

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SILVIA LIMA CORREIA

OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE SMT UTILIZANDO ANÁLISE DE CPH:

Estudo de caso em uma fábrica de produtos eletrônicos automotivos.

Manaus, AM

2023

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SILVIA LIMA CORREIA

OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE SMT UTILIZANDO ANÁLISE DE CPH:

Estudo de caso em uma fábrica de produtos eletrônicos automotivos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Bezerra.

Manaus, AM

2023

SÍLVIA LIMA CORREIA

**OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE SMT UTILIZANDO ANÁLISE DE CPH: Estudo
de caso em uma fábrica de produtos eletrônicos automotivos**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 04 de abril de 2023

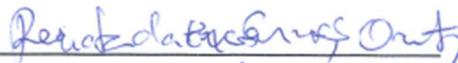
Banca examinadora:



Prof. Alessandro Bezerra, Dr.
Universidade do Estado do Amazonas



Profa. Nadja Polyana Felizola Cabete, Dra.
Universidade do Estado do Amazonas



Profa. Renata da Encarnação Onety, Dra.
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que guiou meus caminhos para que hoje eu tivesse a oportunidade de conquistar meus sonhos. A graduação é apenas uma de muitas conquistas que me foram concedidas.

Aos meus pais, Verônica e Silvio, que não mediram esforços, oferecendo sempre apoio incondicional ao meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A Universidade do Estado do Amazonas e todo o seu corpo docente, em especial ao meu orientador Alessandro Bezerra, por todo apoio e direcionamento nesta reta final da minha jornada universitária.

Aos meus amigos Giovanna, Naelton, William e Lorena com quem pude dividir a trajetória do curso e tornaram essa caminhada mais leve.

Por fim, agradeço aos excelentes profissionais que se empenharam junto comigo para que este trabalho fosse possível: Priscila, Cecília, Karina e Juan.

RESUMO

O aproveitamento de recursos de forma enxuta é de extrema importância para o rendimento de uma empresa, pois evita desperdícios e custos de fabricação desnecessários. Para que uma empresa se mantenha competitiva no mercado, é necessário aliar preço competitivo e qualidade. Para que isso seja possível o custo de produção deve ser o mais baixo possível, dessa forma a margem de lucro da organização se torna maior. O presente estudo tem como objetivo estudar as vantagens da aplicação da análise de CPH, de forma a identificar oportunidades de melhoria no processo produtivo de SMT em uma fábrica de produtos eletrônicos automotivos no Polo Industrial de Manaus. Para atingir o objetivo proposto, foi utilizada uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada, por meio de coleta de dados e análises de CPH, orientada pela metodologia DMAIC para planejamento e execução de projeto. Usando a técnica de Cronoanálise, foram identificados 27 produtos com nível abaixo do exigido pela empresa. A partir da simulação do processo na ferramenta *SMT Load Forecasting* foram apontadas ações de melhoria para otimizar o nível de utilização dos equipamentos. Após a implementação das ações de melhoria, o percentual de eficiência requerido foi alcançado e a capacidade produtiva das linhas aumentou em 11%.

Palavras-chave: SMT, CPH, Otimização, Produtos automotivos.

ABSTRACT

The use of resources in a lean way is extremely important for the performance of a company, because it avoids waste and unnecessary manufacturing costs. For a company to remain competitive in the market, it is necessary to ally competitive price and quality. For this to be possible the production cost must be as low as possible, so that the organization's profit margin becomes higher. This study aims to study the advantages of applying CPH analysis in order to identify opportunities for improvement in the production process of SMT in a factory of automotive electronic products in the Industrial Complex of Manaus. To achieve the proposed objective, a quantitative approach was used, of applied nature, through data collection and CPH analysis, guided by the DMAIC methodology for project planning and execution. Using the Chronoanalysis technique, 27 products were identified with a level below that required by the company. From the simulation of the process in the SMT Load Forecasting tool, improvement actions were pointed out to optimize the level of equipment utilization. After the implementation of the improvement actions, the required efficiency percentage was reached and the production capacity of the lines increased by 11%.

Keywords: SMT, CPH, Optimization, Automotive Products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do processo SMT	12
Figura 2: Layout de Linha SMD.....	13
Figura 3: Módulos de inserção automática de componentes eletrônicos.....	13
Figura 4: Painéis de instrumentos.....	14
Figura 5: Rádios automotivos.....	14
Figura 6: Layout da área de SMT.....	15
Figura 7:Exemplo de 5W2H.....	25
Figura 8: Placa populada com componentes eletrônicos.....	27
Figura 9: Máquina aplicadora de pasta de solda (printer).....	28
Figura 10: Inspeção de PCB na SPI.....	29
Figura 11: Processo de inserção SMT.....	30
Figura 12: Processo de inserção SMT.....	30
Figura 13:Forno de refusão.....	31
Figura 14: Inspeção de PCB na AOI.....	31
Figura 15: Sequência de execução do projeto.....	34
Figura 16: Indicado de nível de utilização de CPH.....	36
Figura 17: Relatório mensal de eficiência do processo de SMT.....	36
Figura 18: Análise de causa raiz do problema.....	37
Figura 19: Análise de causa raiz do problema.....	38
Figura 20: Esquema de transferência entre linhas.....	40
Figura 21: Cenário simulado no SMT Load Forecasting.....	40
Figura 22:Simulação L3.....	41
Figura 23: Simulação L4.....	42
Figura 24: Layout final das Linhas 1 e 5.....	44
Figura 25: Layout final da Linha 4.....	45
Figura 26: Layout final da Linha 6.....	46
Figura 27: Layout final da Linha 2.....	46
Figura 28: Fotos das máquinas posicionadas no layout final.....	47
Figura 29: Exemplo de produto em lista de permissão.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplo de aplicação da Ferramenta 5 Porquês.....	24
Quadro 2: Exemplo de 5W2H em tabela.....	26
Quadro 3: Dados de processo para atualização do sistema.....	35
Quadro 4: 1ª etapa do plano de ação.....	43
Quadro 5: 2ª etapa do plano de ação.....	43
Quadro 6: 3ª etapa do plano de ação.....	44
Quadro 7: Economia anual gerada pelo projeto em dólares.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição de programas com utilização de CPH abaixo de 70%.	37
Gráfico 2: Comparação de capacidade antes e depois da implementação das ações.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2. HIPÓTESES	16
2. OBJETIVO	16
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICATIVA	17
4. REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1. Estudo de tempos	17
4.2. Cronoanálise	18
4.2.1. Cronometragem	19
4.3. Simulação	19
4.4. Arranjo físico (<i>layout</i>)	20
4.5. LEAN MANUFACTURING	22
4.5.1. HISTÓRICO	22
4.6. DMAIC	23
4.7. Ferramentas da qualidade	24
4.8. Processo Produtivo SMT (Surface Mount Technology)	26
4.8.1. Placas eletrônicas SMT	27
4.8.2. Componentes SMT	27
4.8.3. Linhas de montagem para componentes SMT	28
4.9. CPH – Chips por hora	32
4.10. SMT Load Chart	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1. Define – Definir	35
5.2. Measure – Medir (Diagnóstico)	35
5.3. Analyze (Analisar)	37
5.4. Improve – Melhorar	42
6. RESULTADOS (Check)	44

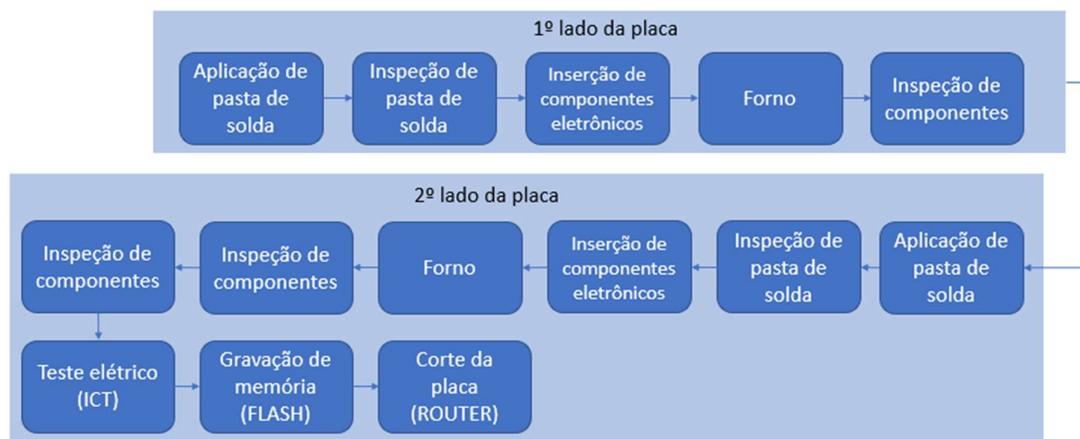
6.1. Análise dos resultados	49
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

De acordo com OHNO (1997), aproveitamento de recursos de forma enxuta é de extrema importância para o rendimento de uma empresa. No contexto em que ocorre uma crise de abastecimento de semicondutores no mundo, o cenário de vendas do ramo automotivo foi bastante prejudicado. Portanto, otimizar a utilização de recursos e eliminar desperdícios, tornam-se ações cruciais para a entrega da demanda dos clientes, garantindo assim sobrevivência de uma fábrica que fornece itens eletrônicos para as principais montadoras de veículos do Brasil.

O presente estudo trata do processo de SMT (Surface Mount Technology). O fluxo do processo demonstrado na figura 1 consiste na etapa de aplicação de pasta de solda, inspeção automática visual para verificação da pasta, inserção automática de componentes eletrônicos, aquecimento no forno para soldagem dos componentes, inspeção visual automática 3D para verificação dos componentes, teste elétrico, gravação de memória e por fim corte para separação das placas individuais.

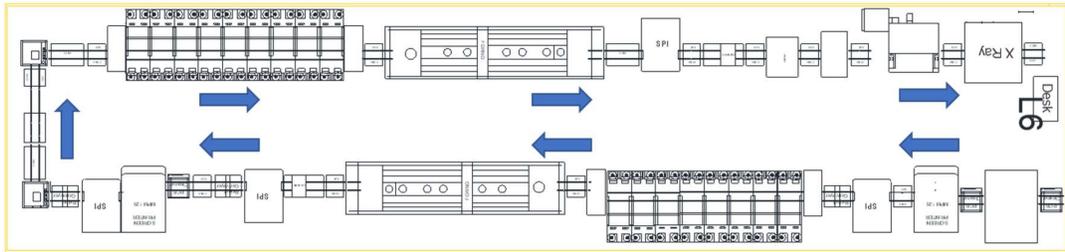
Figura 1: Fluxograma do processo SMT



Fonte: Autor (2022).

A figura 2 mostra a configuração da linha onde está sendo trabalhada, sendo dividida em duas fases, sendo a primeira *TOP* e a segunda *BOTTOM*, que representam os dois lados da placa.

Figura 2: Layout de Linha SMD



Fonte: AutoCAD (2022).

Para inserção dos componentes eletrônicos são utilizados módulos de SMT (figura 3) que são capazes de inserir nas placas milhares de componentes por hora. No entanto, a performance do equipamento pode ser afetada por elementos como tamanho e peso dos componentes, tamanho da placa, programação de montagem, manutenção e limpeza, distribuição do material, desempenho da mão de obra operante, entre outros.

Figura 3: Módulos de inserção automática de componentes eletrônicos.



Fonte: Fuji do Brasil (2022).

Este trabalho se propõe a estudar as vantagens da aplicação da análise de CPH, guiada pela metodologia DMAIC, de forma a identificar oportunidades de melhoria no processo produtivo de SMT em uma fábrica de produtos eletrônicos

automotivos. Tendo o processo mapeado e as possíveis melhorias apontadas, o intuito é implementar as ações no processo e validar os resultados obtidos.

As observações empíricas e aplicação dos conceitos apresentados nesse estudo são empreendidos em um ambiente fabril que servirá de base de análise e implementação do projeto. Esta fábrica está localizada no PIM e fornece produtos automotivos para as montadoras, como painel de instrumentos e rádios.

