

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**A UTILIZAÇÃO DE SISTEMA MES NA APLICAÇÃO DA  
GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA MELHORIA DE  
DESEMPENHO E ADAPTAÇÃO DO PROCESSO  
PRODUTIVO DE MONTAGEM AUTOMÁTICA DE PLACAS  
ELETRÔNICAS**

**ANTONIO MARCOS DA SILVA**

**MANAUS**

**2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANTONIO MARCOS DA SILVA**

**A UTILIZAÇÃO DE SISTEMA MES NA APLICAÇÃO DA GESTÃO DO  
CONHECIMENTO PARA MELHORIA DE DESEMPENHO E ADAPTAÇÃO DO  
PROCESSO PRODUTIVO DE MONTAGEM AUTOMÁTICA DE PLACAS  
ELETRÔNICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão de Produção.

**Orientador: Prof. Dr. Sc. Manuel Augusto Pinto Cardoso**

**MANAUS**

**2014**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586u SILVA, Antonio Marcos da  
A utilização de sistema MES na aplicação da gestão do conhecimento para melhoria de desempenho e adaptação do processo produtivo de montagem automática de placas eletrônicas / Antonio Marcos da SILVA. 2014  
97 f.: il. color; 30 cm.

Orientador: Manuel Augusto Pinto Cardoso  
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas.

1. MES. 2. Conhecimento. 3. Manufatura. 4. Melhoria. I. Cardoso, Manuel Augusto Pinto II. Universidade Federal do Amazonas III.  
Título

ANTONIO MARCOS DA SILVA

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMA MÉS NA APLICAÇÃO DA GESTÃO  
DO CONHECIMENTO PARA MELHORIA DE DESEMPENHO E  
ADAPTAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE MONTAGEM  
AUTOMÁTICA DE PLACAS ELETRÔNICAS

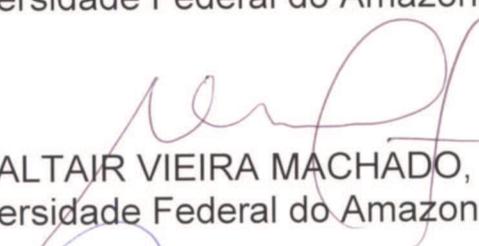
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Aprovada em 28 de agosto de 2014.

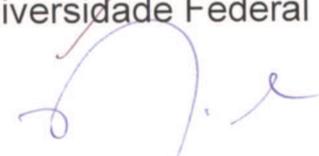
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. MANUEL AUGUSTO PINTO CARDOSO, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. WALTAIR VIEIRA MACHADO, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. NIOMAR LINS PIMENTA, Membro.  
Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Tatiane e aos meus filhos Vinícius e Gabriel, que sempre estão ao meu lado, apoiando-me nas decisões tomadas.

Ao meu irmão Ricardo, que me suporta tecnicamente em determinadas ocasiões.

Aos meus pais, Antonio e Lindalva, pela dedicação e preocupação que tiveram comigo, além do amor e carinho que sempre me deram, dedico-lhes essa conquista como gratidão.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço ao meu orientador Prof. Manuel Cardoso, pelo grande estímulo e pela ajuda, além da paciência, prontidão e disponibilidade que sempre teve para discutirmos horas e horas esse trabalho.

Reconheço, também, a grande importância dos demais professores nesse processo de aprendizagem e o companheirismo e o apoio dos colegas.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade para adentrar no belo e maravilhoso mundo do saber”.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, pois a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.

**ALBERT EINSTEIN** (1879 – 1955), físico alemão e um dos maiores gênios do século XX

## RESUMO

Essa pesquisa mostra o uso do Sistema *Manufacturing Execution Systems* (MES) na aplicação sistêmica da Gestão do Conhecimento em uma empresa de manufatura de produtos eletrônicos, inserida em um ambiente de competitividade crescente com inovações tecnológicas frequentes. Esse quadro gera instabilidade no mercado devido ao fato de produtos e serviços apresentarem ciclo de vida cada vez menores, de consumidores serem mais exigentes, de haver demandas instáveis num contexto de pequena rentabilidade, o que caracteriza um comportamento de organizações complexas e adaptativas. A maximização da rentabilidade ocorre fundamentalmente através da redução do custo de manufatura, pois esse item representa, em geral, 20% do custo final do produto, ao passo que o restante refere-se a componentes e insumos commodities. Tal redução apresenta como pressupostos a eliminação de perdas e a racionalização do fluxo do processo produtivo, com aplicação da gestão do conhecimento na obtenção de melhorias e inovações para as adaptações necessárias diante das mudanças internas (fabril) e externas (mercado). Em decorrência de a montagem de grande parte dos produtos eletrônicos apresentarem um fluxo de processos com várias etapas, o objeto da pesquisa foi a fase gargalo do processo que conta com os recursos de valores expressivos e operadores mais capacitados. Mesmo com toda essa significância para a cadeia produtiva identificaram-se muitos pontos frágeis, antes despercebidos, com base na realidade anterior. Tais pontos foram corrigidos com a aplicação da metodologia proposta, com os resultados comprovando a relevância do uso da ferramenta MES para o desenvolvimento e consolidação da competitividade da organização.

**Palavras-chaves:** MES – conhecimento – manufatura – melhoria

## **ABSTRACT**

This research presents the use of MES System in the systematic application of Knowledge Management in an electronic product manufacturing company, implanted in an environment of constantly increasing competitiveness with technological innovations that generate instability in a market with life cycle of products and services ever getting smaller, with more demanding consumers, unstable demands and small profitability, that characterize a behavior of complex and adaptive organization. Maximization of profitability occurs fundamentally through the reduction of manufacturing cost, which represents, in general, 20% of the final cost of the product, where the remaining relates to components and raw materials. The manufacturing costs can be reduced through the elimination of losses and rationalization of flow of the production process, with application of knowledge management in achieving improvement and innovations for necessary adaptation ahead of internal (industrial) and external (market) changes. It's a fact that, the assembling of most parts of electronic products involve a process of various stages, the purpose of the research was the bottleneck stage of the process which relies on resources of significant values and highly skilled operators. Even with all its significance to the production chain many weaknesses were identified which were not perceived based on realities of the past. These points were corrected with application of the proposed methodology and the results prove the relevance of the MES tool for development and consolidation of the organizational competitiveness.

**Keywords:** MES – knowledge – manufacture – improvement

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – O processo de interação e aprendizado entre o agente e seu ambiente .  | 15 |
| Figura 2 – Regiões de comportamento dos sistemas complexos .....  | 20 |
| Figura 3 – Hierarquia do conhecimento .....   | 22 |
| Figura 4 – O modelo de espiral do conhecimento .....  | 24 |
| Figura 5 – Amplificação da criação do conhecimento organizacional .....   | 25 |
| Figura 6 – Visão geral do modelo ISA S95-1 para os níveis de gerenciamento da<br>informação integrada de uma empresa de manufatura..... | 28 |
| Figura 7 – Níveis de modelo baseado no ISA S95-1.....   | 30 |
| Figura 8 – Os 8 pilares do TPM.....   | 33 |
| Figura 9 – Estágios do TPM (da Produção a toda Companhia) .....   | 39 |
| Figura 10 – OEE x Tempos.....   | 41 |
| Figura 11 – Visão espacial do OEE.....  | 43 |
| Figura 12 – Fluxo de montagem de produtos eletrônicos .....   | 44 |
| Figura 13 – Mapa do Fluxo de valor com tempos estimados .....   | 44 |
| Figura 14 – Linha de montagem de componentes SMT.....   | 45 |
| Figura 15 – Inseroras radial e axial, placa e componentes PTH .....   | 46 |
| Figura 16 – Componentes eletrônicos e máquina híbrida .....   | 47 |
| Figura 17 – Linha de montagem de componentes manual .....   | 47 |
| Figura 18 – Estação de teste elétrico e linha de montagem final .....   | 48 |
| Figura 19 – Configuração tradicional de uma linha SMT .....   | 49 |
| Figura 20 – Alimentadores e carrinhos para alimentadores e bandejas.....  | 50 |
| Figura 21 – Dimensão comparativa dos componentes SMT e sua embalagem .....  | 51 |
| Figura 22 – Eficiência de realização.....   | 53 |
| Figura 23 – Eficiência de velocidade.....   | 54 |
| Figura 24 – Gráfico dos últimos ciclos de montagem.....   | 55 |
| Figura 25 – Eficiência média dos ciclos de montagem nas últimas 24 horas.....   | 56 |
| Figura 26 – Performance de um único equipamento e a perda de componentes<br>durante as montagens .....                                  | 57 |
| Figura 27 – Gráfico de balanceamento dos ciclos produtivos em uma linha de<br>produção .....  | 58 |
| Figura 28 – Performance das máquinas em um turno de trabalho.....   | 59 |
| Figura 29 – Performance média de um equipamento nos 3 turnos de trabalho .....  | 60 |
| Figura 30 – Interação entre os agentes com foco no processo produtivo .....   | 64 |
| Figura 31 – Comparativo entre os tempos de ciclo antes e depois .....   | 66 |
| Figura 32 – Caixa de componentes SMT .....  | 68 |
| Figura 33 – Prateleira de componentes SMT .....   | 69 |
| Figura 34 – Melhoria na eficiência de realização .....  | 70 |
| Figura 35 – Evolução do OEE .....   | 71 |
| Figura 36 – Tela para monitoramento de performance .....  | 72 |
| Figura 37 – Monitoramento através de tablets ou smartphones.....  | 72 |
| Figura 38 – Cronograma de atividades .....  | 74 |
| Figura 39 – Estrutura analítica das atividades com o tempo estimado .....   | 74 |
| Figura 40 – Estrutura analítica das atividades com andamento.....   | 75 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Resumo dos 4 níveis de evolução do TPM ..... | 36 |
| Quadro 2 – Gerações do TPM .....                        | 38 |
| Quadro 3 – Resumo dos Objetivos .....                   | 78 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Tempos iniciais de montagem.....   | 65 |
| Tabela 2 – Novos tempos de montagem.....      | 66 |
| Tabela 3 – Resumo consolidado dos ganhos..... | 67 |
| Tabela 4 – Evolução do OEE .....              | 70 |

## LISTA DE SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| AOI   | <i>Automated Optical Inspection</i> ou inspeção óptica automática                                |
| BBU   | <i>Bare Board Unit</i> ou dispositivo para posicionar placas de circuito impresso                |
| BI    | <i>Business Intelligence</i>   |
| CRM   | Customer Relationship Management   |
| ERP   | <i>Enterprise Resource Planning</i>  |
| GPS   | <i>Global Positioning System</i> ou sistema de posicionamento global                             |
| IAC   | Inserção Automática de Componentes   |
| IMC   | Inserção Manual de Componentes   |
| LEF   | Lote Econômico de Fabricação   |
| MCC   | Manutenção Centrada na Confiabilidade  |
| MES   | Manufacturing Execution Systems ou sistemas de execução de manufatura                            |
| MFT   | Montagem Final e Testes  |
| OEE   | <i>Overall Equipment Effectiveness</i> ou eficiência global dos equipamentos                     |
| PIM   | Pólo Industrial de Manaus  |
| PLC   | Programmable Logic Control   |
| PLM   | <i>Product Lifecycle Management</i>  |
| SCA   | Sistema Complexo Adaptativo  |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>  |
| SMED  | <i>Single Minute Exchange of Die</i> ou troca rápida de ferramenta                               |
| SMT   | <i>Surface Mounting Technology</i> ou tecnologia de montagem em superfície                       |
| SPI   | <i>Solder Paste Inspection</i> ou inspeção de pasta de solda                                     |
| TEEP  | <i>Total Effectiveness Equipment Performance</i> ou produtividade efetiva total dos equipamentos |
| TPM   | <i>Total Productive Maintenance</i> ou manutenção produtiva total                                |
| WCMI  | <i>World Class Manufacturing Indicators</i> ou indicadores de manufatura de classe mundial       |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 13 |
| 1.1 DO CONTEXTO AO PROBLEMA .....   | 13 |
| 1.2 OBJETIVOS .....   | 13 |
| <b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....   | 13 |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....  | 14 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....   | 14 |
| 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....   | 16 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....   | 16 |
| <br>  |    |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | 17 |
| 2.1 OS SISTEMAS COMPLEXOS ADAPTATIVOS .....   | 17 |
| 2.2 O SISTEMA DE MANUFATURA COMO UM SCA .....   | 19 |
| 2.3 GESTÃO DO CONHECIMENTO .....  | 22 |
| 2.4 O MANUFACTURE EXECUTION SYSTEMS .....   | 26 |
| 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO .....   | 31 |
| <b>2.5.1 A importância do indicador de eficiência global contextualizado pelo TPM</b> ..... | 31 |
| <b>2.5.2 Forma de cálculo do OEE</b> .....  | 39 |
| <b>2.5.3 Relação entre o OEE e a Gestão do Conhecimento</b> .....                           | 42 |
| <br>  |    |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....  | 44 |
| <br>  |    |
| <b>4 RESULTADOS</b> .....   | 62 |
| <br>  |    |
| <b>5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES</b> .....   | 74 |
| <br>  |    |
| <b>CONCLUSÕES</b> .....   | 76 |
| <br>  |    |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 80 |
| <br>  |    |
| <b>OBRAS CONSULTADAS</b> .....  | 83 |
| <br>  |    |
| <b>ANEXOS</b> .....   | 85 |

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 DO CONTEXTO AO PROBLEMA**

A globalização da economia com a grande diversidade de empresas concorrentes de diversos países, com diferentes regimes de governo, faz com que a competitividade se torne cada vez mais imprevisível e complexa. Nesse contexto de mudanças, o modelo clássico de gestão administrativo, baseado na linearidade e reducionismo de sua estrutura, tem se mostrado inadequado para a avaliação e determinação do comportamento organizacional. Assim sendo, uma abordagem administrativa baseada nos conceitos de um Sistema Complexo Adaptativo (SCA) mostra-se mais pertinente.

As organizações são sistemas que se caracterizam por possuírem agentes, ou partes, formadas por seres humanos, sendo que a descrição de seu comportamento se define pelas interações de suas partes através de sistemas de comunicação. Segundo a definição de Simon (1976, p. XVII), "o termo organização refere-se ao complexo padrão de comunicação e de relacionamentos num grupo de seres humanos". Este trabalho terá como objeto de estudo as organizações empresariais de manufatura de produtos eletrônicos, especificamente o que se refere ao processo de Inserção Automática de Componentes (IAC).

Dessa forma, a pesquisa feita focará em mostrar como o fortalecimento da identidade da organização feito de forma sistêmica, com auxílio de um sistema de MES (tecnologia de informação) e da Gestão do Conhecimento (explorando a transformação do conhecimento tácito em explícito e do explícito em tácito dentro de um ciclo virtuoso) pode contribuir para a melhoria contínua do processo produtivo e o aumento quantitativo nos indicadores de performance para garantir a perenização da empresa, através da manutenção da competitividade.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Demonstrar como o fortalecimento da identidade das organizações feito

de forma sistêmica, com auxílio de um sistema MES e da Gestão do Conhecimento pode contribuir para a melhoria de desempenho do processo produtivo de uma empresa de manufatura de produtos eletroeletrônicos do Pólo Industrial de Manaus (PIM).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 1) Identificar e corrigir as perdas que influenciam nos indicadores de desempenho (OEE);
- 2) Avaliar e melhorar as interações entre os agentes envolvidos no processo produtivo;
- 3) Propor uma forma sistêmica e estruturada para manutenção da Gestão do Conhecimento na empresa.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

É grande o desafio das organizações de manufatura de produtos eletrônicos, inserida em um ambiente de competitividade crescente com inovações tecnológicas frequentes. Esse quadro gera instabilidade no mercado devido ao fato de produtos e serviços apresentarem ciclo de vida cada vez menores, de consumidores serem mais exigentes, de haver demandas instáveis num contexto de pequena rentabilidade, o que caracteriza um comportamento de organizações complexas e adaptativas. A maximização da rentabilidade ocorre fundamentalmente através da redução do custo de manufatura, pois esse item representa, em geral, 20% do custo final do produto, ao passo que o restante refere-se a componentes e insumos commodities. Tal redução apresenta como pressupostos a eliminação de perdas e a racionalização do fluxo do processo produtivo, com aplicação da gestão do conhecimento na obtenção de melhorias e inovações para as adaptações necessárias diante das mudanças internas (fabril) e externas (mercado).

Como descrito por Gell-Mann (1996) e Holland (1997), através das interações do agente com o ambiente são extraídas informações e aprendizados que norteiam as ações e adaptações do agente com seu ambiente. Esse processo de interação e aprendizado entre o agente e o seu ambiente, demonstrado na Figura 1, tem como

base a noção de que o agente percebe o ambiente, através de medições de indicadores de desempenho do ambiente. Em seguida, analisa os dados e informações medidos a partir de suas regras de conhecimentos tácitos e explícitos. A partir daí, infere e aplica a ação que espera resultar no comportamento desejado do ambiente. Esse ciclo de eventos se repete até que o resultado das ações aplicadas seja considerado satisfatório pelo agente. Ao longo da execução desses ciclos de interação são validados os conhecimentos e ações aplicadas, através dos resultados medidos. Com isso, o agente tem a possibilidade de aprender novos conhecimentos, adquiridos pela experimentação da interação com o ambiente, bem como pela promoção de mudanças no seu ambiente.

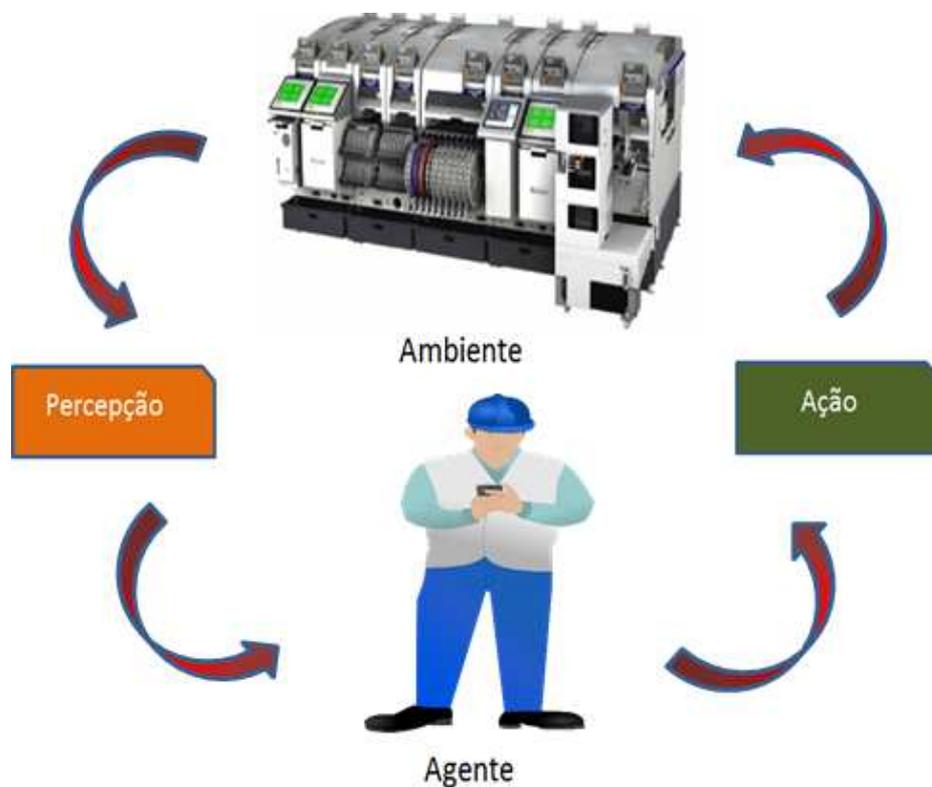


Figura 1 – O processo de interação e aprendizado entre o agente e seu ambiente

Em função de o **PIM** possuir uma gama muito grande de empresas de manufatura de produtos eletroeletrônicos, o estudo feito pode ser de grande valia e agregar uma contribuição intelectual relevante tanto às organizações que tiverem acesso ao projeto, como à **Universidade Federal do Amazonas**.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O projeto de pesquisa deteve-se a analisar a performance do processo produtivo apenas no setor de montagem automática das placas eletrônicas, mais especificamente nas atividades envolvendo a tecnologia de montagem em superfície ou *Surface Mounting Technology (SMT)*.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em:

Capítulo 1 – Introdução que mostra o contexto e o problema, além da identificação de objetivos, justificativa, delimitação e estrutura da pesquisa;

Capítulo 2 – Revisão da literatura correlata ao tema;

Capítulo 3 – Metodologia que apresenta o método utilizado, natureza, tipo da pesquisa, coleta de dados e etapas da pesquisa;

Capítulo 4 – Resultados;

Capítulo 5 – Cronograma de atividades;

Conclusões;

Referências bibliográficas; e

Anexos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 OS SISTEMAS COMPLEXOS ADAPTATIVOS

Os comportamentos dos SCA são indeterminísticos e descritos pelas interações entre seus agentes, ou suas partes, e entre tais agentes e o meio ambiente. As mudanças internas e do ambiente fazem com que haja desvios de comportamento do sistema em relação ao esperado, os quais podem ser corrigidos ou minimizados, para que o sistema apresente um comportamento previsível, mesmo que os resultados fiquem aquém dos parâmetros estabelecidos no planejamento. Por outro lado, se tais desvios são amplificados para além de determinados limites críticos, o sistema se torna instável, acarretando a formação de fenômenos de transição que o levam para um comportamento desordenado.

As diferenciações de comportamento diante das mudanças são feitas, entre diversas opções, pelas escolhas de ações adaptativas que buscam levar o sistema de volta para a estabilidade, ou seja, maior previsibilidade. As escolhas que forem sendo feitas ao longo das adaptações para as mudanças ocorridas criam pontos de referência para descrever a história evolutiva de seu processo de adaptação (GELLMANN, 1996). Entretanto, as escolhas das mudanças não são feitas de forma aleatória. Em geral, elas representam os conhecimentos gerados pelas experiências de adaptações passadas, cujos resultados percebidos devem ser avaliados até que se obtenha a adaptação necessária, em virtude de serem referência para as escolhas de ações adaptativas no contexto atual. Tal processo de escolhas se fazem semelhantes ao processo seletivo da evolução biológica (DAWKINS, 2009). Importante salientar que uma organização SCA pode ser considerada artificial, pois seus agentes são seres humanos, caracterizados por possuírem discernimento de escolha e ação de forma individual, e evolutiva, uma vez que as ações adaptativas da organização também são capazes de mudar o seu meio ambiente.

Em uma organização SCA, o objetivo é realizar, da forma mais previsível possível, as estratégias de desempenho operacional planejadas. Para tanto se fazem necessárias ações colaborativas de seus agentes, que se diferenciam na sua relação com o meio ambiente, pois se especializam em metas operacionais distintas. Agentes especializados em melhorar a qualidade da manufatura, bem como a

logística de compra de insumos, configuram-se como exemplos desse quadro. Em decorrência disso, não só suas interações com o ambiente são diferentes, bem como suas escolhas e adaptações. Entretanto, é importante salientar que, no caso de organizações nas quais os agentes são seres humanos, as escolhas das ações adaptativas são individuais, prevalecendo as escolhas em função de seus interesses pessoais ou da condição de conforto para sua realização. Este trabalho anseia demonstrar que a aplicação sistêmica da gestão do conhecimento auxilia no estabelecimento das diretrizes, as quais evidenciam que as escolhas das ações adaptativas individuais são convergentes com os interesses da organização. No caso particular da organização de manufatura, os seus agentes, mesmo se diferenciando, fazem escolhas e agem de forma colaborativa para o objetivo comum de melhoria dos indicadores do desempenho produtivo.

A propriedade básica dos SCA é a adaptação, no sentido de que o sistema é capaz de ajustar o seu comportamento a partir do que consegue perceber sobre as condições do seu meio ambiente e sobre seu desempenho. Em resumo, é lícito afirmar que os SCA aprendem e se adaptam a partir desses aprendizados (MARCIA AGOSTINHO, 2003). Segundo Holland (1997), uma característica importante dos sistemas complexos adaptativos é a sua capacidade de aprender à medida que interagem com o ambiente, isto é, um sistema complexo adaptativo é aquele cujos componentes, os agentes adaptativos, interagem entre si de modo a produzir aprendizagem. Em função do aprendizado, esses sistemas estão em constante evolução, pois mudam os tipos de interação entre agentes adaptativos de acordo com a experiência adquirida na sua relação com o ambiente. Por outro lado, se o sistema atingir equilíbrio estável da previsibilidade de seu ambiente e comportamento por muito tempo, ocorre a diminuição da sua capacidade de adaptação. É notório que, como afirmou o filósofo pré-socrático grego Heráclito, "... o único fato que jamais irá mudar é a mudança". Assim, tais mudanças inexoráveis do meio ambiente, por exemplo, podem representar uma longa permanência na desordem, causando a sua possível morte (NUSSENZVEIG, 1999; GLEISER, 2002).

