\$ 9.589,14	R\$ 11.512,26	R\$ 6.342,59	R\$ 2.227,92	R\$ 4.114,67	R\$ 720,00	12
19/ago	R\$ 19.562,44	R\$ 820,00	R\$ 2.629,68	R\$ 9.589,14	R\$ 6.523,61	R\$ 3.594,13	R\$ 1.262,49	R\$ 2.331,65	R\$ 360,00	6
20/ago	R\$ 17.793,31	R\$ 820,00	R\$ 2.121,42	R\$ 9.589,14	R\$ 5.262,75	R\$ 2.899,47	R\$ 1.018,48	R\$ 1.880,99	R\$ 840,00	14
21/ago	R\$ 19.947,03	R\$ 820,00	R\$ 2.740,17	R\$ 9.589,14	R\$ 6.797,72	R\$ 3.745,15	R\$ 1.315,53	R\$ 2.429,61	R\$ 4.020,00	67
22/ago	R\$ 17.735,62	R\$ 820,00	R\$ 2.104,85	R\$ 9.589,14	R\$ 5.221,63	R\$ 2.876,82	R\$ 1.010,52	R\$ 1.866,30	R\$ 900,00	15
23/ago	R\$ 18.100,99	R\$ 820,00	R\$ 2.209,82	R\$ 9.589,14	R\$ 5.482,03	R\$ 3.020,28	R\$ 1.060,91	R\$ 1.959,37	R\$ 1.080,00	18
26/ago	R\$ 15.831,89	R\$ 820,00	R\$ 1.557,92	R\$ 9.589,14	R\$ 3.864,83	R\$ 2.129,30	R\$ 747,94	R\$ 1.381,35	R\$ 3.300,00	55
27/ago	R\$ 18.158,68	R\$ 820,00	R\$ 2.226,39	R\$ 9.589,14	R\$ 5.523,14	R\$ 3.042,93	R\$ 1.068,87	R\$ 1.974,06	R\$ 3.900,00	65
28/ago	R\$ 17.466,41	R\$ 820,00	R\$ 2.027,51	R\$ 9.589,14	R\$ 5.029,76	R\$ 2.771,11	R\$ 973,39	R\$ 1.797,72	R\$ 720,00	12
29/ago	R\$ 19.735,50	R\$ 820,00	R\$ 2.679,40	R\$ 9.589,14	R\$ 6.646,96	R\$ 3.662,09	R\$ 1.286,36	R\$ 2.375,73	R\$ 1.020,00	17
30/ago	R\$ 18.524,04	R\$ 820,00	R\$ 2.331,36	R\$ 9.589,14	R\$ 5.783,54	R\$ 3.186,40	R\$ 1.119,26	R\$ 2.067,13	R\$ 720,00	12
Agosto	R\$ 436.661,71	R\$ 18.040,00	R\$ 59.659,49	R\$ 210.961,16	R\$ 148.001,06	R\$ 81.540,00	R\$ 28.642,00	R\$ 52.898,00	R\$ 37.680,00	628
Setembro	R\$ 379.698,21	R\$ 16.400,00	R\$ 26.842,87	R\$ 188.454,28	R\$ 148.001,06	R\$ 89.437,00	R\$ 45.215,00	R\$ 44.222,00	R\$ 11.040,00	184
Outubro	R\$ 307.624,37	R\$ 18.040,00	R\$ 17.273,77	R\$ 178.682,79	R\$ 93.627,81	R\$ 66.472,00	R\$ 17.382,00	R\$ 49.090,00	R\$ 16.080,00	268
Novembro	R\$ 341.257,09	R\$ 17.220,00	R\$ 28.777,94	R\$ 201.631,34	R\$ 93.627,81	R\$ 86.569,00	R\$ 44.279,00	R\$ 42.290,00	R\$ 25.320,00	422
Dezembro	R\$ 273.060,92	R\$ 11.480,00	R\$ 21.218,77	R\$ 145.838,63	R\$ 94.523,52	R\$ 50.882,00	R\$ 11.651,00	R\$ 39.231,00	R\$ 20.040,00	334
Janeiro	R\$ 380.064,63	R\$ 16.400,00	R\$ 26.462,13	R\$ 180.513,50	R\$ 156.689,00	R\$ 41.251,00	R\$ 5.735,00	R\$ 35.516,00	R\$ 11.940,00	199

Fonte: Elaborado pelo autor

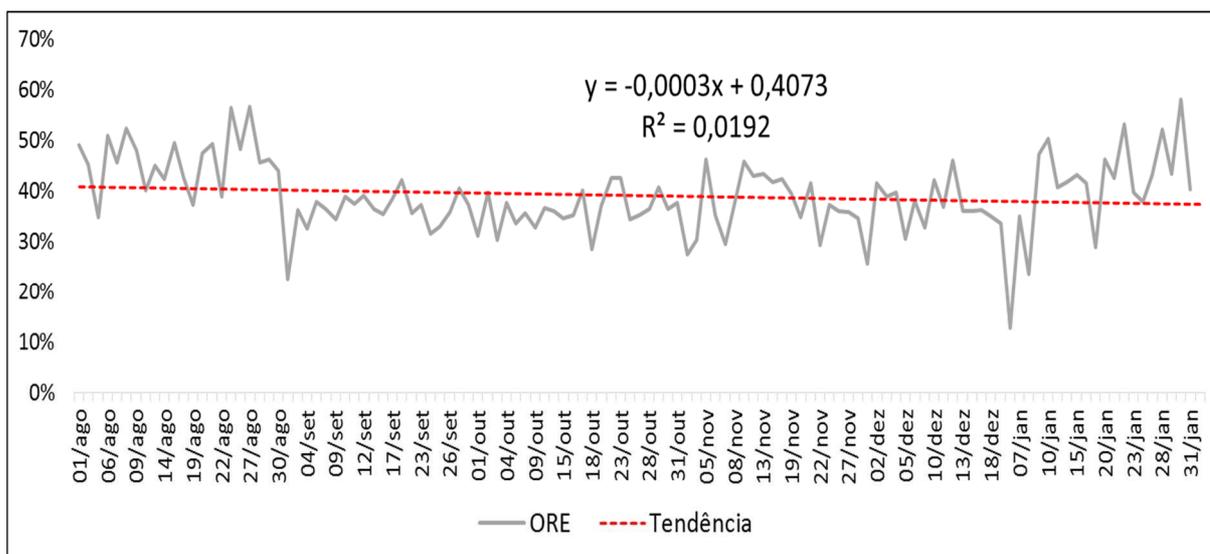
Quadro 12 – Planilha de cálculo da ORE

Data	ORE = ((OEE x PIMV) + MRMV) / (PIMV + MIMV)	PIMV	MRMV	MIMV	OEE
01/ago	49%	R\$ 24.177,54	R\$ 2.100,00	R\$ 5.406,30	51,3%
02/ago	45%	R\$ 20.389,31	R\$ 1.080,00	R\$ 3.918,81	48,4%
05/ago	35%	R\$ 19.812,42	R\$ 960,00	R\$ 3.692,29	36,4%
06/ago	51%	R\$ 22.869,93	R\$ 2.940,00	R\$ 4.892,85	48,8%
07/ago	46%	R\$ 19.523,98	R\$ 780,00	R\$ 3.579,03	49,9%
08/ago	52%	R\$ 19.043,24	R\$ 3.480,00	R\$ 3.390,26	43,3%
09/ago	48%	R\$ 20.485,46	R\$ 2.700,00	R\$ 3.956,57	44,2%
12/ago	40%	R\$ 19.581,67	R\$ 840,00	R\$ 3.601,68	43,0%
13/ago	45%	R\$ 17.524,10	R\$ 1.560,00	R\$ 2.793,76	43,2%
14/ago	42%	R\$ 20.677,75	R\$ 1.680,00	R\$ 4.032,07	42,5%
15/ago	50%	R\$ 23.158,37	R\$ 1.980,00	R\$ 5.006,11	51,7%
16/ago	42%	R\$ 26.562,02	R\$ 720,00	R\$ 6.342,59	49,9%
19/ago	37%	R\$ 19.562,44	R\$ 360,00	R\$ 3.594,13	42,1%
20/ago	47%	R\$ 17.793,31	R\$ 840,00	R\$ 2.899,47	50,5%
21/ago	49%	R\$ 19.947,03	R\$ 4.020,00	R\$ 3.745,15	38,3%
22/ago	39%	R\$ 17.735,62	R\$ 900,00	R\$ 2.876,82	40,1%
23/ago	56%	R\$ 18.100,99	R\$ 1.080,00	R\$ 3.020,28	59,8%
26/ago	48%	R\$ 15.831,89	R\$ 3.300,00	R\$ 2.129,30	33,8%
27/ago	57%	R\$ 18.158,68	R\$ 3.900,00	R\$ 3.042,93	44,5%
28/ago	46%	R\$ 17.466,41	R\$ 720,00	R\$ 2.771,11	48,7%
29/ago	46%	R\$ 19.735,50	R\$ 1.020,00	R\$ 3.662,09	49,6%
30/ago	44%	R\$ 18.524,04	R\$ 720,00	R\$ 3.186,40	47,5%
Agosto	45%	R\$ 436.661,71	R\$ 37.680,00	R\$ 81.540,00	45,4%
Setembro	36%	R\$ 379.698,21	R\$ 11.040,00	R\$ 89.437,00	41,3%
Outubro	36%	R\$ 307.624,37	R\$ 16.080,00	R\$ 66.472,00	38,7%
Novembro	36%	R\$ 341.257,09	R\$ 25.320,00	R\$ 86.569,00	38,2%
Dezembro	37%	R\$ 273.060,92	R\$ 20.040,00	R\$ 50.882,00	37,1%
Janeiro	42%	R\$ 380.064,63	R\$ 11.940,00	R\$ 41.251,00	43,4%

Fonte: Elaborado pelo autor

O desempenho do equipamento de pintura fica em uma faixa de 40%, com um R² muito próximo a zero, o que mostra uma grande oscilação nas medições diárias de ORE. As mesmas tendências encontradas na análise pelos métodos de medição da EPR e da OEE são identificadas nesse método de medição.

Gráfico 13 – Resultados da medição da ORE

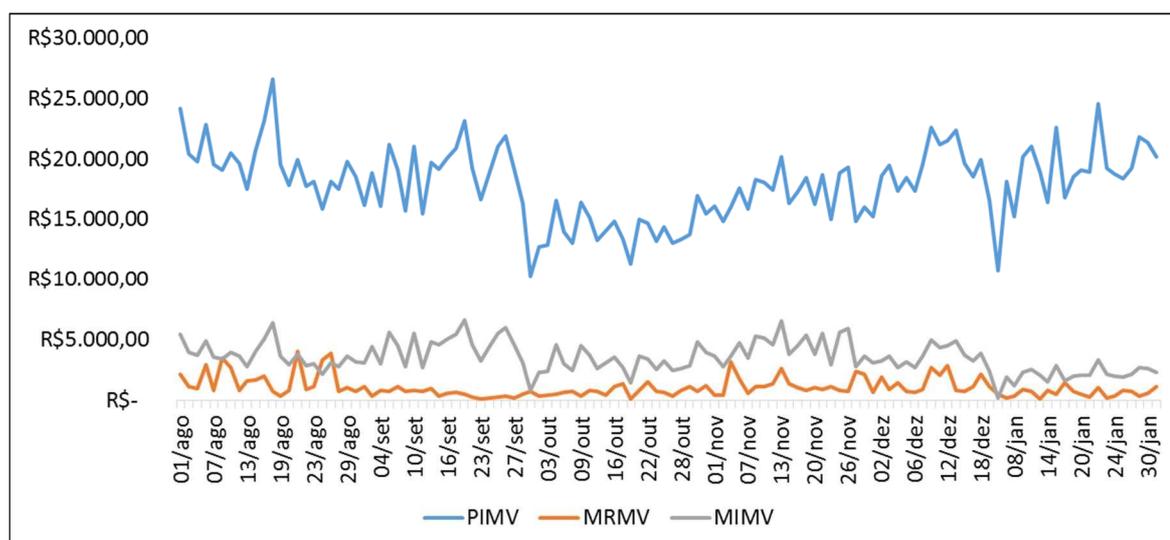


Fonte: Elaborado pelo autor

Esse resultado é influenciado diretamente pela OEE do equipamento, na qual encontramos uma forte influência do baixo desempenho na disponibilidade do equipamento. O baixo desempenho do pilar da disponibilidade ocorre devido a sobra de capacidade do equipamento comparada com a demanda existente. Como o mesmo possui 3 pontos de entrada de peças, os chamados Box de carregamento, em grande parte do período analisado identifica-se que o Box 1 permanece sem operação, resultando em uma quantidade de vagões menores que são inseridos para dentro do sistema de pintura.