Os painéis de instrumentos (Figura 4), também chamados de clusters, são dispositivos que são acoplados ao painel de carros com intuito de exibir informações essenciais para a condução do veículo, como velocidade, rotações por minuto, nível de combustível e outros indicadores de desempenho do automóvel.

Figura 4: Painéis de instrumentos



Fonte: Autor (2022).

Os rádios automotivos (Figura 5) são os dispositivos responsáveis pela execução de mídia do veículo. Podem existir nas versões mais básicas, com a presença de tocador de CD, até versões mais tecnológicas que contam com conexões *Bluetooth*, *Wi-Fi*, e aplicativos online.

Figura 5: Rádios automotivos.



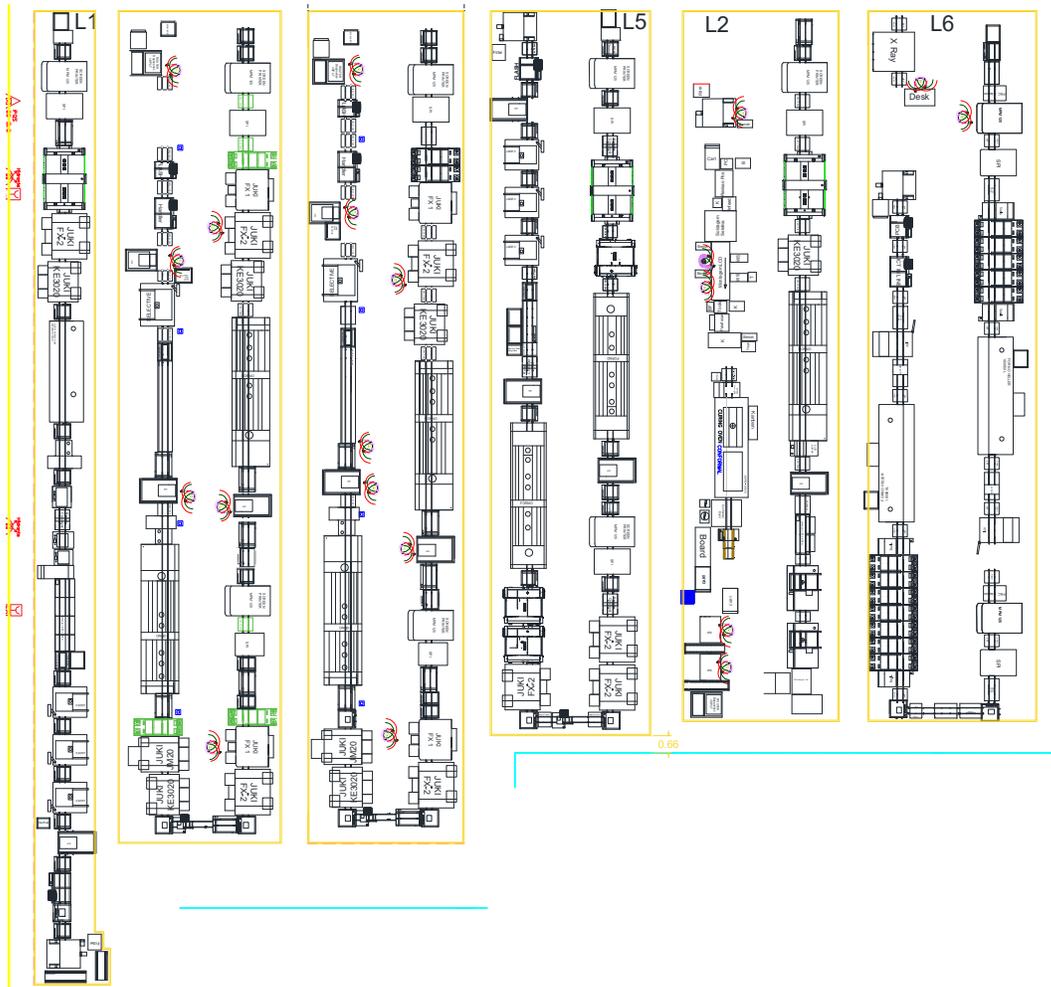
Fonte: Autor (2022).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A fabricação dos produtos é dividida em duas etapas principais: processo de inserção automatizada de componentes eletrônicos na placa (SMT); e posteriormente, o processo de montagem final (FA).

A área de SMT da fábrica analisada neste estudo conta com seis linhas de produção (nomeadas L1, L2, L3, L4, L5 e L6), onde estão alocados 43 produtos. A figura 6 mostra como está a distribuição das linhas de SMT no *layout* da fábrica.

Figura 6: Layout da área de SMT.



Fonte: Autor (2022).

Em maio de 2022, o time o time global da fábrica implementou uma ferramenta chamada *SMT Load Chart* (em tradução livre Gráfico de Ocupação de SMT), como forma de monitorar a eficiência das plantas de manufatura através do nível de utilização do CPH disponível.

A fábrica em questão está tendo problemas, pois dos 43 programas de SMT instalados, 27 não atendiam a utilização mínima exigida de 70% de utilização do CPH disponível estabelecida pelo indicador global da empresa. Desta forma, surgiu o seguinte questionamento: quais as melhorias necessárias no processo de inserção de componentes eletrônicos para melhorar o nível de eficiência das máquinas e atingir o mínimo de utilização de CPH exigido?

1.2. HIPÓTESES

A partir do problema de pesquisa, foram levantadas algumas hipóteses, sendo elas:

- As linhas produção estão super dimensionadas para os produtos instalados.
- Os produtos não estão distribuídos adequadamente entre as linhas.
- A programação das máquinas de SMT não está otimizada.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do estudo é atingir o nível de eficiência exigido pela fábrica nas linhas de SMT.

apresentar e implementar melhorias no processo de SMT, através da análise de CPH guiada pela metodologia DMAIC.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Já como objetivo específicos o projeto apresenta:

- Fazer simulações de configuração de linha, baseadas na análise de CHP e guida pela metodologia DMAIC.

- Apresentar e implementar ações de melhoria para os problemas identificados.
- Validar as ações implementadas no processo produtivo como resultado efetivo do projeto desenvolvido.

3. JUSTIFICATIVA

O aproveitamento de recursos de forma enxuta é de extrema importância para o rendimento de uma empresa, pois evita desperdícios e custos de fabricação desnecessários.

Segundo OHNO (1997), para que uma empresa se mantenha competitiva no mercado, é necessário aliar preço competitivo e qualidade. Para que isso seja possível o custo de produção deve ser o mais baixo possível, dessa forma a margem de lucro da organização se torna maior.

Sendo assim, a escolha do tema, justifica-se pela oportunidade de aproximar a universidade de um ambiente fabril, onde os conceitos acadêmicos podem ser aplicados de forma a atender a necessidade de redução do custo de produção para a sobrevivência do negócio. Além disso, a dificuldade encontrada durante a busca por material acadêmico que evidencie a otimização de linhas de SMT baseando-se na utilização de CPH no Polo Industrial de Manaus (PIM) também motivou a temática do estudo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Estudo de tempos

BARNES (1977), aponta como origem do estudo de tempos a observações feitas por Frederick Taylor sobre o processo produtivo de uma usina. Taylor buscava balancear a carga de trabalho, tornando-a adequada à mão-de-obra. A partir deste ponto, seu foco de estudo passou a ser a determinação do tempo necessário para execução de cada tipo de trabalho.

Para obter o tempo de cada elemento executado no processo, Taylor adotou uma sequência de três etapas, sendo elas:

- Observar as etapas do processo e medir o tempo necessário para a realização de cada uma delas.
- Ajustar o tempo observado analisando o ritmo do operador ou alterações no método, desconsiderando qualquer tempo que tenha sido aplicado em elementos que não estão inclusos no processo padrão.
- Calcular a média entre as amostras coletadas para se obter o tempo básico de execução do trabalho.

Sugai (2003) defende que a separação das operações em elementos menores facilita a identificação de movimentos e atividades que não agregam valor, tornando possível a remoção de ações desnecessárias ou reordenamento dos elementos a fim de reduzir o tempo básico e até mesmo melhorar a ergonomia do posto de trabalho.

Barnes (1977) ressalta ainda que para a medição do tempo do processo, a pessoa que será observada deve estar treinada para realizar o método específico e completamente adaptada à atividade para conseguir executá-la em seu ritmo normal de trabalho. Desta forma, os resultados obtidos pelo estudo de tempos serão válidos e favoráveis a otimização.

4.2. Cronoanálise

A Cronoanálise é a técnica utilizada para realizar um estudo de tempos. Esse método consiste não apenas cronometrar atividades, mas também na análise de fatores que possam contribuir para a composição do tempo cronometrado.

O profissional de Cronoanálise, o cronometrista, deve medir o tempo de cada processo levando em conta necessidades fisiológicas do trabalhador, ritmo de trabalho, paradas de manutenção por quebra de equipamentos e qualquer outro evento que possa interferir na execução da tarefa.

O cronometrista deve calcular o número de medições necessárias para um estudo confiável e determinar a tolerância a ser aplicada sobre cada tempo de ciclo para chegar à real capacidade de produção para aquele processo.

4.2.1. Cronometragem

A cronometragem é um método utilizado para medição de tempo de uma determinada atividade. Consiste na tomada de tempo da realização, podendo ser realizado com cronômetro digital ou analógico que marquem o tempo centesimal.

Normalmente se estabelece um ponto de início da atividade para acionamento do cronômetro, que deve ser marcado assim que o processo retornar a este mesmo ponto inicial, recomeçando uma nova medida.

Para a determinação do tempo padrão de uma operação, Souto (2004) recomenda a seguinte sequência de atividades ao realizar a medição de tempos.

- Separar a atividade em elementos;
- Iniciar o estudo com uma amostra preliminar de 5 observações para coletar os dados a serem utilizados na determinação do número de medidas a serem tomadas;
- Determinar a quantidade de ciclos a serem cronometrados (n);
- Realizar as n cronometragens e determinar o tempo médio (TM);
- Avaliar o fator de ritmo (velocidade) da operação e determinar o tempo normal;
- Determinar as tolerâncias para fadiga e para as necessidades fisiológicas;
- Determinar o tempo padrão da operação (TP).

Podem ser considerados como elementos de uma operação cada etapa de execução dividida. O intuito dessa divisão por elementos é identificar se as etapas agregam ou não valor à operação e se estão sendo realizadas de acordo com o método determinado previamente. Desta forma, é possível obter uma medida de tempos mais precisa.

4.3. Simulação

Law & Kelton (2021) definem a simulação como a reprodução de um sistema ou processo do mundo real em um modelo computacional que é manipulado para estudar seu comportamento sob diferentes condições. Os modelos de simulação são geralmente baseados em matemática e estatística, e podem ser implementados usando software especializado. Eles permitem que os usuários utilizem diferentes

variáveis e observem os resultados em tempo real, permitindo que eles testem hipóteses e tomem decisões baseadas nos resultados obtidos.

Para que as simulações sejam precisas e úteis, é importante que elas sejam verificadas e validadas (Banks & Carson, 1991). A verificação consiste em garantir que o modelo esteja correto em relação às suas especificações, enquanto a validação deve assegurar que o modelo seja adequado para representar o sistema do mundo real que está sendo estudado. Quando bem realizadas, a verificação e validação aumentam a credibilidade da simulação e melhoram a precisão dos resultados.

4.4. Arranjo físico (*layout*)

Elaborar um arranjo físico ou *layout* consiste em definir a posição de equipamentos, postos de trabalho, materiais e demais elementos inerentes ao processo produtivo. Essa tomada de decisão deve levar em consideração fatores como movimentação, transporte, capacidade produtiva e estoque de material, seja matéria prima, produtos semiacabados ou acabados (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). O objetivo é sempre obter o arranjo físico que proporcione um fluxo de trabalho contínuo e eficiente, evitando desperdícios (MAYER, 1990).

A definição do *layout* não se restringe aos elementos dentro da linha de produção, mas se estende a delimitação dos corredores, acesso às áreas de suporte e questões de segurança durante a movimentação de pessoas e até mesmo em caso de evacuação do local.