Com base em Coelho (2001), um SCA baseia-se na interação de muitos agentes, obedecendo a regras definidas de modo que seu comportamento se adéque em razão do comportamento dos demais, de forma a aprender, evoluir e interagir com vários outros sistemas adaptativos complexos. Desse modo, a

sobrevivência desses sistemas ocorre exatamente em função da capacidade de aprendizagem e evolução de forma adaptativa ao contexto que está inserido.

## 2.2 O SISTEMA DE MANUFATURA COMO UM SCA

A globalização da economia com um número crescente da competitividade das empresas de manufatura, em países com regimes políticos e econômicos diversos, tem provocado uma diminuição significativa da margem de rentabilidade dos produtos, com uma exigência crescente de diversidade, qualidade e flexibilidade para variações de quantidade e prazos de entrega. Além disso, o avanço tecnológico nas últimas décadas tem apresentado inovações de produtos e processos cada vez mais constantes, que trazem mudanças desordenadoras e uma gestão cada vez mais complexa e indeterminista. Nesse contexto de mudanças constantes, a administração clássica determinista e reducionista, a qual considera o todo como a soma de suas partes, tem se mostrado incapaz de efetivar os planos de produção com desempenho conforme planejado. Fica evidente que já não basta ter somente os recursos necessários para produzir, pois são muitas as variáveis e interações que ocorrem no fluxo do processo produtivo, com realimentações ordenadoras (realimentação negativa) e desordenadoras (realimentação positiva) simultaneamente, elementos que tornam indefinidas as relações de causa e efeito do comportamento observado da produção.

Por isso, os conceitos baseados em sistemas complexos adaptativos, SCA, surgem como opção de gestão para o processo produtivo, em razão de descreverem o comportamento organizacional a partir das interações entre os seus agentes e o meio ambiente. Por meio desse instrumento, procura-se observar e melhorar os padrões das ações adaptativas realizadas pelos agentes, denominada identidade do sistema, que, por sua vez, define a capacidade de auto-organização do sistema como um todo.

É importante compreender que um SCA de manufatura deverá ter um estado de comportamento médio de desempenho, denominado zona da complexidade, por meio do qual a organização se comporta de forma mais flexível e criativa, para se adaptar de forma eficaz no que tange às mudanças do seu ambiente. Essa zona da complexidade está no limite entre a ordem e o caos, conforme Figura 2. Essa

situação revela um estado paradoxal, no qual o comportamento deve ser, de modo concomitante, minimamente estável para que o sistema não se desintegre e minimamente instável para que não fique estagnado.

Do ponto de vista sistêmico da organização da manufatura, é possível apontar cinco principais grupos de agentes com interações diferenciadas em relação ao ambiente fabril, que interagem entre si: produção, manutenção, engenharia, planejamento e qualidade. Portanto, é indispensável melhorar as interações entre esses grupos e seus respectivos agentes, de forma colaborativa, para se obter um desempenho de realização produtiva mais próximo do planejado, com capacidade de auto-organização eficiente diante das ocorrências de mudanças desordenadoras, sem a necessidade de controles centralizados.

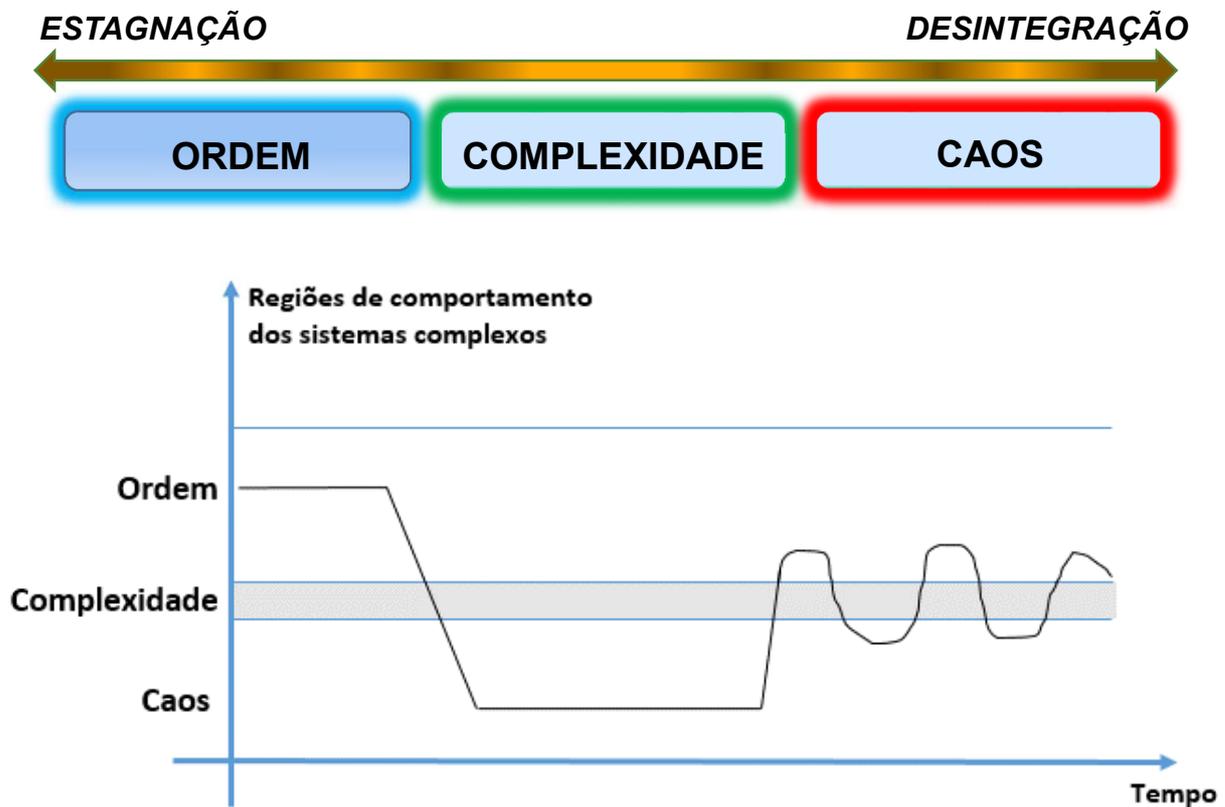


Figura 2 – Regiões de comportamento dos sistemas complexos

Fonte: Adaptada de Cunha, 2001; Parker e Stacey, 1995

Um sistema pode ter sua complexidade medida através da informação, gerada por ele mesmo, a qual está ligada à entropia de Shannon, descrita na teoria da informação. Em seu artigo clássico, Shannon (1948), através da teoria

matemática da comunicação ou *A Mathematical Theory of Communication*, definiu que, para diferenciar-se do modelo idealizado por Boltzmann, o conteúdo da informação é a entropia da fonte de comunicação, também denominada de entropia de Shannon. Shannon considerou a entropia como as mensagens (microestados) distintas que poderiam ser enviadas por um transmissor, ou fonte, para um receptor (macroestado), e definiu que o conteúdo dessa informação transmitida seria a média da quantidade de mensagens distintas que são transmitidas. Em resumo, pela teoria de Shannon, uma mensagem pode ser desde uma reportagem completa de jornal / revista, ou ainda uma palavra ou até mesmo um dado binário (0 ou 1).

Diversas áreas da ciência e tecnologia, foram impulsionadas pela teoria de Shannon, tal como a teoria de codificação, altamente utilizada atualmente nas tecnologias que envolvem comunicações eletrônicas de telefones celulares, redes de computadores e sistema de posicionamento global (GPS), por exemplo. De acordo com Mitchell (2009), os conceitos da teoria da informação como a entropia, dinâmica de informações, informação mútua e conteúdo de informação, entre outros, desempenharam papéis centrais, na busca de definir a noção de complexidade e na caracterização de tipos distintos de sistemas complexos.

Gell-Mann (1996), para medir a complexidade, propôs utilizar o que foi chamada por ele de "complexidade efetiva", que está mais próxima às nossas intuições sobre a complexidade, de forma que qualquer entidade é composta por uma combinação de aleatoriedade e regularidade. O modo de cálculo da complexidade efetiva é obtido inicialmente pela melhor descrição das regularidades da entidade. Em seguida, pela definição da complexidade efetiva, é determinada como sendo a quantidade de informação contida nessa descrição, ou equivalentemente. Segundo Mitchell (2009) ainda, para um tal fenômeno, podem existir várias teorias possíveis que expressam suas regularidades, mas, definitivamente em certas teorias, as mais simples e mais elegantes, apresentam melhores resultados.

Uma forma robusta de agregação e melhoria em todas as variáveis vistas, tais como agentes, interação, auto-organização, identidade, complexidade e organização, é a gestão do conhecimento que será mais bem discutida a seguir.

### 2.3 GESTÃO DO CONHECIMENTO

Segundo Amidon (1997), na hierarquia do conhecimento, os **dados** são elementos desorganizados de análise, como números, sons, imagens ou fatos; a **informação** são dados inseridos em um contexto, ou seja, já estão organizados dentro de certo padrão que apresenta um significado; o **conhecimento** é uma informação com significado, que pode ser utilizada de forma produtiva; e a **sabedoria** é o conhecimento envolto ao discernimento.

A Figura 3, a seguir, ilustra o exposto acima.



Figura 3 – Hierarquia do conhecimento

Fonte: Adaptada de Amidon (1997)

Para Drucker (1988), há necessidade de conhecimento para conseguir converter dados em informação, sendo esse conhecimento, por convenção, especializado.

É possível com a gestão do conhecimento conseguir comportamentos e resultados similares aos esperados na gestão de sistemas lógicos. Porém, para isso, é necessário que os dados e as informações estejam consolidados em uma base

confiável que possa descrever de forma clara as interações entre os agentes formadores do sistema, proporcionando que a tomada de decisão não seja centralizada e que qualquer ação corretiva, preventiva ou de melhoria seja eficaz.

Conforme Nonaka e Takeuchi (2009), o conhecimento em si é formado por dois componentes dicotômicos e aparentemente opostos, denominados de conhecimento explícito (de fácil transmissão a outros indivíduos de modo formal e sistemático, uma vez que pode ser convertido em números, palavras, sons ou símbolos e, conseqüentemente, em fórmulas científicas, dados, recursos audiovisuais, especificações de produto ou manuais de instrução de uso) e conhecimento tácito (de difícil formalização, já que é caracterizado por alto grau de subjetividade em virtude de estar relacionado a experiências, ideias, valores e emoções de cada indivíduo).

O conhecimento tácito pode ser compreendido em duas dimensões: a primeira é a “técnica”, concernente às habilidades informais e de difícil detecção, ligadas diretamente ao saber fazer; ao passo que a segunda é a “cognitiva” referente a crenças, percepções, ideias, valores e modelos mentais.

Com base nas colocações acima, é possível criar um paradoxo, no qual o conhecimento não é explícito ou tácito. Todavia, pelos estudos, torna-se perceptível que o conhecimento é tanto explícito quanto tácito.

O conceito de gestão do conhecimento mostrado a seguir é o que foi adotado e apresentado por Nonaka e Takeuchi (1997 e 2009), em que o fundamento básico é a da contínua transformação do conhecimento tácito em explícito e vice-versa. Sua aplicação sistêmica tem como fundamento a descrição da “espiral do conhecimento”, também conhecido como “processo SECI” (Socialização, Externalização, Combinação e Internalização), de acordo com o que se nota na Figura 4. Em seguida descreve-se o processo, em que, no quadrante 1, está a socialização dos conhecimentos tácitos entre os agentes (a) do mesmo grupo (g); no quadrante 2, são tornados explícitos os conhecimentos na forma de procedimentos de ações que comprovadamente obtiveram os melhores resultados; no quadrante 3, realiza-se o desvelamento de novos conhecimentos a partir do direcionamento que se busca a fim de realizar as estratégias de melhorias dos grupos, de forma colaborativa e convergente aos interesses da organização como um todo; e, no quadrante 4, evidencia-se a internalização dos novos conhecimentos gerados pela organização

para os grupos e os seus respectivos agentes.



Figura 4 – O modelo de espiral do conhecimento  
Fonte: Nonaka e Takeuchi (1997 e 2009)

Abaixo, estão indicadas as partes do processo SECI e suas funções:

- 1) Socialização – compartilhamento e criação do conhecimento tácito através de experiência direta;
- 2) Externalização – articulação do conhecimento tácito através do diálogo e da reflexão;
- 3) Combinação – sistematização e aplicação do conhecimento explícito e a informação;
- 4) Internalização – aprendizagem e aquisição do novo conhecimento tácito na prática.

Ademais, o resumo abaixo indica as relações estabelecidas no contexto prático:

- 1) Socialização – ocorre de indivíduo para indivíduo;
- 2) Externalização – ocorre de indivíduo para o grupo;
- 3) Combinação – ocorre do grupo para a organização;
- 4) Internalização – ocorre da organização para o indivíduo.

Sendo assim, o início do conhecimento se dá com a socialização e passa por quatro modos de conversão do conhecimento, originando uma espiral. Ao passar por esses modos de conversão, o conhecimento é amplificado, conforme Figura 5 abaixo, devido à relação das dimensões epistemológica e ontológica.

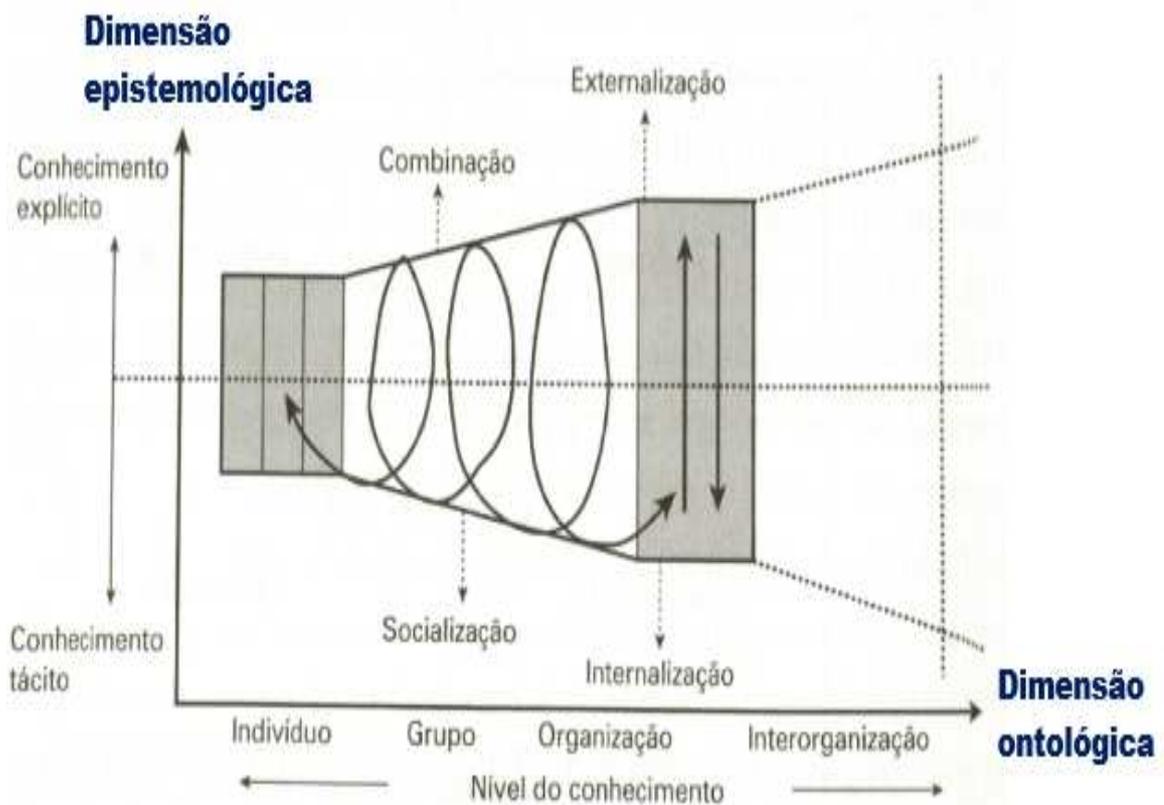


Figura 5 – Amplificação da criação do conhecimento organizacional  
Fonte: Nonaka e Takeuchi (2009)

A interação entre os conhecimentos tácito e explícito torna-se maior e amplificado à medida que aumenta na escala de dimensão ontológica. Desse modo, a criação do conhecimento organizacional é um processo espiral que se inicia no

indivíduo e se expande pelos setores, departamentos e áreas da empresa.

Consideram-se, como ponto de partida, os conhecimentos explícitos dos modelos de gestão de manufatura enxuta, *Lean Manufacturing*, com suas diversas ferramentas auxiliaadoras na identificação das operações que agregam valor, direta e indiretamente, aos produtos manufaturados e que precisam ser racionalizadas. Tomando como fundamento esse instrumento, identificam-se, também, as operações que não agregam valor e que precisam ser eliminadas. Entretanto, a sistematização evolutiva de aplicação de tais conhecimentos para a eliminação dos sete tipos de perdas classificadas pela manufatura enxuta passa necessariamente pela gestão do conhecimento e pela sistematização estruturada através de um sistema de MES, o qual preserve a oitava, a fim de evitar a mais significativa perda de uma organização, que é a do conhecimento adquirido ao longo das perdas, desordenamentos e auto-organizações da história de realizações passadas.

Ponto de grande relevância é que a gestão do conhecimento passa a ter um papel fundamental na estratégia competitiva das empresas num ambiente de caos e complexidade, ou seja, um sistema adaptativo complexo tanto para a implementação de inovações que promovam melhorias incrementais operacionais, como nas inovações de produtos diferenciados no mercado.

Enfim, o conhecimento é um recurso primordial e disponível para a organização, por isso pode e deve ser corretamente gerido como o ativo de maior valor, de maior importância porque pode determinar a manutenção ou fechamento de uma empresa nesse ambiente de tanta competitividade.

Como será visto no próximo tópico, a base para a implantação sistêmica da gestão do conhecimento exige um sistema de tecnologia da informação corporativo integrado. Esta integração vai do ERP, do setor administrativo, com o MES, gerenciamento da produção, e os sistemas de automação e controle existentes na empresa.

## 2.4 O MANUFACTURE EXECUTION SYSTEMS

Neste trabalho, apresentam-se a melhoria e a ampliação da capacidade de percepção do ambiente pelo agente, através de tecnologias de informação, assim

como a contextualização estruturada de suas análises e resultados das ações aplicadas, com o objetivo de melhorar a capacidade de aprendizado. O uso dessas tecnologias deve ser apropriado dentro de uma abordagem de sistematização da gestão do conhecimento, que auxilie no direcionamento de aprendizado e inovação de forma colaborativa para o resultado da SCA da manufatura.

O sistema de tecnologia da informação a ser utilizado para o gerenciamento da produção, denominado de *Manufacture Execution Systems* (MES), representado pelo padrão ISA S95, permite a ampliação da capacidade de percepção de eventos operacionais do fluxo produtivo, em tempo real, por meio da armazenagem, de forma estruturada, de dados e informações obtidos num banco de dados. O sistema MES oferece gráficos e relatórios gerenciais de diversos contextos produtivos em tempo real e períodos programados para serem analisados pelos diversos agentes da organização da manufatura.

De acordo com Meyer, Fuchs e Thiel (2009), os fatores de sucesso com a implementação de um sistema MES são:

- 1) Satisfação do cliente;
- 2) Motivação dos colaboradores;
- 3) Controle de custo;
- 4) Monitoramento dos modelos planejados; e
- 5) Suporte a iniciativas estratégicas.

Deve ser mantido um fluxo de informações da produção no sentido inverso do fluxo de materiais em elaboração no decorrer do processo produtivo, para estabelecer sua continuidade de uma forma mais otimizada possível. O sistema MES garante essa forma de execução, de forma integrada, com os demais sistemas de informação corporativos, como o ERP e os sistemas de automação, para garantir uma melhor interação de todos os agentes envolvidos na empresa. Na Figura 6, visualiza-se de forma sucinta a integração do MES com os outros sistemas. Esse modelo se baseia no padrão apresentado pela sociedade ISA (Instrumentação, Sistemas e Automação) S95, parte 1 – modelos e terminologia.

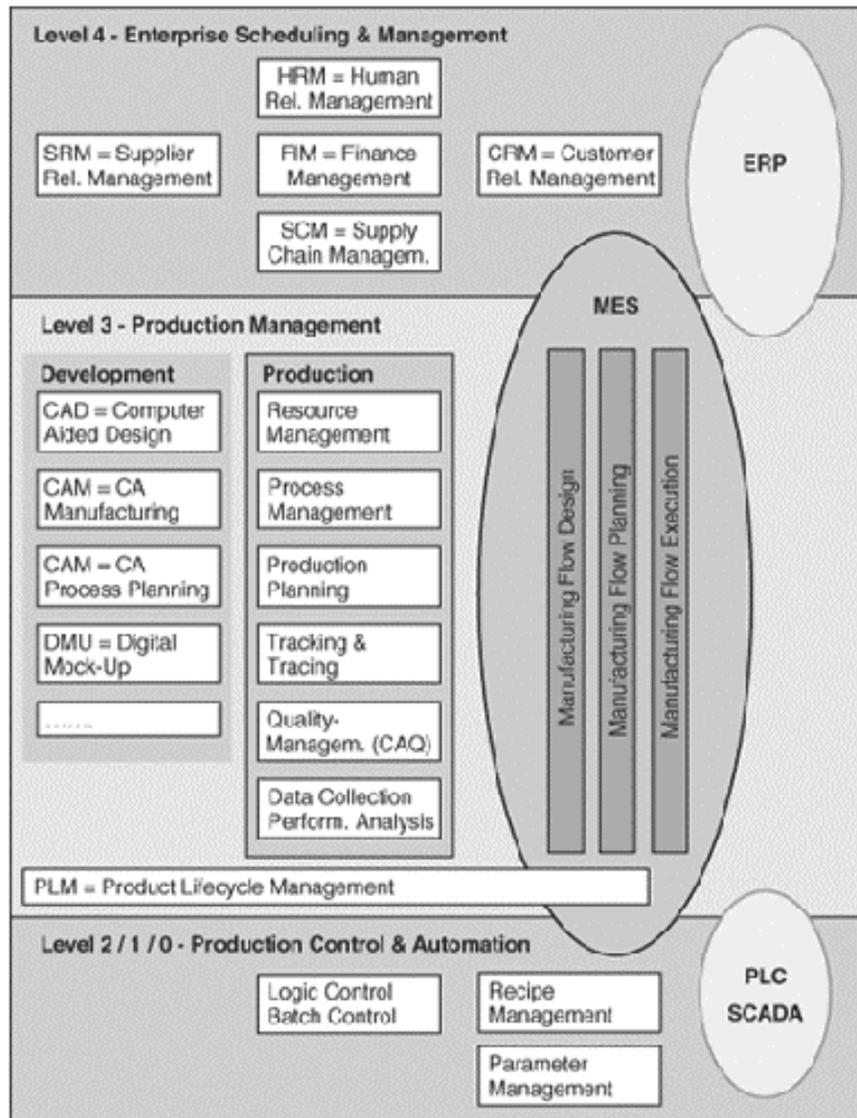


Figura 6 – Visão geral do modelo ISA S95-1 para os níveis de gerenciamento da informação integrada de uma empresa de manufatura

Fonte: ISA S95-1

O modelo ISA-95 foi desenvolvido nos Estados Unidos e tem sido usado como padrão de referência, tanto para empresas usuárias como as de tecnologia da informação, servindo no sentido de organizar as atividades envolvendo manufatura e automação, focando nos detalhes de integração, modelos de processos e terminologias. Esse modelo ainda não se configura como um padrão que pode ser considerado totalmente pronto, mas em evolução, desde 2000.

No que se refere aos níveis apresentados na Figura 6, tem-se:

- Nível 0: execução da produção;

- Nível 1: controle da produção – aquisição de dados;
- Nível 2: controle de produção – supervisão e controle;
- Nível 3: gestão da produção – definição dos fluxos de operação / controle de produtos e produções, manutenção dos dados e otimização dos processos produtivos, o que abrange um intervalo de tempo trabalhado que vai de segundos até turnos;
- Nível 4: planejamento dos negócios e logística – definição do planejamento de produção, necessidade de materiais e entrega aos clientes, o que determina o nível de inventário desejado e a abrangência de um intervalo de tempo trabalhado que vai de turnos até meses;

Esses níveis podem ser vistos desmembrados em atividades conforme acima, ou ainda como sistemas, mostrado a seguir:

- Nível 0: sem sistema definido;
- Nível 1: sistemas mais comuns – sensores, visão e atuadores;
- Nível 2: sistemas mais comuns – PLC e SCADA;
- Nível 3: sistemas mais comuns – MES, PLM e Planejamentos;
- Nível 4: sistemas mais comuns – ERP, CRM e BI.

