



TÉCNICO LISBOA

**Desenvolvimento de uma Nova Linha de
Montagem, com Aplicação da Metodologia
*Lean***

Manuel Maria de Albuquerque d'Orey Cortes

Dissertação para obtenção do Grau de mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Paulo Vasconcelos Dias Correia

Júri

Presidente: Prof. Miguel Simões Torres Preto

Orientador: Prof. Paulo Vasconcelos Dias Correia

Vogal: Prof. João Carlos da Cruz Lourenço

Janeiro 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Declaration

I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfills all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer me primeiro lugar ao Instituto Superior Técnico, pelos mais de 6 anos de ensinamentos e experiências que eu levo, e que certamente serão muito importantes para a minha caminhada profissional e pessoal. Foram 6 anos muito desafiantes e que me obrigaram a encontrar a melhor versão de mim próprio para os conseguir ultrapassar. Gostaria de deixar um agradecimento especial ao Professor Paulo Correia, pelo seu papel nesta reta final, e pelos conselhos e apoio que me deu na realização desta dissertação.

Em segundo lugar agradecer aos responsáveis do Instituto Kaizen, nomeadamente Eng. Alberto Bastos e Eng. Rui Tenreiro, por me terem aceite no seu programa de estágio, e pelo enorme desafio que me propuseram. Agradecer em especial ao Eng. Francisco Vasconcelos e Eng. José Duarte pelo acompanhamento e ensinamentos ao longo destes 10 meses.

Em terceiro lugar, queria fazer agradecimento a toda a minha família que tanto me apoiou. Sem este apoio incondicional nunca teria conseguido ultrapassar esta fase da minha vida. Queria também deixar uma nota especial aos meus colegas do Instituto Superior Técnico, Pedro, Duarte, Caetano e Carlos, que me acompanharam durante estes 6 anos.

RESUMO

A eficiência produtiva é um desafio transversal a qualquer organização do setor de produção. Uma linha de montagem, pelo facto de ter de combinar fatores humanos com máquinas, tem uma complexidade acrescida. Com os constantes avanços tecnológicos, os mercados das indústrias de produção estão a ficar cada vez mais competitivos, exigindo às empresas um produto de qualidade, baixo custo e customizado. Ao mesmo tempo que a competitividade aumenta, garantir a ergonomia dos processos e o bem-estar dos operadores tem vindo a ganhar um peso significativo nas decisões que se tomam. Assim, o grande objetivo está em conseguir aliar uma qualidade acima da média, ao menor custo possível, garantindo sempre um processo seguro e ergonómico.

No caso apresentado, o produto são máquinas de café topo de gama, um produto cuja montagem carrega uma enorme complexidade ao mesmo tempo que o seu mercado exige níveis de eficiência e produtividade difíceis de alcançar. O caso está enquadrado no mais recente projeto desenvolvido pelo *Kaizen Institute* e por uma empresa de renome do setor das máquinas de café.

O presente documento pretende desenvolver uma metodologia capaz de responder aos desafios enumerados, e que, quando testada num caso de estudo real, corresponda com sucesso. Nesse sentido foram realizados uma série de estudos e observações, que estão ilustrados ao longo do documento. Procurou-se obter uma metodologia suportada teoricamente e consciente dos problemas reais do caso de estudo.

No final serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia desenvolvida ao caso de estudo.

Palavras Chave: metodologia *Lean*, fluxo na produção, eficiência de processos, análise de tempos e tarefas, ferramentas, *setup*

ABSTRACT

Productive efficiency is a challenge that cuts across any organization in the production sector. An assembly line, because it has to combine human factors with machines, has an added complexity. With the constant technological advances, the markets of the production industries are becoming increasingly competitive, demanding from companies an high quality, low costs and customized product. At the same time that competitiveness increases, ensuring the ergonomics of processes and the well-being of operators has been gaining significant weight in the decisions that are taken. Thus, the main objective is to combine an high quality, at the lowest possible cost, always guaranteeing the safety and ergonomic of the processes.

In the case presented, the product is high-end coffee machines, a product whose assembly carries enormous complexity at the same time that its market demands levels of efficiency and productivity that are difficult to achieve. The case is part of the most recent project developed by the Kaizen Institute and by a renowned company in the coffee machine sector.

This document aims to develop a methodology capable of responding to the challenges listed, and which, when tested in a real case study, corresponds successfully. In this sense, a series of studies and observations were carried out, which are illustrated throughout the document. We tried to obtain a methodology supported theoretically and aware of the real problems of the case study.

In the end, the results of the application of the methodology will be presented, and from there some conclusions will be drawn.

Keywords: Lean methodology, production flow, process efficiency, time and task analysis, tools, setup

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ACRÓNIMOS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 PROBLEMA EM ANÁLISE E OBJETIVOS A ATINGIR.....	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2 CASO DE ESTUDO	3
2.1 EMPRESA X.....	3
2.2 ENQUADRAMENTO DO <i>KAIZEN INSTITUTE</i>	4
2.3 O PROCESSO PRODUTIVO DA EMPRESA X	5
2.3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE MONTAGEM	5
2.3.2 CARACTERIZAÇÃO ATUAL DA LINHA DE MONTAGEM 3	6
2.3.3 PROCESSO DE ANÁLISE DE TEMPOS E TAREFAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA NOVA LINHA DA EMPRESA X.....	9
2.4 INTRODUÇÃO À FERRAMENTA <i>KAIZEN TIME STUDY (KTS)</i>	10
2.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	11
2.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	13
3 ENQUADRAMENTO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:	14
3.1 <i>LEAN</i>	14
3.1.1 PRODUÇÃO LEAN	14
3.1.2 PENSAMENTO LEAN.....	16
3.2 FERRAMENTAS E CONCEITOS <i>LEAN</i>	17
3.2.1 GESTÃO VISUAL E 5S	17
3.2.2 MAPEAMENTO DA CADEIA DE VALOR (VSM – VALUE STREAM MAPPING).....	18
3.2.3 CICLO DE MELHORIA PDCA	19
3.2.4 ANÁLISE DE CAUSAS RAIZ	20
3.3 <i>TFM</i> – TOTAL FLOW MANAGEMENT	21
3.3.1 CRIAÇÃO DE FLUXO NA PRODUÇÃO	21

3.3.2	PULL PLANNING	26
3.4	MÉTODOS DE ANÁLISE DE TEMPOS E TAREFAS	28
3.4.1	INTRODUÇÃO MTM	28
3.4.2	MTM COMBINADO COM METODOLOGIA KAIZEN	29
3.5	MODELOS DE TREINO.....	30
3.5.1	TRAINING WITHIN INDUSTRY (TWI).....	30
3.6	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	31
4	ANÁLISE DA SITUAÇÃO INICIAL.....	33
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS E IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIOS	33
4.1.1	GEMBA WALKS E DESENHO DOS LAYOUTS ATUAIS.....	33
4.1.2	EVENTO KAIZEN : VSM	36
4.2	RECOLHA DE DADOS: INDICADORES DE DESEMPENHO.....	41
4.2.1	OEE	41
4.2.2	TEMPO DE SETUP.....	43
4.2.3	PRODUTIVIDADE DA LINHA	44
4.2.4	ÁREA DA LINHA	44
4.3	ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS	45
4.4	OBJETIVOS PROPOSTOS.....	46
4.5	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	47
5	DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS	48
5.1	IMPLEMENTAÇÃO E TREINO KTS	48
5.2	DESENVOLVIMENTO DA LINHA DE MONTAGEM.....	49
5.2.1	CÁLCULO DO TEMPO DE TAKT E DEFINIÇÃO DO Nº DE POSTOS.....	49
5.2.2	BALANCEAMENTO DE POSTOS E YAMAZUMI INICIAL – KTS.....	51
5.2.3	MOCKUP	53
5.2.4	LOGÍSTICA INTERNA: DIMENSIONAMENTO DO BOL	55
5.2.5	CONSTRUÇÃO DA LINHA	57
5.2.6	ARRANQUE E ACOMPANHAMENTO DA LINHA.....	59
5.2.7	SMED.....	62
5.3	SUSTENTABILIDADE DE MELHORIAS	64
5.4	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	65
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	66
6.1	RESULTADOS OBTIDOS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS.....	66
6.1.1	TEMPO DE ANÁLISE DE VÍDEO, COM A APLICAÇÃO KTS.....	66
6.1.2	TEMPO DE SETUP.....	66
6.1.3	OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY) DA LINHA.....	67