Segundo Neumann & Scalice (2015), existem diferentes tipos de *layout* adequados para diversas situações e características atreladas ao processo, sendo classificados em 5 principais categorias:

Layout posicional:

Esse tipo de layout normalmente é aplicado na fabricação de produtos que são muito grandes e não podem ser movidos.

Para Slack, Chambers & Johnston (2002), no arranjo posicional:

Em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto, maquinário, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário.

Layout por produto:

Nesse modelo de arranjo físico, o processo deve ser linear, em que a sequência de das operações é a mesma na qual os processos são posicionados. Esse tipo de layout pode ser observado nas montadoras de veículo, onde o material se move na sequência de montagem enquanto os equipamentos permanecem fixos.

Layout por processo:

Neumann & Scalice (2015) definem que esse tipo de layout busca organizar os equipamentos fabris de acordo com o papel desempenhado no processo produtivo, ou seja, as máquinas que executam o mesmo trabalho serão posicionadas em uma mesma área física.

Um exemplo de aplicação de layout por processos é a fabricação de motocicletas, onde o material passa pela área de fundição, montagem, parafusamento e pintura, sendo transportado entre diferentes áreas e setores da fábrica até o seu acabamento.

Layout celular:

ROTHER; HARRIS (2002) define layout da seguinte maneira:

Layout celular é um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem sequencial, através da qual as partes são processadas em um fluxo contínuo ou em pequenos lotes.

Esse tipo de layout normalmente se apresenta em forma de “U”, formato que facilita o fluxo de processo e a circulação de produtos e pessoas. Como o fluxo produtivo é realizado do início ao fim dentro de cada célula, a flexibilidade de tamanhos de lote é maior, já que possibilita a fabricação de produtos variados.

Layout misto:

É a combinação de dois ou mais tipos de layout para melhor adaptação do processo produtivo. Esse tipo de arranjo físico pode ser comumente observado em

restaurantes, onde podemos ver o layout por processo na cozinha e o arranjo posicional na disposição das mesas.

4.5. LEAN MANUFACTURING

4.5.1. HISTÓRICO

A origem do sistema Lean Manufacturing se encontra após o fim da Segunda Guerra Mundial, o Japão estava assolado pela guerra e, por isso, não possuía recursos suficientes para fazer grandes investimentos que eram precisos para implementar o sistema de produção em massa caracterizado pelo sistema implantado por Henry Ford e General Motors. No país havia, ainda, outros empecilhos e obstáculos a serem vencidos, como, por exemplo: mercado interno limitado e demandando vasta variedade de produtos; mão-de-obra organizada, existência de vários fabricantes de veículos do mundo, interessados em ingressar no Japão, dentre outros. Diante disso, a indústria japonesa viu a necessidade de reconsiderar todo seu sistema produtivo.

O responsável pela criação de um novo sistema de produção para a Toyota Motor Company, em Nagoya, foi o japonês Taiichi Ohno. Tal sistema, conhecido como Sistema Toyota de Produção (STP), surgiu após estudos dos processos produtivos norte-americanos e estes foram aperfeiçoados e adequados à atual realidade do país naquele momento. Esse sistema tinha princípios como a eliminação de desperdícios, a qualidade e comprometimento e envolvimento dos colaboradores. (OHNO, 1997)

Como se pode notar, o sistema criado por Ohno não foi nomeado de imediato como Lean Manufacturing, esta nomenclatura surgiu no final dos anos 80 a partir de um projeto de pesquisa realizado no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Tal projeto durou 5 anos e teve como objetivo estudar a indústria automobilística procurando identificar as melhores práticas da indústria, por meio de entrevistas com empregados, sindicalistas e funcionários do governo. Este estudo mostrou a clara superioridade da Toyota, pois o novo sistema de gestão desenvolvido era melhor no que se tratava de desenvolvimento de produtos e relacionamento com clientes e fornecedores. O termo Lean Manufacturing foi usado no livro “A máquina que mudou

o mundo”, lançado em 1990, pelos autores James Womack, Daniel Jones e Daniel Ross. Este livro foi escrito com base no estudo já citado. (HINO, 2009).

4.6. DMAIC

O DMAIC é umas das metodologias do Six Sigma, (Eckes, 2001) e traduzindo do inglês, compõem uma sequência de cinco etapas para resolução de problemas e melhoria de processo. WERKEMA (2012) define as etapas do DMAIC da seguinte forma:

- **Etapa D:** Define (Definir). É o início do projeto, quando é identificado o problema a ser estudado e definida a meta a ser alcançada. Nesta etapa é formada a equipe de trabalho e é traçada o escopo de seguimento do projeto.
- **Etapa M:** Measure (Medir). Consiste na fase de coleta de dados e histórico do problema em análise. Nesta etapa serão evidenciados estatisticamente os impactos da situação abordada, para definição do foco das ações futuras.
- **Etapa A:** Analyze (Analisar). Essa etapa é decisiva para o desenvolvimento do plano de ação, pois é nela que será encontrada a causa raiz do problema, que determinará quais medidas serão tomadas para a mitigação deste problema. Para este processo, a ferramenta mais simples e eficaz é a dos 5 Porquês (OHNO, 1997).
- **Etapa I:** Improve (Melhorar): Na etapa I são levantadas as possíveis soluções para a causa raiz do problema. Aquelas selecionadas como as mais viáveis passam para o plano de ação para que seja verificada a eficácia de cada uma. A técnica mais recomendada para a elaboração do plano de ação é a 5W2H (PEINADO E GRAEML, 2007).
- **Etapa C:** Control (Controlar). É a última etapa do DMAIC, onde é feita a validação das ações implementadas. Para isso, devem ser estabelecidos métodos de avaliação dos resultados e padronização das melhorias implementadas para todos os envolvidos no processo.

4.7. Ferramentas da qualidade

5 Porquês

Durante o processo de resolução de problemas, é fundamental que a causa raiz seja encontrada para que a solução seja efetiva. Caso contrário, estaria sendo feita apenas uma ação de contenção, ou seja, o problema retornaria a ocorrer, gerando desperdício dos recursos empregados na execução da melhoria proposta (RIGONI, 2010).

A técnica dos 5 Porquês é a mais indicada para se chegar à real causa do problema (Ohno, 1997). Surgiu do sistema Toyota de Produção, e consiste em perguntar 5 vezes a razão de um determinado problema ter acontecido (Slack et al, 1997).

Primeiramente, é definido o problema inicial. Então, questiona-se por que ele aconteceu. Em seguida, pergunta-se o porquê da resposta dada na pergunta anterior e assim a pergunta é repetida 5 vezes, até que se encontre a causa original do problema. Somente a partir desta causa raiz é possível agir de forma a sanar a situação inicial definitivamente (Shingo, 1988).

No quadro 1 é possível observar um exemplo da aplicação da técnica dos 5 porquês:

Quadro 1: Exemplo de aplicação da Ferramenta 5 Porquês.

O que	1° Porquê	2° Porquê	3° Porquê	4° Porquê	5° Porquê
Alto índice de scrap (lente, light guide, moldura plástica, e display)	O processo desenvolvido não permitia reprocessamento de peças com defeito.	O conjunto não poderia ser associado a um novo pallet.	O conjunto só é atribuído ao pallet após a realização do processo de solda na estação 1, impossibilitando atribuir um pallet a um conjunto que já passou por esta etapa.	Após o processo de parafusamento, o atributo de controle de pallet era excluído do registro do sistema de controle de manufatura.	Durante o DFM (desenvolvimento da linha) não foram previstos os modos de falha no processo de montagem.

Fonte: Autor (2022).

5W2H

O 5W2H é uma ferramenta de elaboração de plano de ação de fácil aplicação e acompanhamento visual das ações. Pela sua facilidade e eficácia, pode ser utilizada na Gestão de Projetos, Planejamento Estratégico, Análise de Negócios e outras

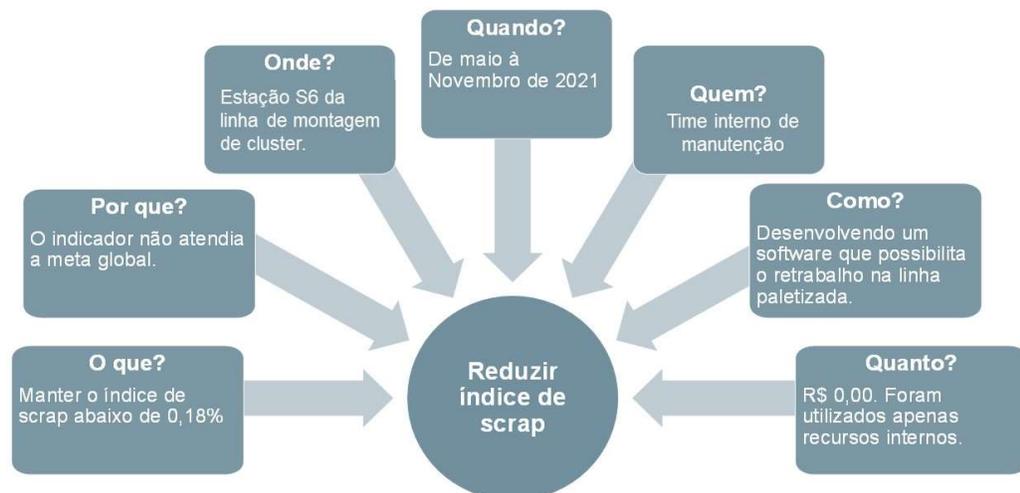
modalidades que requerem a criação de um plano para implementação de atividades (Gomes, 2015).

A metodologia desta ferramenta é orientada por 7 perguntas que correspondem às iniciais da sigla em inglês, sendo elas:

- **What? (O que?):** Nessa etapa é definida a ação a ser desenvolvida.
- **Why? (Por que?):** Por que esta ação precisa ser realizada?
- **Who? (Quem?):** Quem será o responsável pela implementação?
- **Where? (Onde?):** Onde essa ação deverá ser implementada?
- **When? (Quando?):** Qual a data de implementação?
- **How? (Como?):** Como a ação será realizada?
- **How much? (Quanto?):** Qual o investimento necessário para a implementação?

Normalmente, essas perguntas são respondidas em forma de tabela, com frases curtas, o que facilita a verificação do andamento das ações, no entanto a ferramenta pode ser apresentada de diferentes formas gráficas. Na figura 7, temos um exemplo mais ilustrativo de 5W2H, enquanto no quadro 2 temos a ferramenta apresentada em forma de tabela:

Figura 7:Exemplo de 5W2H.



Fonte: Autor (2022).

Quadro 2: Exemplo de 5W2H em tabela.

Plano de Ação - Instalação de Cluster																			
Data da criação do plano:		10/24/2019		Responsável:		Sílvia Correia		Objetivo:		Cobertura da sala do FP		Lead Time:		15-Dec		Meta:		100	
Data da revisão do plano:		10/30/2019		Líder do Projeto:		Ana Souza		Indicador:		85%						Exchange r		R\$ 3.87	
O que	Quem	Quando		Onde	Por que	Quanto	% Completo	Hoje	Situação Atual										
		Início	Fim																
Realizar reunião de levantamento de necessidade.	Jessica Souza	10/22/2019	10/22/2019	LA PORTUG	Alinhamento de demandas/ tarefas iniciais.	USD -	100%	100%	✓										
Ralizar cotação para fornecimtno e instalação de 02 SKVAIR 48k Btus.	Alessandro Lode	10/22/2019	10/30/2019	Visteon	Resfriamento da área de manufatura desse produto.	USD 5,865.80	100%	100.00%	✓										
Cotar Sistema de monitoramento + nobreak. (CFTV).	Rafael Martins	10/22/2019	10/30/2019	Visteon	Garantir controle de aces	USD -	100%	100%	✓										
Cotação do cabeamento para instalação de dados máquinas.	Rafael Martins	10/22/2019	10/30/2019	Visteon	Conexão de dados da lin	USD 2,771.29	100%	100%	✓										
TV + Android Box	Rafael Martins	10/22/2019	10/30/2019	Visteon	Gerenciamento visual do metrics	USD 516.80	100%	100%	✓										
01 leitores de código de barra + impressora de etiquetas.	Rafael Martins	10/22/2019	10/30/2019	Visteon	Apontamento de embalagem na linha.	USD 380.00	100%	100%	✓										

Fonte: Autor (2019).