Ainda segundo Meyer, Fuchs e Thiel (2009), um sistema MES necessita manter controle sobre todo o processo de produção e, portanto, deve englobar todos os aspectos necessários para a visualização das seguintes funções integradas:

- 1) A descrição técnica completa do produto e sua gestão, necessitando apresentar toda a agenda de tarefas a serem realizadas;
- 2) A gestão completa de todos os recursos necessários para a manufatura do produto, necessitando apresentar toda a agenda de tarefas a serem realizadas pelos recursos produtivos;
- 3) O planejamento das ordens de produção, devendo estabelecer uma sequência de execução das atividades mais racional e otimizada possível;
- 4) O armazenamento e monitoramento dos dados, devendo demonstrar o desempenho de forma integrada;

- 5) A manutenção, de forma estruturada, dos registros de desempenho para garantir a rastreabilidade da produção, tornando possível realizar os acompanhamentos, verificações e análises de atendimentos às metas de desempenhos produtivos que foram definidas e planejadas;
- 6) O desenvolvimento de uma estrutura de gestão da informação completa, otimizando todo o processo.

A Figura 7 posiciona funcionalmente o ERP e o MES, mostrando toda a significância dos processos indicados acima.

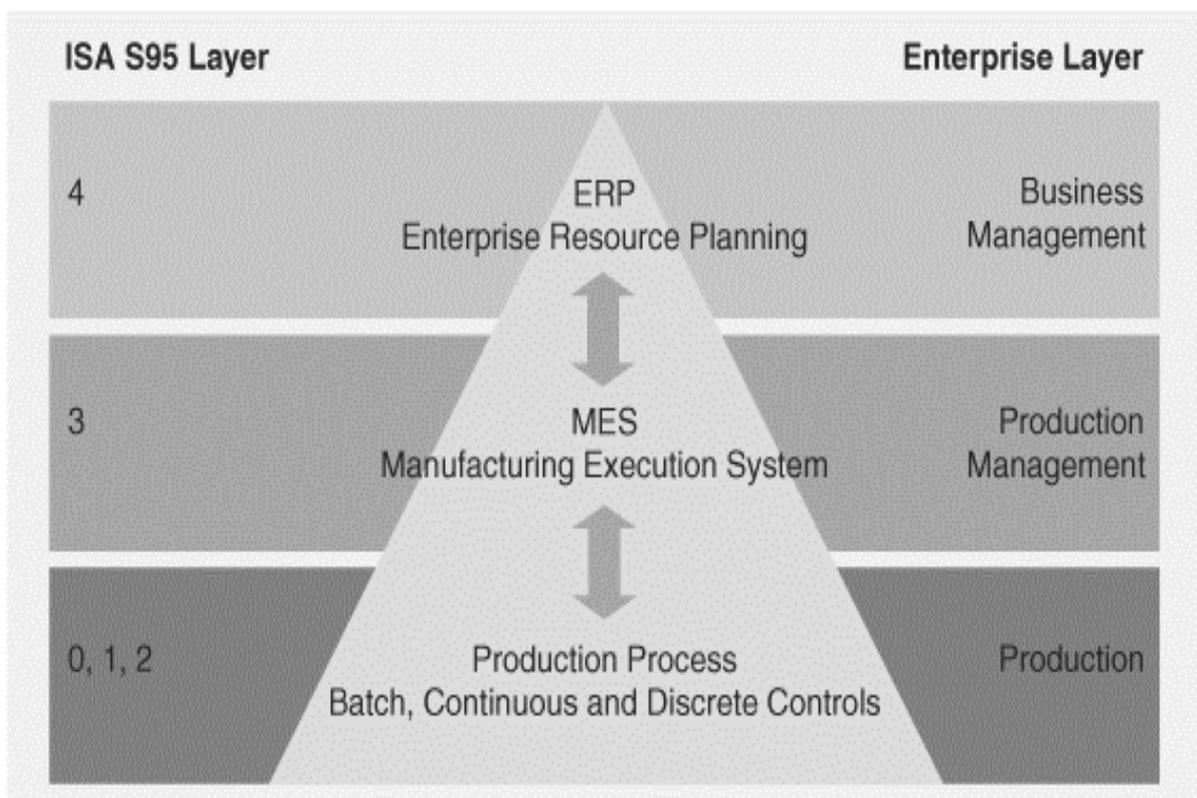


Figura 7 – Níveis de modelo baseado no ISA S95-1

Fonte: Meyer, Fuchs e Thiel (2009)

Por todas as funções descritas, o sistema MES torna-se uma ferramenta estratégica fundamental para a implementação dos requisitos da fábrica “ideal” ou do futuro, na qual será possível monitorar em tempo real todas as atividades que estão sendo executadas, além de medir desempenho e sinalizar, imediata e precisamente, os pontos em que todos os agentes devem atuar para garantir as metas preestabelecidas.

## 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

### 2.5.1 A importância do indicador de eficiência global contextualizado pelo TPM

Saber medir e utilizar corretamente o indicador de eficiência global dos equipamentos (OEE) é um pilar importante para garantir a competitividade da empresa. Tendo em vista que a compra/investimento em ativos, como máquinas, linhas de montagem ou ampliação física e estrutural da planta fabril, são de certa forma uma restrição de curto prazo, em função do montante financeiro e tempo envolvidos. Desse modo, é essencial que se soubesse utilizar e tirar o máximo de proveito dos recursos citados anteriormente, porque eles estão disponíveis.

De acordo com Chiaradia (2004), o Brasil apresenta os custos médios de depreciação horária das máquinas mais elevados que os da mão de obra, situação contrária, por exemplo, em relação ao Japão. Dessa forma, teoricamente no Brasil o parque industrial tem capacidade instalada abaixo ou levemente próxima da demanda solicitada pelo mercado. Sendo assim, a preocupação deve ser constante e contínua com a maximização e otimização na utilização dos recursos. Em países desenvolvidos, por definição estratégica, a ociosidade dos equipamentos é alta.

Como extremo conhecedor do assunto, Robert Hansen (2006) coloca algumas questões bem relevantes:

- a) as empresas brasileiras medem a eficiência de utilização de suas máquinas em geral e das máquinas gargalo de forma particular? b) a utilização dos ativos fixos existentes nas empresas brasileiras, particularmente no que tange às máquinas, é eficaz? c) as empresas brasileiras determinam com precisão conceitual, de um prisma prático que considere a eficiência das máquinas, a sua capacidade produtiva e a relação entre a capacidade produtiva e a demanda de mercado?

Ou seja, para que seja possível responder com propriedade as importantes questões acima, o domínio total de todos os pontos envolvendo a eficiência global dos equipamentos é primordial. Considerando-se esse contexto as empresas que buscam manter-se competitivas devem continuamente preocupar-se com a utilização eficaz dos equipamentos, saber identificar e eliminar as perdas/desperdícios, conseguindo, com isso, aumentar suas margens através da redução dos custos de produção.

Todavia, reconhecer que o OEE contribui de forma fundamental na melhoria da gestão da fábrica é muito importante, porém o que realmente agrega valor ao negócio da companhia é saber utilizá-lo de modo eficaz.

Esse indicador começou a ganhar notoriedade no período compreendido entre o final da década de 80 e início da seguinte. Nesse mesmo intervalo de tempo, tem-se a introdução da Manutenção Produtiva Total (TPM), modelo aplicado nas indústrias norte-americanas.

O TPM surgiu no Japão, no período em que sua indústria estava em franca expansão. De acordo com Wireman (2004), os gestores industriais japoneses visualizaram que somente com um sistema integrado seria possível garantir a qualidade total dos produtos fabricados por eles, considerando não ser possível garantir a qualidade e as especificações exigidas, utilizando equipamentos deficientes em operação. Outro ponto importante é que, na década de 60, as empresas japonesas começaram a seguir fielmente as recomendações/instruções dadas pelos fabricantes das máquinas, para efetuar as intervenções preventivas de manutenção e também começaram a sugerir mudanças nos projetos dos equipamentos com o objetivo de melhorá-los e deixá-los mais robustos e confiáveis.

A metodologia TPM, muito similar à conhecida atualmente, ganhou forma durante a década de 70, sendo bem difundida na empresa japonesa Denso. Ahuja e Khamba (2008) enfatizam que o TPM foca na busca pela máxima eficiência e possível ganho de rentabilidade com os equipamentos, sendo objetivo ter zero avarias, execução séria das manutenções preventivas para melhoria de performance dos equipamentos e conscientização que os bons resultados serão atingidos apenas com a participação de todos os colaboradores envolvidos diretamente no processo produtivo (manutentores, operadores, engenheiros e técnicos).

De acordo com Yoshida et al. (1990), a metodologia se apoia nos seguintes pontos:

- a) Aumento do OEE, pela participação ativa da empresa como um todo, desde o Presidente até operadores de produção;
- b) Melhoria no nível de qualidade e produtividade da empresa com foco em buscar zero avaria, através do aumento na confiabilidade operacional dos equipamentos, conseguida pela realização de intervenções mais robustas

de manutenção;

- c) Manutenção preventiva deve ter como estratégia manter o equipamento desde sua entrada até sua saída de operação, ou seja, todo ciclo de vida;
- d) Criação de um ambiente fabril motivador a todos da operação;
- e) Promoção da cultura da melhoria contínua em toda a operação.

Nakajima (1989) afirma que a estratégia de implementação do TPM nas organizações pode variar em função de metas e objetivos específicos de cada negócio, porém os oito pilares ou alicerces de sustentação, conforme Figura 8, sempre acompanham a metodologia.

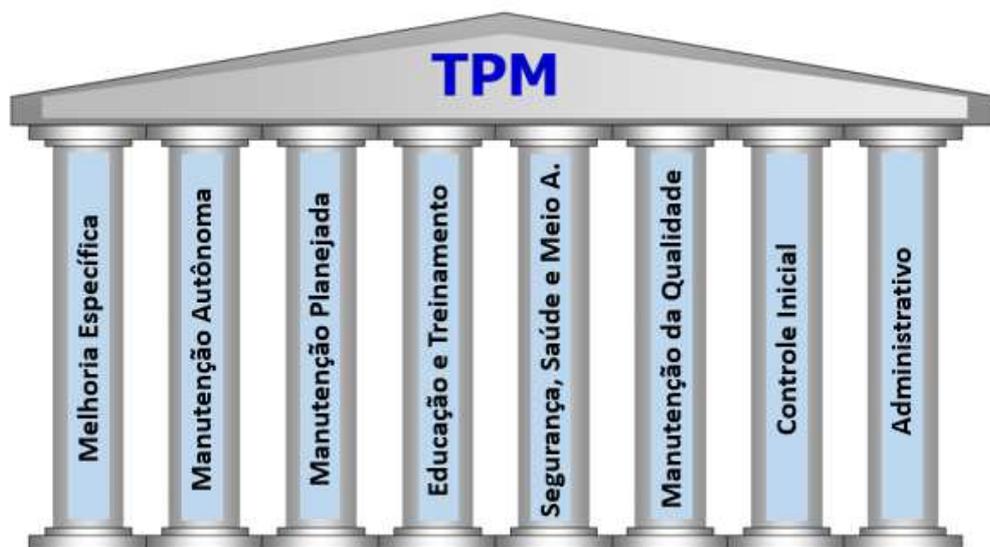


Figura 8 – Os 8 pilares do TPM

Fonte: Adaptada da apostila O Facilitador e o TPM da *Loss Prevention Consulting & Training* (2004)

Tais pilares são, basicamente:

- Melhoria específica: esse pilar foca em identificar e explorar as perdas que ocorrem em todas as etapas envolvidas no processo produtivo (direta ou indiretamente). Por requerer uma análise mais profunda, o grupo envolvido com esse pilar costuma ser composto por pessoas com conhecimento detalhado de cada processo. De acordo com as oportunidades identificadas, é montado um plano de ação claro e objetivo, cujo acompanhamento é facilitado por estarem sempre definidos responsável e prazo para cada atividade necessária;
- Manutenção autônoma: pilar responsável por trabalhar no aumento de

performance dos equipamentos, sendo que o foco está em desenvolver e capacitar o pessoal da operação (operadores) a fim de que esse grupo esteja apto para efetuar lubrificações, inspeções e até pequenas correções. Outro papel importante dos operadores é contribuir para que os equipamentos funcionem de acordo com padrões estabelecidos pelos fabricantes, se possível também contribuir com os manutentores na identificação precoce de prováveis falhas e/ou defeitos. Conforme citado por Yamaguchi (2004), a famosa máxima “do meu equipamento cuidado eu”, ou seja, de que operadores devem apenas operar e manutentores consertar, deve ser esquecida;

- Manutenção planejada: o foco do pilar é elaborar ou adequar planos de manutenção já existentes dos equipamentos. Nesses documentos, o detalhamento de como deve ser realizada cada intervenção nos equipamentos é fundamental. O objetivo é deixar bem claro para todos como a atividade deve ser feita, no que se refere, por exemplo, à frequência e à escolha das ferramentas. Outra meta do pilar é divulgar/mostrar para o pessoal da operação e manutenção qual o impacto das perdas oriundas por falha dos equipamentos e, com essa demonstração, tentar mudar a mentalidade e atitude desse grupo;
- Educação e treinamento: esse pilar tem como meta desenvolver novos conhecimentos e habilidades para todo o grupo envolvido com o TPM, principalmente para os operadores e equipe da manutenção. A capacitação é feita com palestras e cursos específicos;
- Segurança, saúde e meio ambiente: o pilar direciona os trabalhos e atividades para dois horizontes. O primeiro é alcançar a meta de zero acidentes de trabalho, focando na segurança para realização das atividades laborais e também no bem-estar (saúde) dos colaboradores. Já o segundo busca que os processos produtivos não agridam ou afetem o meio ambiente;
- Manutenção da qualidade: esse pilar objetiva a redução/eliminação de perdas por qualidade e a geração de produtos defeituosos pelos equipamentos. São implementadas formas de monitoramento através de indicadores, com o objetivo de identificar variações fora do previsto pelas equipes do TPM. Caso ocorram anomalias, o pilar utiliza frequentemente

nas suas análises o método dos 6M (máquina, mão de obra, material, medição, método e meio ambiente);

- Controle inicial: o foco do pilar é suportar a aquisição de novos equipamentos, introdução de novas linhas de produção ou alteração de processos já existentes. Dependendo do negócio da empresa, o pilar pode também contribuir de duas outras formas: no desenvolvimento de novos produtos, com base em sua manufaturabilidade; e na concepção dos equipamentos, dispositivos e ferramentas que seriam utilizados no processo produtivo, buscando desenvolvimentos que pudessem gerar quebras ou falhas zero;
- Administrativo: o objetivo do pilar é identificar e eliminar (ou, na pior hipótese, reduzir) atividades que não agregam valor ao negócio da empresa, em termos de processos administrativos. Costumam ser encontradas oportunidades de melhoria nos processos relacionados a fluxo de informações e formas de comunicação entre os departamentos da organização.

Com base nos focos de cada pilar e também nas análises de Nakajima (1989), Nakasato e Shirose (1994), pode-se considerar como objetivos a serem alcançados com implementação do TPM, melhoria nas 5 categorias abaixo:

**Custos:** redução de custos industriais, em função da redução nas horas de manutenção e equipamentos parados, redução no consumo de energia e redução no consumo de peças de reposição. Pilar diretamente envolvido: melhoria específica;

**Produtividade:** aumento do OEE, aumento da produtividade e redução de horas paradas em função de manutenção não planejadas. Pilares diretamente envolvidos: manutenção autônoma e manutenção planejada;

**Segurança/meio ambiente:** eliminação ou redução de horas de afastamento por acidentes de trabalho, economia de energia, eliminação de fontes de sujeira, não contaminação do meio ambiente. Pilar diretamente envolvido: segurança, saúde e meio ambiente;

**Qualidade:** queda na quantidade de peças refugadas, redução no índice de

retrabalho, redução no número de reclamação de clientes e até aumento na capacidade do processo produtivo. Pilar diretamente envolvido: manutenção da qualidade;

Motivação dos colaboradores: criação de um ambiente que propicie a melhoria contínua, sendo percebido através do aumento do número de sugestões de melhoria, da queda no absenteísmo geral da fábrica e da motivação para realização de trabalhos em grupo. Pilares diretamente envolvidos: todos.

No resumo apresentado no Quadro 1, observam-se os quatro níveis de evolução na implementação do TPM, através de uma comparação entre os pilares de Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada, Melhoria Específica, Manutenção da Qualidade e Educação e Treinamento e seus respectivos passos com foco no equipamento.

|                                 |  | I - CONFIABILIDADE<br>Eliminar Quebras e Perdas Esporádicas                   |    |   | II - ESTABILIDADE<br>Eliminar Pequenas Paradas e Perdas Rotineiras |  | III - CAPABILIDADE<br>Eliminar Defeitos e Aumentar Velocidade |   | IV - GESTÃO AUTÔNOMA<br>Padronizações do Trabalho e Auto Desafios |  |
|---------------------------------|--|---|----|---|--|--|---|---|---|--|
|                                 |  | 1º  | 2º | 3º  | 4º   | 5º   | 6º  | 7º  |   |  |
| PILARES COM FOCO NO EQUIPAMENTO | MANUTENÇÃO AUTÔNOMA                      | Limpeza e Inspeção FS e LDA Padrão Provisório                                 |    |   | Inspeção Geral   | Inspeção Autônoma  |   | Organização e Ordem Gestão Autônoma                   |   |  |
|                                 | MANUTENÇÃO PLANEJADA                     | 1º  |    | 2º  | 3º   | 4º   | 5º  | 6º  |   |  |
|                                 |  | Avaliação do Equipamento Restauração  |    |   | Gerenciamento da Informação  | Programas de Preventiva Periódica                        |   | Programas de Preventiva Condicional                   | Sistema de Avaliação Permanente                                   |  |
|                                 | MELHORIA ESPECÍFICA                      | Base para Melhorias   |    |   | Melhoria Restauração   | Melhorias Superação                                      |   | Melhorias Inovação                                    |   |  |
|                                 |  | Eliminar/Controlar FS Melhorar os LDA Implementar Relato e Análise de Quebras |    |   | Implementar Análise de Falhas e Ciclo de Melhorias - CAPDo         | Implementar a Análise PM Ciclo de Melhorias - II         |   | Desenvolver Material e Tecnologia                     |   |  |
| MANUTENÇÃO DA QUALIDADE         |  |   |    | Base para Qualidade   | Zero Defeito   |  | Zero Controle Qualidade                                       |   |   |  |
|                                 |  |   |    | Relação entre o processo e os quesitos de Qualidade Matriz QA | As condições dos equipamentos para o Zero Defeito Matriz QM        |  | Inspeção na Fonte e Sistemas a Prova de Erros POKA YOKE       |   |   |  |
| EDUCAÇÃO TREINAMENTO            | Desenvolver Habilidades                  |   |    | Conhecer Equipamento  |  | Conhecer Processo  |   | Aprendizado Contínuo                                  |   |  |
|                                 | Capacitação Básica Matriz de Habilidades |   |    | Capacitação Específica Academia TPM                           |  | Capacitação princípios funcionais Matriz de Conhecimento |   | A Organização que aprende Centros de Auto-Aprendizado |   |  |

Quadro 1 – Resumo dos 4 níveis de evolução do TPM

Fonte: Adaptado de Nakajima (1992)

De acordo com Palmeira (2002), o TPM evoluiu muito desde sua introdução e

foi se adequando às mudanças tecnológicas. Essa metodologia pode ser dividida nas quatro gerações indicadas abaixo:

- a) Primeira geração (década de 70): focada nos 5 pilares fundamentais, apresentava como objetivo principal a redução drástica das perdas. Desse modo, houve contribuição direta em relação ao aumento de disponibilidade e, por consequência, e ao aumento do OEE dos equipamentos das linhas de produção;
- b) Segunda geração (década de 80): além dos 5 pilares fundamentais começou-se a focar, também, nos outros 3 pilares. Assim, a abrangência começava a tomar conta de toda a estrutura organizacional da empresa e não apenas nas linhas de produção. Com isso, pretendia-se aumentar a eficiência com a redução das perdas;
- c) Terceira geração (década de 90): continua baseada nos 8 pilares, porém com grande foco na redução de custos operacionais como um todo. As manutenções/intervenções nos equipamentos passaram a considerar estudos realizados de confiabilidade, baseados em análises estatísticas (introdução da Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC). Foi possível alcançar bons resultados em termos de aumento de capacidade produtiva, melhoria de qualidade e redução nos prazos de disponibilização de produtos aos clientes, ou seja, otimização de toda cadeia logística;
- d) Quarta geração (a partir de 2000): parte do pressuposto que já existe o comprometimento da empresa como um todo, com a redução dos custos operacionais, eliminação de perdas/desperdícios e maximização da utilização dos recursos. Entretanto, ainda existem grandes oportunidades de melhoria para alavancar ainda mais os resultados. Com base nisso, através de uma visão estratégica, deve-se envolver os departamentos de vendas, marketing e desenvolvimento de produtos para identificar outras perdas que não estão ligadas diretamente ao processo produtivo.

No Quadro 2, a seguir, Palmeira (2002) sintetiza aquilo que foi delineado em cada geração do TPM.

|                   | 1ª geração<br>1970                 | 2ª geração<br>1980                      | 3ª geração<br>1990  | 4ª geração<br>2000   |
|-------------------|------------------------------------|---|---|--|
| <b>Estratégia</b> | Máxima eficiência dos equipamentos |   | Produção e TPM  | Gestão e TPM   |
| <b>Foco</b>       | Equipamento                        |   | Sistema de Produção   | Sistema geral da Companhia                                   |
| <b>Perdas</b>     | Perda por falha                    | Seis principais perdas nos equipamentos | Dezesseis perdas (equipamentos, fatores humanos e recursos na produção) | Vinte perdas (processos, inventário, distribuição e compras) |

Quadro 2 – Gerações do TPM

Fonte: Palmeira (2002)

Em termos de abrangência, além das gerações mostradas anteriormente na Figura 9, visualiza-se a expansão do TPM na companhia. No primeiro estágio, há o envolvimento apenas dos departamentos ligados diretamente à produção, ao passo que no segundo existe a disseminação dos conceitos do TPM por toda companhia.

Susuki (1994) destaca que as principais razões para o TPM ter se expandido rapidamente tanto nas companhias japonesas como nas outras espalhadas pelo mundo foi em função de:

- 1) Melhoria drástica dos resultados;
- 2) Transformação visual do local de trabalho;
- 3) Aumento no nível de conhecimento e habilidades dos empregados de produção e manutenção.

No início, o OEE estava vinculado totalmente ao TPM, inclusive era considerado o indicador padrão para medição do nível robustez da implementação da metodologia nas empresas. Com o passar do tempo e divulgação, o OEE começou a ser reconhecido como uma ferramenta própria para medição do real índice de desempenho dos equipamentos, esse indicador era obtido pela combinação de 3 variáveis macro: disponibilidade, eficiência e qualidade.

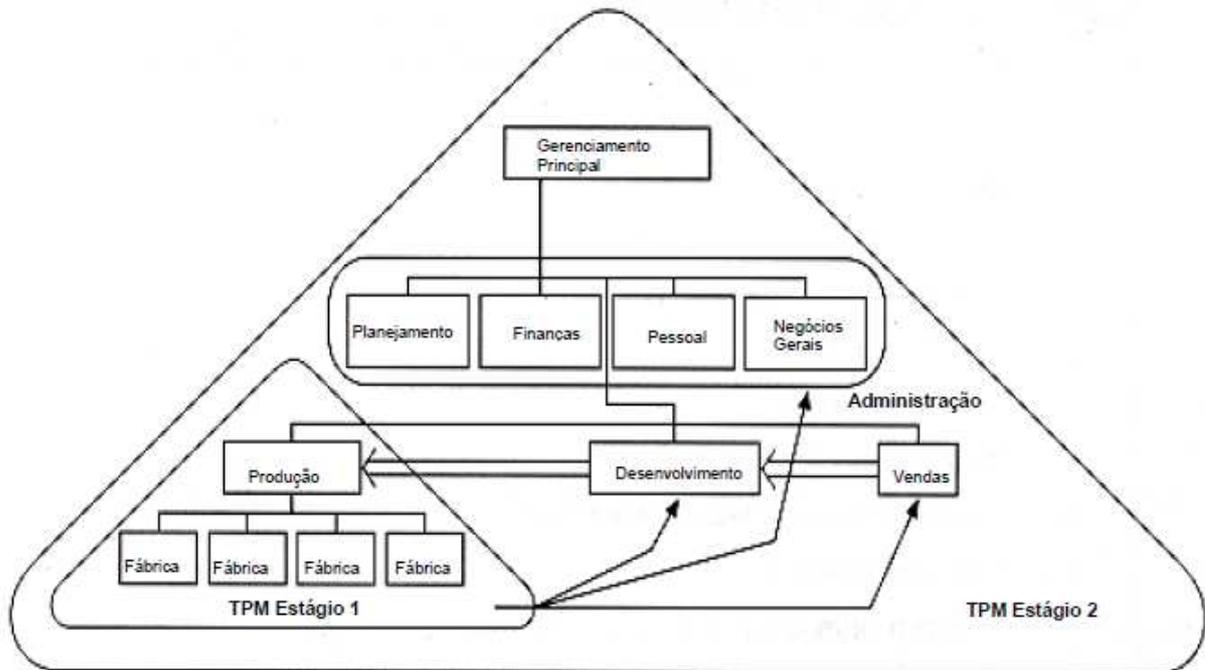


Figura 9 – Estágios do TPM (da Produção a toda Companhia)  
 Fonte: Susuzi (1994)

### 2.5.2 Forma de cálculo do OEE

Para Robert Hansen (2006), inicialmente o OEE deve ser aplicado aos equipamentos/linhas de produção gargalo, sendo que resultados:

- a) < 65% deveriam ser inaceitáveis;
- b) Entre 65 e 75% poderiam ser aceitáveis desde que seja percebida uma tendência de melhora nos últimos meses;
- c) Entre 75 e 85% podem ser considerados muito bons. Porém, ainda deve haver plano de melhoria em andamento, porque valores considerados de classe mundial são aqueles superiores a 85% para processos em lote e > 90% para processos discretos e contínuos.