Os valores gastos com matéria prima, insumos e valores recuperados no processo, seguem um padrão diário e em apresentando uma redução ao longo do período analisado. São valores que sofrem grande oscilação ao longo de cada dia, em função do tipo de peça pintado. O maior impacto em custo está nos insumos usados no processo. A matéria prima utilizada vem logo após na relação de custos para a operação do equipamento de pintura. No gráfico 14 é apresentado esse resultado dos custos relacionados ao equipamento de pintura.

Gráfico 14 – Gastos diários com matéria prima e insumos no processo de pintura

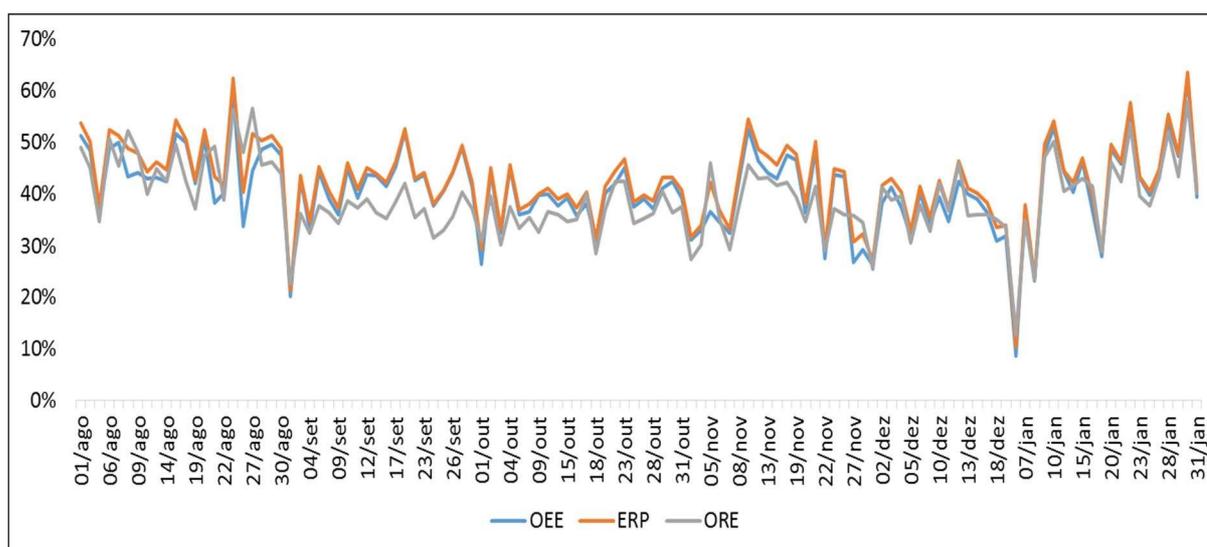


Fonte: Elaborado pelo autor

5.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM CADA UM DOS MÉTODOS

Diante da análise dos resultados obtidos em cada um dos métodos de medição da eficiência do equipamento de pintura é possível constatar a similaridade entre estes, apresentando valores que acompanham uma mesma linha de tendência nos momentos de queda, estabilidade e aumento da eficiência. Para facilitar a análise desse resultado, foi projetado os dados dos 3 métodos no gráfico 15, trazendo os dados diários de todo o período de análise do equipamento de pintura.

Gráfico 15 – Comparação da eficiência entre os 3 métodos



Fonte: Elaborado pelo autor

As linhas de eficiência entre cada método se acompanham ao longo de todo o período. Existem momentos que os resultados obtidos no método da ORE se distanciam das outras duas curvas, motivado pela diferença de valores gastos com insumos, uma vez que esse método leva em consideração os valores de matéria prima e insumos gastos no processo.

As linhas da OEE e ERP andam de forma muito próxima, uma vez que a diferença principal está em o método da OEE utilizar os dados da qualidade para calcular a eficiência, tal informação não é considerada no método do ERP.

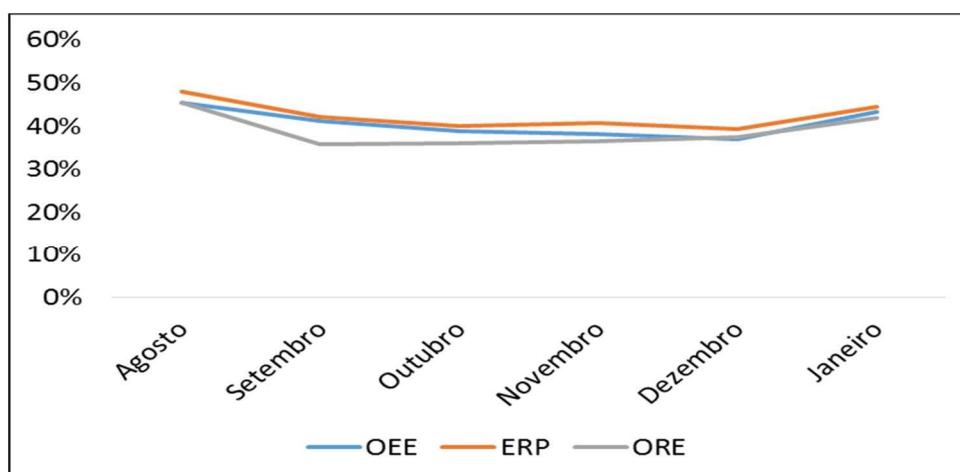
Na tabela 6 e no gráfico 16 tem-se os dados de eficiência e da dispersão dos valores encontrados mensalmente, onde novamente fica evidente a similaridade dos resultados entre os três métodos de medição da eficiência operacional.

Tabela 6 – Resultado das eficiências pelos 3 métodos de medição

Mês	OEE		ERP		ORE	
	Eficiência	Dispersão	Eficiência	Dispersão	Eficiência	Dispersão
Agosto	45,8%	5,9%	48,5%	5,6%	46,1%	5,6%
Setembro	41,3%	6,5%	42,1%	6,4%	35,9%	4,1%
Outubro	38,5%	4,5%	39,8%	4,4%	36,1%	3,6%
Novembro	38,6%	8,2%	40,6%	8,2%	36,8%	6,1%
Dezembro	37,0%	3,7%	39,2%	4,0%	37,3%	4,1%
Janeiro	42,3%	12,0%	43,4%	12,0%	41,0%	10,3%
Média das médias	40,6%	6,8%	42,3%	6,8%	38,9%	5,6%

Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 16 – Resultado mensal dos 3 métodos de medição da eficiência



Fonte: Elaborado pelo autor

Um teste anova de fator único com os resultados dos três testes não mostrou diferença entre o método de medição (valor $p = 28\%$, F medido = 3,36 < F crítico = 3,68). Portanto, os três métodos mostram um igualmente baixo desempenho do equipamento de pintura, indicando que através de qualquer um deles chegaria na mesma conclusão sobre a situação de operação do equipamento.

Conforme expresso no gráfico 10, durante a análise do método da OEE, o qual se aplica e é válido para os demais métodos, o baixo desempenho está diretamente relacionado a disponibilidade do equipamento de pintura. Esse equipamento possui três boxes de carregamento/ entrada de peças, atualmente a baixa ocupação devido à falta de itens para serem processados, resulta em dias onde um dos boxes não entra em operação, deixando de carregar peças, conseqüentemente reduzindo a eficiência do equipamento.

Para a obtenção de maiores detalhes a respeito dos motivos de interferência é possível coletar dados sobre todas as paradas que ocorrem durante o dia de operação e assim traçar um pareto com os motivos e tempos para propor melhorias no processo e assim aumentar a eficiência operacional.

Como o objetivo dessa dissertação era avaliar a aplicação de diferentes modelos de medição da eficiência, o estudo focou na análise do comportamento do resultado com a utilização de cada um dos métodos.

6 CONCLUSÃO

O objetivo geral dessa dissertação foi analisar o comportamento da eficiência operacional dentro de uma indústria metalmeccânica que opera com pedidos *make-to-order*, aplicando métodos diferentes de mensuração e análise da eficiência em um processo/equipamento. Através dos passos propostos pelo método de pesquisa de estudo de caso, analisou-se a eficiência operacional dos macroprocessos da fábrica, para em seguida realizar uma análise mais detalhada do processo com menor desempenho, o equipamento de pintura. A coleta de dados foi realizada por planilhas de acompanhamento em cada posto de trabalho, preenchidas pelos operadores da fábrica e através do banco de dados do sistema ERP utilizado pela empresa. Os objetivos específicos foram: i) Analisar a eficiência em todos os equipamentos da fábrica; ii) Identificar o equipamento com menor desempenho; iii) Aplicar diferentes métodos de medição de eficiência no equipamento com menor desempenho; iv) Entender o comportamento e os resultados do uso de diferentes métodos de medição da eficiência em um mesmo equipamento; v) Identificar as principais causas para a perda da eficiência; vi) Propor possíveis soluções para aumento da eficiência operacional.

Quando analisamos o resultado da eficiência operacional através do método da OEE aplicada para todos os equipamentos da fábrica e compilamos os dados nos cinco macroprocessos de fabricação, é possível visualizar um cenário de baixo desempenho em diversos equipamentos, gerando uma OEE média de 51,1% para a fábrica 2. Essa análise, mesmo sendo macro, fornece subsídio para o time de gestão da fábrica iniciar planos de ação para atuação e conseqüentemente melhorar esses desempenhos para elevar a rentabilidade dessa unidade fabril, deixando a mesma com uma maior competitividade para o mercado externo. Através dessa análise pelo período de trinta dias temos as seguintes conclusões:

- a) O processo de jato de granalha possui o melhor desempenho de eficiência, na faixa de 59,7%. Esse processo é composto apenas por um equipamento, o qual opera de forma contínua em 2 turnos de trabalho, a interferência humana é apenas para colocar e retirar as chapas de aço plano que são colocadas para remoção de carepa e oxidação nesse equipamento. Os tempos de execução de cada peça estão ficando acima do tempo previsto

em processo, ou seja, o índice de performance do equipamento não está adequado, resultando nesse índice de eficiência operacional;

- b) O processo de corte plasma também opera em uma faixa de eficiência razoável, comparado com os demais processos, no período analisado ficou com uma OEE de 57,2%. É o segundo processo dentro do fluxo de manufatura, conseqüentemente as perdas por falta de produção ainda são baixas. São 4 equipamentos de corte que foram analisados, sendo aqui o principal fator de interferência no baixo desempenho da eficiência o índice de disponibilidade das máquinas, no qual encontramos vários dias de máquinas paradas por problemas de manutenção do equipamento.
- c) No processo de solda têm-se um desempenho de 51% de OEE. No processo de solda ocorre a união de diversos componentes cortados, formando os produtos finais que são fornecidos ao cliente. São diversos equipamentos de solda mig/mag que operam de forma automática e manual. O fator crítico desse processo é o atendimento dos tempos planejados pela engenharia de processo, onde através da medição da OEE é perceptível o baixo resultado no índice de performance dos equipamentos.
- d) Na usinagem encontramos um desempenho de 48,2% de OEE no período analisado. Nesse processo existem máquinas que fazem a usinagem tanto de componentes antes do processo de solda como também de produtos já soldados. O baixo desempenho na OEE está muito relacionado a performance dos equipamentos, novamente encontramos diversos itens nos quais não está se atingindo os tempos especificados nos processos padrões de fabricação.
- e) Com menor desempenho temos o processo de pintura, onde encontramos no período de análise um desempenho de 39,6% de eficiência operacional. Esse equipamento possui uma alta interligação, sendo compostos por várias fases intermediárias para concluir toda pintura de uma peça. Essa interligação do sistema acaba sendo um dos fatores de baixo desempenho operacional, pois quando temos algo que afeta a entrada do sistema, ou qualquer outra parte do mesmo, sente-se o impacto em todo o restante do equipamento. É um processo que apresenta um baixo índice de performance, porém diferente dos demais processos, nesse o motivo do baixo desempenho está ocasionado pela baixa ocupação do equipamento,

onde o mesmo opera em grande parte do dia com um dos boxes de entrada de peças com baixa demanda.