4.8. Processo Produtivo SMT (Surface Mount Technology)

O processo de SMT consiste na inserção automática de componentes eletrônicos diretamente na superfície de uma placa de circuito integrado (PCB), permitindo o uso de ambas as faces. Essa atividade é realizada por máquinas de alta precisão, iniciando na etapa de aplicação de pasta de solda, seguida pelo posicionamento dos componentes e inspeção automática, sendo finalizada com as etapas de testes elétricos e corte para se de placas.

O gerenciamento desse processo se faz por meio de softwares que informam a sequência de montagem, o tipo e a posição de cada componente a ser posicionado sobre as PCBs. As máquinas SMT se abastecem com componentes SMD, sendo alimentadas por dispositivos que fixam carretéis contendo os componentes eletrônicos que serão montados sobre a PCB. Os carretéis de componentes são rolos ou bobinas confeccionadas com fitas de plástico ou papel para o suporte dos componentes SMD de forma espaçada. Quando a máquina busca o componente a ser montado, o carretel avança até que o próximo componente esteja na posição de composição (LIDAK e REBELATO, 2005).

LEE (2002) considera que uma das grandes vantagens do SMT é a possibilidade de soldagem de terminais na placa no mesmo lado em que o componente seja posicionado, evitando os furos passantes, além de promover a redução dimensional dos encapsulamentos e nas distâncias entre terminais.

4.8.1. Placas eletrônicas SMT

As placas eletrônicas SMT (Figura 8) são um tipo de tecnologia de montagem de componentes eletrônicos muito utilizada na indústria eletrônica. Essa tecnologia envolve a montagem de componentes eletrônicos diretamente na superfície da placa de circuito impresso (PCB), sem precisar que os componentes precisem atravessar a placa através de furos para que sejam fixados.

Figura 8: Placa populada com componentes eletrônicos.



Fonte: Autor (2022).

Karim, M. A., & Khan, M. A. (2015), apresentam como vantagens da tecnologia SMT para montagem de eletrônicos:

- **Economia de espaço:** A técnica de SMT exige menos espaço na placa para inserção de componentes, permitindo que as PCBs sejam menores e mais compactas.
- **Redução de custos:** A montagem SMT é geralmente mais barata do que a montagem tradicional, pois utiliza menos material e mão de obra.
- **Maior confiabilidade:** A montagem SMT oferece maior confiabilidade do que a montagem tradicional, pois reduz a chance de defeitos devido à solda fria, solda por refluxo e outros problemas comuns.

4.8.2. Componentes SMT

Componentes SMT (Surface Mount Technology) são dispositivos eletrônicos que são montados diretamente na superfície da placa de circuito impresso (PCB), sendo fixados através da aplicação de pasta de solda. Segundo Jain et al. (2017), Os componentes SMT estão sendo produzidos cada vez menores, mais leves e mais precisos, no intuito de que as PCBs sejam projetadas com maior densidade de componentes e menor espaço ocupado, o que influencia na eficiência do processo STM.

Alguns exemplos comuns de componentes SMT incluem resistores, capacitores, diodos, transistores, circuitos integrados (CIs), conectores, eletrolíticos, LEDs e sensores.

4.8.3. Linhas de montagem para componentes SMT

O processo de montagem SMT é focado em automação, com o mínimo de intervenção humana possível, considerando o menor tempo possível e constituído das seguintes etapas:

PRINTER

O início do processo se dá em um equipamento denominado Printer (figura 9), que através do processo de serigrafia, aplica pasta de solda sobre a placa virgem. Esta aplicação é feita por um rodo sobre um estêncil que permite a passagem da pasta de solda somente nos pontos onde serão inseridos os componentes. A pasta tem a função de soldar o componente à placa, permitindo assim sua fixação e o contato elétrico.

Figura 9: Máquina aplicadora de pasta de solda (printer).



Fonte: <https://www.leaptech.in/smt-stencil-printers.html>

SPI

Após a passagem pela Printer, a placa com pasta segue para um outro equipamento, a SPI (figura 10), que com uma câmera fotográfica, tira quantas fotos forem necessárias da placa e compara estas fotos com um padrão feito pela Engenharia Industrial. Este padrão indica os pontos onde deve haver pasta e se o volume necessário foi aplicado.

Figura 10: Inspeção de PCB na SPI.



Fonte: <https://www.7pcb.com/3D-SPI>

INSERSORAS

Os principais e mais caros equipamentos de uma linha de montagem SMT, as inseradoras (Figura 11) são responsáveis pela inserção dos componentes nos devidos locais, sobre as placas com pasta, conforme exemplificado na figura 12.

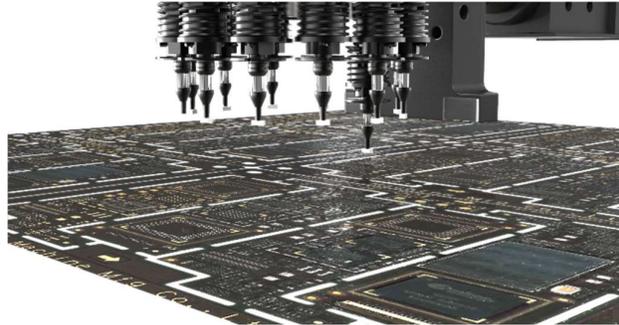
A indústria eletrônica dispõe de máquinas automáticas que são capazes de efetuar a inserção de certos tipos (classes) de componentes, permitindo que esse processo de montagem seja mecanizado. Essas máquinas podem variar desde robôs de uso geral, empregados para manusear os componentes eletrônicos (quando são providos de pinças e acessórios especiais), até máquinas especializadas, construídas especialmente para esse fim. Essas últimas são denominadas máquinas inseradoras de componentes eletrônicos.

Figura 11: Processo de inserção SMT.



Fonte: https://www.fuji.co.jp/en/items/rs_list/nxt3

Figura 12: Processo de inserção SMT.



Fonte: https://www.fuji.co.jp/en/items/rs_list/nxt3

FORNO DE REFUSÃO

Inseridos todos os componentes, as placas seguem seu fluxo até o forno de refusão para a soldagem da pasta. O forno (Figura 13) possui zonas de aquecimento, que de acordo com os tipos de componentes, podem ser alteradas. A placa é aquecida até o ponto de fusão do estanho presente na pasta, que solidificará quando resfriado.

Figura 13:Forno de refusão.



Fonte: <http://mhdtecnologia.com.br/estrutura>

AOI

Após sair do forno de refusão, a placa segue para uma estação de inspeção automatizada, a AOI (Automated Optical Inspection). Como a SPI, a AOI valendo-se de uma câmera fotográfica, tirará várias fotos da placa e comparará estas fotos com um programa feito pela Engenharia Industrial, procurando defeitos como falta de componentes, falta de solda, componentes em posições erradas ou componentes errados na placa. A AOI identifica estes defeitos automaticamente, que passam por uma revisão humana verificando falsas falhas ou outros erros que a máquina não identificou. Na figura 14 é possível observar as placas sendo inspecionadas em uma AOI:

Figura 14: Inspeção de PCB na AOI.



Fonte: <https://www.fumaxtech.com/aoi/>

4.9. CPH – Chips por hora

O cálculo de CPH (Chips por hora) em uma linha de montagem SMT (Surface Mount Technology) é um indicador da capacidade da linha de produção. CPH (Chips per hour), é a quantidade de componentes que uma máquina de SMT é capaz de inserir em uma hora. Essa velocidade de inserção pode ser determinada por vários fatores, como tamanho e peso dos componentes e comprimento e área das placas de circuito integrado (PCB).

A máquina insersora possui uma ferramenta chamada cabeça rotativa (*head*) que coleta os componentes por meio de sucção, depositando-os em seguida na posição indicada na programação do equipamento. A *head* é capaz de coletar uma quantidade bem maior de componentes menores e mais leves, enquanto componentes mais pesados ocupam mais espaço e exigem maior força de sucção, deixando a máquina mais lenta.

A fórmula geral para calcular o CPH é a seguinte:

$$CPH = \text{Componentes por ciclo} * \text{Ciclos por hora}$$

Onde:

Componentes por ciclo: é o número médio de componentes que podem ser montados em cada ciclo de produção.

Ciclos por hora: é o número de ciclos de produção que podem ser realizados em uma hora.

Dando uma aplicação prática, pode-se considerar uma máquina insersora de componentes que tem uma capacidade (determinada pelo fabricante) de 10.000CPH e uma máquina de solda com capacidade de 12.000CPH componentes por hora. Considerando que o tempo médio de ciclo do processo de montagem é de 10 segundos, o cálculo seria realizado da seguinte forma:

$$CPH = \frac{(10.000 + 12.000)}{2} * \frac{3600}{10} = 3.960.000$$

Isso significa que a linha de montagem SMT exemplificada tem capacidade de inserir 3.960 mil componentes.

Lou et al. (2015) ressalta que fatores como volume de pasta de solda aplicado aos componentes SMT e o espaçamento físico entre os mesmos podem interferir na velocidade de inserção. Isso porque componentes posicionados lado a lado apresentam um nível eficiência maior que componentes mais espaçados que demandam maior tempo de deslocamento da *head*, além de que uma quantidade inadequada de solda aplicada pode causar deslocamento dos componentes durante a montagem, o que pode gerar problemas de qualidade do produto.

A medição de CPH é uma métrica muito relevante para a indústria de semicondutores, permitindo avaliar o desempenho da fábrica e identificar gargalos na produção. Segundo MING-CHENG WU et al. (2014), a medição de CPH é importante para o planejamento da produção, estimativa de custos e alocação de recursos.

Segundo UMARANI et al. (2017), a análise da CPH em diferentes fábricas de chips pode identificar as melhores práticas de produção e ajudar na tomada de decisões estratégicas. Por esse motivo, é muito importante conhecer o CPH das máquinas para dimensionar corretamente a taxa de produção. Nem sempre uma linha com CHP mais alto será uma linha mais eficiente, pois há características do produto que podem limitar o tempo de processamento.

4.10. SMT Load Chart

Como forma de monitorar o nível de utilização do CPH a eficiência das plantas de manufatura, uma fábrica do Polo Industrial de Manaus lançou uma ferramenta chamada *SMT Load Forecasting* (também chamado de SMT Load Chart).

Esse sistema calcula o nível de utilização do CPH disponível através do preenchimento de dados como tempo de ciclo, quantidade e especificação de máquinas disponíveis em cada linha de produção, quantidade de componentes inseridos em cada lado da placa (PCB), tamanho do painel e quantidade de placas contidas no painel.

Outro recurso da ferramenta é o simulador, onde é possível testar diferentes combinações de equipamentos e produtos, proporcionando uma tomada de decisão mais assertiva.

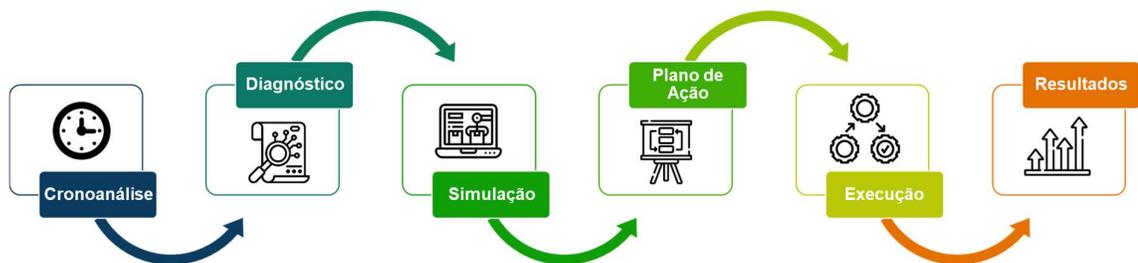
5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem o intuito de apresentar e implementar melhorias em uma linha de inserção automática de componentes eletrônicos, através do mapeamento de utilização de CPH disponível, guiado pela metodologia DMAIC. Para a execução do projeto será utilizada uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada, por meio de coleta de dados e análises das informações colhidas na pesquisa.