A fórmula a seguir foi apresentada e definida por Nakajima (1988).

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Eficiência de Performance} \times \text{Taxa de Qualidade}$$

Em que:

- 1) A variável Disponibilidade é a relação entre o tempo de operação e o

tempo programado, sendo que o tempo de operação é o tempo total, excluindo paradas programadas e não programadas enquanto que no tempo programado excluem-se apenas as paradas programadas;

- 2) A variável Eficiência de Performance é igual ao volume processado x tempo de ciclo teórico / tempo operacional;
- 3) A variável Taxa de Qualidade é a relação entre unidades boas produzidas e o total de unidades produzidas.

Dessa forma, considerando a fórmula acima e combinando as variáveis envolvidas, uma simulação para se atingir um nível de classe mundial é:

- Disponibilidade = 95%
- Eficiência = 95%
- Qualidade = 95%

Ou ainda:

- Disponibilidade = 95%
- Eficiência = 90%
- Qualidade = 100%

$$\text{OEE} = 0,95 \times 0,95 \times 0,95 = 85,50\% \text{ ou } \text{OEE} = 0,95 \times 0,90 \times 1,00 = 85,50\%$$

Ou seja, em qualquer uma das situações, conseguir os números acima não é tarefa simples, pois requer muito controle, rigor, disciplina e gestão.

Um outro modo de cálculo baseia-se apenas nas peças boas produzidas.

Dessa forma:

$$\text{OEE} = \text{Unidades Boas Produzidas} / \text{Tempo de Ciclo Teórico} / \text{Tempo Programado}$$

Tem-se outro indicador também utilizado pelas grandes organizações que é a Produtividade Efetiva Total dos Equipamentos (TEEP), obtido da seguinte forma:

$$\text{Utilização dos Ativos} = \text{Tempo de Operação} / \text{Tempo Total}$$

**TEEP = Utilização dos Ativos x Taxa de Velocidade Operacional x Taxa de Qualidade**

De forma gráfica, tem-se a Figura 10 para ilustrar as variáveis contempladas nas fórmulas pelo prisma do tempo.

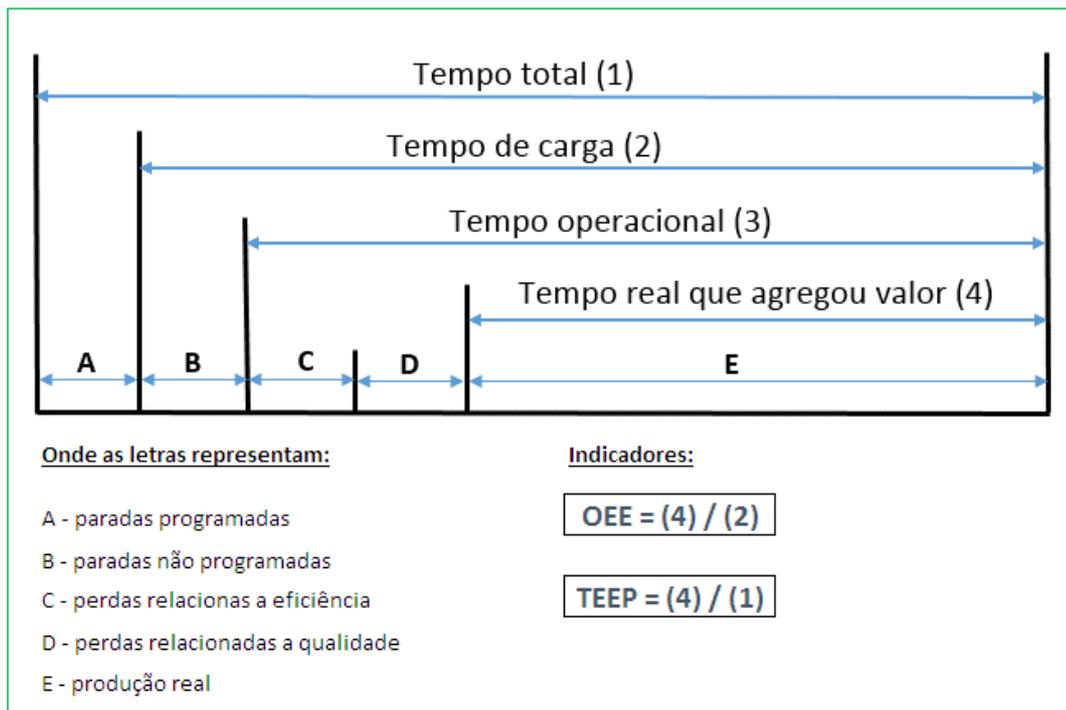


Figura 10 – OEE x Tempos

Como pode ser observado, o TEEP considera o tempo calendário total. Desse modo, através desse indicador, é possível identificar a distância entre os resultados correntes e aqueles ideais sugeridos como de classe mundial. Outro ponto de grande relevância é que o TEEP pode ajudar a revelar a “fábrica oculta”, possível fonte de oportunidade para incrementar a competitividade da empresa.

Conhecer bem a “fábrica oculta” possibilita a visualização de quanto de capacidade produtiva não está sendo utilizada. Estabelecer planos de ação para reduzir o tamanho dessa fábrica é extremamente salutar, porque pode possibilitar a utilização de ativos fixos que já estão na empresa. Assim, em uma eventual necessidade de atendimento de novas demandas, não há necessidade de aquisição de novos equipamentos, o que reduz o risco presente em qualquer compra que pode ser o não funcionamento perfeito no início de operação da máquina ou futura ociosidade caso a demanda volte aos patamares anteriores.

### 2.5.3 Relação entre o OEE e a Gestão do Conhecimento

Como visto na seção 2.5.1, o OEE e a Gestão do Conhecimento estão diretamente ligados, através da contínua análise dos resultados alcançados e da motivação para manter os conhecimentos adquiridos.

O conhecimento deve ser gerido de forma a manter os colaboradores continuamente motivados, porque essa poderá ser a diferença entre o sucesso e fracasso das empresas.

A partir do momento em que se conhecem os problemas ou as variáveis críticas, a falta de algum conhecimento necessário para tratar tal problema vem à tona. Os colaboradores motivados adquirem mais facilmente esse conhecimento disponibilizado, colocado em prática através de ações mais proativas no sentido de sempre superarem as metas colocadas.

Em **Os sete hábitos das pessoas altamente eficazes**, obra que vendeu mais de 15 milhões de exemplares e que foi traduzido para 38 idiomas, o Dr. Stephen Covey (1989) define como primeiro hábito “ser proativo”, podendo ser visto como uma forma em que as pessoas, através de suas decisões, conseguem ter controle daquilo que acontece a sua volta (vida profissional e pessoal). Esse fator facilita o fomento da automotivação em prol do alcance de melhorias no ambiente de trabalho e também no seio familiar.

Com relação ao OEE, sua magia está no fato de que ele não mostra apenas um valor. Com ele, há 3 importantes números que, se trabalhados individualmente, podem trazer resultados impressionantes para as organizações.

Pela Figura 11, nota-se que o OEE pode ser considerado um indicador que se comporta como um vetor de posição no espaço do desempenho produtivo, nos quais os eixos ortogonais que se assemelham aos eixos do espaço geométrico (altura x largura x comprimento) se referem a disponibilidade dos recursos produtivos, velocidade com que se produz e qualidade com a qual se realiza a produção.

Essa referência espacial do OEE se torna didaticamente mais acessível ao modelo mental das pessoas que irão utilizá-la para avaliação do seu posicionamento no que se refere ao desempenho produtivo.

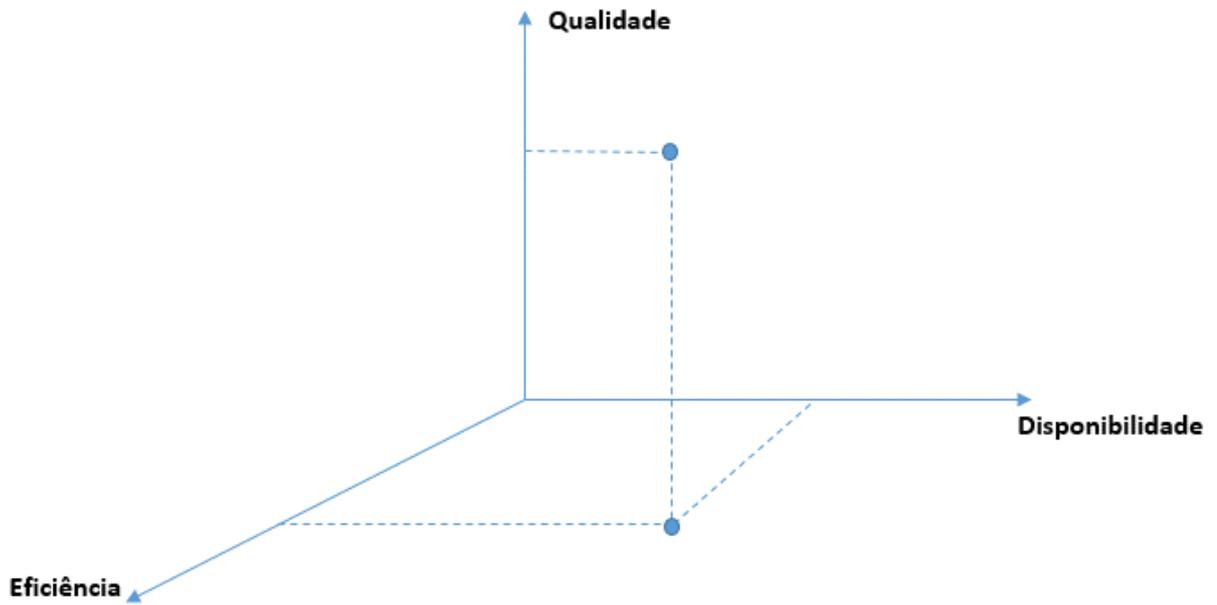


Figura 11 – Visão espacial do OEE

Portanto, tal referência se torna fundamental para a parametrização da Gestão do Conhecimento aplicada à avaliação a ser feita daquilo que se deverá buscar de melhorias.

O crescimento do OEE deveria manter uma equidistância dos 3 eixos formadores dos seus indicadores, ou seja, o incremento do indicador necessitaria acontecer na expansão da reta que se encontra a 45° de qualquer um dos seus eixos.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho realizado é uma pesquisa de método dedutivo e aplicado, sendo dedutivo em função de buscar explicar certos fenômenos, através de teorias já testadas, e aplicado em função de utilizar resultados práticos como maneira para resolver problemas de cunho real.

O processo produtivo de uma empresa de manufatura de produtos eletrônicos engloba basicamente três grandes etapas, Inserção Automática de Componentes (IAC), Inserção Manual de Componentes (IMC) e Montagem Final e Testes (MFT) que resumidamente estão exibidas na Figura 12. Nesse fluxo de montagem, um fator pouco observado e estudado é o tempo de realização das atividades que agregam valor ao produto e que impactam diretamente nos custos de produção.



Figura 12 – Fluxo de montagem de produtos eletrônicos

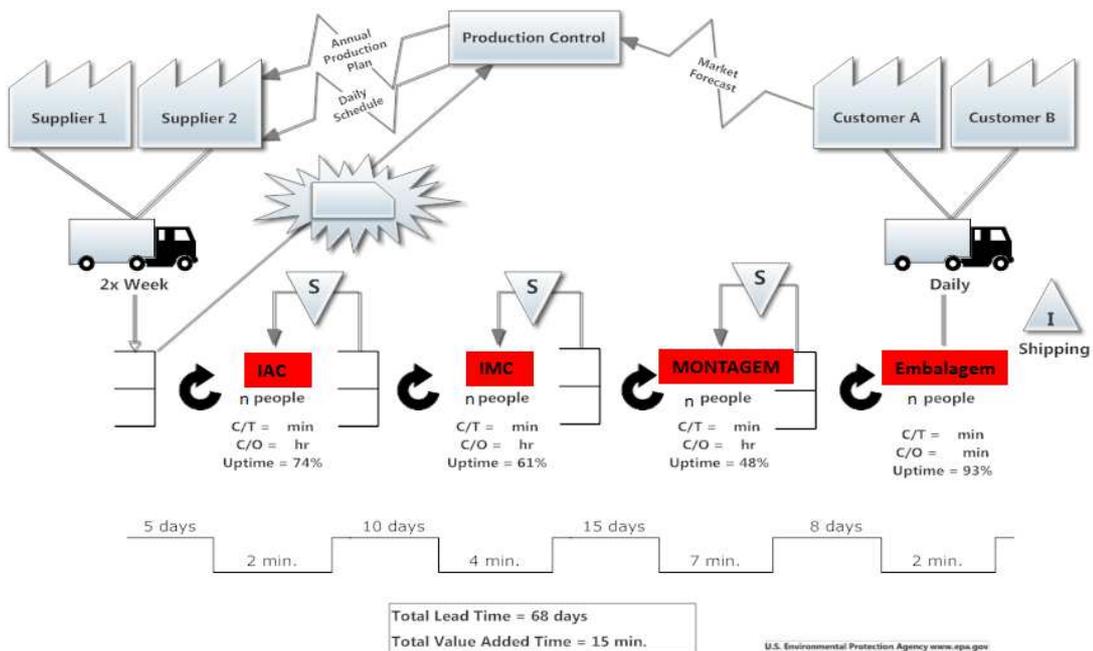


Figura 13 – Mapa do Fluxo de Valor com tempos estimados  
Fonte: Adaptada de Rother e Shook (2003)

Conforme mostrado na Figura 13, a relação entre o tempo total de fabricação do produto e o tempo que realmente agregou valor é impressionante.

Em seguida, tem-se o detalhamento das etapas:

- Inserção Automática de Componentes (**IAC**) → fase que representa a montagem dos componentes eletrônicos na placa de circuito impresso (PCI), utilizando máquinas com a tecnologia de montagem em superfície (SMT), ilustrada na Figura 14, por meio da inserção nos furos da placa (tecnologia denominada PTH – *Pin Through Hole*), conforme Figura 15.



Figura 14 – Linha de montagem de componentes SMT

Fonte: <http://blogs.odiaradio.com/sportcars/files/2011/08/Linha-SMD.jpg>

Nos últimos 20 anos, houve uma migração acelerada de PTH para SMT, em função principalmente de redução de custos e miniaturização dos produtos. O que há de mais novo mercado são máquinas híbridas que estão aptas a montar componentes SMT e PTH. Essa é, porém, uma tecnologia ainda em evolução que apresenta limitações devido ao custo desses equipamentos e às restrições em termos de capacidade produtiva e capacidade para alguns componentes mais específicos. Na Figura 16, é possível visualizar um exemplo desse equipamento e sua capacidade.

- Inserção Manual de Componentes (**IMC**) → etapa na qual ocorrem a montagem manual dos componentes eletrônicos na PCI e, posteriormente, a soldagem automática em uma máquina de soldagem por onda ou máquina de soldagem seletiva. De forma geral, esses componentes são montados dessa forma por razões de dimensões e formatos físicos que impedem a montagem automática ou por restrições técnicas de processo. Na Figura 17, mostra-se um exemplo de linha de produção e máquina de

solda;



Máquina insersora radial



Placa montada com componente PTH



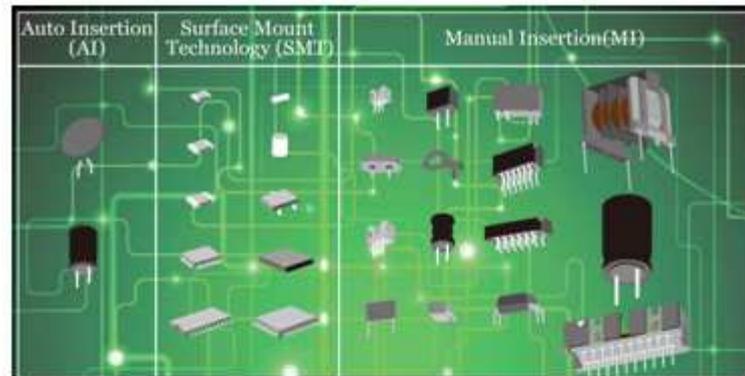
Máquina insersora axial



Componentes PTH

Figura 15 – Inseroras radial e axial, placa e componentes PTH

Fonte: [http://www.panasonic.com.br/produto/Factory\\_Automation/PTH/EJR3A.aspx](http://www.panasonic.com.br/produto/Factory_Automation/PTH/EJR3A.aspx)



**Tipos de componentes**



**Máquina híbrida para montagem de componentes**

**Figura 16 – Componentes eletrônicos e máquina híbrida**  
Fonte: [http://www.jukiamericas.com/pdf/Brochure\\_JM20.pdf](http://www.jukiamericas.com/pdf/Brochure_JM20.pdf)



**Figura 17 – Linha de montagem de componentes manual**  
Fonte: <http://www.eurotronics.com.br/waUpload/img4918small0012062012102327.jpg>

- Montagem Final e Testes (**MFT**) → Essa fase representa a montagem final dos produtos, em que se agregam as placas montadas nas fases anteriores com, geralmente, as peças plásticas (gabinete, por exemplo) e cabos para conexões entre as partes. Além disso, também são realizados os testes no produto e embalagem final, que devem garantir a saída da fábrica em plenas condições de funcionamento, conforme mostrado na Figura 18.



Figura 18 – Estação de teste elétrico e linha de montagem final  
Fonte: <http://planetech.uol.com.br/wp-content/uploads/2011/03/semp-LCD.jpg>

Como visto, o processo é longo e com várias etapas. Por questão de foco, esse trabalho fará um recorte, mostrando a utilização do MES e tratando a Gestão do Conhecimento na fase de montagem SMT (que faz parte da IAC) pelo fato de apresentar os equipamentos mais caros e a mão de obra mais especializada. Além dessas variáveis extremamente significativas, essa etapa é caracterizada por ser o gargalo do processo, porque é a fase que determina o ritmo de entrega dos produtos. Nesse sentido, as melhorias obtidas representarão, diretamente, ganhos de produtividade e de rentabilidade da organização.

Na Figura, 19 tem-se a configuração básica de uma linha SMT para atender uma empresa de manufatura de produtos eletrônicos.

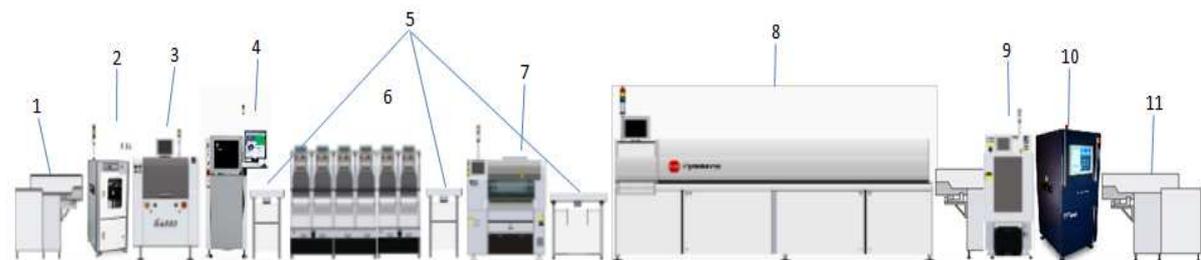


Figura 19 – Configuração tradicional de uma linha SMT

Os equipamentos / periféricos utilizados são:

**1 – Loader.** Dispositivo utilizado para colocar os magazines com placas a serem montadas, Anexo A;

**2 – BBU (*Bare board unit*):** Dispositivo utilizado para colocar apenas as placas a serem montadas, Anexo B;

**3 – Printer.** Equipamento utilizado para aplicação de pasta de solda ou adesivo nas placas, Anexo C;

**4 – SPI (*Solder paste inspection*):** Equipamento utilizado para inspecionar a pasta de solda aplicada, Anexo D;

**5 – Conveyor.** Dispositivo que serve de ligação entre os equipamentos, Anexo E;

**6 – Pick and Place – Chip Shooter.** Equipamento de alta capacidade produtiva utilizado para a montagem de componentes menores e mais simples, tais como resistores, capacitores e diodos, Anexo F;

**7 – Pick and Place – Fine Pitch.** Equipamento utilizado para a montagem de componentes maiores e mais complexos, tais como CI e conectores, Anexo G;

**8 – Reflow ou Forno de Refusão:** Equipamento utilizado a realizar a soldagem ou cura do adesivo, Anexo H;

**9 – Buffer.** Dispositivo utilizado para armazenar as placas que saíram do forno, antes de entrar na AOI, Anexo I;

**10 – AOI (*Automated optical inspection*):** Equipamento utilizado para inspecionar automaticamente os componentes montados, Anexo J;

**11 – Unloader.** Dispositivo utilizado para colocar os magazines com placas

montadas, Anexo K.

De uma forma geral, essas linhas, que podem representar um investimento médio entre R\$ 2.000.000 e R\$ 3.000.000, são configuradas para ter uma capacidade nominal de montagem de 100.000 a 200.000 componentes por hora. Contudo, essas configurações variam muito de acordo com os produtos a serem montados, tanto em termos de quantidade quanto de variedade. Nesse contexto, todas as dúvidas e maiores análises giram em torno das máquinas *chip shooter* e *fine pitch* a serem utilizadas, aliada a quais e quantos acessórios deveriam acompanhar os equipamentos. Dentre os acessórios tem-se: 1) diversos alimentadores de componentes que variam de acordo com o tamanho dos mesmos; 2) carrinhos e bases extras para os alimentadores; 3) alimentador de bandejas e dispositivos que auxiliam na preparação dos alimentadores, exibidos na Figura 20.



**Alimentadores**



**Carrinho para alimentadores**



**Alimentadores de bandejas**

Figura 20 – Alimentadores e carrinhos para alimentadores e bandejas  
Fonte: <http://smt.fuji.co.jp/e/products/mounter/detail.php?id=8>

A elevada capacidade de montagem citada anteriormente torna esse processo extremamente sensível às condições iniciais de operação. O fato de os componentes serem diminutos e enfiados torna difícil a identificação visual, conforme exibido na Figura 21, pois existem produtos, como *smartphone* e *tablete*, montados com componentes de dimensão 0,4 x 0,2 mm. O elemento complicador é que a próxima geração de componentes, já disponível no mercado, terá tamanho ainda menor, da ordem 0,3 x 0,15 mm.

No processo de alimentação de um componente, durante o seu *setup* ou realimentações, existe a possibilidade de que esse componente seja colocado em posição não especificada na máquina de SMT, o que pode levar à montagem errada e ao retrabalho de centenas de placas. No Anexo L, é mostrada uma tabela com nomenclatura de mercado e dimensões dos componentes mais utilizados.