Um aspecto que é evidenciado com a análise dos macroprocessos é que nas atividades iniciais, onde os produtos ainda estão em um nível de complexidade menor, apresentam melhores desempenhos de eficiência. Conforme a matéria prima avança no fluxo da manufatura, mais fatores vão interferindo e reduzindo a eficiência dos processos, tal constatação é obtida diante da análise dos resultados da OEE nos cinco processos macro da fábrica 2.

Com a análise de toda a fábrica através do método da OEE as oportunidades existentes dentro da indústria metalmeccânica para elevação dos índices de produtividade ficam muito evidentes, uma vez que todos os processos operam em faixas abaixo de 60% de OEE, explicando as comparações realizadas no capítulo 1, quando avaliado os índices de produtividade da indústria brasileira e comparado com outros países ao redor do mundo.

A utilização de sistemas de medição da eficiência fornece várias informações importantes para direcionar ações dentro da empresa. Porém os mesmos precisam ser combinados com outras ferramentas para tornar possível a modificação do cenário atual e alcançar um cenário futuro desejado. Com a análise realizada constatamos uma baixa eficiência nos equipamentos dessa unidade de fabricação, mas ainda temos pouco subsidio dos motivos que estão impactando nesse resultado. Para tanto, faz necessário a implantação de uma análise detalhada dos processos com um Mapeamento do Fluxo de Valor e posteriormente estruturar um plano de ação seguindo o método de implementação de melhorias PDCA (*plan, do, check and act*). Com a combinação do sistema de medição e de uma ou mais ferramenta de melhoria de processo consegue-se organizar as ações necessárias para elevar a eficiência da empresa.

Através dessa análise da eficiência operacional de toda a fábrica esse estudo traz contribuições para as esferas socioeconômica e empresarial, evidenciando os cenários de baixa produtividade que as indústrias metalmeccânicas operam no Brasil e na região onde está localizada a empresa alfa. Esses baixos índices de eficiência operacional impactam na rentabilidade do capital investido pelos empresários, uma vez que na fábrica objeto de estudo dessa dissertação tem-se um capital investido em diversos equipamentos, além do custo fixo de operação que estão sendo utilizados

para produzir muito abaixo do que seria possível pelos mesmos equipamentos e recursos.

Uma vez analisado a eficiência operacional da fábrica, buscou-se entender o comportamento da eficiência através da utilização de diferentes métodos de análise e cálculo em um mesmo local. O processo de pintura, por apresentar o menor desempenho foi utilizado para fazer essa análise ao longo de um período maior de tempo.

Ao longo dos seis meses de análise foi identificada que a curva de eficiência se manteve na faixa dos 40% de eficiência. Nos três métodos utilizados para análise foi possível constatar resultados muito similares, onde as curvas de cada um dos métodos se acompanham ao longo dos meses analisados. Quando se evidenciam melhoras na eficiência através do método da OEE, também se visualiza a mesma melhora nos métodos da ERP e da ORE, o mesmo é evidenciado em momentos de queda de desempenho.

Os três métodos de análise mostram que a baixa ocupação do equipamento é responsável pelo menor desempenho da eficiência operacional, a consequência disso é um equipamento de alto valor com baixa ocupação, gerando um enorme desperdício de dinheiro e recursos para a empresa em questão. Diante das evidências do gráfico 15, é possível afirmar que independentemente do método de medição da eficiência utilizado os resultados apresentados são muito similares e seguem uma mesma linha de tendência. Com isso, a utilização de uma dessas ferramentas de medição de eficiência é suficiente para direcionar os gestores fabris na construção de planos de ação para aumento de sua eficiência operacional.

As evidências fornecidas pelos resultados da medição da eficiência e as observações realizadas no processo produtivo permitem sugerir algumas melhorias no processo para aumentar a eficiência operacional:

- a) A baixa demanda de itens para pintar é um dos principais problemas evidenciados para reduzir a eficiência do equipamento de pintura. Como a instalação opera com 3 pontos de entrada e saída de peças, um dos pontos fica em grande parte dos dias completamente ocioso, reduzindo a eficiência de todo o equipamento. Uma alternativa para melhorar essa ocupação é buscar o desenvolvimento de mais produtos para serem processados nesse equipamento.

- b) O equipamento de pintura é composto por três processos: jato de granalha, pintura e-coat e pintura pó, os quais estão conectados entre si. Uma alternativa seria desacoplar os processos, criando um ponto de entrada e saída para cada um deles, assim aumenta a flexibilidade de operação do sistema.

Portanto esse estudo buscou contribuir em nível acadêmico, fornecendo um estudo dos diversos métodos de análise da eficiência em processos, equipamentos e fábricas, bem como contribui para a compreensão do impacto dos diferentes métodos de medição e análise da eficiência em um mesmo equipamento. Na construção do referencial teórico foi identificado diversos métodos de análise e medição da eficiência, onde cada autor apresenta suas justificativas para o uso de cada um desses, esse trabalho traz uma contribuição no aspecto de que mesmos diferentes métodos de medição, acabam evidenciando os mesmos comportamentos da eficiência, diferenciando apenas na forma de mostrar os resultados ou nas informações utilizadas para gerar o resultado da eficiência operacional em um equipamento.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Como limitações, julgou-se pertinente evidenciar alguns aspectos, destacados a seguir:

De acordo com a revisão teórica realizada, identificou-se quinze constructos relacionados a medição e análise de eficiência operacional. Com essa amplitude restringiu-se a pesquisa para os principais métodos de medição e análise da eficiência citados na literatura, possibilitando assim testar e comparar meios de medição e análise da eficiência em um mesmo equipamento.

Os dados coletados para análise foram obtidos através do preenchimento por parte dos operadores de cada máquina de forma manual em planilhas impressas e disponibilizadas para os mesmos, podendo os mesmos estarem influenciados pelo lançamento de cada colaborador.

A coleta dos dados da pesquisa ficou limitada ao período de junho de 2019 para todos os equipamentos da fábrica e de agosto de 2019 até janeiro de 2020 para o equipamento de pintura.

Quanto à análise e interpretação dos dados coletados ao longo do estudo, esses podem sofrer influências a partir da percepção e conhecimento do pesquisador.

A presente pesquisa implica restrições quanto à generalização dos resultados obtidos em função das limitações relacionadas ao método estudo de caso, não havendo com isso generalização, mas apenas hipóteses plausíveis e possíveis de serem verificadas em estudos futuros.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como possibilidades, sugestões e recomendações para estudos futuros, pode-se citar alguns itens, como:

- a) A realização da mesma pesquisa, no entanto, testando os outros métodos de medição da eficiência em um processo em toda uma fábrica;
- b) A reaplicação desse estudo em empresas que atuam em segmentos diferentes do metalmeccânico;
- c) A realização de uma análise mais detalhada dos motivos da perda de eficiência para propor um plano de ação que permita elevar o índice de rendimento da fábrica;
- d) Utilizar a análise da OEE no equipamento de pintura e pesquisar soluções inovadoras para aumento da eficiência operacional;
- e) Aplicação e análise dos efeitos da implementação de modelos de gestão e monitoramento da produção inovadores, que fujam dos sistemas tradicionais utilizados nas indústrias atualmente;
- f) Aplicar um dos métodos de medição de eficiência para células de produção e comparar com o resultado com os métodos de medição do equipamento;

REFERÊNCIAS

- AGRA, Agostinho; POSS, Michael; SANTOS, Micael. Optimizing make-to-stock policies through a robust lot-sizing model. **International Journal of Production Economics**, v.200, p.302-310, 2018.
- AMESS, K.; GIRMA, S. Do stock markets value efficiency?. **Scottish Journal of Political Economy**, v.56, n.3, p.321-331, 2009.
- ANG, J. S. K.; SHIMADA, T.; QUEK, S. A.; LIM, E. Manufacturing strategy and competitive performance – An ACE analysis. **International Journal of Production Economics**, v.169, n.1, p.240-252, 2015.
- ANTUNES JR., J.; ALVAREZ, R.; PELLEGRIN, I.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ANTUNES JR., J.; KLIPPEL, A.; SEIDEL, A.; KLIPPEL, M. **Uma revolução na produtividade: A gestão lucrativa dos postos de trabalho**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- ATAN, Zümbül; AHMADI, Taher; STEGEHUIS, Clara; KOK, Ton de; ADAN, Ivo. Assemble-to-order systems: A review. **European Journal of Operational Research**, v.261, p.866-879, 2017.
- BARRETO, Ronaldo Merlo. **Modelo para tomada de decisão nos sistemas produtivos a partir da utilização de uma ferramenta capacidade versus demanda**. 2010 167 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2010.
- BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- CHATHA, K.; BUTT, I. Themes of study in manufacturing strategy literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v.35, n.4, p.604-698, 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, n.2, p.429-44, 1978.
- CHEN, T.; WHANG, Y. Evaluating sustainable advantages in productivity with a systematic procedure. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, n.87, p.1435-1442, 2016.
- CHIARADIA, Áureo J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística**. 2004, 131 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2004.

CHUA, Felixter Leone S.; VASNANI, Neelesh N.; PACIO, Lance Brandon M.; OCAMPO, Lanndon A. A Stackelberg game in multi-period planning of make-to-order production system across the supply chain. **Journal of Manufacturing Systems**, v.46, p.231-246, 2018.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Produtividade na Indústria**. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/produtividade-na-industria/>. Acesso em 14 dez., 2018.

COCHRAN, D. S.; FOLEY, J. T.; BI, Z. Use of the manufacturing system design decomposition for comparative analysis and effective design of production systems. **International Journal of Production Research**, v.55, n.5, p.870-890, 2017.

CROUZET, B.; PARKER, D.; PATHAK, R. Themes of study in manufacturing strategy literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v.63, n.7, p.946-959, 2014.

CUMMINS, J.; WEISS, M. Analyzing Firm Performance in the Insurance Industry Using Frontier Efficiency and Productivity Methods. **Handbook of Insurance**, p.795-861, 2013.

DA SILVA, N. A.; ANTUNES JR., J. A. V. Diagnóstico da função produção em micro e pequenas empresas do setor têxtil tendo como base sistema Toyota de produção e teoria das restrições: Proposição de um instrumento. **Revista Espacios**, v.38, n.21, p.21-38, 2017.

DEEPASK. O mundo e as cidades através de gráficos e mapas. **Produto Interno Bruto por Cidade**. Disponível em: <http://www.deepask.com/goes?page=panambi/RS-Confira-o-PIB---Produto-Interno-Bruto---no-seu-município>. Acesso em 14 dez., 2018.