Serão utilizadas como técnicas para a coleta de dados o estudo de caso exploratório, o mapeamento in loco do processo produtivo, cronoanálise dos postos de trabalho, avaliação dos materiais e métodos utilizados e análise dos gráficos de capacidade gerados automaticamente pelo sistema operacional dos equipamentos (*SMT Load Chart*).

Para a execução do projeto, a estratégia definida (Figura 15) consiste na cronoanálise das linhas de produção, partindo para o diagnóstico onde será encontrada a causa raiz. Em seguida, será realizada a simulação das modificações propostas através do simulador contido no *SMT Load Chart*. A partir dos resultados das simulações será traçado um plano de ação seguindo a ferramenta 5W2H. Por fim, os resultados das ações implementadas serão medidos, validados e documentados.

Figura 15: Sequência de execução do projeto.



Fonte: Autor (2023)

5.1. Define – Definir

Cronoanálise

O início do projeto se deu pela coleta de tempo de ciclo de cada posto de trabalho para que fosse determinado o gargalo de cada processo produtivo. Além do tempo de ciclo, foram coletados dados como quantidade e especificação de máquinas disponíveis em cada linha de produção, quantidade de componentes inseridos em cada lado da placa (PCB), tamanho do painel e quantidade de placas contidas no painel.

Ao total, foram mapeados 43 produtos, distribuídos em seis linhas de produção, e todos esses dados coletados foram agrupados em um arquivo (Quadro 3) e enviados ao time de programação global, para que fossem carregados no *Load Chart*.

Quadro 3: Dados de processo para atualização do sistema.

1	Variant ID	Volume	From 2021	Valid Proc	Volume	Board Descript	Panelizatio	Panel width	Components side	Components side	Line Nam	% IFS demand	CT for Placement for M	Bottleneck Statu	CT for Bottleneck for M	In Del	Out
20	208047	4578	Yes	4578	Front - TOP	2	220	64	0	100	L1	100	30	SPR-S1			32.4
21	208047	4578	Yes	4578	Front - BOT	2	220	0	184	L1	100	100	41.4	PLC-S2			41.4
22	208047	4578	Yes	4578	Main	2	195	185	280	L5	100	100	53.6	PLC-S2			56.4
23	208047	4578	Yes	4578	SD Card	20	195	3	0	L5	100	100	70	SNG			173.8
28	208060	15	Yes	15	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
29	208062	2232	Yes	2232	Main	2	245	0	500	L2	100	100	80	PLC-S2			80
31	212295	144601	Yes	17105	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
37	214058	3	yes	3	Main	4	195	39	156	L4	100	100	76.6	PLC-S2			76.6
38	214060	6	yes	6	Main	4	195	39	156	L4	100	100	76.6	PLC-S2			76.6
40	216214	6992	Yes	6992	Main	2	245	0	500	L2	100	100	80	PLC-S2			80
42	216217	4	Yes	4	Main	2	245	0	500	L2	100	100	80	PLC-S2			80
47	300035	1019	yes	1019	Main	2	245	0	418	L2	100	100	70.6	PLC-S2			70.6
48	300043	7973	Yes	7973	Main	2	245	0	500	L2	100	100	80	PLC-S2			80
50	300141	50558	Yes	50558	Front - TOP	2	220	64	0	L1	100	100	30	SPR-S1			32.4
51	300141	50558	Yes	50558	Front - BOT	2	220	0	184	L1	100	100	41.4	PLC-S2			41.4
52	300141	50558	Yes	50558	Main	2	195	185	280	L5	100	100	53.6	PLC-S2			56.4
53	300141	50558	Yes	50558	SD Card	20	195	3	0	L5	100	100	70	SNG			173.8
57	301213	54386	yes	27722	Main	4	195	56	96	L4	100	100	32.4	SNG			90
58	301225	210035	yes	30023	Main	2	195	124	99	L4	100	100	71.3	PLC-S2			71.3
60	301834	37	Yes	37	Main	2	245	0	500	L2	100	100	80	PLC-S2			80
61	301835	2414	Yes	2414	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
63	301837	17901	Yes	17901	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
73	301924	257	Yes	257	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
74	301925	51162	Yes	21794	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
75	301926	108	Yes	108	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
79	301982	1597	Yes	1597	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
80	301983	34	Yes	34	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
81	301984	18336	Yes	18336	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
82	301998	190066	Yes	91293	Front - TOP	1	145	41	0	L1	100	100	34.6	PLC-S1			34.6
83	301998	190066	Yes	91293	Front - BOT	1	145	0	286	L1	100	100	32	SPR-S2			32.4
84	301998	190066	Yes	91293	Main	2	195	404	411	L5	100	100	75	PLC-S2			75
85	301998	190066	Yes	91293	SD Card	15	195	2	0	L5	100	100	64.2	SNG			169.4
87	302098	33654	yes	12444	Main	2	195	179	132	L3	100	100	76.6	PLC-S2			76.6
88	302765	474905	yes	121620	Main	2	195	39	156	L4	100	100	76.6	PLC-S2			76.6
89	303024	42374	Yes	9838	Main	2	245	0	496	L2	100	100	65	PLC-S2			65
92	304153	155192	yes	25603	Main	2	245	227	289	L3	100	100	51	PLC-S2			51

Fonte: Autor 2022

5.2. Measure – Medir (Diagnóstico)

Após o carregamento dos dados coletados no sistema, foi calculado automaticamente o nível de utilização do CPH disponibilizado, considerando a configuração de máquinas de cada linha de produção, conforme evidenciado na figura 16.

Figura 16: Indicado de nível de utilização de CPH.

Board Description	Panel	Panel Width (mm)	Components side 1	Components side 2	Line (CPH)	% IFS demand	CT for Placement for MS	Bottleneck Station	CT for Bottleneck for MS	In Date	Out Date	CPH Spent	Sub-utilized CPH %
Min	2	246	290	0	SMT-L02 S1: 40,350 S2: 0	100	56.0	ICT	63.0	2018-02	2022-01	32,142	20%

Fonte: SMT Load Forecast

A figura 16 indica que apenas 20% do CPH disponível está subutilizado, ou seja, não está sendo utilizado. Sendo assim, este produto não ofende a métrica de eficiência, visto que 80% do CPH está em ocupação e o mínimo exigido é 70%.

O resultado do primeiro relatório exibido na figura 17 evidenciou que dos 43 programas alocados no processo, 27 não atendiam o requisito mínimo de eficiência e que os gargalos do processo estavam localizados nas máquinas inseroras. Por esse motivo, a partir deste ponto, as palavras “máquinas” e “equipamentos” estão se referindo às máquinas inseroras, que serão o foco das ações do projeto.

Figura 17: Relatório mensal de eficiência do processo de SMT.

SMT Load Forecasting - Monthly Report - May/2022 - MAN

obosrv@visteon.com

To: Dos Santos, Cecilia Karoline (C.); Lazarov, Dr Nicolai (D.L.); Toscano, Juan Carlos (J.); Rodriguez, Monica (M.); Hernandez, Eduardo (E.); Correia, Silvia (S.L.)

Cc: Tayler, Giles (G.J.); Murugan, Senthil Kumar (S.); Ferreira, Jose (J.); Soares, Joao (J.); Figueiras, Antonio (A.); Rangel, Ricardo (R.); Almeida, Joao (J.); Oliveira, Pedro Xavier (P.)

Mon 5/2/2022 5:25 AM

Translate message to: Portuguese (Brazil) | Never translate from: English

The following summary table displays the automatic calculations of data inconsistencies that require your attention.

Quantity of IFS variants with NEW status	Quantity of IFS variants with PENDING status	Quantity of boards with sub-utilized CPH Out-Of-Range [0%; 30%]	Quantity of programs with incomplete PCBA details	Quantity of boards missing impact from its line's planned changes
0	0	27	0	0

Qty SMT Lines	Qty Programs			Prod. Volume Analysis				% of unAllocated / Allocated
	unAllocated	Pending	Allocated	unAllocated		Allocated		
	New	Pending	Qty Programs Allocated	New	Pending	Yes		
6	0	0	43	0	0	8,805,538	0%	

Fonte: SMT Load Forecasting (2022)

Ao identificar os produtos que estavam fora do limite de eficiência especificado, encontrou-se a seguinte distribuição em cada linha de produção (Gráfico 1):

Gráfico 1: Distribuição de programas com utilização de CPH abaixo de 70%.



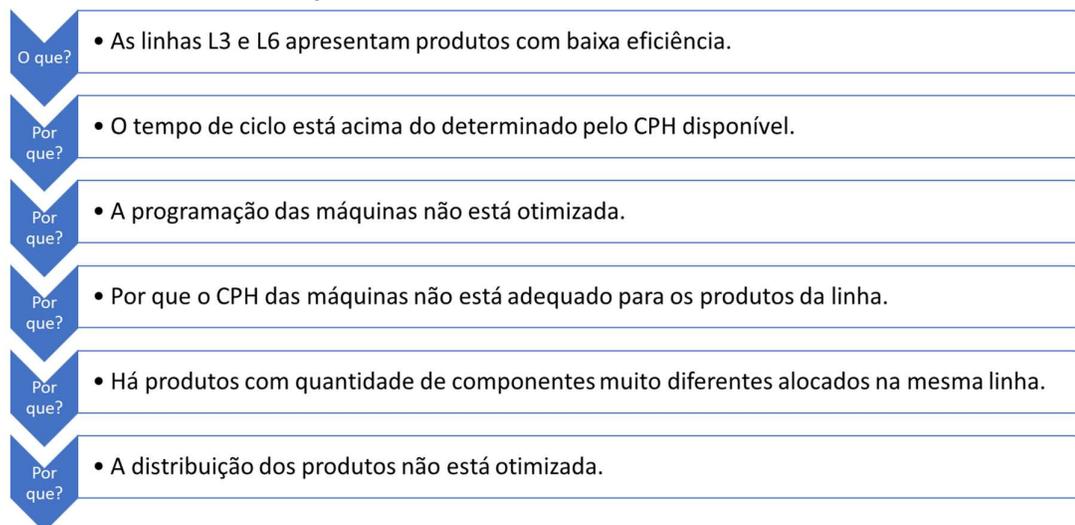
Fonte: Autor (2023)

O foco principal do início do projeto foi buscar ações de melhoria para as linhas L3 e L6, pois conforme evidenciado pelo gráfico 1, caracterizavam-se como os principais ofensores da métrica de eficiência do processo de SMT.

5.3. Análize (Analisar)

Os times de engenharia industrial e manufatura se reuniram a fim de encontrar a causa raiz do problema. Para cumprir este objetivo, foi aplicada a ferramenta da qualidade dos 5 porquês, sendo encontrada como causa raiz a distribuição inadequada dos produtos entre as linhas, conforme mostra a figura 18.

Figura 18: Análise de causa raiz do problema.