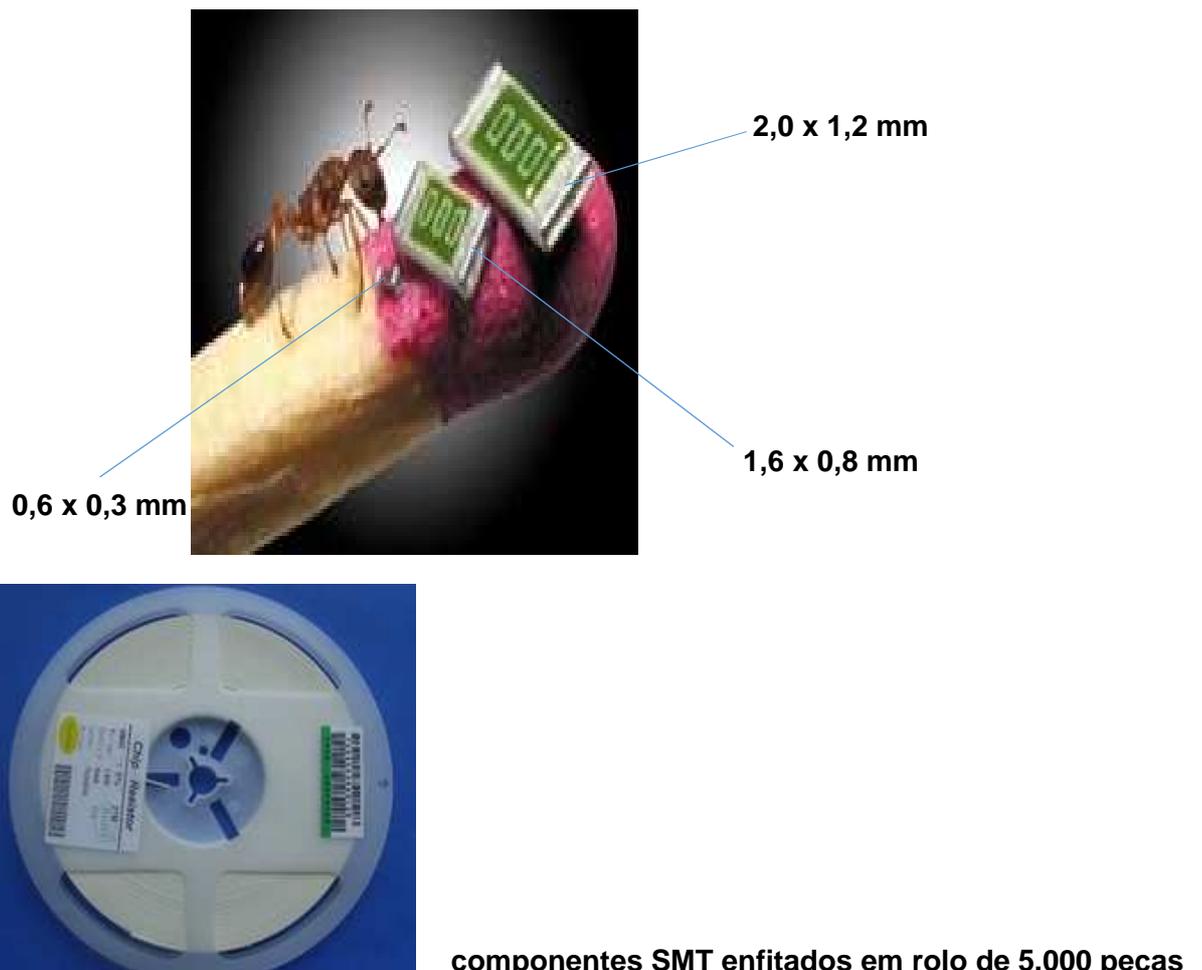


Figura 21 – Dimensão comparativa dos componentes SMT e sua embalagem  
 Fonte: <http://www.smtinline.com/html-en/0201.html>14

O maior contratempo está no fato de que os possíveis problemas só ficam perceptíveis nos testes paramétricos ou de funcionalidade. Além disso, ocorre a perda dos componentes que foram erradamente montados, porque em termos operacionais, devido a suas dimensões, é complexa sua reutilização. Por último, esses insumos são formados basicamente por componentes importados, comprados em quantidades específicas (alguns componentes com uma tolerância de quantidade a mais) para montagem de certa quantidade de produtos a serem produzidos, que denominamos de kit. Por conseguinte, a perda de componentes pode representar a incapacidade de montagem de quantidades significativas de produtos, o que acarreta a maior perda financeira e o comprometimento da rentabilidade da produção do referido produto.

Muitos importantes eventos, durante a operação de uma máquina SMT, são imperceptíveis por procedimentos manuais e pelos sentidos humanos. Assim, somente quando as perdas acumuladas se tornam significativas é que se pode reagir para contê-las. O MES pode monitorar em tempo real o *status* dos 11 itens da linha de montagem da Figura 19. Porém, os equipamentos que são restrições, gargalos, do fluxo produtivo da linha de montagem, estão representados pelos números 6 e 7, que são as *Pick and Place (Chip Shooter e Fine Pitch)*. Considerando em termos financeiros, esses equipamentos podem representar, aproximadamente, de 75 a 80% do valor total da linha.

Dessa forma, o foco, inicialmente, está na expansão de percepção e apoio à decisão de ação para correção ou melhoria de desempenho da linha de montagem, com a captura de dados e análises decorrentes, respectivamente, feitas em relação a esses equipamentos. Como visto anteriormente, o sistema de MES possibilita extrair os dados dos eventos mais significativos da operação dos equipamentos, em tempo real, que irão auxiliar na percepção da realização da produção em relação ao planejado com um diagnóstico de desempenho, a partir da medição e apresentação dos seus principais indicadores (tais como OEE, disponibilidade, qualidade, eficiência, perda de componentes e outros), e das ocorrências de perdas numa classificação de tipos, causas e frequências, como um gráfico de Pareto.

Essa percepção e contextualização do desempenho produtivo se tornam significativas para os agentes operacionais e de gestão identificarem prioridades de ações de correção e adaptação, que assegurem a produção em conformidade com o

planejado. Essa interação feita de forma sistêmica possibilitará a formação da espiral do conhecimento. No caso em estudo, foi utilizado um sistema de MES adotado por grandes organizações do setor de manufatura de produtos eletrônicos, que traz consigo as várias ferramentas da qualidade e conhecimentos do setor, denominado de IDW-INSERT® versão “v0.0.86” (fornecido pela MAP Technology – [www.maptechnology.com.br](http://www.maptechnology.com.br)) e também software gerador de planilhas eletrônicas, Excel® 2013 da Microsoft ([www.microsoft.com.br](http://www.microsoft.com.br)).

As principais telas do sistema utilizadas como base para obtenção de dados para a pesquisa estão a seguir nas Figuras de 22 a 29:

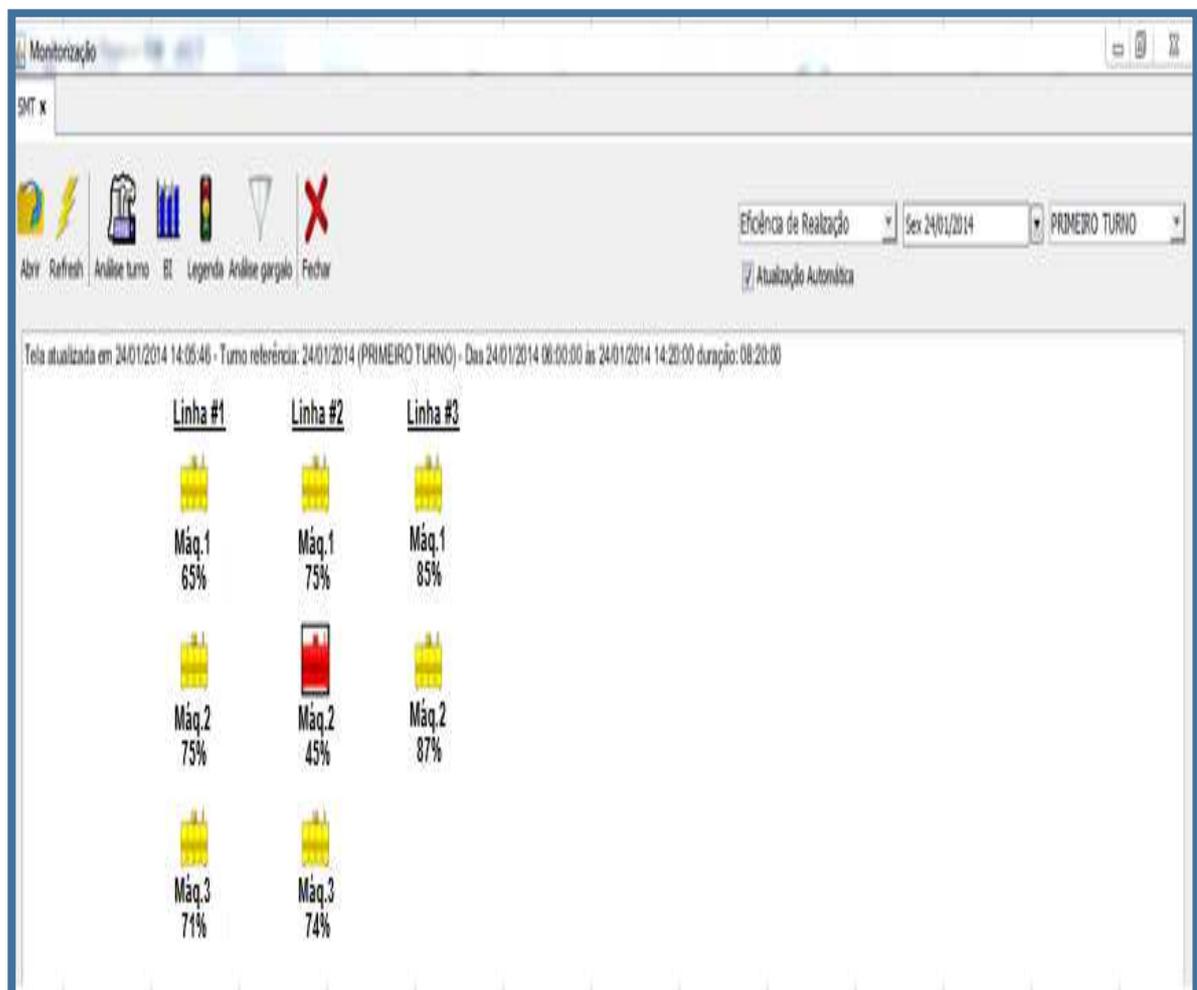


Figura 22 – Eficiência de realização  
Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Nessa figura, a eficiência de realização é o índice que mostra a eficiência de produção de cada máquina, ou seja, quanto tempo das horas trabalhadas foram

efetivamente produtivos. É o índice mais completo do sistema, porque nele estão embutidos os refugos, os tempos de paradas e a eficiência dos ciclos de produção. Em outras palavras, a eficiência de realização é igual à relação entre a quantidade de peças boas e a quantidade de peças previstas.

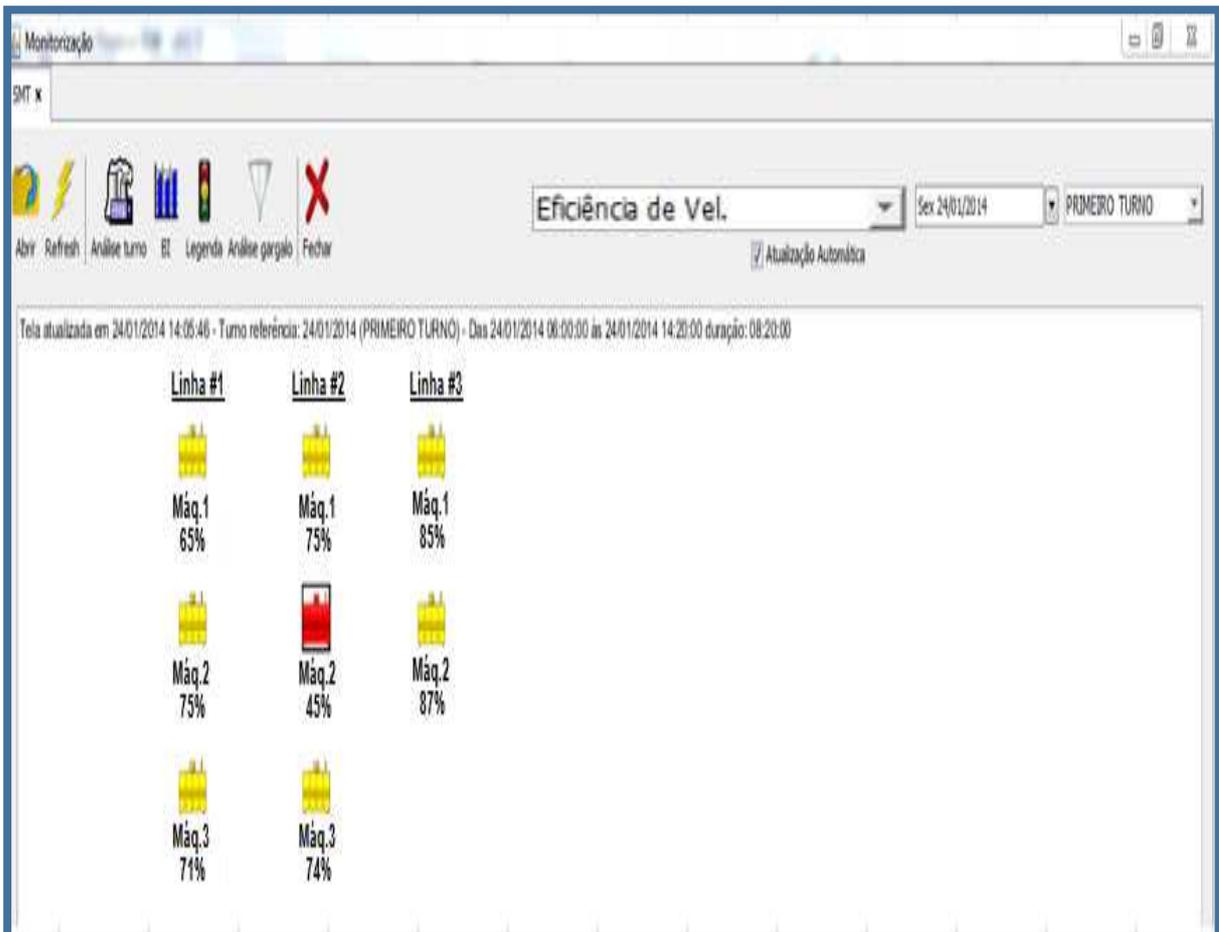


Figura 23 – Eficiência de velocidade

Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Um outro índice derivado do anterior, que também foi utilizado, pois facilita as análises, é a eficiência de velocidade. Esse item é calculado com base no ciclo padrão definido e o ciclo médio lido. Ou seja, a eficiência de velocidade é igual à relação entre o ciclo padrão e ciclo médio no período.

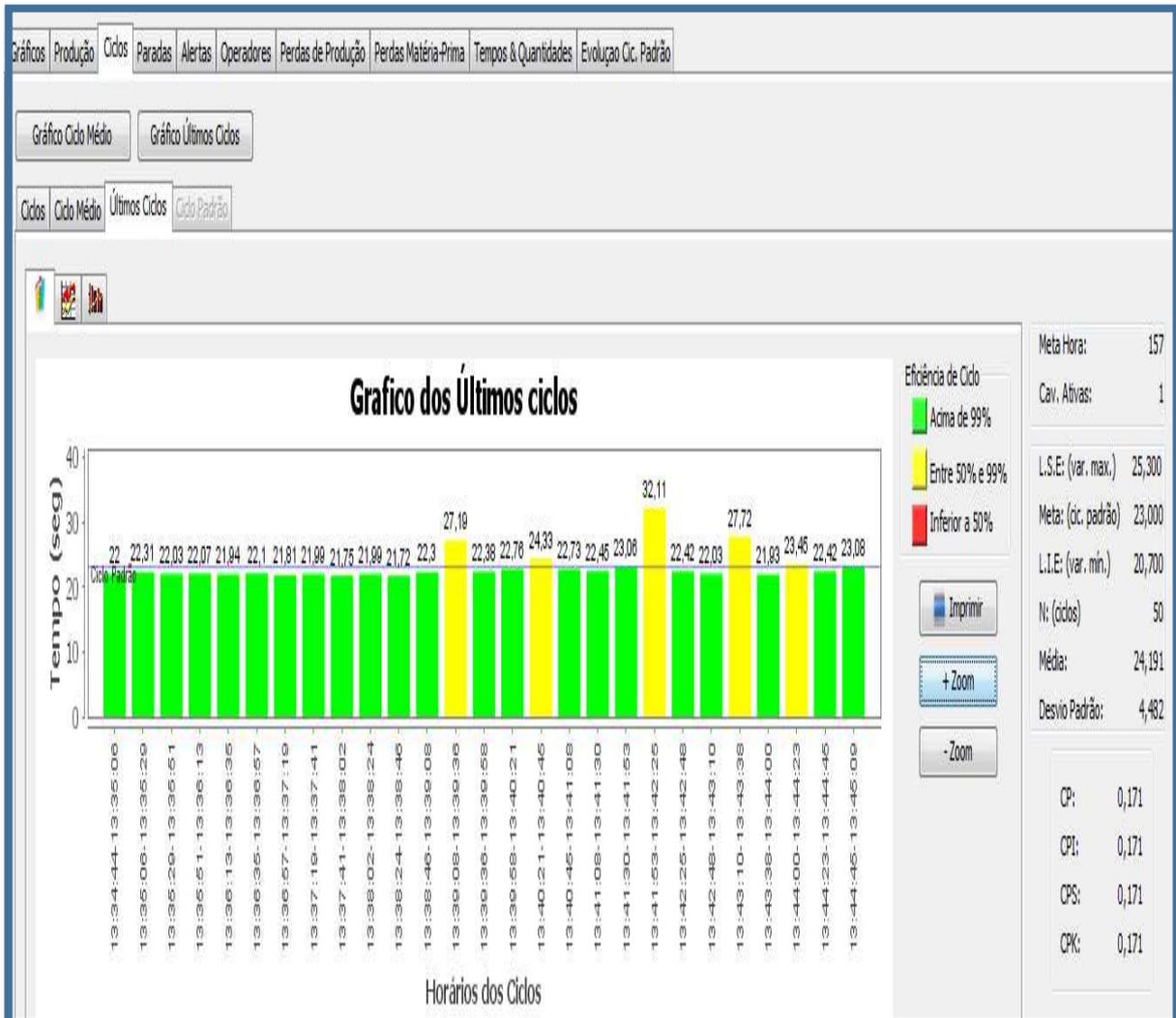


Figura 24 – Gráfico dos últimos ciclos de montagem  
 Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

No gráfico dos últimos ciclos de montagem, é possível observar quão constante estão os tempos de montagem por placa montada (ou ciclo). É uma ótima tela que, por ser bem compreendida tanto por operadores quanto pelos gerentes, possibilita a percepção das variações / perdas.

Na Figura 25, gráfico seguinte, visualiza-se outro importante indicador de monitoramento, que é a performance do ciclo médio nas últimas 24 horas. De posse dessa informação, percebe-se a estabilidade das linhas/máquinas, o que facilita o direcionamento de ações de uma forma mais ampla.



Figura 25 – Eficiência média dos ciclos de montagem nas últimas 24 horas  
 Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Na Figura 26, gráfico seguinte, visualiza-se uma tela que é ótima e rica em detalhes porque, além da eficiência de realização de um único equipamento, é possível identificar também quais componentes estão sendo perdidos e que posições eles ocupam na máquina. Em virtude disso, facilita-se o direcionamento das ações do pessoal de produção, manutenção e engenharia, dependendo da situação.

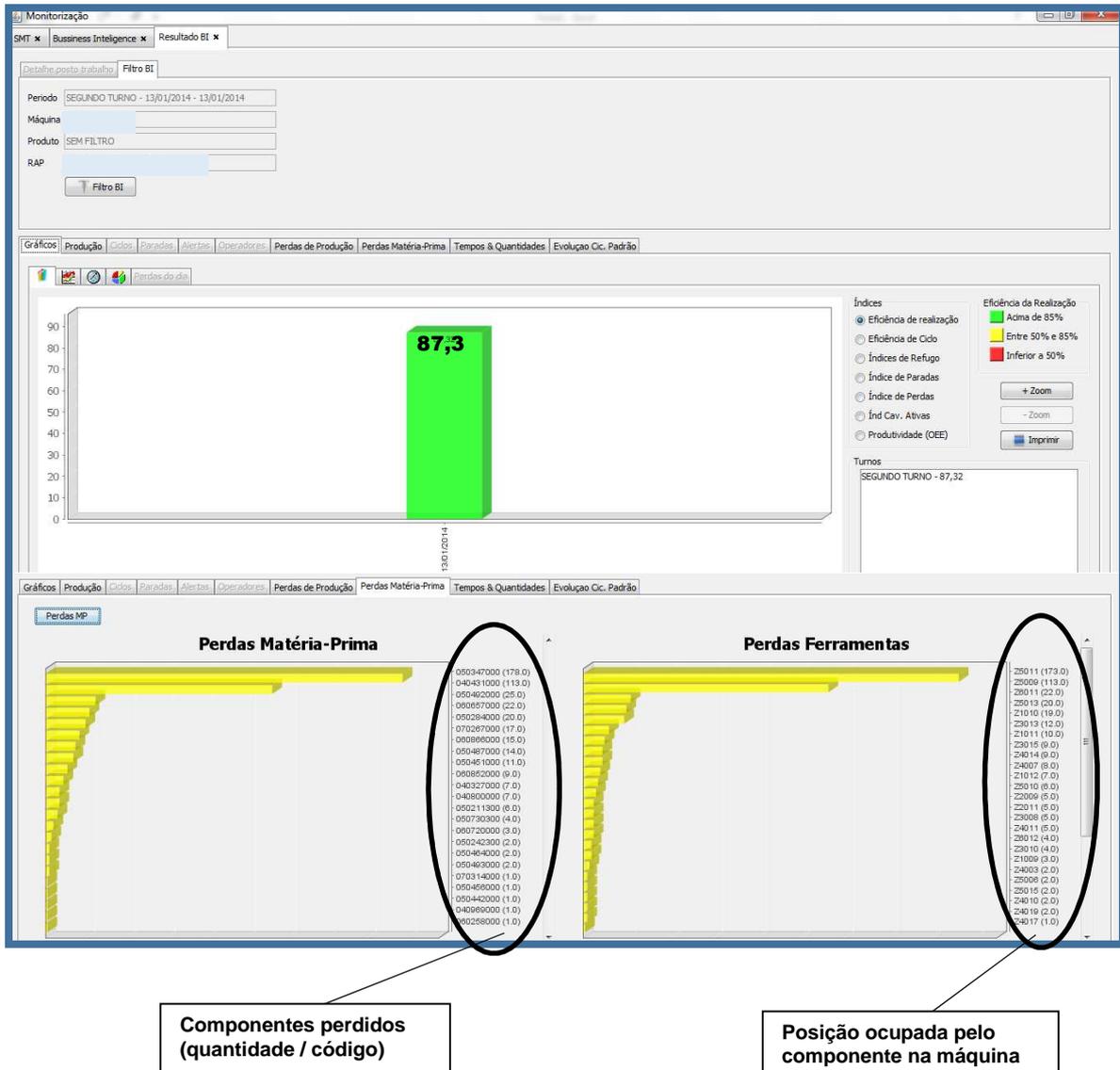


Figura 26 – Performance de um único equipamento e a perda de componentes durante as montagens

Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Na Figura 27, tem-se um gráfico mostrando, em tempo real, o balanceamento dos ciclos produtivos das máquinas e um comparativo entre os ciclos teórico e real de cada máquina. Identificando-se a máquina gargalo teórica (que tem o maior ciclo produtivo programado e é a restrição de capacidade produtiva da linha) e o seu ciclo médio, bem como a identificação do gargalo dinâmico que ocorre quando o ciclo médio de uma máquina se torna maior do que a do gargalo, a restrição se desloca de máquina.

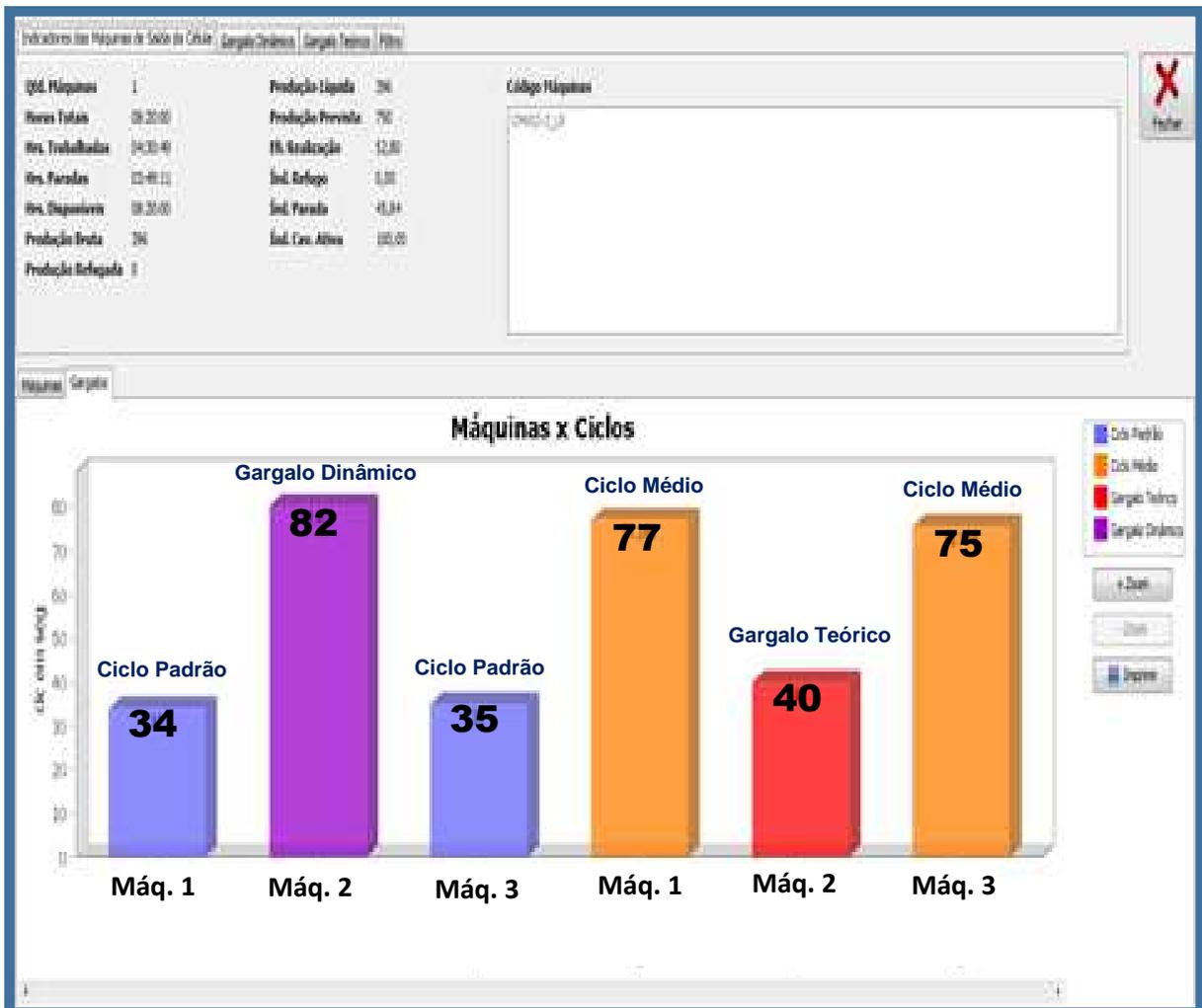


Figura 27 – Gráfico de balanceamento dos ciclos produtivos em uma linha de produção

Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Da mesma forma que na tela anterior, essa também contribui no direcionamento de ações do pessoal de produção, manutenção e engenharia dependendo da situação.