6.1.4	PRODUTIVIDADE DA LINHA	68
6.1.5	ÁREA OCUPADA.....	69
6.2	RESUMO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	70
7	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO	72
7.1	TRABALHO FUTURO	73
	REFERÊNCIAS.....	75
	ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do Processo de Montagem	7
Figura 2 - Layout da Linha de Montagem 3.....	8
Figura 3 - Processo de Análise de Tempos e Tarefas.....	10
Figura 4 - Página Inicial da Aplicação KTS.....	11
Figura 5 - Linha em Forma de "U"	22
Figura 6 - Gráfico Yamazumi (adapt. de Adnan et al., 2016).....	24
Figura 7 - Os três Parâmetros de Perdas de Eficiência do OEE	26
Figura 8- Os 5 Movimentos Básicos do MTM.....	28
Figura 9 - Mapa das instalações da Empresa X	34
Figura 10 - Mapeamento do fluxo de atividades do chassi, no estado atual da empresa X	39
Figura 11 - Diagrama de Ishikawa.....	40
Figura 12 - Evolução do OEE ao longo do ano de 2019	42
Figura 13 - Top 10 de reparações de 2019.....	43
Figura 14 - Lista de Tarefas da Sequência de Montagem	52
Figura 15 - Gráfico Yamazumi na Aplicação KTS	53
Figura 16 - Réplica da Linha de Montagem utilizada na <i>mockup</i>	54
Figura 17 Zona de testes	59
Figura 18 Zona de reparação	59
Figura 19 Quadro da reunião de acompanhamento do projeto	59
Figura 20 Modelo de treino dos operadores, inspirado no modelo TWI	60
Figura 21 - Evolução da produção	61
Figura 22 - Dashboard de controlo e acompanhamento da linha	62
Figura 23 – Alterações ao Standard Work de um Posto	62
Figura 24 - Etiqueta da componente com os modelos	63
Figura 25 - Etiqueta "Não usar" colocada nas caixas de componentes.....	63
Figura 26 - Evolução do Indicador OEE	67
Figura 27 - Evolução da produtividade da linha.....	69
Figura 28 - Layout final da linha e as suas dimensões	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Piso e Cliente das Linhas	6
Tabela 2 - Os 7 Mudanças	17
Tabela 3 - Lead time médio entre cada operação	37
Tabela 4 Descrição dos Mudanças identificados durante o VSM	37
Tabela 5 - Dados OEE de 2019	42
Tabela 6 - Dados do setup de 2019.....	44
Tabela 7 - Dados da produtividade de 2019	44
Tabela 8 - Resumo dos objetivos	47
Tabela 9 – Resultados no indicador do Tempo de Análise de vídeos.....	66
Tabela 10 - Resultados no indicador de tempo de setup.....	67
Tabela 11 - Resultados nos indicadores do OEE.....	68
Tabela 12 - Resultados no indicador de Produtividade.....	69
Tabela 13 Resultados no indicador da Área da linha.....	70
Tabela 14 - Resumo dos resultados finais.....	71

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Fórmula de Cálculo OEE.....	26
Equação 2 - Fórmula de cálculo da produtividade.....	44
Equação 3 - Fórmula do tempo de takt segundo Lam (2016).....	50
Equação 4 - Fórmula de cálculo do número de caixas no BOL	57
Equação 5 - Fórmula do consumo de caixas por ciclo.....	57

LISTA DE ACRÓNIMOS

FACM – *Fully automatic coffee machines*

FTQ – *First Time Quality*

JIT – *Just-In-Time*

KBS – *Kaizen Business System*

KTS – *Kaizen Time Study*

KD – *Kaizen Diário*

KI – *Kaizen Institute Consulting Group*

LM – *Lean Manufacturing*

MTO – *Make-to-order*

MTS – *Make-to-stock*

MTM – *Methods Time Measurement*

NVA – *Não Valor Acrescentado*

OEE - *Overall Equipment Efficiency*

PDCA – *Plan, Do, Check, Ac*

SW – *Standard work*

TFM – *Total Flow Management*

TPS – *Toyota Production System*

VA – *Valor Acrescentado*

VSM – *Value Stream Mapping*

1 INTRODUÇÃO

No primeiro capítulo é dada uma visão geral do tema e está dividido em três partes. A primeira parte consiste numa contextualização geral do problema, onde é feita uma análise preliminar e se expõe alguns dos problemas e desafios desta temática. Na segunda parte, em resposta aos maiores desafios mencionados no ponto anterior, são apresentados os principais objetivos da dissertação. Por fim, percorre-se a estrutura da dissertação, onde são explicadas as várias etapas e a estratégia utilizada na elaboração de uma proposta metodológica e da sua aplicação a um caso de estudo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir os custos de fabrico, a Empresa X¹ contactou o *Kaizen Institute Consulting Group* (KI) para, através do recurso a metodologias *Lean*, desenvolver uma linha de montagem capaz de atingir as métricas pretendidas (de produtividade e custos), e ao mesmo tempo com a capacidade de produzir vários modelos, com especificidades diferentes, sem que com isso se incorresse em perdas de disponibilidade provocadas por mudanças de modelo demoradas.

A Empresa X, cuja história mais detalhada é descrita no capítulo 2, é uma produtora de máquinas de café. Produz máquinas de vários modelos, consoante o cliente, sendo uma referência mundial no seu setor pela enorme qualidade que lhe é reconhecida. Tem uma capacidade produtiva de 600 mil máquinas por ano e conta atualmente na sua unidade Portuguesa com 5 linhas de montagem, capazes de montar cerca de 500 mil por ano. A Empresa X tem várias áreas nas suas instalações, com diferentes propósitos (mais explicados no capítulo 2.2), mas foram os problemas na área de montagem (a principal área da empresa) que motivaram o primeiro contacto com o KI, e onde o projeto inicial se focou.

Durante uma fase inicial de análise onde se procurava entender as dinâmicas de montagem e operacional, foi detetado que numa das linhas principais, com um dos maiores volumes de produção, existiam inúmeros problemas de eficiência produtiva. Entre as várias causas da baixa eficiência da linha destacavam-se a falta de balanceamento entre os postos, causando os chamados “*bottle necks*” que acabariam por afetar toda a cadeia produtiva, o elevado tempo despendido a realizar *Set-Up's* e uma série de problemas de logística interna.

A presente dissertação tem como objetivo apresentar um caso de estudo real, em que através de uma metodologia desenvolvida, inspirada na literatura e em casos de estudo passados, procurou resolver os problemas associados ao desenvolvimento, desde o início, de uma linha de montagem de uma empresa. No final, a metodologia desenvolvida e a sua implementação foram um verdadeiro sucesso, conseguindo resolver muitos dos problemas identificados, com alguns dos resultados a ficarem ainda acima do esperado.