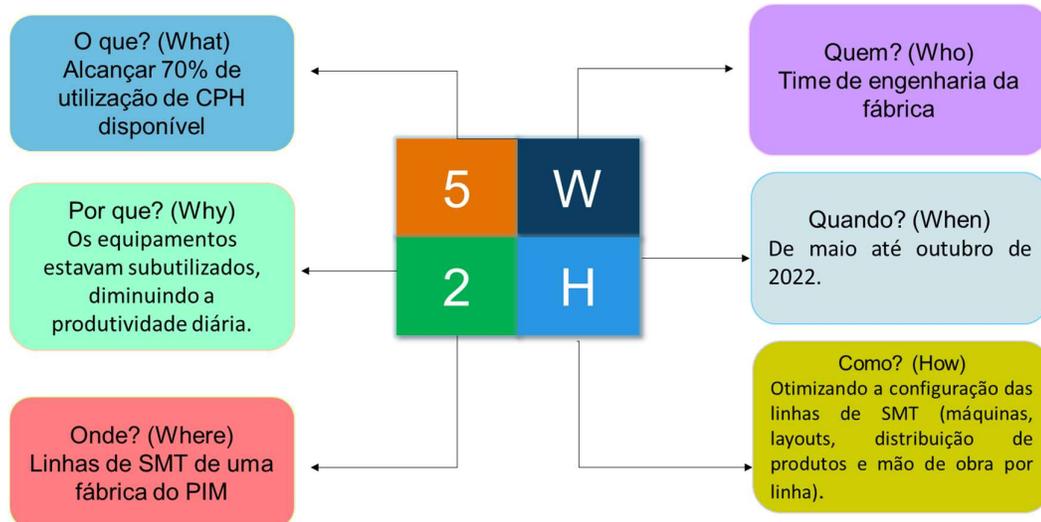


Fonte: Autor (2022)

5W2H

A partir da causa raiz encontrada, chegou-se à conclusão de que a solução do problema se daria pela reestruturação de todo o processo de SMT da fábrica, visto que seria necessário redistribuir produtos e equipamentos entre as linhas. Desta forma, foi formulado o seguinte macro plano 5W2H (figura 19):

Figura 19: Análise de causa raiz do problema.



Fonte: Autor (2022)

Simulação

Até este ponto, já se sabia que os produtos não estavam distribuídos corretamente entre as linhas e que os equipamentos e produtos precisariam ser reorganizados no processo SMT. Para uma definição mais assertiva de quais trocas e remanejamentos seriam feitos, foi utilizada a função de Simulação do *SMT Load Forecasting*, onde foram criados diferentes cenários até que se chegasse nos melhores cenários para cada linha conforme será detalhado a seguir.

Como premissa para a simulação foi utilizado o critério unir as placas que tivessem tamanho e quantidade de componentes semelhantes, sem que a qualidade ou o atendimento do volume de produção fossem comprometidos. Baseando-se nesse critério, foi traçado o seguinte esquema de realocação de produtos para atingir os 70% de utilização:

Cenário Linha 1: Os programas desta linha serão transferidos para a Linha 5, pois as placas pertencem a mesma família de produtos e o volume poderia ser absorvido na L5 com ajustes de tempo de ciclo e realocação de máquinas para ajuste de CPH.

Cenário Linha 2: O tempo de ciclo dos produtos correntes na L2 poderia ser reduzido com a substituição de uma máquina oriunda da desativação da L1 para alocar produtos que só recebem componentes de um lado da placa. Essa configuração seria a mais adequada, visto que a L2 é constituída de apenas uma fase de produção.

Cenário Linha 3: É a linha que tem o maior volume de produção de itens da mesma família de produtos, por esse motivo não seria viável a transferência desses produtos para outra linha. O objetivo deste cenário é otimizar a programação das máquinas, a fim melhorar a produtividade.

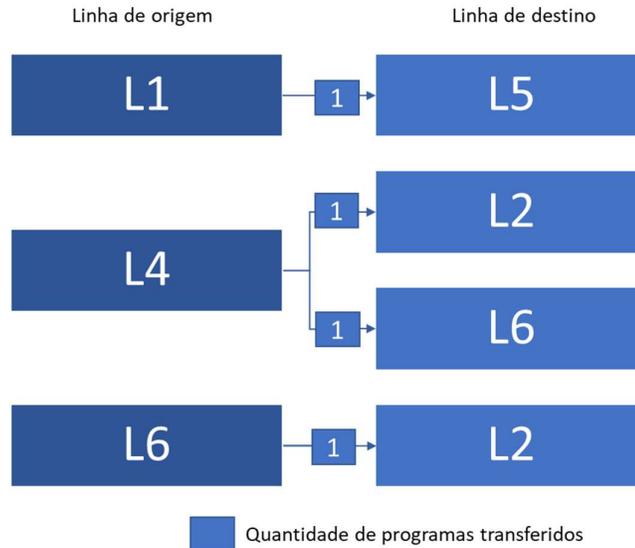
Cenário Linha 4: Transferir o produto *single side* para a L2, para adequação de capacidade (CPH) disponível conforme descrito no “Cenário Linha 2”. Outro produto será transferido para a L6 por apresentar quantidade de componentes inseridos muito superior aos outros itens que são manufaturados na mesma linha, o que tornava a capacidade disponível na L4 super dimensionada para os demais produtos.

Cenário Linha 5: Esta linha precisará receber e substituir alguns equipamentos e ter sua programação redistribuída entre as máquinas para que possa absorver os produtos oriundos da L1.

Cenário Linha 6: A L6 receberá os equipamentos e produto que estavam superdimensionados na L4 a fim de atingir o volume de produção demandado com eficiência.

Graficamente os programas seriam redistribuídos da seguinte maneira (Figura 20):

Figura 20: Esquema de transferência entre linhas.



Fonte: Autor (2023)

Na figura 21 é possível observar o cenário já configurado no simulador, pronto para ser submetido à simulação.

Figura 21: Cenário simulado no SMT Load Forecasting.

SMT Load Forecasting
MAN

Plant Scenario Homepage

You are logged in as: scorrei2

Scenario: Reestruturação SMT

[Simulate](#) [Back](#)

Line	Machine Quantity Current (Planned)	Number of Planned Changes	Line CPH	Number of Boards	Volume	Highest Runner	Panel Width
SMT-L02	2 (2)	0	40,349	10	366,034	Renault H79/X52/X67/X92 Cluster	245
SMT-L03	6 (6)	0	92,696	7	1,903,773	GM GEM Cluster	Min: 145 Max: 245
SMT-L04	8 (8)	0	101,845	4	687,597	Honda KREY motorcycle Cluster	Min: 195 Max: 245
SMT-L05	6 (6)	0	111,222	3	204,609	VW Infotainment MIB G2 STD	Min: 145 Max: 195
SMT-L06	17 (17)	0	250,653	9	2,193,487	VW FPK Basic 8" Cluster	Min: 165 Max: 245

Insert line name here

[Add Line](#)

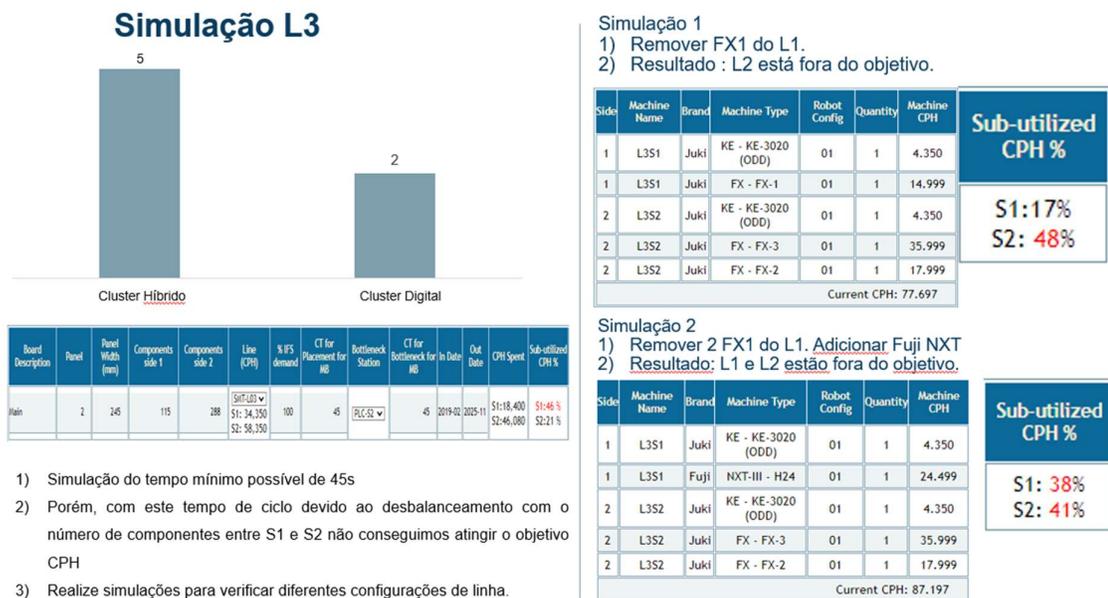
Fonte: SMT Load Forecasting (2022)

Resultado da Simulação:

Os resultados da simulação foram analisados pelo time de engenharia industrial e engenharia de SMT e foram obtidas as seguintes conclusões:

1. Os sete programas da L3 não poderiam alcançar os 70% de eficiência nas duas fases da linha por características inerentes ao design do produto. A figura 22 evidencia a discrepância do número de componentes entre as fases, mesmo com diferentes cenários de distribuição de equipamentos. O menor tempo de ciclo encontrado com os recursos disponíveis foi o de 83% de eficiência na fase 1.

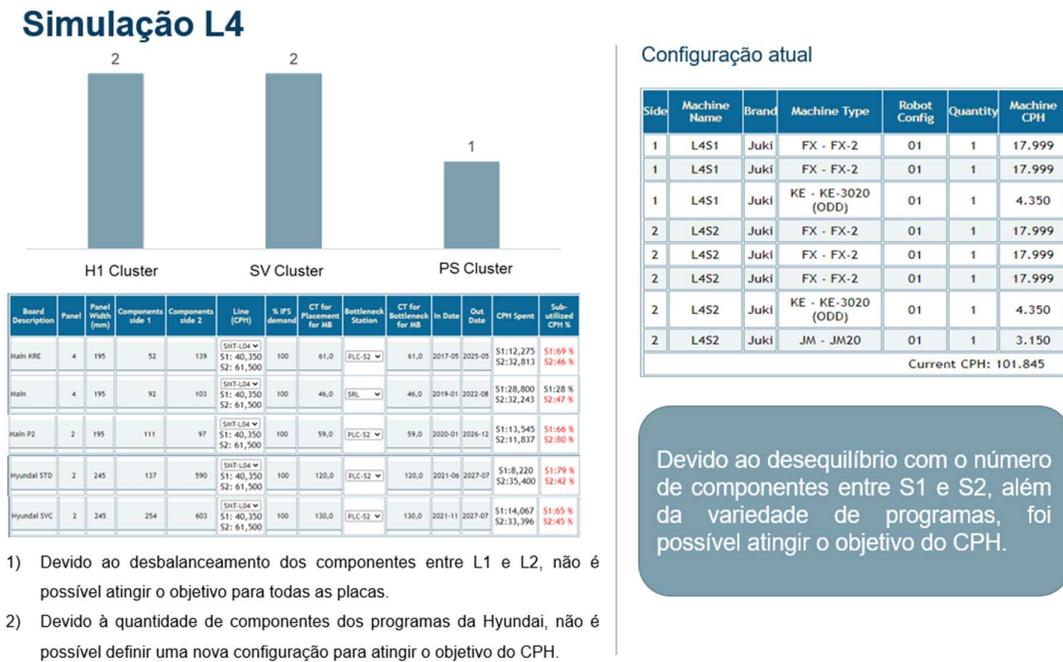
Figura 22: Simulação L3



Fonte: SMT Load Forecasting (2022)

2. A fim de otimizar ao máximo as linhas com maior volume de produção, a L4 foi a que recebeu a maior variedade de produtos de diferentes famílias. Por conta dessa diversidade de quantidade e tipo de componentes inseridos e tamanhos de placas muito diferentes, também não seria possível atingir os 70% de eficiência nesta linha, apesar das diferentes combinações de equipamentos que foram feitas conforme demonstrado na figura 23.

.Figura 23: Simulação L4.



Fonte: SMT Load Forecasting (2022)

3. Os demais produtos das Linhas 1, 2, 5 e 6 poderiam atingir os 70% de eficiência com a nova configuração de equipamentos e otimização da programação das máquinas.

5.4. Improve – Melhorar

A partir do resultado das simulações, foi traçado um plano de ação dividido em três etapas:

Plano de ação 1ª Etapa – L1 e L5

Na primeira etapa do plano de ação (Quadro 4), foram estabelecidos ações e prazos com o objetivo de desativar a L1, pois com esta linha desativada, seus recursos ficariam disponíveis para realocação em outras linhas, possibilitando a execução das próximas etapas do plano.