A Figura 28, a seguir, exibe preciosas informações com uma visão geral de como foi o turno de trabalho, possibilitando que o turno seguinte tenha um referencial sobre como está o desempenho dos equipamentos. Fornece também subsídio para que os gestores entendam como estão sendo tratados os problemas em termos de velocidade e prioridade.

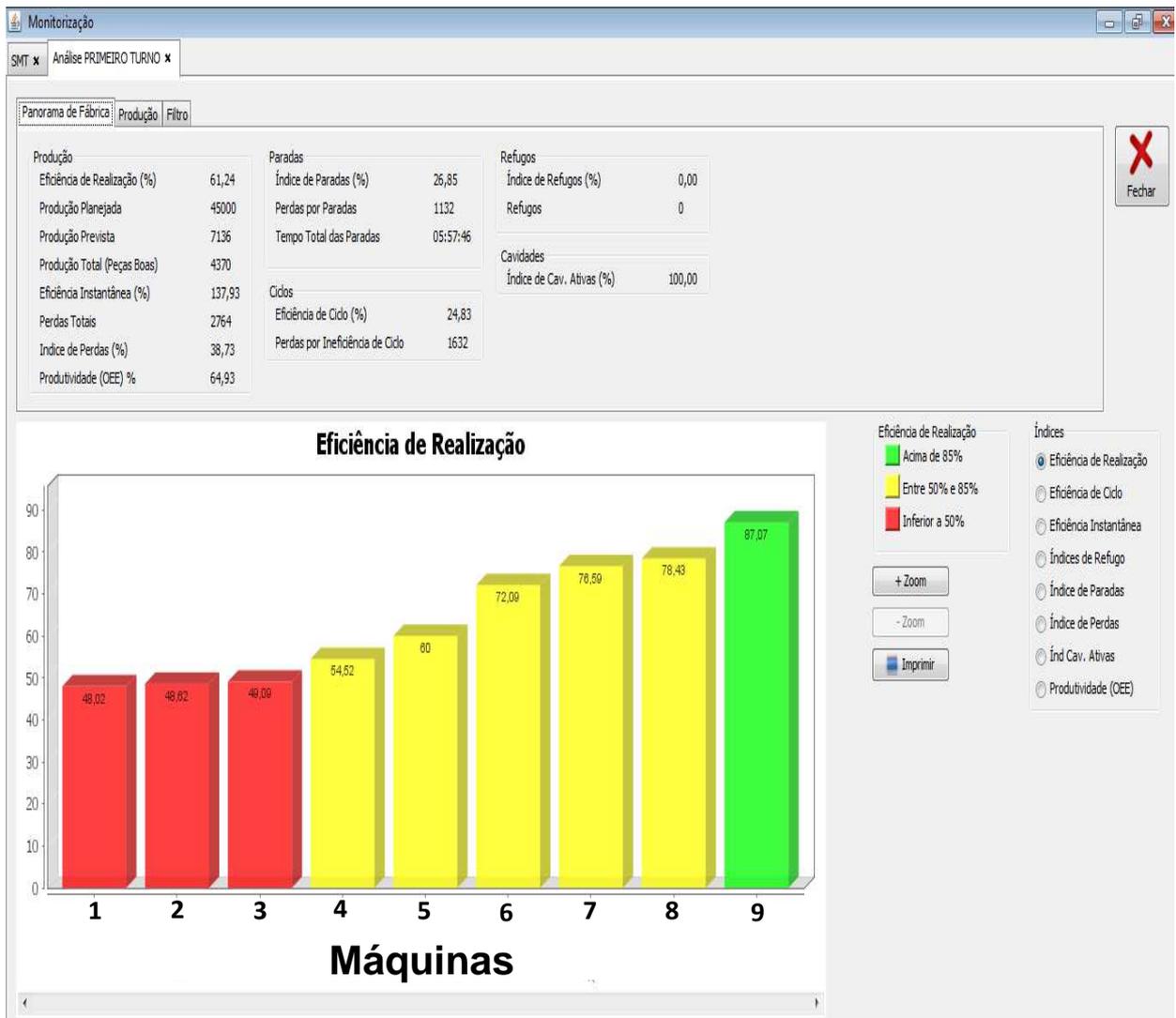


Figura 28 – Performance das máquinas em um turno de trabalho  
Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

A Figura 29, a seguir, mostra, de forma condensada e com apenas um número, como foi a performance dos turnos para determinado equipamento ou linha de equipamentos. Por ser importante, essa função macro é utilizada na reunião diária entre os setores de produção, planejamento, manutenção e engenharia.

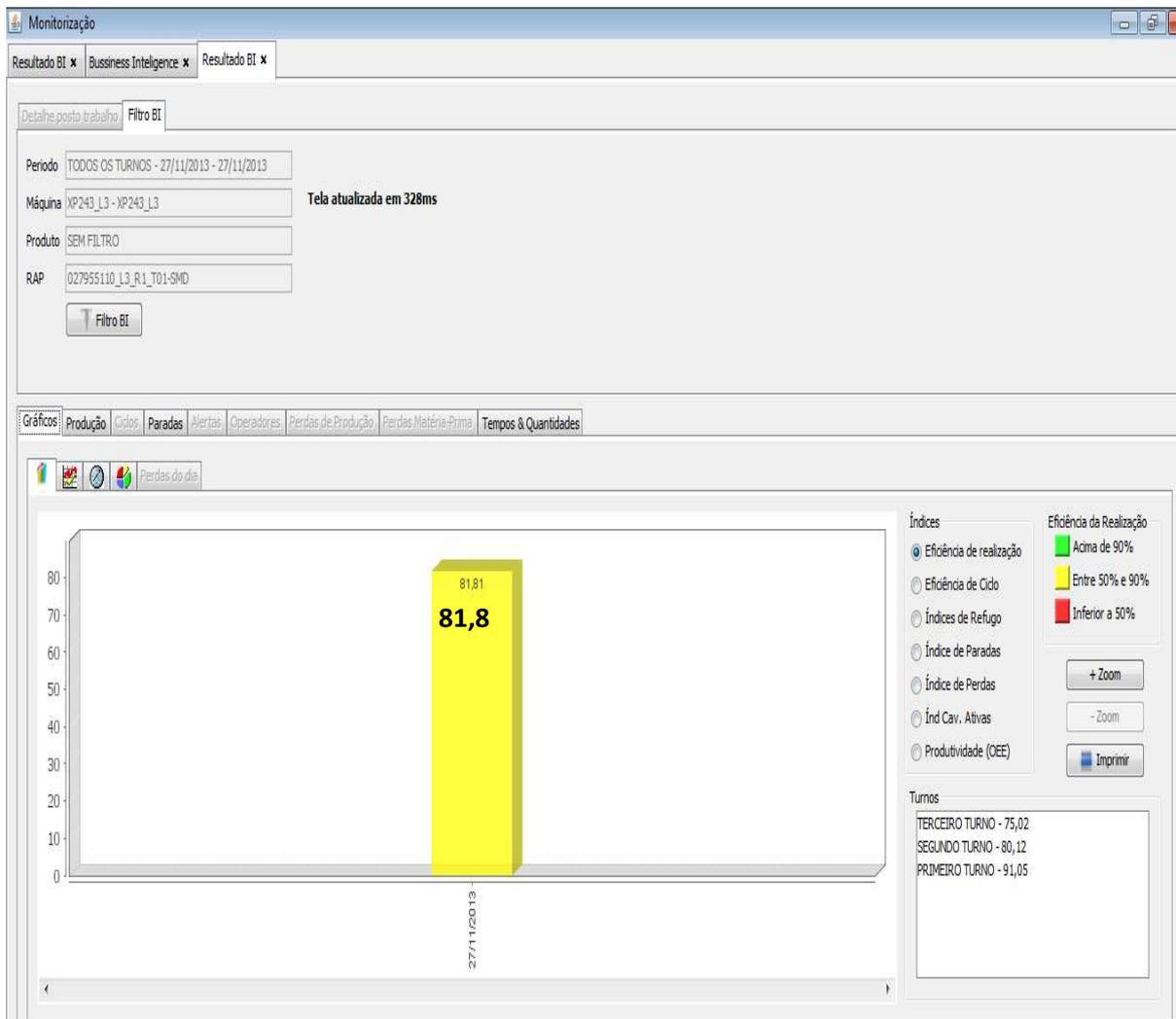


Figura 29 – Performance média de um equipamento nos 3 turnos de trabalho  
Fonte: Tela do IDW adaptada pelo autor (2014)

Durante o período do estudo, eram produzidos 92 modelos diferentes de placas. O foco da análise ocorreu em 9 placas que ocupavam em termos de hora-máquina, aproximadamente 44% do tempo total disponível.

Inicialmente foram aferidos os tempos atuais (iniciais antes das melhorias) de montagem das placas citadas acima.

Foram levantadas informações e dados relacionados ao processo de *setup*, item bem relevante, considerando que havia praticamente 01 linha de máquinas para passar essas 9 placas, as quais geravam apenas 02 produtos acabados. Ou seja, a definição do Lote Econômico de Fabricação (LEF) e sequenciamento correto poderia garantir um tempo maior de máquina efetivamente produzindo e gerando mais placas, afinal a demanda por mais produtos existia.

Outro ponto que também teve foco foram as outras perdas geradoras de paradas e diminuição da eficiência. Tais interrupções, de uma forma bem representativa, tinham como origem a manutenção e o treinamento dos operadores para realização de suas atividades, respeitando determinados padrões.

## 4 RESULTADOS

Pelo fato de monitorar em tempo real o que acontece no chão de fábrica, ou seja, ser possível o controle de cada linha de produção e individualmente de cada equipamento, o MES contribui de forma vital e robusta na Gestão do Conhecimento, uma vez que evidencia, sem nenhuma subjetividade, o que realmente está ocorrendo nas linhas de produção. Além disso, com base em dados e fatos, todas as infinitas, subjetivas e genéricas argumentações dos Supervisores, Líderes, Operadores, Técnicos e Engenheiros começam a perder força.

Dessa forma, o ambiente torna-se mais profissional e com maior comprometimento daqueles colaboradores que querem realmente trabalhar para atingir as metas definidas, dentro de um cenário onde o foco deve ser atender com excelência o escopo, prazo, custo e qualidade. Onde tem-se:

- Escopo: produzir exatamente o que é necessário;
- Prazo: respeitar o tempo definido;
- Custo: montar com o menor custo possível;
- Qualidade: atender todos os requisitos necessários para montagem.

O contexto do atual trabalho deu-se em um período de 40 dias. Durante esse tempo, observou-se que a empresa de manufatura de produtos eletrônicos possuía todos os procedimentos e equipamentos / recursos necessários para fazer com que seu processo produtivo funcionasse nas melhores condições possíveis, o que poderia levá-la a ser uma empresa com indicadores de manufatura de classe mundial ou *World Class Manufacturing Indicators (WCMI)*, assunto tratado no item 2.5.2 deste trabalho. Entretanto, em virtude da baixa performance dos equipamentos, devido a diversas perdas decorrentes de inúmeras paradas das máquinas, e dos processos não otimizados por diversos motivos e origens, a expectativa não se concretizava.

Com base nos dados coletados, foi possível identificar que as principais perdas estavam relacionadas a:

- 1) Programas das máquinas não otimizados;

- 2) Falta de atenção na máquina gargalo;
- 3) Falha de acompanhamento entre o planejado e o realizado hora a hora;
- 4) Perda excessiva de componentes e rejeições de placas;
- 5) Processo de setup confuso / tempo elevado;
- 6) Excesso de componentes na área;
- 7) Absenteísmo e má distribuição dos operadores nas linhas;
- 8) Falha no processo de manutenção das máquinas;
- 9) Falta de treinamentos específicos para os operadores;
- 10) Falta de processo robusto de melhoria contínua.

Para cada item levantado, foi feito um plano de ação elaborado com participação do time multifuncional (Operadores, Líderes de turno, Chefe do Setor, Pessoal de Manutenção, de Qualidade, de Planejamento e de Engenharia de Processo). Em função dos planos criados, os procedimentos (principalmente instruções de trabalho dos operadores e planos de manutenção) foram revisados e adequados para a realidade atual.

Foram mapeadas, também, as interações entre todos os agentes do processo produtivo, de forma a enfatizar o importante papel de cada agente com a melhoria de performance do setor. Para minimizar as 10 perdas descritas acima, foram criadas as seguintes ações diretas e conjuntas dos agentes:

Perda 1: ação direta da Engenharia;

Perda 2: ação direta da Produção e Engenharia;

Perda 3: ação direta da Produção e Planejamento;

Perda 4: ação direta da Produção, Qualidade, Engenharia e Manutenção;

Perda 5: ação direta da Produção, Planejamento e Engenharia;

Perda 6: ação direta da Produção;

Perda 7: ação direta da Produção;

Perda 8: ação direta da Manutenção;

Perda 9: ação direta da Produção, Engenharia, Manutenção e Qualidade;

Perda 10: ação direta de todos os agentes.

A Figura 30, a seguir, ilustra a interação dos agentes, de modo a enfatizar a responsabilidade conjunta de todos com o desempenho da produção.

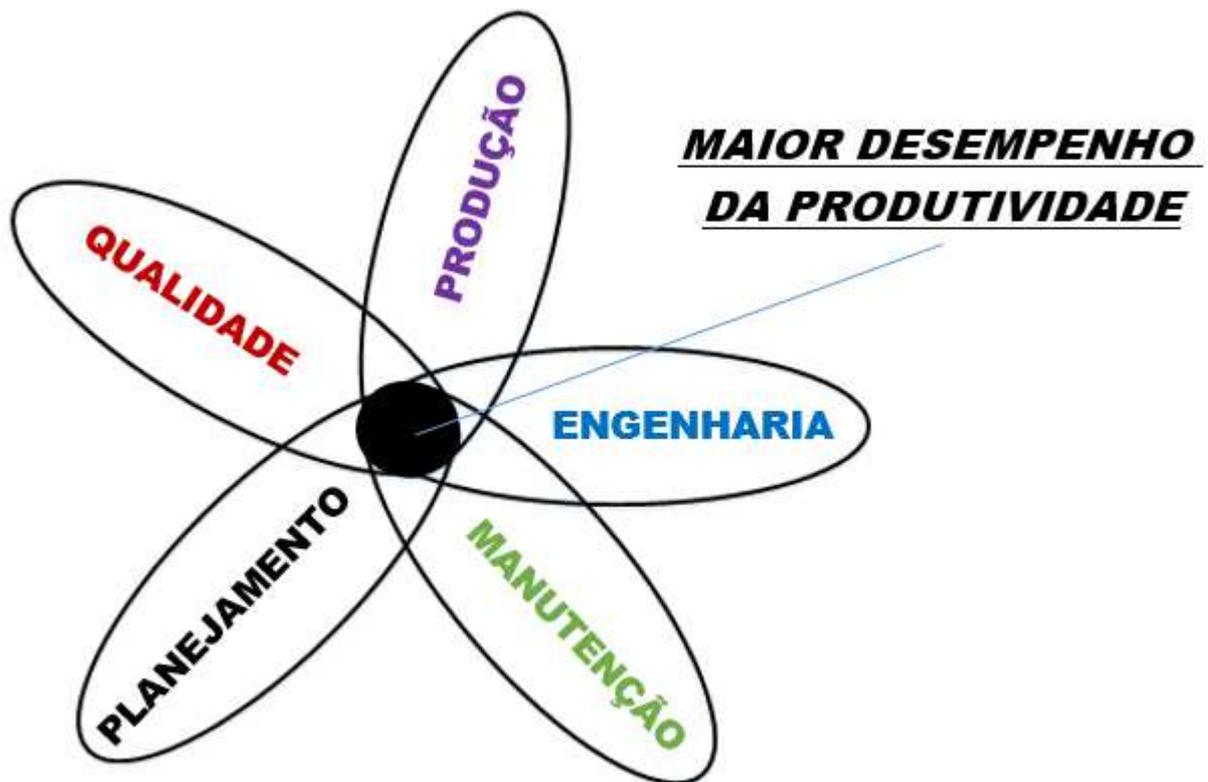


Figura 30 – Interação entre os agentes com foco no processo produtivo

O plano de ação preparado pelo time multifuncional para eliminar as perdas foi subsidiado pelos dados levantados que serão discutidos a seguir.

A Tabela 1 abaixo exhibe os tempos de montagem coletados no início do trabalho, em que as placas sinalizadas com (\*) representam as mais complexas pelo fato de possuírem acima de 400 componentes e também alguns considerados críticos no processo de montagem SMT.

Tabela 1 – Tempos iniciais de montagem

| <b>Placas</b> | <b>Tempos de montagem (s)</b> |
|---------------|-------------------------------|
| Placa 1 (*)   | 48                            |
| Placa 2 (*)   | 36                            |
| Placa 3       | 109                           |
| Placa 4       | 46                            |
| Placa 5       | 27                            |
| Placa 6 (*)   | 36                            |
| Placa 7 (*)   | 34                            |
| Placa 8       | 46                            |
| Placa 9       | 43                            |

Após a coleta dos dados acima, começou-se observar as informações geradas nas telas de eficiência de realização individual dos equipamentos, gráfico dos últimos ciclos de montagem, eficiência média dos ciclos de montagem nas últimas 24 horas, perda de componentes por alimentadores e balanceamento dos ciclos por linha.

Pelo monitoramento das telas foi possível identificar que havia máquinas com baixa eficiência (entre 55 e 41%), era grande a variação de eficiência de ciclos durante o dia de trabalho (da ordem de 21%), o balanceamento de tempos inadequado entre os equipamentos na linha (variação entre 10 a 28% entre máquinas) e perda de componentes em algumas placas (determinados componentes chegavam até 3,8%).

Feito todo esse mapeamento e coleta de informações, foram feitas as adequações necessárias principalmente nos programas e os novos tempos de montagem obtidos estão na Tabela 2.

Pelos números apresentados, verifica-se uma melhoria da ordem de 22% nos tempos de ciclo das placas analisadas. Na Tabela 3 é mostrada de forma consolidada os resultados alcançados e a Figura 31 ilustra o ganho obtido na redução do tempo de ciclo de cada placa.

Tabela 2 – Novos tempos de montagem

| Placas      | Tempos de montagem (s) |
|-------------|------------------------|
| Placa 1 (*) | 39                     |
| Placa 2 (*) | 26                     |
| Placa 3     | 90                     |
| Placa 4     | 36                     |
| Placa 5     | 21                     |
| Placa 6 (*) | 26                     |
| Placa 7 (*) | 25                     |
| Placa 8     | 36                     |
| Placa 9     | 37                     |

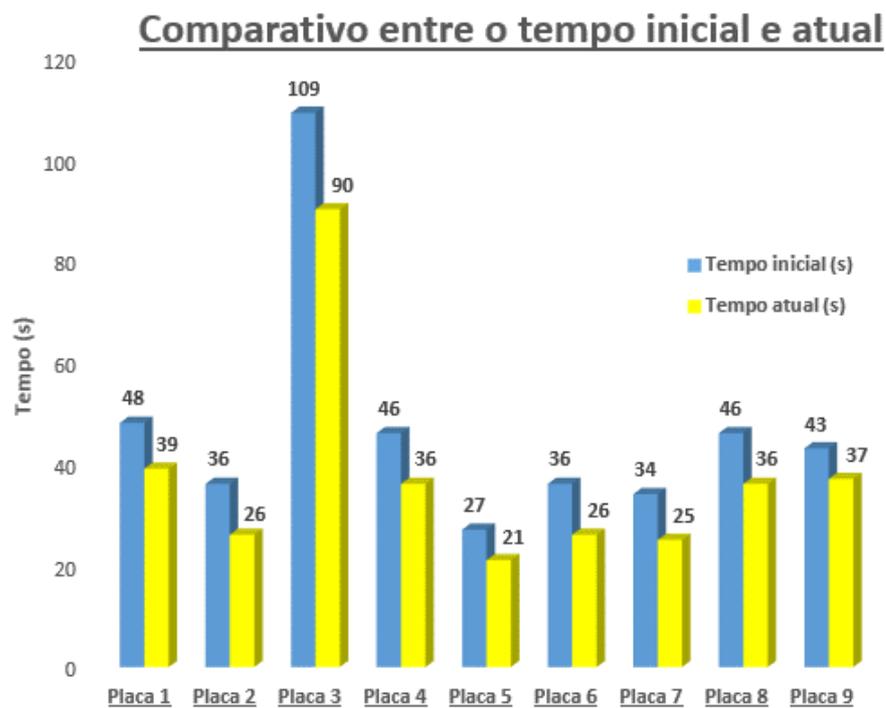


Figura 31 – Comparativo entre os tempos de ciclo antes e depois

Com relação ao processo de setup, verificou-se que o tempo da atividade variava de 38 minutos a 2 horas e 15 minutos.

Pelo fato de serem necessárias de 4 a 5 placas diferentes para formar um único produto acabado, inicialmente eram feitos de 3 a 4 setup por dia. Assim, o tempo de máquina parada era alto, pois o somatório poderia ser igual a um turno de trabalho, ou seja, praticamente 30% do tempo disponível diariamente.

Tabela 3 – Resumo consolidado dos ganhos

| <b>Placas</b>      | <b>Tempo inicial (s)</b> | <b>Tempo atual (s)</b> | <b>Diferença (s)</b> | <b>Ganho (%)</b> |
|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| Placa 1            | 48                       | 39                     | 9                    | 19%              |
| Placa 2            | 36                       | 26                     | 10                   | 28%              |
| Placa 3            | 109                      | 90                     | 19                   | 17%              |
| Placa 4            | 46                       | 36                     | 10                   | 22%              |
| Placa 5            | 27                       | 21                     | 6                    | 22%              |
| Placa 6            | 36                       | 26                     | 10                   | 28%              |
| Placa 7            | 34                       | 25                     | 9                    | 26%              |
| Placa 8            | 46                       | 36                     | 10                   | 22%              |
| Placa 9            | 43                       | 37                     | 6                    | 14%              |
| <b>Ganho médio</b> |                          |                        |                      | <b>22%</b>       |

Verificou-se a necessidade de definir o melhor LEF, e isso foi feito para cada placa, tomando como base o tempo de montagem. No que se refere ao sequenciamento das placas, foi considerado como parâmetro o tempo de setup, porque os maiores tempos eram conseguidos quando saía uma placa denominada anteriormente como complexa para outra também complexa. Dessa forma, definiu-se que a sequência de produção seria uma placa complexa, depois uma placa acessória e, posteriormente, uma complexa e assim por diante.

Com essa ação, o tempo de setup médio passou para 47 minutos, que, de forma ponderada, representou um ganho de 10,5 horas na semana.

|                                      |                             |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Ganho médio no tempo de setup</b> | <b>10,5 horas na semana</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------|

Esse resultado foi alcançado pela utilização de conceitos advindos da técnica de *Single Minute Exchange of Die* (SMED), ou troca rápida de ferramenta, que define, de forma clara, a condição de setup externo e interno. Externamente, devem ser feitas adequadamente todas as atividades que não necessitam que o equipamento esteja parado, tais como posicionamento dos componentes nos alimentadores, verificação dos componentes, posicionamento dos alimentadores nas posições livres na máquina, separação do *stencil* a ser utilizado. Já internamente, constatou-se a necessidade de que o processo fosse iniciado com o equipamento parado, a fim de

que houvesse mais rapidez na realização dessa etapa, porque, na prática, o tempo de setup é o representado por essa etapa.