DEIMLING, M. **Proposta de Uma Estrutura de Indicadores para Avaliar o Desempenho de Cadeias de Valor - O caso do setor moveleiro do Oeste de Santa Catarina**. 2014. 193 f. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2014

DONG, P.; QIAO, K.; YANG, M. Operational efficiency across the Chinese aerospace industry: a DEA and Malmquist analysis. **Chinese Management Studies**, v.9, n.4, p.553-570, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D.; ANTÚNES JÚNIOR, J.; **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EHIE, Ike; MUOGBOH, Obinna. Analysis of manufacturing strategy in developing countries: A sample survey of Nigerian manufacturers. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.27, n.2, p.234-260, 2016.

FRANÇA, V. C. L.; NETO, A. A. Eficiência operacional e estratégia: percepção de gestores de empresas no mercado brasileiro. **XXIX Encontro nacional de engenharia de produção**. 2009.

FREITAS, W.; JABBOUR, C. Utilizando estudo de casos como estratégia de pesquisa qualitativa: Boas práticas e sugestões. **Estudo & Debate**, v.18, n.2, p.07-22, 2011.

GANDJOUR, A., KLEINSCHMIT, F., LITTMANN, V. AND LAUTERBACH, K. An evidence-based evaluation of quality and efficiency indicators. **Quality Management in Health Care**, v.10 n.4, p.41-52, 2002.

GARBIE, I. H. A methodology for the reconfiguration process in manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.25, n.6, p.891-915, 2014.

GIOLONGO, M. L. D.; GOMILA, P. G. Productive efficiency in the banking industry. **Risk Governance & Control: Financial Markets & Institutions**, v.6, n.3, p.74-79, 2016.

GUPTA, Y. P.; GUPTA, M. A system dynamics model of a JIT-kanban system. **Engineering Costs and Production Economics**, v.18, n.2, p.117-130, 1989.

HANSEN, R. C. **Overall Equipment Effectiveness: A Powerfull Production/Maintenance Tool for Increasead Profits**. New York: Industrial Press, 2002.

HOLMES, T. J.; HSU, W. T.; LEE, S. Allocative efficiency, mark-ups, and the welfare gains from trade. **Journal of International Economics**, v.94, n.1, p.195-206, 2014.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **A ciência da fábrica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HUANG, S. H.; DISMUKES, J. P.; SHI, J.; SU, Q.; WANG, G.; RAZZAK, M. A.; ROBINSON, D. E. Manufacturing System Modeling for Productivity Improvement. **Journal of Manufcturing Systems**, v.21, n.4, p.249-259, 2002.

HUANG, S. H.; DISMUKES, J. P.; MOUSALAM, A.; RAZZAK, R. B; ROBINSON, D. E.; Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. **International Journal of Production Research**, ,v.41, n.3, p. 513–527, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cadastro Central de Empresas** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panambi/pesquisa/19/29761> Aceso em 14 dez., 2018.

JIN, J. B.; LEEM, C. S.; LEE C. H. Research issues and trends in industrial productivity over 44 years. **International Journal of Production Research**, v.54, n.5, p.1273-1284, 2016.

KETOKIVI, M.; CHOI, T. Renaissance of case research as a scientific method. **Journal of Operations Management**, v.32, p.232-240, 2014.

KONOPKA, John M. Capacity Utilization Bottleneck Efficiency System-CUBES. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v.18, n.3, p.484-491, 1995.

KORTMANN, S.; GELHARD, C.; ZIMMERMANN, C.; PILLER, F. Linking strategic flexibility and operational efficiency: The mediating role of ambidextrous operational capabilities. **Journal of Operations Management**, n.32, p.475-490, 2014.

KUSUNOKI, K.; NONAKA, I.; NAGATA, A. Organizational capabilities in product development of Japanese firms: a conceptual framework and empirical findings. **Organization Science**, v.9, n.6, p.699-718, 1998.

KWON, H. B.; LEE, J. Exploring the differential impact of environmental sustainability, operational efficiency, and corporate reputation on market valuation in high-tech-oriented firms. **International Journal of Production Economics**, v.211, n.1, p.1-14, 2019.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR., J. A. V. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão da Produção**, v.20, n.4, p.741-761, 2013.

LAM, H.; YEUNG, A.; CHENG, T. The impact of firms' social media initiatives on operational efficiency and innovativeness. **Journal of Operations Management**, v.47, n.48, p.28-43, 2016.

LANZA, Gisela; STOLL, Johannes; STRICKER, Nicole; PETERS, Steven; LORENZ, Christof. Measuring Global Production Effectiveness. **Procedia CIRP**, v.7, p.31-36, 2013.

LEVANDOWSKI, Christoffer Erik; JIAO, Jianxin Roger; JOHANNESSON, Hans. A two-stage model of adaptable product platform for engineering-to-order configuration design. **Journal of Engineering Design**, v.26, n.7-9, p.220-235, 2015.

LIU, C. C.; CHENG, A. C.; CHEN, S. H. A study for sustainable development in optoelectronics industry using multiple criteria decision making methods. **Technological and economic development of economy**, v.23, n.2, p.221-242, 2017.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M. Research fronts in data envelopment analysis. **Omega**, v.58, n.1, p.33-43, 2016.

LUCHESE, Juliana. **Análise e priorização das dimensões competitivas na estratégia de produção das grandes empresas da indústria moveleira de Bento Gonçalves**. 2015 173 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2015

LU, Qihui ; CHEN, Xiangfeng. Capacity expansion investment of supplier under make-to-order and make-to-stock supply chains. **International Journal of Production Economics**, v.198, p.133-148, 2018.

MACKE, Janaina. **Desenvolvimento de um modelo de intervenção baseado no sistema Toyota de produção e na teoria das restrições: a utilização da pesquisa em uma indústria de cerâmica vermelha de pequeno porte da região metropolitana de Porto Alegre**. 1999 281 f. Dissertação de Mestrado. Programa de

Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Universidade federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 1999.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MILTENBURG, John. Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. **International Journal of Production Economics**, v.113, n.1, p.307-323, 2008.

MORIKAWA, Katsumi; TAKAHASHI, Katsuhiko; HIROTANI, Daisuke. Make-to-stock policies for a multistage serial system under a make-to-order production environment. **International Journal of Production Economics**, v.147, p.30-37, 2014.

MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**, v.46, n.13, p.3517-3535, 2008.

MUTHIAH, K. M. N.; HUANG, S. H. Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection. **International Journal of Production Research**, v.45, n.20, p.4753-4769, 2007.

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

NARKHEDE, Balkrishna Eknath. Advance manufacturing strategy and firm performance: An empirical study in a developing environment of small- and medium-sized firms. **Benchmarking: An International Journal**, v.24, n.1, p.62-101, 2017.

NEELY, Andy; GREGORY, Mike; PLATTS, Ken. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v.15, n.4, p.80-116, 1995.

NEGAHBAN, A.; SMITH J. S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**, v.33, n.1, p.241-261, 2014.

OECHSNER, Richard; PFEFFER, Markus; PFITZNER, Lothar; BINDER, Harald Binderb; MÜLLER, Eckhard; VONDERSTRASS, Thomas. From overall equipment efficiency (OEE) to overall Fab effectiveness (OFE). **Materials Science in Semiconductor Processing**, v.5, p.333-339, 2003.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OJHA, Sateesh K. Management of productivity, Who is responsible for unproductiveness. **Journal of General ManaGeMent research**, v.1, n.2, p.83-98, 2014.

PARIS, Alaércio de. **Overall Equipment Effectiveness – OEE: Necessário mas não suficiente. Uma análise integrando o OEE e a Data Envelopment Analysis – DEA**.

2016 195 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2016.

PENG, D.; SCHROEDER, R.; SHAH, R. Linking routines to operations capabilities: a new perspective. **Journal of Operations Management**, v.26, n.6, p.730-748, 2008.

PHUSAVAT, K.; COMEPA, N.; SITKO-LUTEK, A.; OOI, K. Productivity management: integrating the intellectual capital. **Industrial Management & Data Systems**, v.113, n.6, p.840-855, 2013.

PIRAN, F. ; LACERDA, D.; CAMARGO, L.; VIERO, C.; DRESCH, A.; MIGUEL, P. Product modularization and effects on efficiency: An analysis of a bus manufacturer using data envelopment analysis (DEA). **International Journal Production Economics**, n.182, p.1-13, 2016.

PIRAN, F. S.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F. R. **Análise e gestão da eficiência**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

PORTELA, M. C .A. S. Value and quantity data in economic and technical efficiency measurement. **Economics Letters**, v.124, n.1, p.108-112, 2014.

PORTER, M. What is Strategy? Harvard Business Review, p. 61-78, Novembro Dezembro/1996.

RAHMANI, Mohammad. A productivity analysis of Iranian industries using an additive data envelopment analysis. **Management Science Letters**, v.7, n.4, p.197-204, 2017.

RAOUF, A. Improving Capital Productivity through Maintenance. **International Journal of Operations**, v.14, n.7, p.44-52, 1994.

RAVENSWOOD, Katherine. Eisenhardt's impact on theory in case study research. **Journal of Business Research**, v.64, n. 7, p.680-686, 2011.

REYES, Jose Arturo Garza. From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.21, n.4, p.506-527, 2015.

ROSIO, C.; BRUCH, J. Exploring the design process of reconfigurable industrial production systems: Activities, challenges, and tactics. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.29, n.1, p.85-103, 2018.

SAMAT, H. A.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I. A. Integration of Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Reliability Method for Measuring Machine Effectiveness. **South African Journal of Industrial Engineering**, v.23, n.1, p.92-113, 2012.

SELLITTO, M. A. Lead-time, inventory, and safety stock calculation in job-shop manufacturing. **Acta Polytechnica**, v.58, n.6, p.395-401, 2018.

SHINGO, Shigeo. **Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, A. F. da; MARINS, F. A. S.; TAMURA, P. M.; DIAS, E. X. Bi-Objective Multiple Criteria Data Envelopment Analysis combined with the Overall Equipment Effectiveness: An application in an automotive company. **Journal of Cleaner Production**, v.157, p.278-288, 2017.

SILVA, Andressa H.; FOSSÁ, Maria I. T. Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v.17, n.1, p.01-14, 2015.

SOUTHARD, P.; PARENTE, D. A model for internal benchmarking: when and how?. **Benchmarking: An International Journal**, v.14, n.2, p.161-171, 2007.

SOUZA, I.; LACERDA, D.; CAMARGO, L.; DRESCH, A.; PIRAN, F. Efficiency and internal benchmark on an armament company. **Benchmarking: An International Journal**, v. 25, n.7, p.2018-2039, 2018.

SRIRAM, P. K.; ALFNES, E.; KRISTOFFERSEN, S. Collaborative engineering: A framework for engineering-to-order companies. **International Conference on Collaboration Technologies and Systems**, DOI: 10.1109/CTS.2014.6867572, 2014.

SUTRISNO, A.; VANANY, I.; GUNAWAN, I.; ASJAD, M. Lean waste classification model to support the sustainable operational practice. **International Conference on Industrial and System Engineering**, v.337, n.1, p.1-5, 2017.

TARANCON, M. A.; PEDRERO, M. J. G.; CALLEJAS F. E.; RODRÍGUEZ, I. M. Verifying the relation between labor productivity and productive efficiency by means of the properties of the input-output matrices. The European case. **International Journal of Production Economics**, v.195, n.1, p.54-65, 2018.

TELLES, Eduardo Santos. **Análise dos Efeitos do Tambor-Pulmão-Corda na Eficiência de um Sistema Produtivo de Engenharia sob Encomenda**. 2019 184 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2019

WANG, Ye ; TANG, Jiafu. Cost and Service-Level-Based Model for a Seru Production System Formation Problem with Uncertain Demand. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v.27, n.4, p.519-537, 2018.