Quadro 4: 1ª etapa do plano de ação..

O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Como?	Quando?	Quanto?
<u>Desativar Linha 1</u>	Os produtos poderiam ser realocados em outras linhas após a otimização dos programas	L1	Time Visteon	Fazer a programação dos produtos montados na L1 nas máquinas da L5	W18	R\$ 4,750k
Reduzir o tempo de ciclo dos produtos	Para aumentar a utilização do CPH disponível e absorver o volume transferido da L1	L5	Time Visteon	Substituindo 2 FX-2 JUKI por 1 FX-3 JUKI e substituindo uma JUKI 2080 por uma JUKI 3020 e realocando a solda seletiva retirada da L1	W18	R\$ 4,750k

Fonte: Autor (2022)

Plano de ação 2ª Etapa – L4 e L6

Já na segunda etapa do plano de ação (Quadro 5), o foco das ações era aumentar a produtividade através da redefinição de configuração da linha, substituindo equipamentos que estavam diminuindo seu nível de eficiência.

Quadro 5: 2ª etapa do plano de ação.

O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Como?	Quando?	Quanto?
Retirar o 3 turno	Para reduzir custo de overhead	L4	Time Visteon	Retirando placa (smart) com quantidade de componentes acima da média dos produtos da linha	W22	R\$4,25k
Tornar compatível o CPH das máquinas com montagem dos produtos	Pois com a remoção do smart a linha ficou com uma CPH maior do que o necessário para a montagem dos produtos presentes na linha	L4	Time Visteon	Retirando 3 módulos de NXT FUJI	W22	-
Remover máquinas obsoletas do processo	Para evitar paradas permanentes por falta de peças de reposição	L4	Time Visteon	Substituindo 2 FX-1 por 2 FX-2	W22	-
Reduzir o tempo de ciclo dos produtos	Para aumentar a utilização do CPH disponível e absorver o volume transferido da L4	L6	Time Visteon	Realocando os 3 módulos de NXT FUJI retirados da L4	W22	R\$4,25k

Fonte: Autor (2022)

Plano de ação 3ª Etapa – L2

A terceira e última etapa do plano de ação (Quadro 6) consiste em agrupar todos os produtos que recebem componentes eletrônicos em apenas um lado da PCB na L2, que é uma linha composta somente por uma fase de equipamentos. Para isso,

foram necessárias ações de reprogramação de equipamentos para redução de ciclo e aumento da produtividade.

Quadro 6: 3ª etapa do plano de ação.

O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Como?	Quando?	Quanto?
Reduzir o tempo de ciclo dos produtos	Para aumentar a utilização do CPH disponível e aumentar a disponibilidade de horas da linha	L2	Time Visteon	Substituir uma Chip Shooter JUKI 2080 por uma JUKI 3020 para rebalancear a distribuição de componentes	W30	R\$ 7,5k
Remover os produtos single side de linhas double side	A linha double side tem capacidade disponível acima do necessário para produzir placas single side	L2	Time Visteon	Transferir a Placas Front do Radio Regio e Cluster AI9X para L2	W30	-

Fonte: Autor (2022)

6. RESULTADOS (Check)

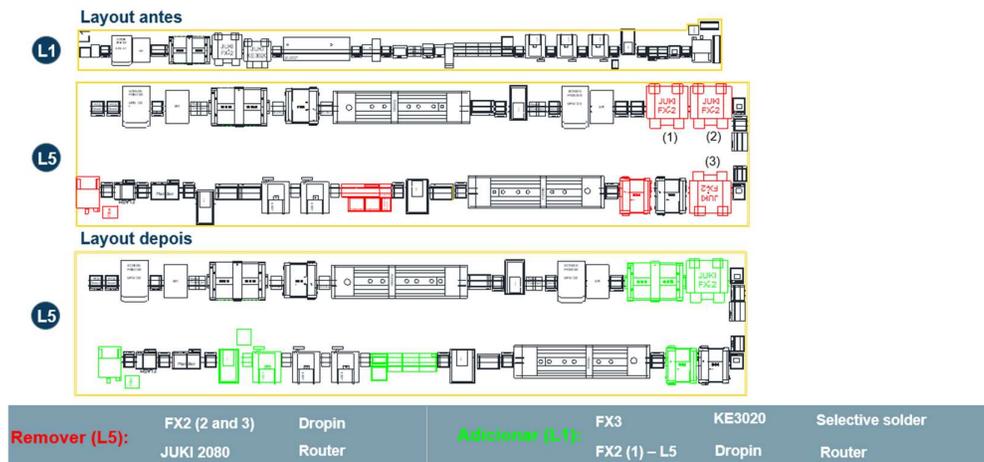
Mudança de Layout no chão de fábrica

O plano de ação foi cumprido no prazo estimado e após a implementação das ações, foram obtidas as seguintes mudanças de layout:

Relayout SMT 1ª Etapa – L1 e L5

Para receber os programas da L1, foi necessário fazer uma mudança de layout na L5, na qual foram substituídos e adicionados equipamentos vindos da L1, conforme descrito na figura 24.

Figura 24: Layout final das Linhas 1 e 5.

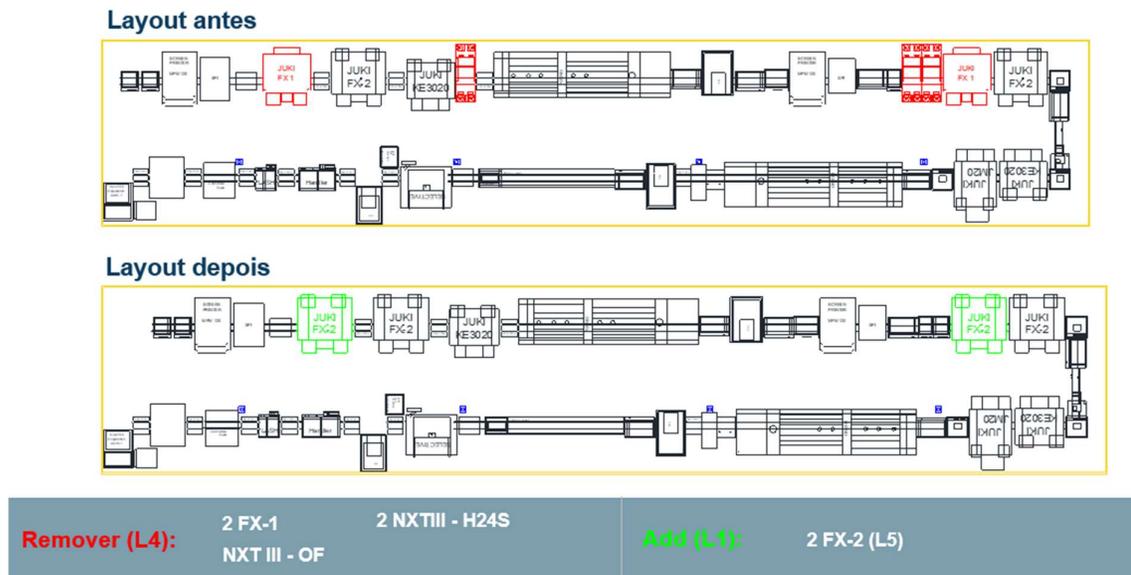


Fonte: Autor (2022)

Relayout SMT 2ª Etapa – L4 e L6

Foram transferidos 3 módulos NXT da L4 para a L6 para que fosse possível a redistribuição de produtos entre estas linhas. Também foram substituídas pelas máquinas retiradas da L5 na primeira etapa do plano, algumas máquinas (JUKI FX-1) que já estão obsoletas e representam um risco de para prolongada, visto que o fornecedor comunicou oficialmente a empresa que já não fabrica mais peças de reposição para este modelo. A Figura 25 mostra a comparação do layout da L4 antes e depois das alterações.

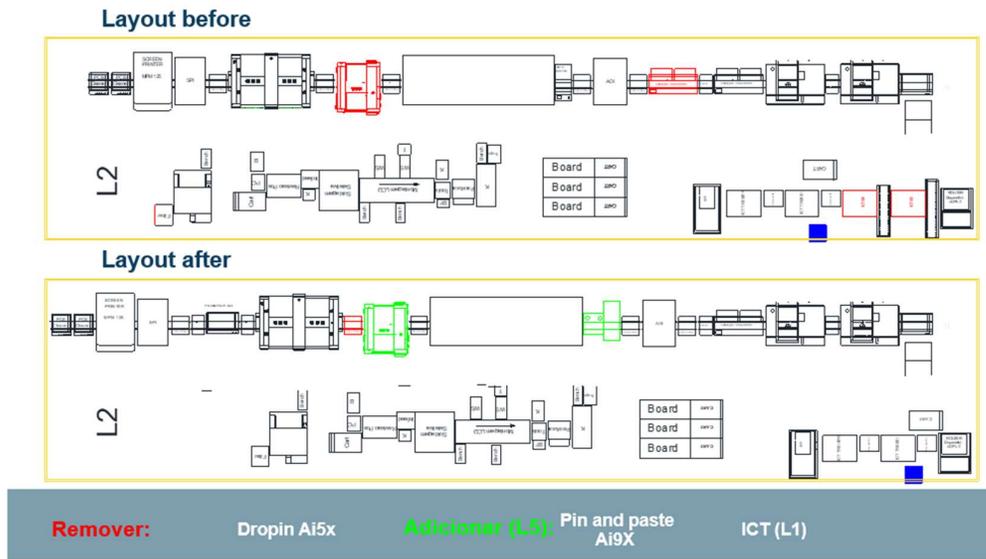
Figura 25: Layout final da Linha 4.



Fonte: Autor (2022)

A L6 recebeu os três módulos NXT removidos da L4, sendo distribuídos um módulo da fase 1 e dois módulos na fase 2 da linha, resultando no layout exibido pela figura 26.

Figura 26: Layout final da Linha 6.

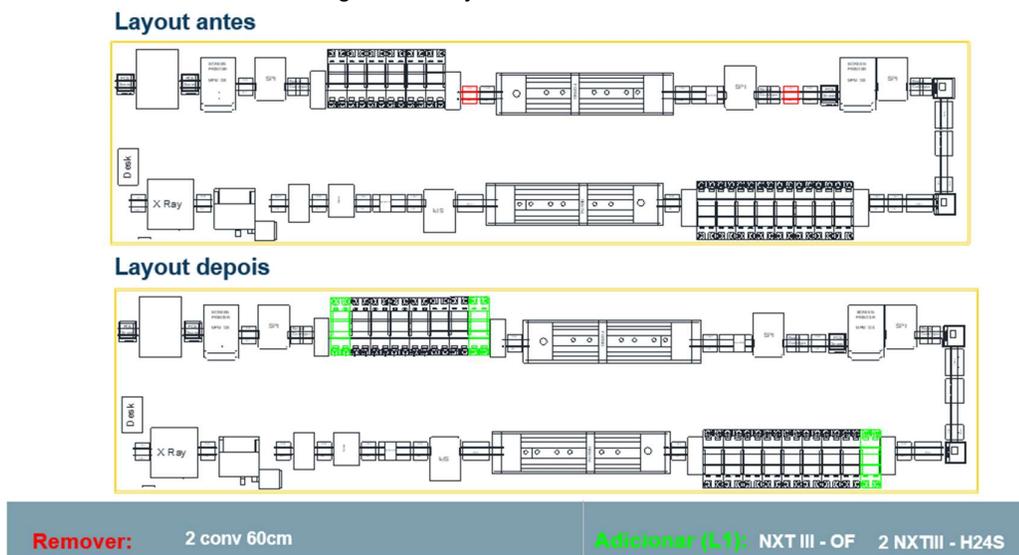


Fonte: Autor (2022)

Relayout SMT 3ª Etapa – L2

Na L2 foram incluídos alguns equipamentos para atender a especificações de montagem dos produtos *single side* que foram transferidos das Linhas L4 e L5, entres eles uma insersora JUKI KE3020 e um equipamento de inserção manual conforme apresenta a figura 27.