¹ Empresa X – Assim mencionada por questões de confidencialidade

1.2 PROBLEMA EM ANÁLISE E OBJETIVOS A ATINGIR

Foram definidos sete principais objetivos para esta dissertação:

- I. Contextualização global da empresa prestadora de serviços, *Kaizen Institute Consulting Group* e dos seus fundamentos, que estarão associadas à realização deste trabalho.
- II. Apresentação da Empresa X, empresa cliente do KI, e contextualização do problema alvo de estudo neste trabalho;
- III. Revisão da literatura sobre as ferramentas e metodologias *Kaizen Lean*. Análise comparativa com outras metodologias alternativas.
- IV. Enquadramento teórico e fundamentação dos conceitos e ferramentas utilizados na Dissertação de Mestrado, posteriormente desenvolvida;
- V. Aplicação do software *Kaizen Time Study*, um software de análise de tempos e tarefas num ambiente real;
- VI. Identificação das causas raiz dos problemas da área de montagem da Empresa X;
- VII. Apresentação de propostas de soluções e sugestões de trabalho futuro a desenvolver por forma a resolver os problemas.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação organiza-se em 5 capítulos segundo na seguinte estrutura:

- **Capítulo 1 – Introdução:** é feita uma contextualização geral do tema em questão, onde são expostos os principais desafios e objetivos, bem como a estrutura da dissertação.
- **Capítulo 2 – Caso de Estudo:** neste capítulo é apresentado o caso de estudo de uma forma mais profunda e a forma como ilustra bem o problema em questão. São igualmente apresentadas as partes envolvidas, o *Kaizen Institute Consulting Group* e a Empresa X. Também é introduzido o *Kaizen Time Study* (KTS), uma ferramenta que irá desempenhar um papel central na realização desta dissertação.
- **Capítulo 3 – Enquadramento e Fundamentação Teórica:** é feito um enquadramento teórico, na qual são apresentados os conceitos e metodologias *Kaizen* e *Lean*, utilizados ao longo da dissertação, bem como outras metodologias existentes na literatura.
- **Capítulo 4 – Análise da Situação Atual:** é feito um estudo detalhado do caso de estudo, onde se procurou identificar os principais problemas da operação, as causas raiz desses mesmos problemas, e por fim apresentar a metodologia de resolução.
- **Capítulo 5 – Desenvolvimento e Implementação de Melhorias:** neste capítulo pretende-se descrever a implementação de melhorias efetuada na Empresa X.
- **Capítulo 6 – Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos:** são apresentados os resultados obtidos através das melhorias implementadas
- **Capítulo 7 - Conclusões do Projeto de Desenvolvimentos Futuros:** No último capítulo são apresentadas as principais conclusões da dissertação, bem como quais os próximos passos a serem realizados.

2 CASO DE ESTUDO

2.1 EMPRESA X

Fundada nos anos 70 na Suíça, a Empresa X começou por produzir eletrodomésticos mais concretamente máquinas de *waffles* e torradeiras. A empresa foi ganhando dimensão e em 1978 criou-se a primeira linha dedicada à montagem de máquinas de café. A forma inovadora como a máquina era produzida e o baixo custo a que era vendida rapidamente a tornaram num sucesso nos Estados Unidos da América. A empresa foi crescendo e em 1989 abriram uma fábrica em solo Português, na sub-região do Oeste. Até esta altura nenhuma máquina de café existente no mercado era totalmente automática, e foi em 1994 que, por obra da Empresa X, se produziu a primeira máquina totalmente automática, ou FACM (*Fully Automatic Coffee Machines*). Este acontecimento potenciou um grande crescimento da companhia. Em 2005 a Empresa X fez uma *Joint Venture* com uma empresa Chinesa, e aumentou ainda mais a capacidade produtiva, cimentando a sua posição como líder mundial do mercado das máquinas de café. Mais recentemente também começou a integrar uma área de injeção nas suas unidades, produzindo no local a grande maioria das componentes integram as suas máquinas.

Um outro produto da empresa são os sistemas de passar a ferro, de elevada tecnologia. Apesar desta diversificação ser relativamente recente (apenas existe desde 2008), o objetivo da empresa é ir desintegrando esta área das suas operações no curto prazo.

Além da Produção (a área central da empresa e onde mais recursos são gastos) existem também uma série de outras atividades em que a empresa aposta. Dessas atividades destacam-se a aposta na investigação e Desenvolvimento, onde se dá uma importância singular à sustentabilidade e ecologia, tentando estar sempre na linha da frente em todo o tipo de desenvolvimentos que vão surgindo nesse sentido, bem como oferecer um serviço pós-compra com atendimento de suporte técnico 24h por dia.

Atualmente a empresa produz aproximadamente 600 mil máquinas de café por ano, com preços entre os 500 Euros e os 1500 Euros. Estes preços não surgem por acaso, o produto oferecido é líder de mercado em termos de qualidade e sofisticação, e tem uma enorme procura mundial, com uma forte presença na Alemanha, Suíça e Suécia. Para que estes objetivos sejam cumpridos, é necessária uma capacidade (humana e técnica) capaz de os satisfazer. Assim, a empresa conta cerca de 3000 colaboradores divididos por 5 unidades fabris, em que 3 se situam na Suíça, tendo Portugal e China uma unidade cada. A unidade Portuguesa é a maior em termos de capacidade produtiva e em número de funcionários, contando com cerca de 1200 sendo um dos maiores empregadores do concelho onde se situa.

A parceria KI e Empresa X remonta para inícios de 2015, quando um dos clientes, um dos maiores vendedores à escala mundial de FACM, aumentou o volume das suas encomendas para valores cuja atual capacidade produtiva da empresa não conseguia satisfazer. Este acontecimento motivou uma transformação aos modelos de produção que a empresa sozinha

não conseguia realizar, tendo por isso recorrido ao KI. O objetivo da parceria foi aumentar a produtividade e qualidade das máquinas de café, sem recorrer a investimentos tecnológicos significativos, mas através da implementação de metodologias *Lean* e *TFM* e de uma filosofia de melhoria contínua sustentada. Os primeiros resultados da parceria foram bastante positivos e desde então que a parceria perdura, tendo já o KI projetos noutras áreas da empresa como o Planeamento e na Zona de Injeção. A Empresa X é vista como *Benchmark* no seu setor pela forma pioneira como adotou a metodologia *Lean* e que se revelou ser um verdadeiro sucesso.

2.2 ENQUADRAMENTO DO KAIZEN INSTITUTE

O *Kaizen Institute Consulting Group* (KICG) é uma empresa multinacional, fundada em 1985 na Suíça, que presta serviços de consultoria, pioneira e líder na implementação de ferramentas *Kaizen Lean*.

A história do KICG começou em meados dos anos 60, quando o Sr. Masaaki Imai, na altura um dos Responsáveis do Centro de Produtividade do Japão, foi visitar uma série de grandes empresas Norte Americanas conhecidas por atingir níveis de produtividade de excelência. Estas viagens tinham como principal objetivo recolher boas práticas e metodologias para posteriormente serem aplicadas na indústria Japonesa. Com Masaaki Imai ia também uma série de executivos industriais japoneses, para que, inspirados com aquilo que iam ver, também eles quisessem implementar essas técnicas nas suas próprias empresas. A viagem teve um grande impacto em todos os participantes, de tal forma que, após o regresso, várias empresas começaram a implementar os ensinamentos recebidos nos seus próprios processos. A *Toyota Motors Company*, uma das principais produtoras de automóveis Japonesas, foi uma das empresas cujos executivos foram na viagem aos Estados Unidos, e em que foram implementados os princípios nas suas linhas de montagem. Na Toyota, o Sr. Masaaki Imai acompanhou de perto esta transformação tendo observado, em primeira mão, o impacto significativo que os novos princípios tiveram na produtividade das linhas. Assim, em 1986, escreve o livro "*Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*", (Imai, 1986) coincidindo com o início do *Kaizen Institute Consulting Group*. O KICG chegou em 1999 a Portugal, mais precisamente a Vila Nova de Gaia no Porto, e tem o nome de *Kaizen Institute Western Europe* (KIWE), contando já com mais de 200 consultores, divididos entre Portugal, Espanha, França, Malta e Reino Unido, países cuja gestão está centralizada em Portugal.