No caso em estudo, além da questão do sequenciamento citado anteriormente, outro item fundamental para o ganho exposto acima, foi o melhor aproveitamento do setup externo, pois focou-se, de forma mais clara, o posicionamento dos componentes nos alimentadores. Perdia-se muito tempo procurando componentes, em função de esses elementos serem entregues pelo Almojarifado para a Produção em caixas, conforme Figura 32, As referidas caixas permaneciam na linha até o término do kit. Nesse caso, a melhoria implementada ocorreu após a conferência dos componentes posicionados em prateleiras, exibida na Figura 33, já que a posição de cada componente já estava definida. Esse aprimoramento do sistema tomou como base o respeito ao critério sequencial crescente dos códigos, o qual facilitou, inclusive, a busca nas realimentações futuras após o setup, outro motivo de perda.



Figura 32 – Caixa de componentes SMT



Figura 33 – Prateleira de componentes SMT

As prateleiras também contribuíram para limitar a quantidade máxima de componentes (carretéis) que poderiam ficar na área de produção, contribuindo, assim, para organização da área e manutenção acurada do estoque de componentes disponíveis para produção de lotes futuros.

Em termos de eficiência de realização, o patamar inicial médio superior de 73 e médio inferior de 62% saltaram para valores médio superior de 91 e médio inferior de 77%. Os ganhos de 17 a 18 pontos percentuais representaram melhora real da ordem de, aproximadamente, 24,5%. A Figura 34, abaixo, mostra os valores médios superiores.

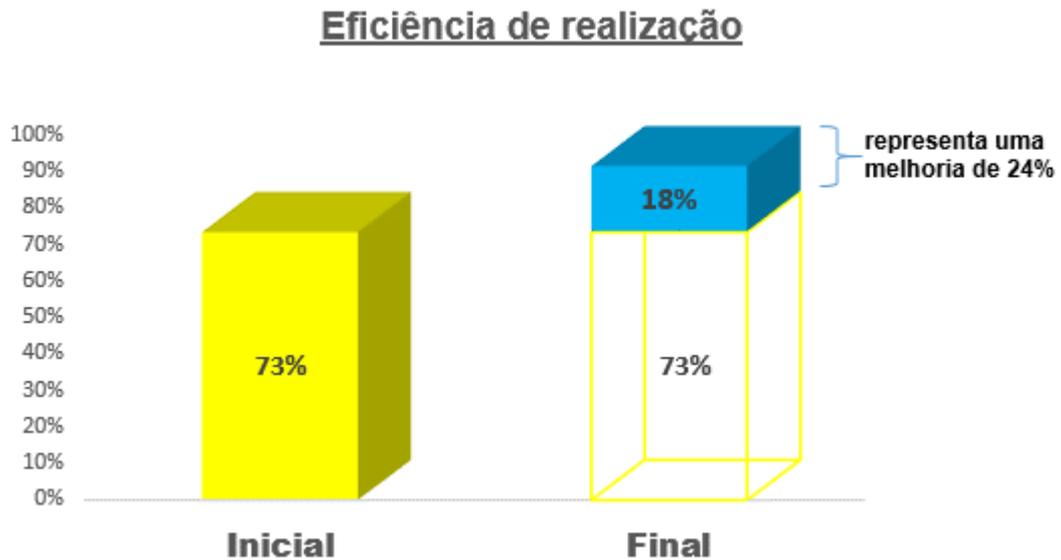


Figura 34 – Melhoria na eficiência de realização

Com relação ao comportamento do indicador OEE, no período da pesquisa, tem-se o que está mostrado na Tabela 4 e Figura 35. Esse resultado é fruto, principalmente, da melhoria ocorrida na eficiência de realização que reflete grande parte das perdas, embutida nas variáveis (disponibilidade, eficiência e qualidade) que compõem o OEE.

Tabela 4 – Evolução do OEE

|                        | <i>Inicial</i> | <i>Final</i> |
|------------------------|----------------|--------------|
| <b>Disponibilidade</b> | 80,0           | 88,0         |
| <b>Eficiência</b>      | 73,0           | 91,0         |
| <b>Qualidade</b>       | 90,0           | 94,0         |
| <b>OEE</b>             | 52,6%          | 75,3%        |

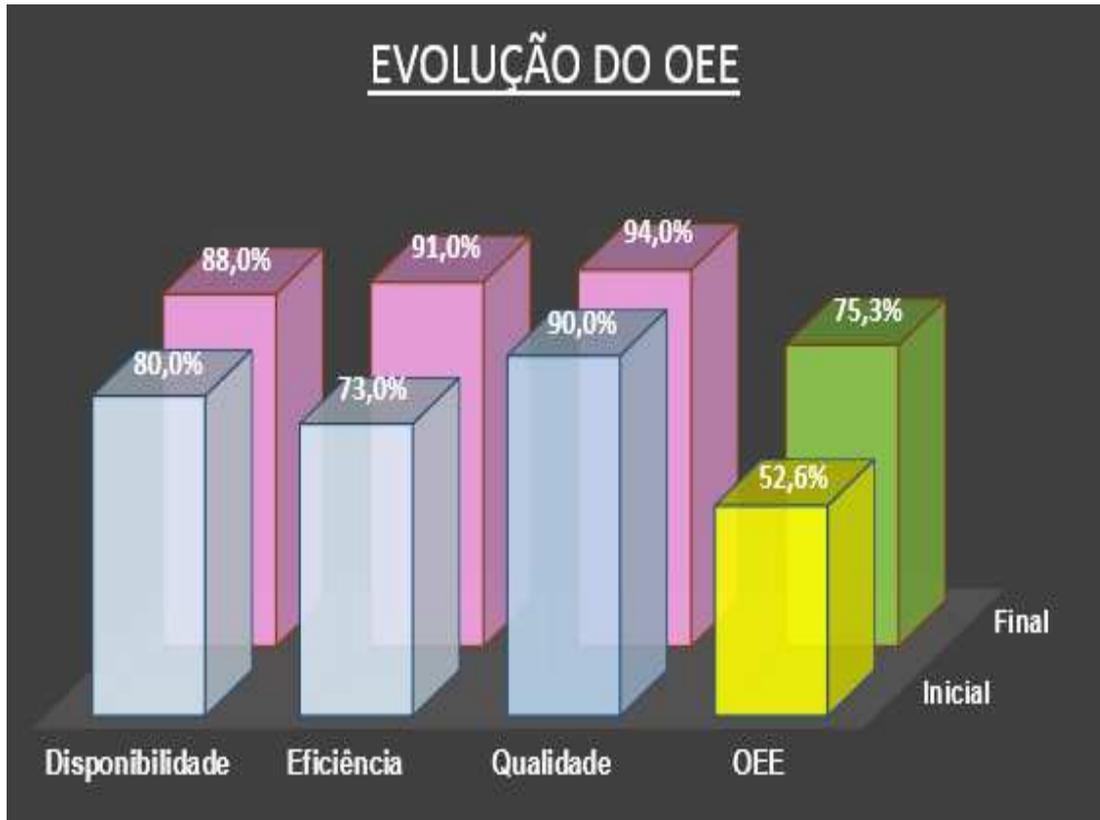


Figura 35 – Evolução do OEE

Os resultados foram conseguidos com bastante conversa e interação do time multifuncional. O processo de melhoria contínua começou a ser internalizado dentro de cada membro da equipe, pois, assim, torna-se mais fácil manter e melhorar os resultados já alcançados. Um aliado importante que facilita todo processo de comunicação é a gestão à vista, que nesse caso seria o monitoramento em tempo real daquilo que, de fato, está acontecendo nas máquinas e linhas de produção em termos de performance. Na Figura 36, observa-se formato de comunicação adotado.

Adicionalmente aos outros pontos comentados anteriormente, um exemplo contundente de melhoria de percepção e contextualização do ambiente para ações gerenciais e operacionais que minimizem o acúmulo de perdas e desvios do processo produtivo foi apresentado na Figura 27 – balanceamento de ciclos em virtude de agilizar a tomada de ações pelo time multifuncional.

As informações citadas acima e as outras vistas anteriormente podem estar disponibilizadas aos gestores nos desktops ou notebooks que ficam em suas respectivas mesas, como também em tablets ou smartphones, como exibido na Figura 37.



Figura 36 – Tela para monitoramento de performance



Figura 37 – Monitoramento através de tablets ou smartphones  
Fonte: <http://www.maptechnology.com.br/pt-br/mes-idw>

Dessa forma, a capacidade produtiva das placas, foco da pesquisa, foi aumentada em aproximadamente 30%, o que representa a capacidade de, praticamente, 1 turno de trabalho. No entanto, o maior ganho alcançado foi em termos da Gestão do Conhecimento, porque ficou nítido que todo time motivou-se com os desafios, levando ao nivelamento do conhecimento, à clareza dos objetivos e metas e ao reconhecimento de cada indivíduo no que se refere ao seu papel no resultado do setor. A manutenção dos resultados está sendo conseguida em função da interação de todos os agentes (time multifuncional) nas reuniões diárias, semanais e mensais. Portanto, há o fortalecimento da identidade da organização da manufatura e da sua capacidade de se auto-organizar diante das mais constantes mudanças internas (operacionais) e externas (variação das demandas e diversidade de produtos)

## 5 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

As Figuras 38, 39 e 40 mostram o cronograma das atividades, tempo planejado para cada evento e percentual de conclusão, desde a etapa de cursar as disciplinas até a defesa da dissertação.

O tempo decorrido para execução das atividades considera o que foi suficiente para conseguir absorver o conteúdo estudado, aplicar na prática o tema de pesquisa proposto e redigir no formato próprio o trabalho realizado.

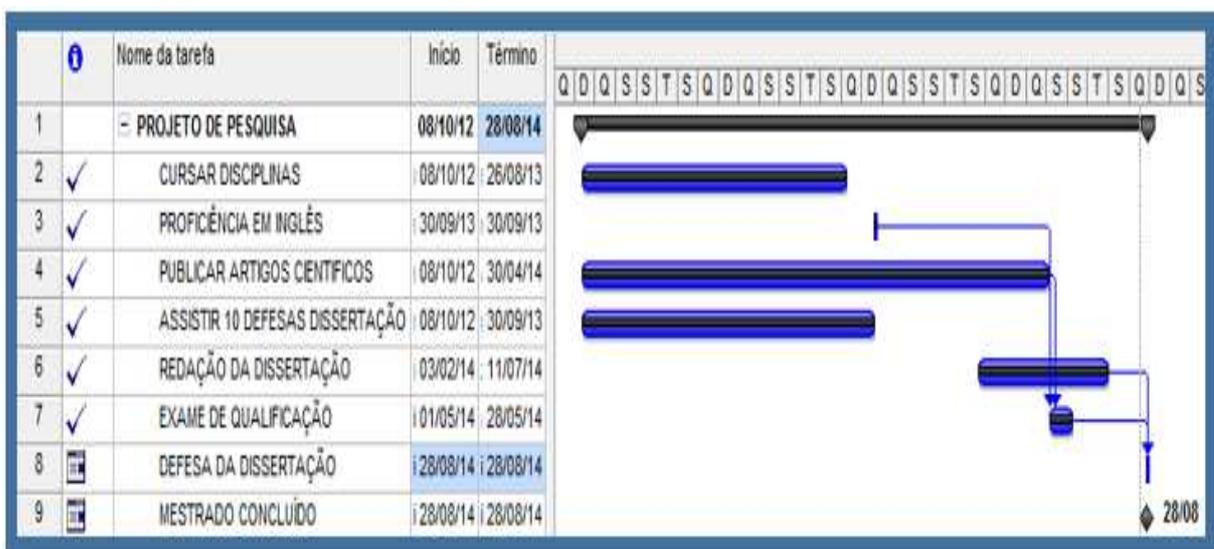


Figura 38 - Cronograma de atividades

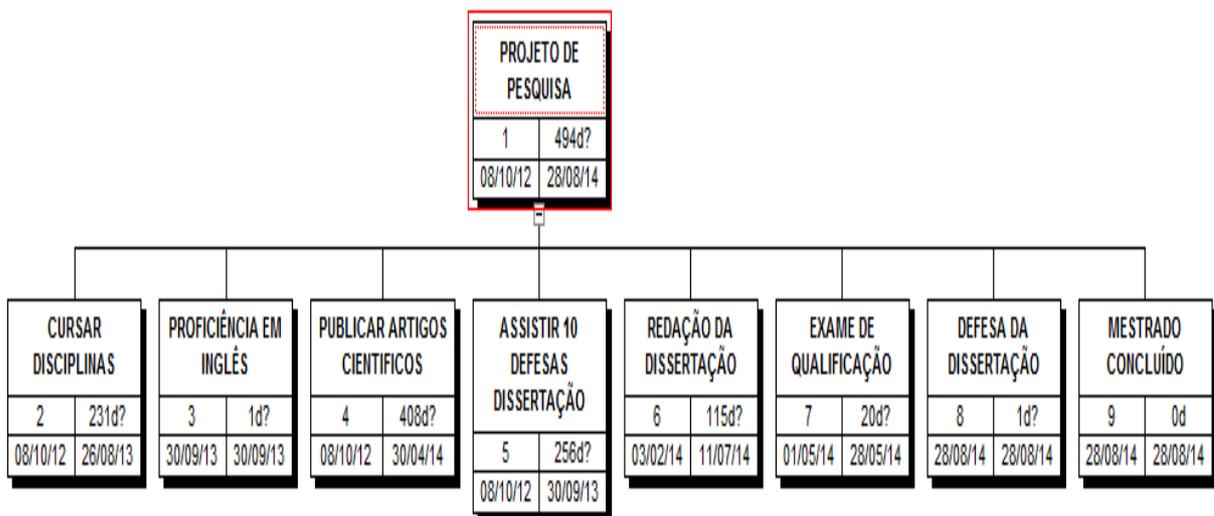


Figura 39 - Estrutura analítica das atividades com o tempo estimado

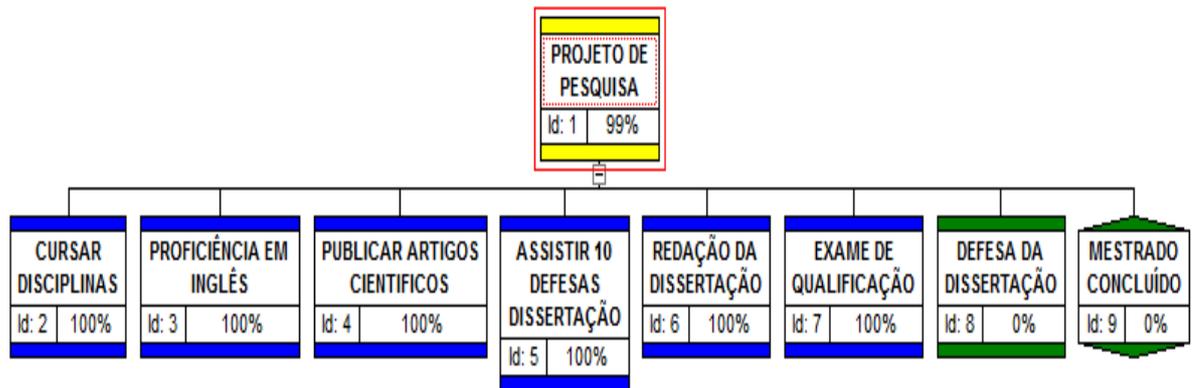


Figura 40 – Estrutura analítica das atividades com andamento

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados, percebe-se que o MES tem papel preponderante na aplicação sistêmica da gestão do conhecimento, principalmente pelo fato de ser um dos alicerces mais importantes e de grande contribuição no desempenho operacional, seja por ajudar a manter o padrão de excelência dos indicadores de produtividade, qualidade, custo e atendimento aos clientes (pontualidade), seja por manter o processo produtivo em constante evolução, pela interação entre as partes envolvidas e sua adaptação ao complexo macrocenário competitivo em que a organização está envolvida, segundo discutiu-se na introdução e revisão da literatura desse trabalho sobre os SCA.

Pode ser enfatizado que o grande desafio das empresas é criar, aumentar, aplicar e manter o conhecimento de forma sistematizada (como lições aprendidas pelas interações realizadas), através de um sistema MES, para que todo esse processo de evolução e adaptação se mantenha de forma colaborativa e independente de ações de interesses pessoais ou de controles diretivos centralizados. Assim, constatou-se que o estabelecimento de uma forma sistêmica, com o auxílio da tecnologia da informação, fortalece a identidade da organização e possibilita sua continuidade, pois passa de uma estrutura com indivíduos isolados a outra, caracterizada pela identidade coletiva. Nesse contexto, facilita-se a introdução da filosofia da melhoria contínua e da capacidade inovadora que pode elevar uma empresa a um novo patamar de competitividade.

O fortalecimento dessa identidade de modo contundente é o que propicia a capacidade de adaptação, viabilizando, a partir desse momento, que seja feita, de forma sistêmica, a transformação do conhecimento tácito em explícito e do explícito em tácito dentro do ciclo virtuoso visto também na revisão da literatura.

Ademais, é importante que o gestor de organizações da manufatura mude o seu modelo mental em relação ao que possam representar as mudanças e procurar interpretá-las como oportunidades, não como ameaças. É possível compreender que a estabilidade é uma necessidade do conforto humano, baseada na percepção de segurança pela previsibilidade do amanhã. Todavia, tal necessidade não é compatível com o comportamento dinâmico e imprevisível do mercado, que tem direcionado o esforço de competitividade no sentido não somente da estratégia de

redução de custo, mas também pela inovação, seja para melhorias de processos e gestão ou para melhorias de funcionalidade de novos produtos. Além disso, vale frisar que os melhores resultados estão sempre presentes quando tem-se um nível de Gestão que é focada no detalhe, dos pontos mais críticos do processo.

O projeto mostrou a perspectiva da integração de vários campos do conhecimento, seja dos conceitos baseados na teoria da complexidade do caos, como exemplo visto que são as SCA, ou o que caracteriza um sistema caótico que é a alta dependência das condições iniciais. Onde algo que pode representar tal situação seria uma alimentação errada de componentes nas máquinas, pelo fato de gerar um efeito desordenador terrível e acumulativo, contribuindo negativamente com o resultado financeiro. Nesse caso em específico o maior agravante são as pequenas dimensões dos componentes, onde, quando possível um retrabalho é extremamente crítico e oneroso.

Fato marcante e simbólico que gerou ganho significativo, salientado nos resultados, foi a capacidade de extração do conhecimento a partir de uma ampliação da percepção de interação com o ambiente, onde temos como exemplo relevante a otimização dos tempos de set up (preparação das máquinas para início da produção), conseguidos através da definição racional e viável de um lote econômico de fabricação, feito para cada placa, tomando como base o tempo de montagem. E no que se refere ao sequenciamento das mesmas, foi considerado como parâmetro a variável tempo, porque observou-se que os maiores tempos ocorriam quando saía uma placa denominada anteriormente como complexa para outra também complexa. Desse modo, definiu-se que a sequência de produção seria uma placa complexa, depois uma placa acessória e, posteriormente, uma complexa e assim por diante.

Dentro desse contexto, para que a gestão do conhecimento seja efetiva o departamento de recursos humanos tem papel fundamental no mapeamento das competências e capacitação dos colaboradores.

Atualmente, os gestores devem atuar mais como orientadores dos agentes que atuam diretamente no ambiente fabril, para que se agregue mais valor com a percepção do ambiente, do entendimento e do conhecimento sobre esse ambiente, tendo como base a inferência de ações eficazes e efetivas para se obterem os melhores resultados de desempenho possível, diante da dinâmica de mudanças que ocorrem no processo produtivo. Assim, é possível agregar à famosa ideia de Peter

Drucker, de que a principal matéria-prima para a competitividade do século XXI é o conhecimento, a noção de que a clara percepção do ambiente e de sua contextualização pode otimizar e tornar ainda mais produtivo o conhecimento.

No quadro 3 é mostrado um resumo do atingimento dos objetivos traçados.

| <b>OBJETIVO GERAL</b>   |
|---|
| Demonstrar como o fortalecimento da identidade das organizações feito de forma sistêmica, com auxílio de um sistema de MES e da Gestão do Conhecimento pode contribuir para a melhoria de desempenho do processo produtivo de uma empresa de manufatura de produtos eletroeletrônicos do Pólo Industrial de Manaus (PIM). |
| Demonstrado através dos resultados obtidos e apresentado ao longo da dissertação e também pela execução dos objetivos específicos. E também afirmações enfatizadas na página 76.  |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>  |
| 1) Identificar e corrigir as perdas que influenciam nos indicadores de desempenho (OEE);<br>2) Avaliar e melhorar as interações entre os agentes envolvidos no processo produtivo;<br>3) Propor uma forma sistêmica e estruturada para manutenção da Gestão do Conhecimento na empresa.                                   |
| 1) Exibido nas páginas 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 e 70;<br>2) Exibido nas páginas 63 e 64;<br>3) Exibido nas páginas 24, 30, 71, 72 e 73.   |

Quadro 3 – Resumo dos Objetivos

Por fim o trabalho de pesquisa realizado enaltece a importância da Academia porque de uma forma pragmática foi mostrado o valor que o conhecimento tem na capacidade de transformação das realidades.

Como sugestão de trabalhos futuros, indica-se:

- 1) Utilizando os benefícios do MES, explorar com mais profundidade os ganhos financeiros de forma quantitativa que podem ser alcançados;
- 2) Associar os dados do MES mais a Gestão do conhecimento para garantir com embasamento técnico uma maior confiabilidade (disponibilidade) dos equipamentos/recursos produtivos;
- 3) Explorar e relacionar importantes ganhos gerados com a associação do MES, SMED e Teoria das Restrições.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, M. E. **Complexidade e organizações, Em busca da gestão autônoma**. São Paulo: Atlas, 2003.
- AMIDON, Debra M. **Innovation strategy for knowlegde economy, the ken awakening**. Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 1997.
- AXELROD, R. **A evolução da cooperação**. São Paulo: Leopardo Editora, 2010.
- CARDOSO, M. A. P.; SANDRINI, P. T.; SILVA, A. M. Gestão do conhecimento organizacional. In: **IX CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO**. 2013, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg9/anais/T13\\_0674\\_3325.pdf/](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg9/anais/T13_0674_3325.pdf/)>. Acesso em: 12 fev. 2014.
- CARDOSO, M. A. P.; SILVA, A.M.; SANDRINI, P. T. A utilização de um sistema de MES na aplicação da gestão do conhecimento para melhoria do desempenho e adaptação do processo produtivo de montagem automática de placas eletrônicas. In: **III CONGRESSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO SUL**. 2014, Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.sociesc.org.br/congressos/SearchCONEPRO/>>. Acesso em: 15 mai. 2014.
- CHIARADIA, A. **A utilização do indicador de eficiência global dos equipamentos na gestão de melhoria contínua dos equipamentos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2004.
- COELHO, C. C. S. R. **Complexidade e sustentabilidade nas organizações. 2001**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3030.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2014.
- COVEY, S. **Seven Habits of Highly Effective People**. New York: Fireside, 1989.
- DAWKINS, R. **A grande história da evolução**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.
- DRUCKER, P, (1988). **The coming for the New Organization**. Harvard Business Review, V. 66, (1) p. 45-54.
- FURASTÉ, P. A. **Normas Técnica para o trabalho científico**. 17.ed. Porto Alegre: Dáctilo Plus, 2013.
- GELL-MANN, M. **O Quark e o Jaguar, As aventuras no simples e complexo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.
- GLEISER, I. **Caos e complexidade**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

HANSEN, R. C. ***Eficiência Global dos Equipamentos***. São Paulo: Bookman, 2006.

HOLLAND, J. H. ***A ordem oculta***. Lisboa: Gradiva, 1997.

I.P.S. Ahuja, J.S. Khamba, (2008). ***Total productive maintenance: literature review and directions***. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 25 Iss: 7, pp.709 - 756

ISA S95-1, ***International standard for the integration of enterprise and control systems***.

NAKAJIMA, S. ***Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance***. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989

NAKASATO, K. ***Segundo Curso de Formação de Instrutores de TPM***. XV Evento Internacional de TPM. I.M.C Internacional Sistemas Educativos. 1994.

MEYER, H.; FUCHS, F.; THIEL, K. ***Manufacturing Execution Systems, Optimal Design, Planning, and Deployment***. New York: Mc Graw Hill, 2009.

MITCHELL, M. ***Complexity, A guide tour***. New York: Oxford University Press, 2009.

NAKAJIMA, S. ***Programa de desarrollo del TPM***. Madri: TGP Teconologia de Gerencia y Produccion, 1992.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. ***Criação de conhecimento na empresa***. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. ***Gestão do Conhecimento***. São Paulo: Bookman, 2009.

NUSSENZVEIG, A. M. ***Complexidade & caos***. Rio de Janeiro: Copea, 1999.

PALMEIRA, J. N.; TENÓRIO, F. G. ***Flexibilização organizacional***. Rio de Janeiro: FGV, 2002.

ROTHER, M.; SHOOK, J. ***Aprendendo a enxergar, mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício***. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SHIROSE, K. ***TPM para mandos intermédios de fábrica***. Madrid: Productivity Press.1994. 155p. ISBN 84-87022-11-1

SHANNON, E. C. ***A Mathematical Theory of Communication from The Bell System Technical Journal***, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948.

SUZUKI, T. ***TPM em Indústrias de Processo***. New York: Productivity Press, 1994.