Figura 27: Layout final da Linha 2.



Fonte: Autor (2022)

Na figura 28 é possível observar uma colagem com fotos reais dos equipamentos posicionados já posicionados após as alterações de layout, incluindo o espaço que antes era ocupado com a L1 que foi transformado em uma área para reuniões de apresentação de KPIs e a outra parte foi convertida em uma célula de reparo.

Figura 28: Fotos das máquinas posicionadas no layout final.



Fonte: Autor (2023).

Status dos produtos com eficiência abaixo de 70%

Os resultados da simulação realizada no Load Chart foram submetidos à análise do time de operações global e após validação e reconhecimento dos dados entregues através do simulador, foi criada uma lista de permissão no sistema. Nesta lista de permissão foram incluídos 12 produtos das linhas L3 e L4 que não atendem ao requisito mínimo de utilização de CPH por características relacionadas ao design de concepção do produto que não poderia ser alterado. A figura 29 mostra o exemplo de um produto classificado como apto para a lista de permissão, onde o campo “AllowList” está assinalado com “yes”.

Figura 29: Exemplo de produto em lista de permissão.

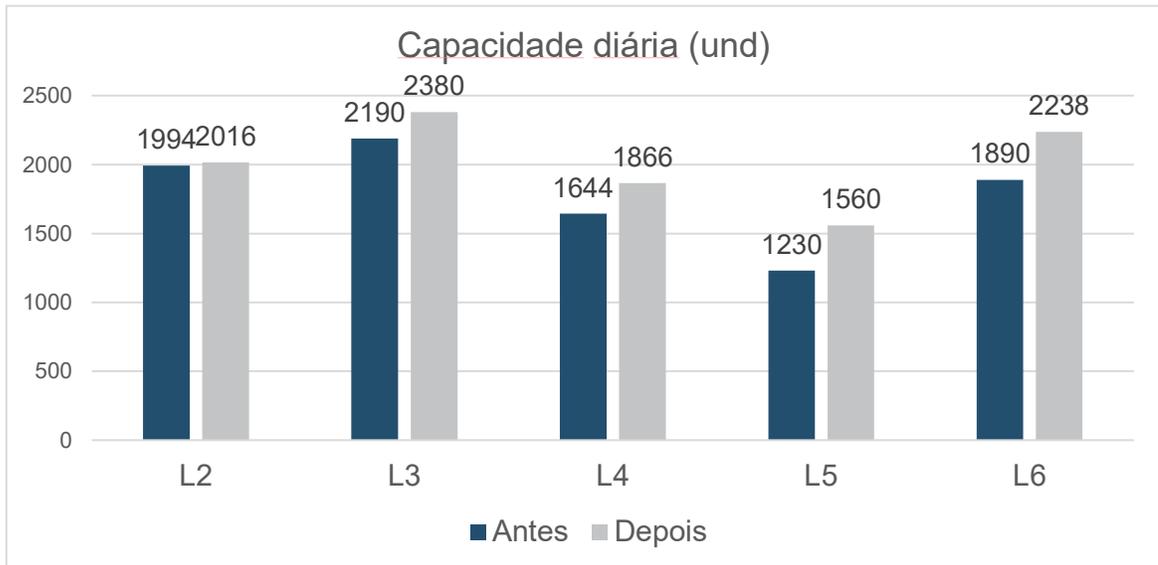
CT for Bottleneck for MB	In Date	Out Date	CPH Spent	Sub-utilized CPH %	CPH Spent Bn	Sub-utilized CPH % Bn	Delete	Copy	AllowList
45.0	2017-09	2025-06	S1:24,160 S2:21,120	S1:29 % S2:63 %	S1:24,160 S2:21,120	S1:29 % S2:63 %	Delete	Copy	Yes

Fonte: Load Forecasting (2023).

Quanto aos 15 produtos trabalhados pelo plano de ação definido, todos alcançaram o requisito de 70% de utilização do CPH disponível, resultando no atendimento do objetivo proposto no início do projeto. Além disso, mesmo nos produtos que não alcançaram os 70%, a capacidade diária total de produção aumentou em 11,05%, levando ao desativamento do terceiro turno da L3 e economia de pouco mais de \$130k por ano.

No gráfico 2 é possível comparar a produtividade diária em quantidade de peças em cada linha. As linhas que obtiveram melhor resultado foram as L5 e L6 apresentando aumento de produtividade em 21% e 16%, respectivamente.

Gráfico 2: Comparação de capacidade antes e depois da implementação das ações.



Fonte: Autor (2023).

Para o cálculo de retorno financeiro das melhorias apresentadas, o setor de contabilidade levou em conta fatores como preço de venda do produto, custo de material, mão de obra e custos de alimentação, transporte e energia elétrica. A economia total foi de \$131,910.60, distribuídos por linha conforme mostra o quadro 7.

Quadro 7: Economia anual gerada pelo projeto em dólares.

Saving anual	
L2	\$ 12,997.78
L3	\$ 10,100.28
L4	\$ 38,388.74
L5	\$ 19,516.77
L6	\$ 50,907.03
Total	\$ 131,910.60

Fonte: Autor (2023)

6.1. Análise dos resultados

As hipóteses levantadas no início do projeto foram apontadas como causas do problema na análise de causa raiz (figura 22) realizada no item 5.3 e as ações apresentadas como solução resultaram no cumprimento do objetivo proposto. Portanto, ao fim do projeto temos a confirmação das hipóteses levantadas:

- As linhas produção estão super dimensionadas para os produtos instalados – apontada como o terceiro porquê, está hipótese foi comprovada através da análise de CPH que apontou que a capacidade disponível não estava compatível com as necessidades de montagem dos produtos. Para ajustar o CPH disponível, a solução apontada foi a realocação de equipamentos entre as linhas
- Os produtos não estão distribuídos adequadamente entre as linhas – Apontada como a causa raiz do problema. Havia produtos quantidade de

componentes muito diferente alocados na mesma linha. Como solução foi feita a redistribuição de produtos entre as linhas.

- A programação das máquinas de SMT não está otimizada – apontada como o segundo porquê, essa hipótese foi comprovada após a etapa de cronoanálise, na qual foi identificado que os tempos de ciclo estavam acima do determinado pelo CPH disponível.

Após a conclusão do estudo, também podemos fazer uma análise dos resultados obtidos através da comparação com os objetivos propostos:

- **Atingir o nível de utilização de CPH de 70%** - Dos 27 programas, 15 alcançaram o nível de eficiência proposto. Os 12 produtos que não alcançaram foram justificados com dados factíveis de incompatibilidade entre o design do produto e o modelo de linha de produção em duas fases padronizado para o SMT.

- **Apresentar e implementar as ações de melhoria para os problemas identificados.** – Todas as ações de melhoria identificadas durante o mapeamento do processo foram implementadas dentro do cronograma proposto.

- **Validar as ações implementadas no processo produtivo como resultado efetivo do projeto desenvolvido.** – Todas as melhorias implementadas no processo foram validadas, documentadas e estão em aplicação até o presente momento.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do projeto, é possível dizer que todos os objetivos foram plenamente alcançados, pois foram otimizadas as linhas de SMT até que fosse atingido o nível de 70% de utilização do CPH (com exceção dos produtos cujas características particulares não permitiram o balanceamento entre fases). Para isso foi aplicada a metodologia DMAIC, que serviu para guiar as análises, planejamento das e implementação das ações de melhorias que tiveram resultado efetivo e muito positivo para o processo produtivo.

O presente estudo foi de grande aprendizado e amadurecimento para toda a equipe envolvida, pois gerou no ambiente de trabalho uma melhor integração entre times de diferentes áreas de conhecimento, além de uma mudança de pensamento orientada à busca de melhoria contínua. Além disso, o uso da ferramenta de cálculo de CPH proporcionou mais facilidade no monitoramento do nível de eficiência das linhas de SMT e uma maior visibilidade de possíveis melhorias.

A conclusão do projeto foi de grande satisfação para empresa, não só pelos resultados obtidos, mas pela aplicação da ferramenta desenvolvida internamente. Como premiação pela execução do trabalho de excelência, todos os membros do projeto foram convidados pelo time global para um jantar de celebração, o que evidencia a relevância que o estudo teve dentro da corporação.

Como sugestão para a implementação de novos produtos no futuro, recomenda-se que seja realizada uma análise prévia de ocupação de CPH durante o desenvolvimento do produto. Desta forma é possível minimizar o desbalanceamento entre as fases do processo e obter um processo mais eficiente.

REFERÊNCIAS

BARNES, R.M. **Estudo de tempos e movimentos: projeto e medida do trabalho**. Tradução de Sergio Luis Oliveira Assis, José S. Guedes Azevedo e Arnaldo Pallota. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Campus, 2001. ISBN 9788535242904.

GOMES, LUCIANO. 5W2H: **Ferramenta para a elaboração de Planos de Ação**. Disponível em: <<http://blog.iprocess.com.br/2014/06/5w2h-ferramenta-para-a-elaboracao-de-planos-de-acao/>>. Acesso em 20 out. 2022.

HINO, S. **O Pensamento Toyota - Princípios de Gestão para um Crescimento Duradouro**. 1. ed., Porto Alegre: Bookman, 2009.

JAIN, A. et al. **Surface Mount Technology (SMT) for Hybrid Circuits**. In: 2017 31st International Conference on VLSI Design and 2017 17th International Conference on Embedded Systems (VLSID). IEEE, p. 481-486, 2017.

Karim, M. A., & Khan, M. A. (2015). **Surface Mount Technology (SMT): A Review**. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(3), 1177-1182.

LEAN WAY CONSULTING. **Entenda o Lean System**. 2014. Disponível em: <https://www.leanway.com.br/entenda-o-lean-system/definicoes-e-conceitos/lean-manufacturing/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

LEE, N. C., 2002, **Reflow Soldering Process and Troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies**, Newnes

LIDAK, G., REBELATO, G.M., 2005, **Controle de Qualidade e a Redução do Tempo de Set up em Linhas de Montagem SMT**, M. Sc., Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. Disponível em: <http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=434>. Acesso em: 20 out. 2022.

- LOU, X. et al. **A study of the effect of solder paste volume on the quality of surface mount technology (SMT) components.** Journal of Manufacturing Processes, v. 20, n. 1, p. 112-119, 2015.
- MAYER, R. R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1990.
- NEUMANN, C., & SCALICE, R. (2015). Projeto de Fábrica e Layout. Primeira Edição, Rio de Janeiro, 2015. ISBN 978-85-352-5407-5 (1ª ed.). Rio de Janeiro: Campus.
- MING-CHENG WU, et al. **Throughput model for semiconductor manufacturing: a data-driven approach.** Journal of Manufacturing Systems, v. 33, n. 2, p. 191-199, 2014.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção – além da produção em larga escala.** Bookman: Porto Alegre, 1997.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção (Operações Industriais e de Serviços).** Curitiba: [s.n.], 2004.
- RIGONI. **Análise de causas- 5 porquês, por que não 6?** 2010, Disponível em <<http://www.totalqualidade.com.br/2010/01/analise-de-causas-cinco-porques-por-que.html>> Acesso em 20 out. 2022.
- ROTHER, M., HARRIS, R., 2002. **Criando Fluxo Contínuo.** Lean Institute Brasil, São Paulo.
- SHINGO S. **Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects.** Nikkan Kogyo Shimbun/Factory Magazine, (Ed.). Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.
- SLACK N. et al., **Administração da Produção.** São Paulo, Brasil. Editora Atlas S.A. 1997.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura lean seis sigma.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SOUTO, M. S. M.L. **Engenharia de Métodos**. Curso de especialização em Engenharia de Produção. PPGEF/UFPB, 2004.

SUGAI, M. **Avaliação do uso do MTM (Methods-time Measurement) em uma empresa de metal-mecânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.

UMARANI, R. et al. **Productivity improvement in semiconductor industry by analyzing the bottlenecks**. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 4, n. 2, p. 100-108, 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas Lean Thinking: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