A palavra *Kaizen* tem origem em duas palavras japonesas: *Kai*, que significa mudar e *Zen*, que significa melhor, e que juntas resultam em *Kaizen*, Melhoria Contínua. A palavra *Kaizen* tem origem em duas palavras japonesas: *Kai*, que significa mudar e *Zen*, que significa melhor, e que juntas resultam em *Kaizen*. É neste pensamento, de melhoria contínua, que toda a filosofia do KICG se baseia, uma melhoria holística que abrange todas as áreas, todas as pessoas e todos os dias.

A filosofia está assente em três pilares fundamentais (Imai, 1997):

- **Crescimento** (*Growth*): alavancar o crescimento sustentado das empresas.
- **QDC (Quality, Cost, Delivery)**
 - I. **Qualidade** (*Quality*): aumentar a qualidade dos produtos ou serviços entregues pelos seus clientes.
 - II. **Custo** (*Cost*): diminuir os custos globais das atividades.
 - III. **Serviço** (*Delivery*): cumprir o plano de trabalho estabelecido dentro dos prazos estabelecidos.
- **Motivação** (*Motivation*): desenvolver a motivação de todos os colaboradores envolvidos (desde os gestores de topo até aos operadores).

Estes três pilares subdividem-se numa série de outros sub pilares, mas, para o âmbito desta dissertação apenas os do QDC serão contemplados (Imai, 1986):

- **Total Flow Management (TFM)**: é utilizado para a gestão de atividades logísticas e principalmente da produção, bem como para a gestão de fluxos de materiais e informação ao longo da cadeia de valor.
- **Total Productive Maintenance (TPM)**: procura maximizar a produtividade das pessoas e a eficiência operacional dos equipamentos. (Chan, F. 2003)
- **Total Quality Management (TQM)**: pretende alcançar melhorias de forma contínua e robusta, com bases sólidas na estruturação de processo, na procura da satisfação dos clientes, envolvendo todos os escalões dentro de uma organização.
- **Total Service Management (TSM)**: aplica as metodologias tradicionais, originalmente aplicadas no meio industrial, ao mercado dos serviços, com vista no aumento da competitividade organizacional e satisfação do cliente.
- **Sourcing Suppliers Improvement (SSI)**: pretende alcançar uma vantagem competitiva no mercado, tendo como princípio a gestão de custos e o desenvolvimento dos fornecedores

2.3 O PROCESSO PRODUTIVO DA EMPRESA X

2.3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE MONTAGEM

A produção é a principal área da Empresa X, com mais recursos (humanos, tecnológicos, financeiros, etc.) e que representa o maior volume de faturação. A área de produção, tal como já foi mencionado, está dividida em 2 grandes áreas, a área de injeção (onde se produzem as componentes de plástico que serão posteriormente utilizadas na montagem) e a área de montagem (montagem de máquinas de café).

A área de montagem é a que mais espaço ocupa e a que mais recursos humanos utiliza. São cerca de 8 áreas de produção, divididas por 2 pisos e composta por 4 grandes equipas que no total somam 750 colaboradores, entre operadores, equipas de gestão e desenvolvimento, manutenção e logística. Das 8 linhas de montagem:

- 3 são áreas para produção de pré-montados² ;
- 5 são linhas de montagem de produto acabado. Destas, 3 linhas tem um design funcional e 2 foram desenvolvidas em parceria com o KI, tendo por isso outras características. As funcionais são as linhas 1,2 e 3, as novas, desenvolvidas pelo KI, são as linhas 10 e 11.

A Empresa X produz máquinas para três clientes diferentes, o A, B e C³, e, divide os clientes pelos pisos, de forma a facilitar a gestão. No piso 0, onde operam as linhas 1, 2 e 3 são apenas produzidas máquinas de café para os clientes A e B, no piso -1, operam as linhas 10 e 11 e são produzidas máquinas para o cliente C. Na tabela 1, apresentada de seguida pode-se visualizar a distribuição dos clientes e pisos por cada uma das linhas:

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 10	Linha 11
Piso	0	0	0	-1	-1
Cliente	A	C	B	C	C

Tabela 1 - Piso e Cliente das Linhas

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO ATUAL DA LINHA DE MONTAGEM 3

A linha de montagem número 3 é uma linha desenvolvida no início dos anos 80, na sequência do aparecimento de um novo cliente, o Cliente B. Desde o seu início que se dedica apenas à produção de FACM para este mesmo cliente.

As FACM do cliente B existem em cinco modelos diferentes e cada máquina é composta por aproximadamente 230 peças, que desempenham várias funções distintas. Operam nesta linha cerca de 60 pessoas, distribuídas por diversas funções, e a linha ocupa uma área de 400m².

A linha 3 está dividida em duas áreas. A primeira é a linha principal, que pauta o ritmo de produção, que tem o maior número de postos de montagem e onde a máquina inicia e termina a sua montagem. A segunda são as linhas de pré-montados, linhas paralelas à principal onde se vai montando algumas componentes que vão depois sendo introduzidos ao longo da linha. Além das linhas de montagem, é bastante importante referir as operações logísticas relacionadas com a montagem. A linha é abastecida por um comboio logístico abastecido por um supermercado de componentes. Este último é continuamente abastecido por um armazém avançado. Tal como já foi explicado, a Empresa X conta nas suas instalações com uma zona de injeção, o que faz com que muitas das componentes utilizadas na montagem das máquinas sejam produzidas internamente. Outras, devido às especificidades que têm, são compradas a fornecedores externos.

² **Premontados** - termo atribuído pela Empresa X à fase inicial da montagem da máquina, momentos antes da integração na linha de produção de produto acabado

³ **Clientes A, B, e C** assim denominados por questões de confidencialidade.

Em baixo, na figura 2, está um esquema dos vários passos da montagem das máquinas na linha 3:



Figura 1 - Etapas do Processo de Montagem

Uma vez que um dos objetivos desta dissertação é criar uma metodologia para o desenvolvimento de uma linha de montagem, será dado um foco particular à fase de montagem e pré-montagem da Empresa X. Para que a metodologia seja robusta e focada nos problemas reais das linhas de montagem, considerou-se necessário compreendê-los no caso de estudo onde a metodologia será aplicada.

A abastecer a linha 3 há quatro linhas de pré-montados, situadas numa mesma área. Esta área, dividida nas quatro linhas de dimensão reduzida, encontra-se afastada da linha principal e produz a um ritmo independente, mais acelerado que a segunda. Este facto faz com que exista *stock* intermédio em espera para ser utilizado pela linha principal. As quatro linhas são responsáveis pela produção do: termobloco (responsável pelo aquecimento da água), bloco distribuidor (responsável pela distribuição de eletricidade), recipiente de café (onde se guardam os grãos de café), moinho e bomba (estes dois pré-montados são montados na mesma linha, e são os responsáveis pela moagem do café e pela distribuição da água ao longo da máquina, respetivamente).

A linha principal é composta por 30 postos e pode ser dividida em 6 zonas.