WANG, Yong; LI, Lin. A Novel Modeling Method for Both Steady-State and Transient Analyses of Serial Bernoulli Production Systems. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics: systems**, v.45, n.1, p.97-108, 2015.

YANG, C. C.; YANG, K. J. An Integrated Model of the Toyota Production System with Total Quality Management and People Factors. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v.23, n.5, p.450-461, 2013.

YANG, Wen; FUNG, Richard. An available-to-promise decision support system for a multi-site make-to-order production system. **International Journal of Production Research**, v.52, n.14, p.4253-4266, 2014.

YIN, R. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015

ZHANG, Zhe George; KIM, Ilhyung; SPRINGER, Mark; CAIC, Gangshu (George); YU, Yugang. Dynamic pooling of make-to-stock and make-to-order operations. **International Journal of Production Economics**, v.144, n.1, p.44-56, 2013.

APÊNDICE A - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE JATO DE GRANALHA

Quadro 13 – Cálculo da OEE para o Jato de Granalha

Data	OEE	$D = (T_{pr} - T_{pa}) / T_{pr}$	$P = (T_c \times Q_p) / T_r$	$Q = Q_c / (Q_c + Q_n)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
03/jun	58,3%	89,6%	65%	100%	1152	120	6	112	1032	112	0
04/jun	54,7%	87,0%	63%	100%	1152	150	6	105	1002	105	0
05/jun	65,1%	89,6%	73%	100%	1152	120	6	125	1032	125	0
06/jun	57,3%	89,6%	64%	100%	1152	120	6	110	1032	110	0
07/jun	46,9%	84,4%	56%	100%	1152	180	6	90	972	90	0
10/jun	70,3%	89,6%	78%	100%	1152	120	6	135	1032	135	0
11/jun	58,3%	87,4%	67%	100%	1152	145	6	112	1007	112	0
12/jun	56,3%	89,6%	63%	100%	1152	120	6	108	1032	108	0
13/jun	57,3%	88,7%	65%	100%	1152	130	6	110	1022	110	0
14/jun	57,3%	86,1%	67%	100%	1152	160	6	110	992	110	0
17/jun	70,3%	89,6%	78%	100%	1152	120	6	135	1032	135	0
18/jun	59,9%	87,4%	69%	100%	1152	145	6	115	1007	115	0
19/jun	78,1%	89,6%	87%	100%	1152	120	6	150	1032	150	0
21/jun	58,3%	87,0%	67%	100%	1152	150	6	112	1002	112	0
24/jun	65,1%	89,6%	73%	100%	1152	120	6	125	1032	125	0
25/jun	58,3%	85,2%	68%	100%	1152	170	6	112	982	112	0
26/jun	56,8%	89,6%	63%	100%	1152	120	6	109	1032	109	0
27/jun	41,7%	80,9%	52%	100%	1152	220	6	80	932	80	0
28/jun	64,1%	89,6%	72%	100%	1152	120	6	123	1032	123	0
Total	59,7%	87,9%	68%	100%	21888	2650	6	2178	19238	2178	0

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE CORTE PLASMA

Quadro 14 – Cálculo da OEE para o processo de corte plasma

Data	OEE	$D = (T_{pr} - T_{pa})/T_{pr}$	$P = (T_c \times Q_p)/T_r$	$Q = Q_c/(Q_c + Q_n)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
03/jun	52,8%	70,8%	74%	100%	1152	336	0,5	46	816	46	0
04/jun	65,5%	66,3%	99%	100%	588	198	1,3	32	390	32	0
05/jun	53,2%	71,4%	75%	100%	588	168	0,6	10	420	10	0
06/jun	47,6%	71,4%	67%	100%	588	168	0,45	26	420	26	0
07/jun	41,1%	71,4%	58%	100%	588	168	0,5	75	420	75	0
10/jun	56,6%	71,4%	79%	100%	588	168	0,37	234	420	234	0
11/jun	56,8%	71,4%	80%	100%	588	168	0,64	522	420	522	0
12/jun	35,2%	71,4%	49%	100%	588	168	0,92	225	420	225	0
13/jun	35,2%	71,4%	49%	100%	588	168	0,92	225	420	225	0
14/jun	51,0%	71,4%	71%	100%	588	168	1,75	54	420	54	0
17/jun	49,9%	71,4%	70%	100%	588	168	0,33	216	420	216	0
18/jun	68,2%	71,4%	95%	100%	588	168	1,53	234	420	234	0
19/jun	54,9%	71,4%	77%	100%	588	168	0,45	26	420	26	0
21/jun	72,1%	71,4%	101%	100%	588	168	0,32	220	420	220	0
24/jun	66,9%	71,4%	94%	100%	588	168	0,8	105	420	105	0
25/jun	35,2%	71,4%	49%	100%	588	168	0,92	225	420	225	0
26/jun	54,0%	71,4%	76%	100%	588	168	1,8	9	420	9	0
27/jun	62,8%	71,7%	88%	100%	1152	326	1,76	11	826	11	0
28/jun	48,6%	71,7%	68%	100%	1152	326	0,43	180	826	180	0

Plasma D	53,4%	71,2%	75%	100%	12864	3706		6896	9158	6896	0
03/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
04/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
05/jun	81,8%	74,0%	111%	100%	576	150	2,533	114	426	114	0
06/jun	53,9%	89,6%	60%	100%	576	60	2,2	44	516	44	0
07/jun	25,2%	89,6%	28%	100%	576	60	12,866	8	516	8	0
10/jun	105,6%	84,4%	125%	100%	576	90	11	16	486	16	0
11/jun	92,9%	87,8%	106%	100%	576	70	11	16	506	16	0
12/jun	78,7%	87,8%	90%	100%	576	70	3,216	27	506	27	0
13/jun	59,0%	87,8%	67%	100%	576	70	1,433	60	506	60	0
14/jun	70,9%	89,6%	79%	100%	576	60	1,7	99	516	99	0
17/jun	54,5%	86,1%	63%	100%	576	80	8,233	12	496	12	0
18/jun	35,0%	89,6%	39%	100%	576	60	0,732	112	516	112	
19/jun	84,3%	87,8%	96%	100%	576	70	4,2	88	506	88	
21/jun	112,0%	87,8%	128%	100%	576	70	4,4	88	506	88	
24/jun	106,4%	86,1%	124%	100%	576	80	2,266	55	496	55	
25/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
26/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
27/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
28/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
Plasma E	51,1%	59,4%	86%	100%	10944	4446		2525	6498	2525	0
03/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
04/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
05/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
06/jun	108%	89,6%	94%	129%	576	60	11,933	4	516	4	0
07/jun	58%	84,4%	68%	100%	576	90	9,8	18	486	18	0
10/jun	98,6%	86,1%	114%	100%	576	80	0,91	3	496	3	0

11/jun	91,8%	89,6%	102%	100%	576	60	1,32	90	516	90	0
12/jun	131,2%	89,6%	146%	100%	576	60	2,733	30	516	30	0
13/jun	126,4%	86,1%	147%	100%	576	80	1,9	310	496	310	0
14/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
17/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
18/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
19/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
21/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
24/jun	136,0%	89,6%	152%	100%	576	60	4,2	180	516	180	0
25/jun	124,1%	89,6%	139%	100%	576	60	0,4	60	516	60	0
26/jun	69,5%	89,6%	78%	100%	576	60	1,6	120	516	120	0
27/jun	65,0%	89,6%	73%	100%	576	60	1,16	15	516	15	0
28/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
Plasma F	51,6%	46,5%	111%	100%	10944	5854		2176	5090	2176	0
03/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
04/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
05/jun	0,0%	0,0%	0%	0%	576	576		0	0		
06/jun	70,2%	80,0%	88%	100%	1152	230	1,5	32	922	32	0
07/jun	89,6%	84,4%	106%	100%	1152	180	1,5	65	972	65	0
10/jun	85,0%	81,8%	105%	99%	1152	210	5,6	37	942	34	3
11/jun	51,8%	87,8%	59%	99%	1152	140	1,333	76	1012	74	2
12/jun	70,2%	87,0%	81%	100%	1152	150	9,633	40	1002	40	0
13/jun	45,6%	87,0%	52%	100%	1152	150	4,1	28	1002	28	0
14/jun	80,3%	83,1%	97%	100%	1152	195	3,5	99	957	99	0
17/jun	100,3%	87,0%	117%	98%	1152	150	9,633	62	1002	60	2
18/jun	89,8%	86,1%	104%	100%	1152	160	0,734	61	992	61	0
19/jun	69,8%	87,4%	81%	98%	1152	145	9,633	60	1007	60	0
21/jun	34,5%	79,2%	45%	97%	1152	240	9	13	912	13	0

24/jun	87,5%	84,8%	103%	100%	1152	175	0,3	1140	977	1140	0
25/jun	77,3%	86,1%	90%	100%	1152	160	0,7	99	992	99	0
26/jun	125,9%	87,4%	145%	99%	1152	145	1,06	105	1007	105	0
27/jun	120,4%	84,4%	143%	100%	1152	180	9,633	72	972	72	0
28/jun	75,0%	87,0%	86%	100%	1152	150	9,633	72	1002	72	
Plasma C	72,8%	77,7%	94%	100%	20160	4488		6380	15672	6358	22

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE USINAGEM

Quadro 15 – Cálculo da OEE para a Usinagem

Data	OEE	$D = (Tpr - Tpa)/Tpr$	$P = (Tc \times Qp)/Tr$	$Q = Qc/(Qc + Qn)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
03/jun	44,8%	61,5%	73%	100%	1152	444	11,5	28	708	28	0
04/jun	49,7%	71,9%	69%	100%	588	165	11,5	8	423	8	0
05/jun	53,5%	71,9%	74%	100%	588	165	11,5	19	423	19	0
06/jun	43,5%	56,3%	77%	100%	1152	504	11,5	15	648	15	0
07/jun	48,9%	71,9%	68%	100%	588	165	11,5	16	423	16	0
10/jun	54,8%	71,9%	76%	100%	588	165	11,5	28	423	28	0
11/jun	35,5%	61,7%	58%	100%	588	225	11,5	6	363	6	0
12/jun	50,9%	71,9%	71%	100%	588	165	11,5	26	423	26	0
13/jun	57,0%	76,5%	74%	100%	588	138	11,5	26	450	26	0
14/jun	27,2%	54,4%	50%	100%	588	268	11,5	0	320		0
17/jun	57,5%	81,6%	70%	100%	588	108	11,5	12	480	12	0
18/jun	53,2%	71,9%	74%	100%	588	165	11,5	14	423	14	0
19/jun	51,3%	71,9%	71%	100%	1152	324	11,5	35	828	35	0
21/jun	36,2%	54,4%	67%	100%	588	268	11,5	0	320		0
24/jun	71,5%	8,2%	876%	100%	588	540	11,5	28	48	28	0
25/jun	48,5%	71,9%	67%	100%	1152	324	11,5	18	828	18	0
26/jun	46,4%	71,9%	65%	100%	588	165	11,5	12	423	12	0
27/jun	52,4%	71,9%	73%	100%	588	165	11,5	24	423	24	0
28/jun	46,7%	71,9%	65%	100%	1152	324	11,5	12	828	12	0
3338 - SVC 120	48,5%	65,8%	74%	100%	13992	4787	11,5	327	9205	327	0
							4	240		240	0