WIREMAN, T. ***Total Productive Maintenance***. 2.ed. New York: Industrial Press, 2004.

YAMAGUCHI, C. T. ***TPM, Manutenção Produtiva Total***. São João Del Rei: Instituto de Consultoria, 2004.

YOSHIDA, K. **Training for TPM, a manufacturing success story.** Portland: Productive Press, 1990.

## OBRAS CONSULTADAS

CHASE, R. B. **Administração da Produção para vantagem competitiva**. 10.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CORRÊA, A. C. **O Balance Scorecard como um Sistema Complexo Adaptativo – uma abordagem quântica e estratégica**. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005. Disponível em: [http://www.sigmees.com.br/files/TESE\\_ANGELA.pdf](http://www.sigmees.com.br/files/TESE_ANGELA.pdf). Acesso em: 21 jul. 2014.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 2006.

HOLLAND, J. H. **Emergency – from chaos to order**. New York: Basic Books, 1999.

MANN, D. **Creating a Lean Culture – Tools to Sustain Lean Conversions**. 2.ed. New York: CRC Press, 2010.

NETO, R. B. **Perspectivas da Complexidade aplicada à Gestão das Empresas**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-03062008-100514/en.php>. Acesso em: 21 jul. 2014.

OLIVEIRA, C. C.; MARTINS, R. F.; XAVIER, A. A. P. Aplicação da Manutenção Produtiva Total (TPM) - estudo de caso em uma indústria alimentícia. In: **XVI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. 2009, São Paulo. Disponível em: <[http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/E-book%202009/CONGRESSOS/Nacionais/2009%20-%20SIMPEP/XVI\\_SIMPEP\\_Art\\_8\\_a.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/E-book%202009/CONGRESSOS/Nacionais/2009%20-%20SIMPEP/XVI_SIMPEP_Art_8_a.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2014.

SANTOS, A. C. O.; SANTOS, M. J. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – um estudo de caso. In: **XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. 2007, Paraná. Disponível em: <<http://www.volumetric.com.br/anexos/oeepdf/>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, M. M.; MARQUES, L. C.; SANTOS, J. M. N.; ROQUE, Y. M.; MOTA, E. B. F. Um estudo sobre a implementação do TPM (Total Productive Maintenance) e seus resultados. In: **XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. 2013, Bahia. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_177\\_007\\_22969.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_007_22969.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2014.

SLACK, N. **Vantagens competitivas em manufatura**. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, D. H. *The OEE Primer*. New York: CRC Press, 2010.

TAPPING, D.; LUYSTER, T.; SHUKER, T. *Value Stream Management*. New York: Productivity Press, 2002.

**ANEXOS**

**ANEXO A** – Dispositivo para posicionar magazines com placas a serem montadas  
(Loader)



## FEATURES

- SMEMA interface
- Dual clamping system for magazine warp prevention
- Easy operation with “EASY S/W”
- Compact design
- LED tower light
- Alarm code display
- PCB pushing guide

**ANEXO B** – Dispositivo para armazenagem de placas nuas a serem montadas (BBU)



## FEATURES

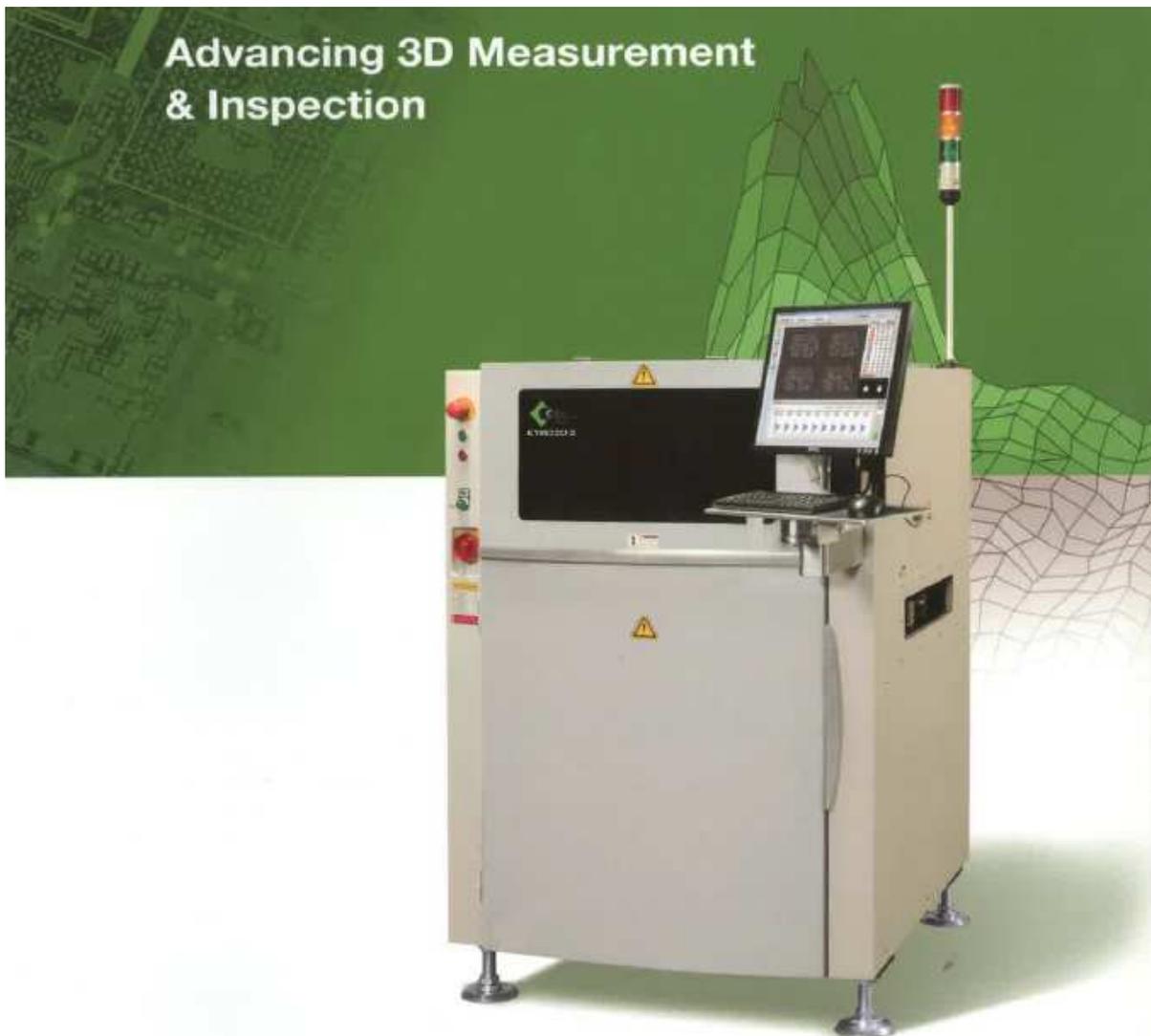
- SMEMA interface
- PCB front input system free from fixed rail direction
- Compact design
- LED tower light
- Safety cover design against dust and particle
- Reduced operation by PCB table up-down system
- Selectable vacuum pad against PCB size
- Adoption of magnet type and selectable pick-up point of PCB
- Convenient digital vacuum pressure sensor
- Enough vacuum for large PCB

## ANEXO C – Máquina de impressão de pasta de solda (*PRINTER*)



| Standard Configuration       | Specification   |
|------------------------------|---|
| Machine Alignment Capability | >2 Cpk @ +/- 12.5µm, 6 Sigma #  |
| Process Alignment Capability | >2 Cpk @ +/- 25µm, 6 Sigma #  |
| Core Cycle Time              | 12 secs (11 secs with HTC option)   |
| Maximum Print Area           | 510mm * (X) x 508.5mm (Y)   |
| Printer Construction         | One piece optimized welded frame  |
| ISCAN™ Machine Control       | Motion control using CAN BUS network  |
| Operating System             | Windows XP  |
| Operator Interface           | Colour TFT touch screen display, keyboard and trackball with DEK Instinctiv™ software. Machine mountable on either left or right hand side. |
| Camera                       | Green digital camera, using IEEE 1394 interface. Multi channel. LED lighting. FOV 5mm x 8.5mm   |
| Camera Positioning           | Rotary motors and encoders with 4 micron resolution   |
| Squeegee Pressure Mechanism  | Software controlled, motorized  |
| Stencil Positioning          | Manual with screen depth adjuster   |
| Stencil Alignment            | Motorised via actuators X, Y and Theta  |
| Squeegee                     | Clamped double training edge squeegee (1 set included)  |
| Tooling                      | Magnetic tooling pins<br>18mm diameter x 15<br>4mm diameter x 15  |

## ANEXO D – Máquina de inspeção de pasta de solda (SPI)



## SPECIFICATIONS

[www.kohyoung.com](http://www.kohyoung.com)

### Must-have Requirements of 3D SPI systems

⊙ Excellent ○ Good

|  | Solution  |   |
|--|---|---|
| Solution to Shadow Problem                   | ⊙   | 3D Shadow Free Moiré Technology & Dual Projection |
| Real-time                                    | ○   | Pad Referencing (Optional)                        |
| PCB Warp Compensation                        | ⊙   | Multi Frequency Moiré Technology                  |
| Operator User Friendliness                   | ⊙   | Touch Screen Operation (Optional), EasyUse        |
| FOV(Field of View) Size                      | 20 μm*  | 25 μm*  |
|  | 49.1 x 41.2 mm (1.93 x 1.62 inch)                                 | 61.4 x 51.5 mm (2.42 x 2.03 inch)                 |
| Inspection Time per FOV                      | 0.72 sec  | 0.74 sec  |
| Min. Paste Deposit Size                      | 200 μm (7.87 mils)  | 250 μm (9.84 mils)                                |
| Z Resolution                                 | 0.37 μm   |   |
| Volume Repeatability                         | < 1% at 3 σ (on a KY Calibration Target) , < 3% at 3 σ (on a PCB) |   |
| Height Accuracy (on a KY Calibration Target) | 2 μm (20 μm* resolution)  |   |
| 01005 Capability                             | Gage R&R (±50% tolerance)   |   |
|  | < 10 % at 6σ on 01005 deposits                                    |   |
| Camera                                       | 5M Pixel  |   |

\*XY Resolution

\* Inspection time for the whole PCB varies by PCB condition.

**ANEXO E** – Dispositivo que serve de ligação entre os equipamentos (*Conveyor*)



**CE TYPE**



## FEATURES

- PLC control
- SMEMA interface
- Buzzer, SMEMA interface LED display
- Compact design
- Durable structure by double base plate

**ANEXO F** – Equipamento de alta capacidade produtiva utilizado para a montagem de componentes menores e mais simples, tais como resistores, capacitores e diodos (*Pick and Place – Chip Shooter*)



|  | M3 II  | M6 II   | M6 II SP  |
|--|--|---|---|
| PCB size (L x W)   | Double conveyor type : 48 x 48 mm to 534 x 510 mm<br>Single conveyor type : 48 x 48 mm to 534 x 610 mm<br>*(W) 280 mm when using dual conveyance. Single conveyance is used when width exceeds 280 mm.   |   | Double conveyor type : 48 x 48 mm to 520 x 510 mm<br>Single conveyor type : 48 x 48 mm to 520 x 610 mm                            |
| Feeder capacity  | Up to 20 types (8 mm tape)   | Up to 45 types (8 mm tape)  | Up to 44 types (8 mm tape)  |
| PCB load time  | Double conveyor : Continuous operation 0 sec, Single conveyor : 2,5 sec (using only M3 II modules)<br>Single conveyor : 3,4 sec (using only M6 II/M6 II SP modules)  |   |   |
| Placing accuracy<br>Glue dispensing<br>(Fiducial mark based referencing) | V12/H12HS: ±0,038 (±0,050) mm (3σ) cpk ≥ 1,00 *:<br>H04S: ±0,040 mm (3σ) cpk ≥ 1,00<br>H08/H04/OF: ±0,050 mm (3σ) cpk ≥ 1,00<br>H02/H01/G04: ±0,030 mm (3σ) cpk ≥ 1,00<br>GL: ±0,100 mm (3σ) cpk ≥ 1,00<br>*±0,038 mm obtained with rectangular chip part placement (high-accuracy tuning) under optimal conditions at Fuji. |   | H12HS/H08/H04/OF: ±0,038 mm (3σ)<br>H02/H01/OF/G04: ±0,010 mm (3σ)<br>GL: ±0,100 mm (3σ)  |
| Throughput   | V12: 26,000 cph<br>H08: 10,500 cph<br>H04: 6,500 cph<br>H01: 4,200 cph<br>OF :Not supported<br>GL :16,363 dph (0,22 sec/dot)   | H12HS:22,500 cph<br>H04S: 9,500 cph<br>H02: 5,500 cph<br>G04: 6,800 cph | V12: 26,000 cph<br>H08: 10,500 cph<br>H04: 6,500 cph<br>H01: 4,200 cph<br>OF : 3,000 cph<br>GL :16,363 dph (0,22 sec/dot)         |
| Applicable components  | V12/H12HS: 0402(01005) to 7,5 x 7,5 mm<br>H08: 0402(01005) to 12 x 12 mm<br>H04S: 1608(0603) to 38 x 38 mm<br>H04: 1608(0603) to 38 x 38 mm<br>H02/H01/OF: 1608(0603) to 74 x 74 mm (32 x 180 mm)<br>G04: 0402(01005) to 15 x 15 mm  |   | Max. height 3,0 mm<br>Max. height 6,5 mm<br>Max. height 6,5 mm<br>Max. height 9,5 mm<br>Max. height 25,4 mm<br>Max. height 6,5 mm |

**ANEXO G** – Equipamento utilizado para a montagem de componentes maiores e mais complexos, tais como CI e conectores (*Pick and Place – Fine Pitch*)



|  | XP-143E  | XP-243E  |
|--|--|--|
| <b>PCB size</b>  | Max. 457 x 356 mm, Min. 50 x 50 mm, Thickness: 0.3 to 4.0 mm (Including option)  |  |
| <b>Feeder capacity</b>                                       | Up to 100 types (8 mm tape)<br>(Front / Rear: 50 types each)   | Front: Up to 40 types (8 mm tape)<br>Rear (trays): 10 types on 10 shelves, 20 types on 10 shelves.                 |
| <b>PCB loading time</b>                                      | 4,2 seconds  |  |
| <b>Placing accuracy</b><br>(Fiducial mark based referencing) | Chips: $\pm 0,05$ mm (3 sigma) $cpk \geq 1,00$<br>QFPs: $\pm 0,04$ mm (3 sigma) $cpk \geq 1,00$                                  | Chips: $\pm 0,04$ mm (3 sigma) $cpk \geq 1,00$<br>QFPs: $\pm 0,03$ mm (3 sigma) $cpk \geq 1,00$                    |
| <b>Throughput</b>  | 0,165 seconds/component, 21,800 components/hour<br>: Chips<br>(0,180 seconds/component, 20,000 components/hour<br>: 0402(01005)) | 0,43 seconds/component, 8,370 components/hour<br>: Chips<br>0,56 seconds/component, 6,420 components/hour<br>: ICs |
| <b>Applicable parts</b>                                      | 0402 (01005) to 25 x 20 mm<br>Max, height 6,0 mm   | 0603 (0201) to 45 x 150 mm<br>Max, height 25,4 mm  |
| <b>Machine dimensions</b>                                    | L: 1500 mm x W: 1300 mm x H: 1408,5 mm<br>(H: excludes signal tower)   | L: 1500 mm x W: 1560 mm x H: 1537 mm<br>(H: excludes signal tower)   |
| <b>Machine weight</b>  | 1,800 kg   | 2,000 kg   |
| <b>Part supply devices</b>                                   |  |  |
| <b>Tape feeder</b>   | Paper tape: 8 mm, Embossed tape: 8, 12, 16, 24, 32 (44, 56, 72, 88) mm width   |  |
| <b>Stick feeder</b>  | _____  | 7 to 28 mm, 25 to 48 mm width  |
| <b>Tray</b>  | Max. 323 x 136 x 8 mm, Min. 50.8 x 50.8 x 4 mm   | 276 x 330 mm, 138 x 330 mm   |

**ANEXO H – Equipamento utilizado a realizar a soldagem ou cura do adesivo  
(REFLOW OVEN)**



**Pyramax Specifications\***

| Model                      | Pyramax 75A                | Pyramax 100A               | Pyramax 100N                                     |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| Atmosphere                 | Air                        | Air                        | Air or Nitrogen                                  |
| Conveyor Speed             | 10-60 in/min 25-152 cm/min | 10-60 in/min 25-152 cm/min | 10-60 in/min 25-152 cm/min                       |
| Conveyor Width             | 2-18 in 51-457 mm          | 2-18 in 51-457 mm          | 2-18 in 51-457 mm                                |
| Heated Length              | 75 in 1905 mm              | 100 in 2540 mm             | 100 in 2540 mm                                   |
| Heated Zones (Top/Bottom)  | 6 top / 3 bottom           | 8 top / 8 bottom           | 8 top / 8 bottom                                 |
| Cooling Length             | 24 inches 610 mm           | 24 in 610 mm               | 28 in 711 mm                                     |
| Cooling Zones (Top/Bottom) | 1 top (bottom optional)    | 1 top (bottom optional)    | 1 top / 1 bottom,<br>2 top / 2 bottom (optional) |
| Overall System Length      | 127in 3226mm               | 183 in 4648 mm             | 183 in 4648 mm                                   |
| Overall System Height      | 60 in 1524 mm              | 60 in 1524 mm              | 60 in 1524 mm                                    |
| Overall System Width       | 60 in 1524 mm              | 60 in 1524 mm              | 60 in 1524 mm                                    |
| Voltage Range              | 208-480 VAC                | 208-480 VAC                | 208-480 VAC                                      |

**Closed Loop Convection**

***BTU's exclusive Closed Loop Convection Control provides maximum flexibility in process control.***

- Side-to-side recirculation enhances temperature uniformity
- Guaranteed process repeatability, system to system, site to site
- Unmatched convection efficiency reduces zone temperature setpoints.

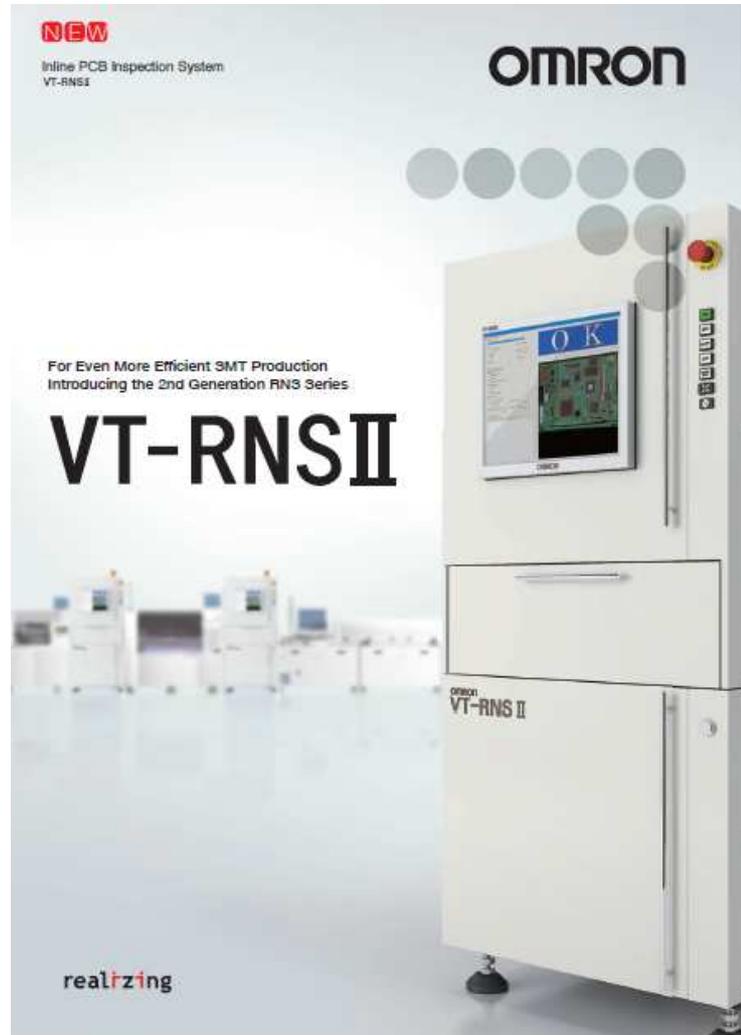
**ANEXO I** – Dispositivo utilizado para armazenar as placas que saíram do forno, antes de entrar na AOI (*Buffer*)



## FEATURES

- SMEMA interface
- Stacking max. 50 PCB's available when using 1 pitch
- PCB damage prevention function
- Touch screen operation

## ANEXO J – Equipamento utilizado para inspecionar automaticamente componentes montados e solda (AOI)



### Functional Specifications

|  |            | M size   |  |   | L size   |  |   |
|--|------------|--|--|---|--|--|---|
|  |            | P  | Z  | S   | P  | Z  | S   |
| Inspectable PCBs                           | Type       | Post-printing  | Post-placement (before reflow)   | Post-reflow   | Post-printing  | Post-placement (before reflow)   | Post-reflow   |
|  | Dimensions | 50 (W) × 50 (D) to 333 (W) × 255 (D) mm  |  |   | 80 (W) × 50 (D) to 510 (W) × 460 (D) mm<br>80 (W) × 110 (D) to 510 (W) × 460 (D) mm (with PCB warpage correction unit) |  |   |
|  | Thickness  | 0.3 to 2.5 mm  |  |   | 0.3 to 3.0 mm  |  |   |
| Clearance                                  |            | Above PCB: 20 mm (0.79 in) (standard), 40 mm (1.57 in) (optional)<br>Below PCB: 40 mm (1.57 in)              |  |   | Above PCB: 20 mm (0.79 in) (standard), 40 mm (1.57 in) (optional)<br>Below PCB: 50 mm (1.97 in)                        |  |   |
| Inspection items                           |            | Presence of solder; insufficient/excessive solder; solder shifting; grazing; bridging; spreading; leaking    | Presence of solder; component shifting; polarity error; missing components; wrong components; solder balls; skewing; bridging; foreign objects | Presence of solder; wrong components; missing components; bridging; filling; component shifting; fillets; wettability; lead bending; adhesive; solder balls | Presence of solder; insufficient/excessive solder; solder shifting; grazing; bridging; spreading; leaking              | Presence of solder; component shifting; polarity error; missing components; wrong components; solder balls; skewing; bridging; foreign objects | Presence of solder; wrong components; missing components; bridging; filling; component shifting; fillets; wettability; lead bending; adhesive; solder balls |
| Number of inspection points                |            | 40,000 lands/PCB max.  | 10,000 components/PCB max.   |   | 40,000 lands/PCB max.  | 10,000 components/PCB max.   |   |
| Data storage                               |            | Computer hard disk   |  |   |  |  |   |
| Component-specific inspection data library |            | Component types, groups, variations  |  |   |  |  |   |
| Inspection result output                   |            | PCB name, PCB ID, component name, type of fault, etc.  |  |   |  |  |   |
| Standard inspection time                   |            | 250 ms/screen (travel time per screen, 10 mm angular field of view)  |  |   |  |  |   |
| Communications                             |            | Ethernet, RS-232C  |  |   |  |  |   |
| PCB feed mode                              |            | Through, turnback  |  |   |  |  |   |
| Reference position                         |            | PCB feed direction: left or right (selected at shipment); Longitudinal: Front or back (selected at shipment) |  |   |  |  |   |

**ANEXO K** – Dispositivo utilizado colocar os magazines com placas montadas  
(*Unloader*)



## FEATURES

- SMEMA interface
- Dual clamping system for magazine warp prevention
- Easy operation with "Easy S/W"
- Compact design
- LED tower light
- Alarm code display

## ANEXO L – Dimensões dos componentes SMT mais usuais

**COMPONENTES SMT**

| Nomenclatura de Mercado | Dimensões em polegadas | Dimensões em milímetros | Área em milímetros quadrados |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 2512                    | 0,25" x 0,12"          | 6,35 mm x 3,0 mm        | 19,050                       |
| 2020                    | 0,20" x 0,20"          | 5,08 mm x 5,08 mm       | 25,806                       |
| 1210                    | 0,12" x 0,10"          | 3,2 mm x 2,6 mm         | 8,320                        |
| 1206                    | 0,126" x 0,063"        | 3,2 mm x 1,6 mm         | 5,120                        |
| 0805                    | 0,08" x 0,05"          | 2,0 mm x 1,2 mm         | 2,400                        |
| 0603                    | 0,063" x 0,031"        | 1,6 mm x 0,8 mm         | 1,280                        |
| 0402                    | 0,04" x 0,02"          | 1,0 mm x 0,5 mm         | 0,500                        |
| 0201                    | 0,024" x 0,012"        | 0,6 mm x 0,3 mm         | 0,180                        |
| 01005                   | 0,015" x 0,005"        | 0,4 mm x 0,2 mm         | 0,080                        |
| 03015                   | -                      | 0,3 mm x 0,15 mm        | 0,045                        |