1. A primeira zona é a montagem do chassis. Esta componente é uma das mais importantes de toda a máquina, uma vez que será a componente que providenciará robustez e estrutura à máquina.
2. A segunda zona é o Braço 1. Neste braço montam-se todas as componentes internas da máquina, muitas das quais provenientes da área de pré-montagem, tais como o termobloco, bloco distribuidor e bomba. Para além destes pré-montados, também são montados e inseridos na máquina o motor e a placa eletrónica.
3. A terceira zona é a montagem do painel frontal. É uma fase particularmente complexa pois o nível de detalhe é crítico. Esta componente será aquela que ficará mais visível para o cliente, o que faz com que ao mínimo defeito a peça possa ser rejeitada. Esta componente, apesar de ter um fluxo paralelo à linha principal, trabalha segunda a mesma cadência, e assim que é montada, é inserida na máquina.
4. A quarta zona é o Braço 2, onde se realizam todos os testes necessários para assegurar o correto funcionamento da máquina (teste de fluidos e teste funcional).

5. A quinta zona é Braço 3, onde se “fecha” a máquina através da montagem dos painéis laterais, das costas da máquina, e da a tampa superior. Além disto, também é neste braço onde se inserem o recipiente de café, o tanque de água e o apara-pingos.
6. Por fim, é a zona do embalamento, onde se coloca a máquina, já totalmente montada, no interior de uma caixa, juntamente com os folhetos de instruções e kits de boas-vindas.

Na figura 3, é possível ver de forma esquematizada todo o processo de montagem da linha 3. Os postos de trabalho localizam-se na parte exterior da linha.

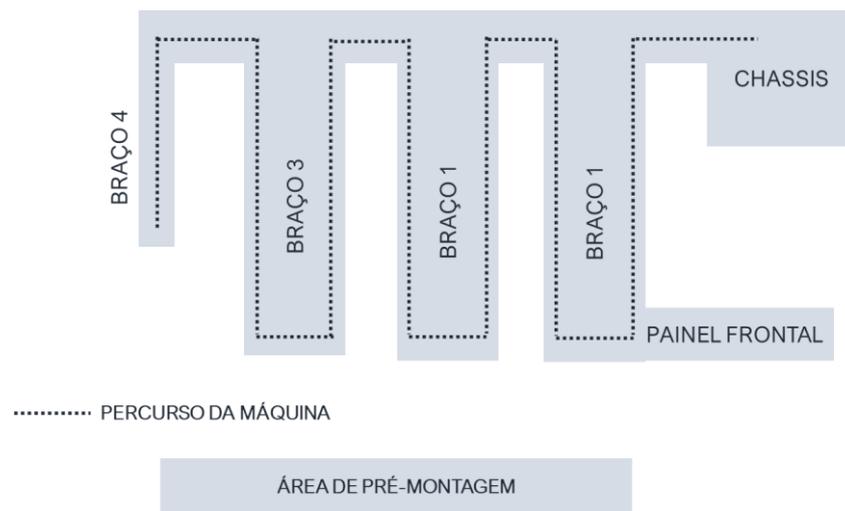


Figura 2 - Layout da Linha de Montagem 3

Pode-se concluir que, apesar de ter uma grande capacidade produtiva e alguns dos processos já estarem bastante otimizados, a linha 3 apresenta algumas limitações. Das limitações identificadas destacam-se:

- Elevada área ocupada, que resulta de uma ineficiente distribuição dos postos
- Os pré-montados situam-se longe da linha principal, o que causa muitos constrangimentos no abastecimento.
- Não existe um processo normalizado de entrega de componentes. Paragens não planeadas devido à falta de componentes a acontecerem com bastante frequência.
- Postos mal balanceados e a operar a ritmos diferentes, resultando em altos níveis de *stock* intermédio e/ou operadores a aguardar pelo posto que o antecede. A existência de operadores parados tem um impacto negativo na produtividade geral da linha.
- *Set-Up's* demorados e não normalizados, acentuados pelas constantes mudanças que existem devido aos múltiplos modelos que a linha produz.
- Os processos não estão normalizados e não existem *standards* de trabalho, resultando num aumento da variabilidade entre os operadores.

2.3.3 PROCESSO DE ANÁLISE DE TEMPOS E TAREFAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA NOVA LINHA DA EMPRESA X

Nas suas áreas de desenvolvimento de novos projetos, a Empresa X conta com uma unidade dedicada quase a tempo inteiro à análise de tempos e vídeos. Este processo é feito de uma forma quase manual e muito pouco otimizada, mesmo sendo um dos primeiros e mais importantes passos no desenvolvimento de linhas de montagem. Uma vez filmado todo processo de montagem, uma tarefa que é morosa e com muitos recursos envolvidos, os vídeos são posteriormente analisados. Nesta análise, a equipa responsável, recorrendo aos programas de vídeos mais tradicionais e desatualizados, divide cada um dos vídeos em todas as tarefas de montagem⁴. A equipa esforça-se por fazer uma análise o mais detalhada possível, com uma grande quantidade de tarefas identificadas. Por esta razão acaba por demorar muito tempo até ter um relatório completo de todo o processo.

Uma vez listadas todas as tarefas a equipa responsável estuda os movimentos e a forma como uma determinada peça é montada. É uma etapa do processo em que o principal foco é descobrir eventuais oportunidades de melhoria e movimentos desnecessários. Assim, a estratégia dos elementos da equipa é observar o vídeo em velocidade reduzida (para conseguir perceber com maior detalhe as imagens) e ir identificando as oportunidades melhorias. Estas oportunidades devem depois ser avaliadas segundo o impacto que têm em termos temporais, ou seja, quanto ficaria a demorar uma determinada tarefa se se conseguisse implementar as oportunidades identificadas e reduzir o tempo desnecessário.

Esta fase acaba por ser uma das mais demoradas de todo o desenvolvimento de um projeto de uma nova linha, pois além de ser um processo exigente é, aos dias de hoje na Empresa X, realizado em plataformas desatualizadas. Não utilizam nenhum programa que consiga um resultado tão preciso, mas de forma mais simples e rápida. Dados de projetos passados indicam que para cada modelo de cada máquina, são necessárias 2 pessoas durante 30 dias dedicadas a tempo inteiro para realizar uma análise. Para um cliente como o Cliente C, em que são produzidos cerca de 5 modelos diferentes, o tempo despendido aproxima-se dos 5 meses de trabalho.

No esquema em baixo (figura 1) é possível ver de forma mais resumida e sistemática o processo de análise de tempos e tarefas:

⁴ **Tarefas de Montagem** – Qualquer movimento que possa ser tratado de forma independente, como por exemplo apertar um parafuso, montar uma peça ou passar a máquina.



Figura 3 - Processo de Análise de Tempos e Tarefas

2.4 INTRODUÇÃO À FERRAMENTA *KAIZEN TIME STUDY (KTS)*

Um dos grandes desafios das empresas da área da produção e montagem é a capacidade de realizarem análises às tarefas de forma confiável e robusta, e tendo como base a realidade da produção. Não só o tempo que se tem de dedicar a essas análises é moroso como também exige uma grande quantidade de recursos que, à primeira vista, poderiam estar alocados noutras frentes ditas “mais importantes”. Estes fatores fazem com que as análises de tempos fiquem para segundo plano. (Budiman et al., 2019)

A *Broadleaf* e o *Kaizen Institute* juntaram-se com o objetivo de tentar tornar a tarefa de análises de vídeo em algo mais simples e mais preciso, sem ser necessária a utilização de uma grande quantidade de recursos e com resultados mais fiáveis e realistas. Assim, em maio de 2019 surgiu a aplicação *Kaizen Time Study (KTS)*. Esta não só é útil na análise de tempos, como também contribui para a consciencialização da importância de um pensamento de *Kaizen* nas empresas.

O KTS é uma ferramenta que visa apoiar as empresas da área de produção na tarefa de análise de tempos e de tarefas. É composta por uma série de especificações que contribuem significativamente para a simplificação de uma tarefa que, da forma tradicional⁵, era algo que consumia muito tempo e recursos às empresas. Através de uma interface simples, é possível ao utilizador realizar uma análise que antigamente demoraria horas, em apenas alguns minutos.