							10	10		10	0
							1,6	296		296	0
							2,5	126		126	0
							4,7	238		238	0
							1,5	40		40	0
03/jun	42,0%	52,1%	80,7%	100%	1152	552	42	2	600	2	0
04/jun	42,9%	36,5%	117,6%	100%	1152	732	42	1	420	1	0
05/jun	42,2%	35,4%	119,1%	100%	1152	744	42	3	408	3	0
06/jun	46,2%	53,6%	86,1%	100%	1152	534	42	5	618	5	0
07/jun	38,5%	71,9%	53,5%	100%	1152	324	42	3	828	3	0
10/jun	43,0%	36,5%	117,9%	100%	1152	732	42		420		0
11/jun	27,5%	71,9%	38,3%	100%	1152	324	42	2	828	2	0
12/jun	34,1%	71,4%	47,8%	100%	1152	330	42	2	822	2	0
13/jun	39,1%	71,9%	54,5%	100%	1152	324	42	5	828	5	0
14/jun	81,4%	77,1%	105,6%	100%	1152	264	42	5	888	5	0
17/jun	67,3%	77,1%	87,3%	100%	1152	264	42	2	888	2	0
18/jun	51,9%	71,9%	72,2%	100%	1152	324	42	1	828	1	0
19/jun	45,4%	77,1%	58,9%	100%	1152	264	42	1	888	1	0
21/jun	42,2%	61,5%	68,6%	100%	1152	444	42	5	708	5	0
24/jun	25,8%	48,4%	53,3%	100%	1152	595	42	1	557	1	0
25/jun	52,9%	71,9%	73,6%	100%	1152	324	42	3	828	3	0
26/jun	39,1%	77,1%	50,8%	100%	1152	264	42	5	888	5	0
27/jun	32,2%	46,9%	68,7%	100%	1152	612	42	1	540	1	0
28/jun	50,5%	71,9%	70,3%	100%	1152	324	42	7	828	7	0
3352 - V80	47,3%	62,2%	76,0%	100%	21888	8275	42	54	13613	54	0
							23	103		103	0
							5	6		6	0
							25	60		60	0

							45	56		56	0
							12	138		138	0
03/jun	49,1%	89,8%	55%	100%	1176	120	52	8	1056	8	0
04/jun	57,4%	79,6%	72%	100%	1176	240	52	9	936	9	0
05/jun	51,0%	89,8%	57%	100%	1176	120	52	8	1056	8	0
06/jun	29,4%	64,3%	46%	100%	1176	420	52	4	756	4	0
07/jun	51,0%	54,1%	94%	100%	1176	540	52	8	636	8	0
10/jun	45,2%	79,6%	57%	100%	1176	240	52	8	936	8	0
11/jun	43,2%	79,6%	54%	100%	1176	240	52	8	936	8	0
12/jun	50,5%	89,8%	56%	100%	1176	120	52	7	1056	7	0
13/jun	57,9%	89,8%	64%	100%	1176	120	52	10	1056	10	0
14/jun	59,4%	89,8%	66%	100%	1176	120	52	9	1056	9	0
17/jun	57,4%	89,8%	64%	100%	1176	120	52	9	1056	9	0
18/jun	52,5%	89,8%	58%	100%	1176	120	52	7	1056	7	0
19/jun	57,4%	89,8%	64%	100%	1176	120	52	9	1056	9	0
21/jun	53,0%	89,8%	59%	100%	1176	120	52	8	1056	8	0
24/jun	55,4%	89,8%	62%	100%	1176	120	52	9	1056	9	0
25/jun	54,5%	89,8%	61%	100%	1176	120	52	11	1056	11	0
26/jun	68,2%	89,8%	76%	100%	1176	120	52	11	1056	11	0
27/jun	76,6%	89,8%	85%	100%	1176	120	52	16	1056	16	0
28/jun	68,2%	89,8%	76%	100%	1176	120	52	11	1056	11	0
3353 V-100	54,6%	85,0%	64%	100%	22344	3360	52	170	18984	170	0
							23	146		146	0
03/jun	15,5%	37,5%	41%	100%	576	360	2,666	15	216	15	0
04/jun	27,2%	89,6%	30%	100%	576	60	3,53	20	516	20	0
05/jun	54,9%	89,6%	61%	100%	576	60	6,16	8	516	8	0
06/jun	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				0	0		
07/jun	58,8%	89,6%	66%	100%	576	60	6,16	26	516	26	0
10/jun	50,4%	89,6%	56%	100%	576	60	2,333	19	516	19	0

11/jun	46,0%	89,6%	51%	100%	1152	120	2,333	50	1032	50	0
12/jun	45,9%	89,6%	51%	100%	576	60	3,23	8	516	8	0
13/jun	23,5%	89,6%	26%	100%	576	60	10	8	516	8	0
14/jun	27,8%	89,6%	31%	100%	576	60	10	10	516	10	0
17/jun	57,1%	89,6%	64%	100%	576	60	6,16	16	516	16	0
18/jun	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				0	0		
19/jun	39,9%	89,6%	45%	100%	576	60	2,666	8	516	8	0
21/jun	39,5%	89,6%	44%	100%	576	60	1	8	516	8	0
24/jun	42,5%	89,6%	47%	100%	576	60	1	169	516	169	0
25/jun	32,0%	89,6%	36%	100%	576	60	6,16	4	516	4	0
26/jun	36,7%	89,6%	41%	100%	576	60	6,16	10	516	10	0
27/jun	37,3%	89,6%	42%	100%	576	60	2,833	24	516	24	0
28/jun	45,7%	89,6%	51%	100%	576	60	2,833	9	516	9	0
CT3339	39,9%	86,7%	46%	100%	10368	1380		412	8988	412	0
								312		312	0
								194		194	0
								77		77	0
								42		42	0
								37		37	0
								8		8	0
03/jun	44,4%	84,4%	53%	100%	576	90	5,2	33	486	33	0
04/jun	18,6%	54,9%	34%	100%	576	260	5,2	7	316	7	0
05/jun	53,8%	89,6%	60%	100%	576	60	10,333	30	516	30	0
06/jun	34,6%	63,5%	54%	100%	576	210	10,333	17	366	17	0
07/jun	51,0%	89,6%	57%	100%	576	60	3,916	75	516	75	0
10/jun	111,3%	89,6%	124%	100%	576	60	10,333	40	516	40	0
11/jun	51,2%	89,6%	57%	100%	576	60	4,416	24	516	24	0
12/jun	62,4%	89,6%	70%	100%	576	60	4,416	6	516	6	0

13/jun	46,0%	89,6%	51%	100%	576	60	4,416	60	516	60	0
14/jun	53,8%	89,6%	60%	100%	576	60	10,333	30	516	30	0
17/jun	54,2%	89,6%	60%	100%	576	60	6	52	516	52	0
18/jun	50,7%	89,6%	57%	100%	576	60	5,2	25	516	25	0
19/jun	81,3%	89,6%	91%	100%	576	60	9	52	516	52	0
21/jun	44,8%	89,6%	50%	100%	576	60	6	43	516	43	0
24/jun	66,8%	89,6%	75%	100%	576	60	5,2	10	516	10	0
25/jun	55,1%	89,6%	61%	100%	576	60	5,2	61	516	61	0
26/jun	45,1%	89,6%	50%	100%	576	60	5,2	50	516	50	0
27/jun	49,1%	89,6%	55%	100%	576	60	4,416	64	516	64	0
28/jun	46,5%	89,6%	52%	100%	576	60	4,416	56	516	56	0
CT3336	53,4%	86,1%	62%	100%	10944	1520		735	9424	735	0
								159		159	0
								48		48	0
								0		0	0
								0		0	0
								0		0	0
								0		0	0
03/jun	55,1%	89,6%	62%	100%	576	60	0,6	31	516	31	
04/jun	66,1%	89,6%	74%	100%	576	60	0,583	82	516	82	
05/jun	42,8%	89,6%	48%	100%	576	60	1	48	516	48	
06/jun	27,9%	89,6%	31%	100%	576	60	1,416	21	516	21	
07/jun	42,4%	89,6%	47%	100%	576	60	0,6	31	516	31	
10/jun	82,8%	89,6%	92%	100%	576	60	1,833	100	516	100	
11/jun	52,6%	89,6%	59%	100%	576	60	1	8	516	8	
12/jun	61,9%	92,1%	67%	100%	756	60	1	13	696	13	
13/jun	78,4%	92,1%	85%	100%	756	60	0,583	9	696	9	
14/jun	53,9%	92,1%	59%	100%	756	60	2,25	28	696	28	

17/jun	74,6%	92,1%	81%	100%	756	60	2,25	28	696	28	
18/jun	48,1%	92,1%	52%	100%	756	60	0,633	52	696	52	
19/jun	79,0%	92,1%	86%	100%	756	60	2	91	696	91	
21/jun	43,4%	92,1%	47%	100%	756	60	0,667	30	696	30	
24/jun	126,3%	89,6%	141%	100%	576	60	1	31	516	31	
25/jun	55,5%	92,1%	60%	100%	756	60	2,25	20	696	20	
26/jun	56,8%	92,1%	62%	100%	756	60	1,883	55	696	55	
27/jun	73,0%	92,1%	79%	100%	756	60	4,3	39	696	39	
28/jun	52,5%	92,1%	57%	100%	756	60	0,616	16	696	16	
CT 3358	62,0%	91,2%	68%	100%	12924	1140		733	11784	733	0
								942		942	0
								1131		1131	0
								726		726	0
								513		513	0
								270		270	0
	184	184	0								
03/jun	62,9%	87,3%	72%	100%	1152	146	2	3	1006	3	0
04/jun	52,4%	89,6%	59%	100%	1152	120	2	14	1032	14	0
05/jun	57,1%	89,6%	64%	100%	1152	120	2	7	1032	7	0
06/jun	38,5%	89,6%	43%	100%	1152	120	5	18	1032	18	0
07/jun	29,6%	89,6%	33%	100%	1152	120	4	4	1032	4	0
10/jun	62,4%	89,6%	70%	100%	1152	120	1,417	60	1032	60	0
11/jun	33,3%	89,6%	37%	100%	1152	120	5	1	1032	1	0
12/jun	36,3%	89,6%	41%	100%	1152	120	2	20	1032	20	0
13/jun	31,0%	89,6%	35%	100%	1152	120	2,833	10	1032	10	0
14/jun	40,6%	89,6%	45%	100%	1152	120	0,75	92	1032	92	0
17/jun	54,4%	89,6%	61%	100%	1152	120	2,167	14	1032	14	0
18/jun	82,0%	89,6%	92%	100%	1152	120	2,167	8	1032	8	0

19/jun	35,6%	89,6%	40%	100%	1152	120	3,166	9	1032	9	0
21/jun	42,2%	89,6%	47%	100%	1152	120	3,533	15	1032	15	0
24/jun	27,0%	89,6%	30%	100%	1152	120	2,833	12	1032	12	0
25/jun	28,6%	89,6%	32%	100%	1152	120	5	12	1032	12	0
26/jun	70,0%	89,6%	78%	100%	1152	120	5	52	1032	52	0
27/jun	22,2%	89,6%	25%	100%	1152	120	2	44	1032	44	0
28/jun	25,0%	89,6%	28%	100%	1152	120	1,25	10	1032	10	0
CT3357	43,8%	89,5%	49%	100%	21888	2306		405	19582	405	0
								635		635	0
								658		658	0
								656		656	0
								559		559	0
								277		277	0
								339		339	0
03/jun	34,0%	79,2%	43%	100%	576	120	14	14	456	14	0
04/jun	19,8%	89,6%	22%	100%	1152	120	2,5	23	1032	23	0
05/jun	27,8%	89,6%	31%	100%	1152	120	3,533	3	1032	3	0
06/jun	12,0%	89,6%	13%	100%	1152	120	3,533	19	1032	19	0
07/jun	25,0%	89,6%	28%	100%	1152	120	3,533	16	1032	16	0
10/jun	31,8%	89,6%	35%	100%	1152	120	2,66	27	1032	27	0
11/jun	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				0	0		
12/jun	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				0	0		
13/jun	31,8%	68,8%	46%	100%	576	180	6,533	28	396	28	0
14/jun	47,5%	89,6%	53%	100%	1152	120	0,75	92	1032	92	0
17/jun	24,3%	89,6%	27%	100%	576	60	4,75	11	516	11	0
18/jun	36,3%	89,6%	40%	100%	1152	120	3,166	17	1032	17	0
19/jun	31,1%	89,6%	35%	100%	1152	120	3,166	12	1032	12	0
21/jun	39,1%	89,6%	44%	100%	576	60	2,833	30	516	30	0