De forma a fazer uma breve introdução, e para não se entrar em demasiado detalhe, são dadas breves explicações para algumas das capacidades da aplicação:

- **Divisão do processo de montagem em tarefas:** é uma das grandes vantagens da aplicação. Apenas clicando com o botão do cursor por cima do vídeo, este vai sendo dividido em todas as tarefas que o compõem de forma automática. Há medida que se vai dividindo deve-se ir nomeando cada uma das tarefas.
- **Análise de desperdício e oportunidades de melhoria:** da mesma forma que para se dividir um determinado vídeo do processo em tarefas se vai clicando com o botão do cursor, para análise de desperdício é através de cliques no lado direito do cursor. O

⁵ **Forma Tradicional:** Forma de análise de vídeos utilizada pela Empresa X antes da implementação da ferramenta KTS

primeiro clique inicia uma tarefa de desperdício que vai contabilizando até um segundo clique que a interrompe.

- **Análise de ciclos⁶:** é possível analisar mais que um ciclo de um determinado processo, e no final visualizar um resumo total. É uma análise que pode ser útil para comparar eventuais desvios de uma determinada tarefa em ciclos diferentes e perceber a variabilidade que estas podem ter.
- **Balancear os postos:** é possível visualizar um gráfico de balanceamento e, uma vez definido tempo de ciclo pretendido, configurar os postos de trabalho de forma a que não ultrapassem o tempo desejado. A forma de rearranjar os postos pode ser feita apenas “arrastando” uma determinada tarefa de um posto para o outro.

Apesar de ser uma ferramenta inovadora e que representa uma evolução significativa na análise de tempos e tarefas, pela sua muito recente existência (desenvolvida em 2019) ainda tem uma série de limitações:

- **Não é possível criar precedências entre as tarefas,** o que obriga o analista a memorizar a sequência e garantir que durante balanceamento da linha, ao configurar os postos de trabalho, não incorre em nenhuma incoerência que impossibilite o processo.
- **Não é possível balancear os postos de trabalho com os tempos médios dos ciclos analisados.** Ao fazer o balanceamento a aplicação apenas permite selecionar um ciclo, que é escolhido pelo analista.

Na figura 4 pode se observar a interface e a página principal da aplicação KTS:



Figura 4 - Página Inicial da Aplicação KTS

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma metodologia e aplica-la a um caso de estudo real. No final deve-se analisar o impacto das ações implementadas, e avaliar a capacidade e qualidade da metodologia desenvolvida. Uma metodologia, inspirada na literatura e em casos de

⁶ **Ciclo:** começa desde o momento em que o operador inicia o processo até este ser transmitido para a próxima fase. (Adnan et al., 2016). Num âmbito da Empresa X pode-se considerar como o tempo em que a máquina passa de um posto de montagem para o seguinte.

estudo passados, que tenha a capacidade de agilizar o processo do desenvolvimento de uma nova linha de montagem e ao mesmo tempo garantir que a mesma linha é flexível, eficiente e assentada nos princípios *Lean*. Para desenvolver a metodologia, além de rever a literatura relacionada, recorreu-se à Empresa X e a todo o seu processo produtivo. De forma a testar a metodologia e a sua capacidade de enfrentar o mundo real, considerou-se necessário que esta fosse desenvolvida num ambiente desafiante. Para que os resultados fossem palpáveis e analisáveis, foi necessário estabelecer objetivos quantitativos, que exigiram que alguns dados da Empresa X fossem fornecidos.

No início do ano de 2020 o cliente B definiu um plano com a Empresa X que visava um aumento significativo das encomendas para 220 mil máquinas por ano, aumento esse que dado o panorama atual da fábrica, será impossível de alcançar sem a construção de uma nova linha. A atual linha 3 (que está totalmente dedicada ao cliente B) tem uma capacidade instalada de 100 mil máquinas por ano, e a linha 1, apesar de ter uma capacidade superior à linha 3 (aproximadamente 190 mil máquinas por ano), terá 70% da sua capacidade alocada ao Cliente A, restando 30%, o que em quantidade de máquinas corresponde a 57 mil por ano. No total a fábrica tem capacidade para produzir, em valores teóricos, cerca de 157 mil máquinas para o Cliente B, o que tendo em conta a nova realidade é insuficiente para o conseguir satisfazer. A nova linha viria a produzir 2 apenas dois modelos, os dois principais da marca.

Uma vez introduzidas e aprofundadas as principais problemáticas da Empresa X, os objetivos da metodologia, e as métricas que serão utilizadas para avaliar a sua viabilidade no caso de estudo, são:

1 – Agilizar o processo de análise de tempos e tarefas através da implementação da ferramenta KTS. O objetivo passa por conseguir reduzir o tempo de análise de tempos em 60%, conseguindo o mesmo nível de detalhe. Visto que o processo de análise de tarefas acontece uma vez por desenvolvimento utilizaram-se os tempos de projetos passados para criar a *baseline*⁷. Assim, o objetivo é passar dos 20 dias por modelo para 8 dias, perfazendo um total de 16 dias para os 2 modelos.

2- Desenvolver uma linha de montagem com uma produtividade 30% superior à atual linha 3, que produza máquinas iguais, através da metodologia e ferramentas *Kaizen Lean*. Uma linha que seja flexível, capaz de realizar mudanças rápidas entre os modelos, e com um modelo logístico de entrega de componentes totalmente otimizado, que resulte num processo de montagem sem intermitências. Apesar dos objetivos de aumento de produtividades serem claros, é de extrema importância garantir que a ergonomia e saúde de todos os envolvidos é assegurada.

3- Criar no seio da organização uma cultura de melhoria contínua. A metodologia *Kaizen*, tal como o seu nome indica (“Melhoria Contínua”) visa desenvolver numa organização um forte

⁷ **Baseline** – Valor que serve para criar um termo de comparação e um ponto de partida

sentido de melhoria, que deve abranger toda a hierarquia. Um dos grandes focos do projeto é implementar algumas metodologias, em conjunto com a empresa, que sustentem os resultados de melhoria obtidos.

2.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo o objetivo era expor e caracterizar o problema em questão. Para tal, foram apresentados os envolvidos, a Empresa X, uma produtora de máquinas de café topo de gama que conta com uma instalação em Portugal e o *Kaizen Institute*, uma empresa de consultadoria *Lean*. Para cada uma das partes deu-se um enquadramento histórico das suas origens, e uma contextualização do estado e dos objetivos atuais.

De seguida foi detalhada a área da Empresa X onde esta dissertação se vai basear, a zona de montagem, mais propriamente a linha de montagem 3. Devido ao aumento do número de encomendas de um cliente, a empresa sentiu necessidade de aumentar a sua capacidade produtiva para esse mesmo cliente. A linha para o Cliente B é a linha de montagem 3, por isso foi necessário estudar o seu funcionamento e os seus maiores problemas para garantir que a nova linha seria uma evolução à atual. Concluiu-se que muitos dos problemas da atual linha 3 se deviam à falta de Balanceamento entre os postos, à forma de trabalhar e de realizar os Set-up's pouco normalizada, e a falta de um planeamento Pull.

Além dos problemas relacionados com a linha de montagem, foram igualmente levando algumas falhas ao método de desenvolvimento de um novo projeto de uma linha de montagem. O principal era a duração prolongada com que os tempos e as tarefas eram estudados. Para resolver este distúrbio foi introduzida a ferramenta KTS, uma aplicação desenvolvida no ano de 2019 com o objetivo de tornar todo este processo muito mais ágil.