24/jun	30,4%	89,6%	34%	100%	1152	120	3,83	1	1032	1	0
25/jun	34,0%	89,6%	38%	100%	576	60	14	14	516	14	0
26/jun	21,9%	89,6%	24%	100%	1152	120	3,533	17	1032	17	0
27/jun	27,9%	89,6%	31%	100%	576	60	3,83	5	516	5	0
28/jun	41,6%	89,6%	46%	100%	576	60	4,75	2	516	2	0
CT3337	36,3%	88,4%	41%	100%	15552	1800		331	13752	331	0
								264		264	0
								267		267	0
								181		181	0
								66		66	0
								69		69	0
								17		17	0

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE D - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE SOLDA

Quadro 16 – Cálculo da OEE para a solda

Data	OEE	$D = (T_{pr} - T_{pa})/T_{pr}$	$P = (T_c \times Q_p)/T_r$	$Q = Q_c/(Q_c + Q_n)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
03/jun	70,4%	79,6%	88%	100%	588	120	46	9	468	9	0
04/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
05/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
06/jun	62,6%	77,6%	81%	100%	588	132	46	8	456	8	0
07/jun	62,6%	89,8%	78%	89%	588	60	46	9	528	8	1
10/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
11/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
12/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
13/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
14/jun	62,6%	89,8%	78%	89%	588	60	46	9	528	8	1
17/jun	70,4%	86,4%	81%	100%	588	80	46	9	508	9	0
18/jun	62,6%	83,0%	75%	100%	588	100	46	8	488	8	0
19/jun	62,6%	84,7%	74%	100%	588	90	46	8	498	8	0
21/jun	70,4%	69,4%	101%	100%	588	180	46	9	408	9	0
24/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
25/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
26/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
27/jun	70,4%	89,8%	87%	90%	588	60	46	10	528	9	1
28/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
Total H	67,5%	86,7%	79%	98%	11172	1482	46	167	9690	164	3
03/jun	54,8%	79,6%	69%	100%	588	120	23	7	468	7	0

04/jun	50,9%	83,0%	66%	93%	588	100	23	7	488	7	0
05/jun	58,7%	89,8%	65%	100%	588	60	23	7	528	7	0
06/jun	54,8%	77,6%	71%	100%	588	132	23	7	456	7	0
07/jun	54,8%	89,8%	74%	82%	588	60	23	8	528	7	1
10/jun	74,3%	89,8%	83%	100%	588	60	23	10	528	10	0
11/jun	54,8%	89,8%	70%	88%	588	60	23	8	528	7	1
12/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	23	10	528	10	0
13/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
14/jun	78,2%	89,8%	91%	95%	588	60	23	10	528	10	0
17/jun	97,8%	86,4%	113%	100%	588	80	23	13	508	13	0
18/jun	50,9%	72,8%	70%	100%	588	160	23	7	428	7	0
19/jun	86,1%	89,8%	100%	96%	588	60	23	11	528	11	0
21/jun	62,6%	69,4%	90%	100%	588	180	23	8	408	8	0
24/jun	66,5%	89,8%	83%	89%	588	60	23	9	528	8	1
25/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	23	10	528	10	0
26/jun	82,1%	89,8%	91%	100%	588	60	23	11	528	11	0
27/jun	82,1%	86,4%	95%	100%	588	80	23	10	508	10	0
28/jun	39,1%	89,8%	57%	77%	588	60	23	7	528	5	2
Total L	67,1%	85,9%	81%	96%	11172	1572	23	169	9600	164	5
							23	170		162	8
03/jun	54,8%	79,6%	69%	100%	588	120	23	7	468	7	0
04/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
05/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	23	8	528	8	0
06/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
07/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
10/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
11/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
12/jun	54,8%	89,8%	61%	100%	588	60	23	7	528	7	0
13/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0

14/jun	70,4%	79,6%	88%	100%	588	120	23	9	468	9	0
17/jun	70,4%	74,5%	95%	100%	588	150	23	9	438	9	0
18/jun	70,4%	79,6%	88%	100%	588	120	23	9	468	9	0
19/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
21/jun	70,4%	69,4%	101%	100%	588	180	23	9	408	9	0
24/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
25/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	23	6	528	6	0
26/jun	70,4%	79,6%	88%	100%	588	120	23	9	468	9	0
27/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	23	9	528	9	0
28/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	23	10	528	10	0
Total Braço	67,5%	85,8%	79%	100%	11172	1590	23	164	9582	164	0
							23	164		164	0
03/jun	48,3%	79,6%	61%	100%	588	120	12	7	468	7	0
04/jun	43,9%	69,4%	63%	100%	588	180	12	6	408	6	0
05/jun	45,9%	69,4%	66%	100%	588	180	12	6	408	6	0
06/jun	64,3%	84,7%	76%	100%	588	90	12	12	498	12	0
07/jun	56,1%	89,8%	63%	100%	588	60	12	10	528	10	0
10/jun	63,9%	89,8%	71%	100%	588	60	12	12	528	12	0
11/jun	39,8%	59,2%	67%	100%	588	240	12	6	348	6	0
12/jun	46,9%	49,0%	96%	100%	588	300	12	6	288	6	0
13/jun	69,4%	89,8%	77%	100%	588	60	12	12	528	12	0
14/jun	69,4%	89,8%	77%	100%	588	60	12	12	528	12	0
17/jun	63,6%	79,6%	80%	100%	588	120	12	11	468	11	0
18/jun	59,2%	74,5%	79%	100%	588	150	12	10	438	10	0
19/jun	41,5%	66,8%	62%	100%	588	195	12	6	393	6	0
21/jun	49,7%	69,4%	72%	100%	588	180	12	8	408	8	0
24/jun	53,7%	69,4%	77%	100%	588	180	12	10	408	10	0
25/jun	63,3%	89,8%	70%	100%	588	60	12	12	528	12	0
26/jun	61,2%	89,8%	68%	100%	588	60	12	10	528	10	0

27/jun	58,5%	74,5%	79%	100%	588	150	12	10	438	10	0
28/jun	36,7%	59,2%	62%	100%	588	240	12	7	348	7	0
Total Torre	54,5%	76,0%	72%	100%	11172	2685	12	173	8487	173	0
							12	177		177	0
							1	186		186	0
							1	186		186	0
							2	184		184	0
							2	184		184	0
						4	195		195	0	
03/jun	36,6%	89,6%	41%	100%	1152	120	42	1	1032	1	0
04/jun	37,7%	89,6%	42%	100%	1152	120	42	5	1032	5	
05/jun	25,0%	82,6%	30%	100%	1152	200	42	0	952		
06/jun	38,5%	89,6%	43%	100%	1152	120	42	6	1032	6	
07/jun	54,2%	89,6%	60%	100%	1152	120	42	8	1032	8	
10/jun	37,7%	89,6%	42%	100%	1152	120	42	1	1032	1	
11/jun	25,0%	82,6%	30%	100%	1152	200	42	0	952		
12/jun	0,0%	86,1%	4%	0%	1152	160	42	0	992		
13/jun	34,2%	89,6%	38%	100%	1152	120	42	1	1032	1	
14/jun	40,6%	94,8%	43%	100%	1152	60	42	0	1092		
17/jun	50,5%	82,6%	61%	100%	1152	200	42	5	952	5	
18/jun	43,2%	89,6%	48%	100%	1152	120	42	5	1032	5	
19/jun	36,1%	89,6%	40%	100%	1152	120	42	0	1032		
21/jun	30,6%	85,2%	36%	100%	1152	170	42	0	982		
24/jun	46,9%	89,6%	52%	100%	1152	120	42	6	1032	6	
25/jun	45,8%	89,6%	51%	100%	1152	120	42	2	1032	2	
26/jun	26,7%	85,2%	31%	100%	1152	170	42	0	982		
27/jun	35,7%	85,2%	45%	92%	1152	170	42	3	982	2	1
28/jun	29,2%	75,7%	39%	100%	1152	280	42	8	872	8	

Total Engate	35,5%	87,2%	41%	99%	21888	2810	42	51	19078	50	1
							42	6		6	0
							42	17		16	1
							32	33		33	0
							32	61		61	0
							32	50		50	0
							32	4		4	0
03/jun	29,4%	89,6%	32,8%	100%	1152	120	25	2	1032	2	
04/jun	26,9%	89,6%	30,0%	100%	1152	120	25	0	1032		
05/jun	44,5%	89,6%	49,7%	100%	1152	120	25	0	1032		
06/jun	15,5%	71,4%	21,8%	100%	1152	330	25	0	822		
07/jun	19,4%	71,4%	27,2%	100%	1152	330	25	0	822		
10/jun	30,4%	80,5%	37,8%	100%	1152	225	25	0	927		
11/jun	32,8%	89,6%	36,6%	100%	1152	120	25	0	1032		
12/jun	#DIV/0!	71,4%	0,0%	#DIV/0!	1152	330	25	0	822		
13/jun	42,8%	80,5%	53,2%	100%	1152	225	25	0	927		
14/jun	55,2%	89,6%	61,6%	100%	1152	120	25	0	1032		
17/jun	20,8%	71,4%	29,2%	100%	1152	330	25	0	822		
18/jun	50,7%	89,6%	56,6%	100%	1152	120	25	15	1032	15	
19/jun	19,5%	80,5%	24,3%	100%	1152	225	25	9	927	9	
21/jun	23,9%	84,4%	28,3%	100%	1152	180	25	9	972	9	
24/jun	19,5%	89,6%	21,8%	100%	1152	120	25	0	1032		
25/jun	29,4%	89,6%	32,8%	100%	1152	120	25	0	1032		
26/jun	51,9%	89,6%	57,9%	100%	1152	120	25	0	1032		
27/jun	20,8%	80,5%	25,9%	100%	1152	225	25	0	927		
28/jun	31,3%	89,6%	34,9%	100%	1152	120	25	4	1032	4	
Total Nave	29,7%	83,6%	35,6%	100%	21888	3600	25	39	18288	39	0
							7,25	76		76	0

							30	74		74	0
							25	52		52	0
							5	35		35	0
							9,75	132		132	0
03/jun	54,8%	84,7%	65%	100%	588	90	46	7	498	7	0
04/jun	62,6%	82,1%	76%	100%	588	105	46	8	483	8	0
05/jun	46,9%	78,7%	60%	100%	588	125	46	6	463	6	0
06/jun	31,3%	69,4%	45%	100%	588	180	46	4	408	4	0
07/jun	62,6%	84,7%	74%	100%	588	90	46	8	498	8	0
10/jun	62,6%	84,7%	74%	100%	588	90	46	8	498	8	0
11/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
12/jun	54,8%	79,6%	69%	100%	588	120	46	7	468	7	0
13/jun	78,2%	84,7%	92%	100%	588	90	46	10	498	10	0
14/jun	93,9%	84,7%	111%	100%	588	90	46	12	498	12	0
17/jun	93,9%	89,8%	105%	100%	588	60	46	12	528	12	0
18/jun	86,1%	82,1%	105%	100%	588	105	46	11	483	11	0
19/jun	70,4%	59,2%	119%	100%	588	240	46	9	348	9	0
21/jun	93,9%	89,8%	105%	100%	588	60	46	12	528	12	0
24/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
25/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
26/jun	62,6%	69,4%	90%	100%	588	180	46	8	408	8	0
27/jun	70,4%	87,2%	81%	100%	588	75	46	9	513	9	0
28/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
Total Engate	70,0%	82,6%	85%	100%	11172	1940	46	170	9232	170	0
03/jun	54,8%	89,8%	61%	100%	588	60	46	7	528	7	0
04/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
05/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
06/jun	46,9%	74,5%	63%	100%	588	150	46	6	438	6	0