3 ENQUADRAMENTO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

Após contextualizado o trabalho em questão e definidos os objetivos para o mesmo, torna-se pertinente estudar as tecnologias e os conceitos utilizados para a realização de um *Line Design*. Todos os conceitos utilizados ao longo da dissertação ficam neste capítulo sustentados teoricamente. Apesar do *Line Design* ser um tópico muito estudado e com várias metodologias válidas, a metodologia *Lean* é aquela em cujo o presente projeto está assente. Foi escolhida pela simplicidade que lhe é inerente e pela capacidade de apresentar resultados praticamente imediatos.

Assim, neste capítulo é elaborada uma revisão ao estado de arte relativo aos temas abordados no trabalho. Numa primeira instância é abordada a origem da Produção e Pensamento *Lean*, com um principal destaque para a análise valor acrescentado vs. desperdício (ou *Muda*). De seguida são revistas as ferramentas e os conceitos principais de *Lean* como o Ciclo PDCA, a Gestão visual e 5s e análise VSM. Em terceiro serão detalhados os principais princípios e conceitos que esta dissertação vai tratar, o *Total Flow Management*, em português, Gestão Total de Fluxo.

Por fim, é feita uma comparação de dois métodos de análise de tempos e tarefas: O método *Kaizen Lean* e o MTM (*Methods Time Measurement*). Serão explicadas as duas abordagens e aquilo que sustenta cada uma, e de que forma se podem conciliar num ambiente de *Line Design*.

3.1 LEAN

3.1.1 PRODUÇÃO LEAN

Desde sempre que nas grandes empresas industriais, com processos de montagem e de produção complexos, existe uma grande preocupação em conseguir atingir os melhores objetivos possíveis em termos de qualidade, produtividade e eficiência. Muitas são as metodologias que foram desenvolvidas ao longo dos tempos e muitas as transformações que ocorreram, e ocorrem, nos vários processos.

Em 1913, Henry Ford, dono de uma das maiores produtoras de automóveis da América, começou a implementar nas suas linhas os conceitos de produção em massa e linhas de produção contínua. (Becker & Scholl, 2006) Esta mudança foi uma rutura verdadeiramente revolucionária na indústria norte Americana, e teve resultados sem antecedentes (Womack & Jones, 1992).

A segunda grande transformação deu-se nos anos 50, após a Segunda Guerra Mundial, numa altura em que as empresas de produção japonesas enfrentavam problemas de escassez de recursos materiais, financeiros e humanos. Em busca de alternativas e soluções para os seus problemas, alguns industriais japoneses foram conhecer fábricas norte americanas, conhecidas por serem líderes no setor de produção e montagem. Ao regressar, *Kiichiro Toyota*, um dos empresários que participou na excursão, e na altura líder do grupo Toyota Motor Company, implementou as técnicas americanas na sua empresa, e desenvolveu um novo sistema,

atualmente conhecido por *Toyota Production System (TPS)* ou *Lean Manufacturing*. (Womack & Jones, 1992) Esta metodologia conseguiu não só desafiar a já estabelecida produção em massa na indústria automóvel, rompendo com os paradigmas de produtividade e qualidade da altura, como também motivou um repensar junto de outras aéreas operacionais que não apenas as de produção (Holweg, 2007). Hoje em dia é amplamente reconhecida como uma das mais capazes metodologias para melhorar a produtividade e diminuir os custos nas organizações industriais (Sanders et al., 2016). A segunda grande transformação deu-se nos anos 50, após a Segunda Guerra Mundial, numa altura em que as empresas de produção japonesas enfrentavam problemas de escassez de recursos materiais, financeiros e humanos. Em busca de alternativas e soluções para os seus problemas, alguns industriais japoneses foram conhecer fábricas norte americanas, conhecidas por serem líderes no setor de produção e montagem. Ao regressar, *Kiichiro Toyota*, um dos empresários que participou na excursão e na altura líder do grupo Toyota Motor Company, implementou as técnicas americanas na sua empresa, e desenvolveu um novo sistema, atualmente conhecido por *Toyota Production System (TPS)* ou *Lean Manufacturing* (Womack & Jones, 1992). Esta metodologia conseguiu não só desafiar a já estabelecida produção em massa na indústria automóvel, rompendo com os paradigmas de produtividade e qualidade da altura, como também motivou um repensar junto de outras aéreas operacionais que não apenas as de produção (Holweg, 2007). Hoje em dia é amplamente reconhecida como uma das mais capazes metodologias para melhorar a produtividade e diminuir os custos nas organizações industriais (Sanders et al., 2016).

Lean Manufacturing, ou Produção *Lean* pode ser descrita como uma abordagem de produção multifacetada, capaz de compreender uma grande variedade de práticas industriais, e diretamente orientada à identificação daquilo que, do ponto de vista do cliente, está a acrescentar valor. Uma vez identificado o valor, o objetivo da do *Lean* passa por potenciar o fluxo desses processos (Holweg, 2007). No fundo, o grande objetivo do *Lean* é conseguir criar um fluxo de processos em que, desde a fase inicial até ao produto acabado, seja composto apenas (ou quase) por tarefas de valor acrescentado (Shah & Ward, 2007).

Para a implementação de uma produção *Lean* é necessário considerar alguns aspetos fundamentais, definidos em 2008 por John Shook e Mike Rother no seu livro "*Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*". Esses aspetos estão sumarizados de seguida (Shook & Rother, 2008):

- Os níveis de produção são impostos pela procura. Definidos por tempo de *Takt*, um conceito que será aprofundado no capítulo 3.
- Estabelecer, quando possível, um fluxo contínuo unitário.
- Adotar um sistema de planeamento *Pull* quando não for possível ter um fluxo contínuo.
- O ritmo de produção é comandado por um único processo, chamado Processo Estrangulamento, por ser aquele com o maior tempo de ciclo. Isto vai evitar o surgimento de *stocks* e paragens por falta de material.

- Melhorar a eficiência de processo (*Overall Equipment Efficiency*, um conceito abordado no capítulo 3)

Os benefícios da implementação sustentada de uma produção *Lean*, além de serem alcançados num curto prazo, são realmente significativos. Dos benefícios destacam-se: (Melton, 2005)

1. Redução de desperdício nos processos;
2. Redução do *Lead-Time*⁸
3. Redução de tarefas de retrabalho
4. Redução de custos
5. Mais conhecimento dos processos
6. Redução de inventário

3.1.2 PENSAMENTO LEAN

Segundo Poppendieck (2011) foi durante os anos 80 que uma enorme mudança de paradigma ocorreu nos Estados Unidos e Europa. O Sistema *Lean*, que tinha causado um enorme impacto na indústria de montagem e produção, sendo inclusivamente conhecido como sistema de produção *Lean*, começou aos poucos a surgir noutras áreas da indústria. Áreas como a logística e construção começaram a aumentar os seus níveis de produtividade aquando na implementação de técnicas *Lean*. As melhorias foram de tal maneira significativas que muitas empresas de áreas dos serviços implementaram as técnicas nos seus próprios processos. Aos poucos começou-se a perceber que aquilo que em 1950 transformou a indústria dos automóveis, afinal podia ser aplicado universalmente conseguindo resultados igualmente satisfatórios (Poppendieck, 2011).

Um estudo realizado pela *Lean Enterprise Research Centre* na *Cardiff Business School* concluiu que para a maioria dos processos (Melton, 2005):

- 5% das tarefas acrescentam realmente valor;
- 35% são tarefas de não valor acrescentado, mas necessárias para o funcionamento;
- 60% das tarefas não acrescentam qualquer valor.

Estes dados vem confirmar a tese de que um pensamento *Lean*, quando bem aplicado e sustentado, pode ter um impacto significativo numa organização, em que a grande maioria dos seus processos não acrescentam valor à sua operação.