07/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
10/jun	15,6%	28,6%	55%	100%	588	420	46	2	168	2	0
11/jun	39,1%	79,6%	49%	100%	588	120	46	5	468	5	0
12/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
13/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
14/jun	39,1%	89,8%	44%	100%	588	60	46	5	528	5	0
17/jun	46,9%	89,8%	52%	100%	588	60	46	6	528	6	0
18/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
19/jun	62,6%	83,0%	75%	100%	588	100	46	8	488	8	0
21/jun	46,9%	57,5%	82%	100%	588	250	46	6	338	6	0
24/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
25/jun	46,9%	59,2%	79%	100%	588	240	46	6	348	6	0
26/jun	62,6%	89,8%	70%	100%	588	60	46	8	528	8	0
27/jun	62,6%	84,7%	74%	100%	588	90	46	8	498	8	0
28/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
Total Stick	50,6%	81,3%	62%	100%	11172	2090	46	123	9082	123	0
03/jun	31,3%	89,8%	35%	100%	588	60	46	4	528	4	0
04/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
05/jun	78,2%	87,2%	90%	100%	588	75	46	10	513	10	0
06/jun	62,6%	79,6%	79%	100%	588	120	46	8	468	8	0
07/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
10/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
11/jun	70,4%	89,8%	78%	100%	588	60	46	9	528	9	0
12/jun	62,6%	69,4%	90%	100%	588	180	46	8	408	8	0
13/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
14/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
17/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
18/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0

19/jun	78,2%	87,2%	90%	100%	588	75	46	10	513	10	0
21/jun	62,6%	66,0%	95%	100%	588	200	46	8	388	8	0
24/jun	46,9%	64,3%	73%	100%	588	210	46	6	378	6	0
25/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
26/jun	70,4%	79,6%	88%	100%	588	120	46	9	468	9	0
27/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
28/jun	78,2%	89,8%	87%	100%	588	60	46	10	528	10	0
Total Boom	70,0%	84,8%	83%	100%	11172	1700	46	170	9472	170	0
03/jun	42,9%	83,0%	52%	100%	588	100	42	6	488	6	0
04/jun	50,0%	79,6%	63%	100%	588	120	42	7	468	7	0
05/jun	42,9%	72,8%	59%	100%	588	160	42	6	428	6	0
06/jun	35,7%	83,0%	43%	100%	588	100	42	5	488	5	0
07/jun	28,6%	78,7%	36%	100%	588	125	42	4	463	4	0
10/jun	42,9%	86,4%	50%	100%	588	80	42	6	508	6	0
11/jun	35,7%	89,8%	40%	100%	588	60	42	5	528	5	0
12/jun	50,0%	83,0%	60%	100%	588	100	42	7	488	7	0
13/jun	57,1%	86,4%	66%	100%	588	80	42	8	508	8	0
14/jun	57,1%	89,8%	64%	100%	588	60	42	8	528	8	0
17/jun	57,1%	83,0%	69%	100%	588	100	42	8	488	8	0
18/jun	57,1%	86,4%	66%	100%	588	80	42	8	508	8	0
19/jun	28,6%	59,2%	48%	100%	588	240	42	4	348	4	0
21/jun	50,0%	88,9%	56%	100%	588	65	42	7	523	7	0
24/jun	57,1%	85,5%	67%	100%	588	85	42	8	503	8	0
25/jun	28,6%	55,8%	51%	100%	588	260	42	4	328	4	0
26/jun	50,0%	88,1%	57%	100%	588	70	42	7	518	7	0
27/jun	57,1%	86,4%	66%	100%	588	80	42	8	508	8	0
28/jun	42,9%	89,8%	48%	100%	588	60	42	6	528	6	0

Total Lateral	45,9%	81,9%	56%	100%	11172	2025	42	122	9147	122	0
03/jun	32,7%	86,4%	38%	100%	588	80	17,5	11	508	11	0
04/jun	47,6%	88,9%	54%	100%	588	65	17,5	16	523	16	0
05/jun	38,7%	81,3%	48%	100%	588	110	17,5	13	478	13	0
06/jun	#DIV/0!	0,0%	#DIV/0!	#DIV/0!	588	588	17,5	0	0	0	0
07/jun	26,8%	72,8%	37%	100%	588	160	17,5	9	428	9	0
10/jun	17,9%	89,8%	20%	100%	588	60	17,5	6	528	6	0
11/jun	59,5%	89,8%	66%	100%	588	60	17,5	20	528	20	0
12/jun	56,5%	89,8%	63%	100%	588	60	17,5	19	528	19	0
13/jun	59,5%	89,8%	66%	100%	588	60	17,5	20	528	20	0
14/jun	53,6%	89,8%	60%	100%	588	60	17,5	18	528	18	0
17/jun	53,6%	89,8%	60%	100%	588	60	17,5	18	528	18	0
18/jun	59,5%	89,8%	66%	100%	588	60	17,5	20	528	20	0
19/jun	38,7%	89,8%	43%	100%	588	60	17,5	13	528	13	0
21/jun	20,8%	65,1%	32%	100%	588	205	17,5	7	383	7	0
24/jun	29,8%	89,8%	33%	100%	588	60	17,5	10	528	10	0
25/jun	32,7%	89,8%	36%	100%	588	60	17,5	11	528	11	0
26/jun	23,8%	89,8%	27%	100%	588	60	17,5	8	528	8	0
27/jun	23,8%	89,8%	27%	100%	588	60	17,5	8	528	8	0
28/jun	38,7%	89,8%	43%	100%	588	60	17,5	13	528	13	0
Total Plantadeira	37,6%	82,2%	46%	100%	11172	1988	17,5	240	9184	240	0
03/jun	43,4%	88,9%	49%	100%	588	65	85	3	523	3	0
04/jun	57,8%	88,9%	65%	100%	588	65	85	4	523	4	0
05/jun	57,8%	89,8%	64%	100%	588	60	85	4	528	4	0
06/jun	43,4%	89,8%	48%	100%	588	60	85	3	528	3	0
07/jun	57,8%	86,4%	67%	100%	588	80	85	4	508	4	0
10/jun	57,8%	89,8%	64%	100%	588	60	85	4	528	4	0

11/jun	43,4%	74,5%	58%	100%	588	150	85	3	438	3	0
12/jun	43,4%	89,8%	48%	100%	588	60	85	3	528	3	0
13/jun	43,4%	89,8%	48%	100%	588	60	85	3	528	3	0
14/jun	57,8%	89,8%	64%	100%	588	60	85	4	528	4	0
17/jun	14,5%	77,9%	19%	100%	588	130	85	1	458	1	0
18/jun	43,4%	77,9%	56%	100%	588	130	85	3	458	3	0
19/jun	57,8%	89,8%	64%	100%	588	60	85	4	528	4	0
21/jun	43,4%	52,4%	83%	100%	588	280	85	3	308	3	0
24/jun	43,4%	81,3%	53%	100%	588	110	85	3	478	3	0
25/jun	43,4%	77,9%	56%	100%	588	130	85	3	458	3	0
26/jun	28,9%	38,8%	75%	100%	588	360	85	2	228	2	0
27/jun	43,4%	77,9%	56%	100%	588	130	85	3	458	3	0
28/jun	43,4%	74,5%	58%	100%	588	150	85	3	438	3	0
Total H-carregadeira	45,6%	80,3%	57%	100%	11172	2200	85	60	8972	60	0
03/jun	53,6%	82,1%	65%	100%	588	105	45	6	483	6	0
04/jun	76,5%	87,2%	88%	100%	588	75	45	10	513	10	0
05/jun	91,8%	86,4%	106%	100%	588	80	45	12	508	12	0
06/jun	30,6%	64,3%	48%	100%	588	210	45	1	378	1	0
07/jun	10,2%	45,6%	22%	100%	588	320	45	0	268	0	0
10/jun	51,0%	89,8%	57%	100%	588	60	45	5	528	5	0
11/jun	71,4%	79,6%	90%	100%	588	120	45	7	468	7	0
12/jun	38,3%	77,9%	49%	100%	588	130	45	1	458	1	0
13/jun	38,3%	86,4%	44%	100%	588	80	45	3	508	3	0
14/jun	76,5%	86,4%	89%	100%	588	80	45	10	508	10	0
17/jun	76,5%	89,8%	85%	100%	588	60	45	10	528	10	0
18/jun	76,5%	89,8%	85%	100%	588	60	45	10	528	10	0
19/jun	48,5%	77,0%	63%	100%	588	135	45	6	453	6	0
21/jun	15,3%	71,1%	22%	100%	588	170	45	0	418	0	0

24/jun	74,0%	77,0%	96%	100%	588	135	45	9	453	9	0
25/jun	35,7%	69,4%	51%	100%	588	180	45	4	408	4	0
26/jun	33,2%	74,5%	45%	100%	588	150	45	3	438	3	0
27/jun	114,8%	89,8%	128%	100%	588	60	45	15	528	15	0
28/jun	38,3%	89,8%	43%	100%	588	60	45	5	528	5	0
Total Lateral H	55,3%	79,7%	69%	100%	11172	2270	45	117	8902	117	0
							15	61		61	0
	51,0%	83,2%	62%	99,5%	166668	27952			138716	3794	18

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE E - CÁLCULO DA OEE PARA O PROCESSO DE PINTURA

Quadro 17 – Cálculo da OEE para a pintura

Data	OEE	$D = (T_{pr} - T_{pa}) / T_{pr}$	$P = (T_c \times Q_p) / T_r$	$Q = Q_c / (Q_c + Q_n)$	Tempo programado (Tpr)	Tempo parado (Tpa)	Tempo de ciclo (Tc)	Quantidade Produzida (Qp)	Tempo real de operação (Tr)	Quantidade de itens conformes (Qc)	Quantidade de itens não conformes (Qn)
03/jun	31,4%	76,4%	42%	98%	610	144	4	49	466	308	7
04/jun	35,5%	75,3%	57%	83%	608	150	4	65	458	260	53
05/jun	33,9%	70,8%	52%	91%	658	192	4	61	466	306	29
06/jun	32,8%	65,7%	52%	97%	613	210	4	52	403	257	9
07/jun	39,5%	80,3%	51%	96%	610	120	4	63	490	404	18
10/jun	53,7%	90,0%	63%	95%	601	60	4	85	541	337	18
11/jun	46,2%	91,0%	55%	93%	667	60	4	83	607	297	23
12/jun	46,0%	89,8%	57%	90%	589	60	4	75	529	411	44
13/jun	44,4%	80,0%	60%	93%	601	120	4	72	481	287	23
14/jun	49,5%	89,9%	58%	95%	593	60	4	77	533	348	17
17/jun	49,8%	89,7%	58%	96%	581	60	4	75	521	358	13
18/jun	34,8%	79,6%	47%	94%	646	132	4	60	514	246	17
19/jun	50,3%	90,1%	58%	97%	606	60	4	79	546	420	15
21/jun	29,3%	23,5%	133%	94%	588	450	4	46	138	262	18
24/jun	42,8%	90,7%	49%	97%	645	60	4	71	585	490	14
25/jun	42,6%	78,2%	56%	98%	633	138	4	69	495	514	12
26/jun	25,8%	53,1%	60%	81%	588	276	4	47	312	163	39
27/jun	32,5%	80,2%	49%	82%	607	120	4	60	487	163	35
28/jun	27,4%	18,4%	156%	96%	588	480	4	42	108	255	11
Total	39,6%	74,6%	57%	94%	11632	2952	4	1231	8680	6086	415

Fonte: Elaborado pelo autor