O combate pela redução do desperdício é a grande bandeira do pensamento *Lean*. O desperdício para ser efetivamente eliminado deve ser identificado e reconhecido como tal, deve-se identificar quem é o responsável e finalmente analisá-lo em termos de dimensão e impacto. Desperdício que não é identificado não pode ser removido. Desperdício que não é reconhecido pelos responsáveis, não pode ser travado, pois nunca existirá tal iniciativa. E finalmente um desperdício que não é medido, nunca lhe será reconhecido o real impacto num processo (Domingo, 2003).

⁸ **Lead-Time:** é o período entre o início de uma atividade e o seu término (Afsar et al., 2020)

Segundo os autores Womack e Jones (1998) existem sete tipos de desperdício, ou “muda”, palavra japonesa que significa “não valor acrescentado” ou “desperdício”. Os desperdícios são exemplificados na tabela 2, de seguida:

Tabela 2 - Os 7 Mudás

Tipo	Explicação
1. Movimento de Pessoas	Movimento excessivo de pessoas, leva a perdas de tempo sem qualquer valor acrescentado
2. Produção em Excesso	Produzir mais que aquilo que é preciso é gastar tempo e recursos em tarefas que não acrescentam valor.
3. Sobreprocessamento	Excesso de trabalho em processos que não acrescentam valor geram desperdício.
4. Inventário	Produções em excesso levam a elevados níveis de inventário que não estão a acrescentar valor, e ocupam espaço e recursos importantes.
5. Defeitos	Gastar tempo e recursos em produções que vêm com defeitos e não podem ser vendidas/utilizadas
6. Transporte de Produtos/Informação	Quando pessoas, equipamentos, ferramentas, documentos ou materiais são movidos ou transportados sem necessidade de um local para outro é gerado desperdício.
7. Tempo de Espera	Quando pessoas ou equipamentos são forçados a esperar desnecessariamente devido atrasos na chegada ou disponibilidade de recursos ou informações, isso gera desperdício.

3.2 FERRAMENTAS E CONCEITOS *LEAN*

A implementação de uma metodologia e filosofia *Lean* numa organização, requer a utilização de abordagens estruturadas para o facilitar. Estas abordagens estruturadas são chamadas Ferramentas *Lean*, cuja a análise é feita neste capítulo. Numa primeira instância será desenvolvida uma explicação da gestão visual e 5s, seguindo-se o Mapeamento da Cadeia de Valor (ou *Value Stream Mapping*) e finalizando com o ciclo de Melhoria PDCA.

3.2.1 GESTÃO VISUAL E 5S

Gestão Visual é uma estratégia de comunicação frequentemente observada em ambientes *Lean* que procura, através de um sistema de comunicação e gestão visual, melhorar o desempenho das organizações. Uma vez tornando os problemas visíveis, a sua resolução fica mais fácil (A. Tezel et al., 2016) (Shah & Ward, 2007).

A Gestão visual tem um impacto significativo em qualquer organização. Um estudo realizado por Luciano Moser e Aguinaldo dos Santos (2003) revelou que a aplicação de gestão visual sustentada leva a:

- I. uma simplificação e uma maior coerência na tomada de decisão e no controlo da produção,
- II. uma maior proximidade e contacto entre os diferentes níveis hierárquicos de uma organização,
- III. um aumento da autonomia e do compromisso por parte dos trabalhadores,
- IV. uma maior compreensão e resposta aos problemas que vão surgindo.

(Moser & Santos, 2003)

Das funções da Gestão Visual listadas por Tezel em 2009, destacam-se a Disciplina (tornar o seguimento das praticas num habito), a Facilitação do Trabalho (tornar visual e acessível as instruções de trabalho), a Gestão Baseada em Factos (utilização de factos e dados estatísticos), a Criação de Um Sucesso Partilhado (a envolvência dos colaboradores proporciona um maior espirito de equipa (Pierce et al., 2001)) e por fim a Melhoria Contínua (os problemas ficam visíveis e vão sendo corrigidos no dia-a-dia) (B. A. Tezel et al., 2009).

Um dos *standards* de Gestão Visual são os 5S, desenvolvidos em 1950 na Toyota com o objetivo de criar hábitos que melhorem a organização e arrumação do posto de trabalho (Imai, 1997). Os 5s correspondem a cinco palavras japonesas, cada uma com um significado de uma ação, e devem ser utilizadas de acordo com uma ordem especifica. Os 5S são:

- I. **Seiri** (Triagem) – Separar os materiais que acrescentam dos que não acrescentam valor;
- II. **Seiton** (Arrumação) – Colocar os materiais, anteriormente classificados como de Valor Acrescentado, em posições estratégicas, segundo as suas características (taxa de utilização, dimensão, etc.);
- III. **Seiso** (Limpeza) - Limpar todo o material presente no local de trabalho para facilitar a perceção de avarias e fugas;
- IV. **Seiketsu** (Normalização) – Criar as normas necessárias para sustentar os três passos anteriores;
- V. **Shituke** (Disciplina) – Garantir que as normas são executadas.

Seguindo este caminho de Gestão visual, os resultados numa organização podem ser realmente disruptivos, e ter um impacto significativo no seu desempenho (Imai, 1997). Vários estudos apontam a que esta ferramenta não só é útil em ambientes de produção, mas pode ter sem dúvida impacto em todas as áreas da sociedade (Gapp et al., 2008).

3.2.2 MAPEAMENTO DA CADEIA DE VALOR (VSM – VALUE STREAM MAPPING)

Aos dias de hoje, para fazer face aos níveis de competitividade existentes nos mercados atuais, as empresas de produção necessitam de quebrar os paradigmas, e de reinventar e redesenhar

os seus sistemas de produção (Manufature High-Level Group, 2018). Como resultado fica cada vez mais necessário o recurso a ferramentas práticas que suportem todo o processo de redesenhar um sistema de produção.

Diante estes desafios, a *Lean Production Movement* (Womack & Jones, 1992), desenvolveu e apresentou a ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM), em português, Mapeamento da Cadeia de Valor, uma ferramenta que tenciona reorganizar e melhorar o sistema de produção (Lasa et al., 2008). Apesar de alguns recentes desenvolvimentos noutros campos, a origem do VSM está focada na análise e melhoria em ambientes de produção (Rother & Shook, 2003).

No seu estudo sobre Mapeamento da Cadeia de Valor e Redução de Desperdício, Rother e Shook (2003) definiram, para a implementação de um VSM, cinco passos fundamentais:

- I. **Recolher Informação** - Observar o estado inicial dos processos e distinguir o que acrescenta valor do que é desperdício. É essencial envolver as pessoas encarregues pelos processos em causa e aproveitar o seu conhecimento;
- II. **Mapeamento do Estado atual** – Tratamento da informação recolhida e desenhar o estado atual do processo;
- III. **Identificação das Causas Raiz do Desperdício Encontrado** – Com base no estado atual tentar encontrar as causas por de trás dos problemas.
- IV. **Mapeamento do Estado Futuro** – Com base no estado atual e nos problemas encontrados, desenhar uma visão futura, com base nos princípios *Lean*, que alcançável;
- V. **Definição do Plano de Trabalho** – Desenhar o plano de trabalho para a implementação da visão futura;
- VI. **Executar o Plano de Trabalho.**

Idealmente todos estes passos devem ser executados pela equipa que opera no processo a ser melhorado. Esta envolvência não só vai garantir um conhecimento mais profundo do processo em si, como também resultará num maior empenho no trabalho futuro e no cumprimento das metas (Choi & Liker, 1995).

3.2.3 CICLO DE MELHORIA PDCA

O ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) é um modelo que foi desenvolvido para promover nas organizações um espírito de melhoria contínua, através do planeamento, execução, confirmação e normalização de ações de melhoria (Johnson, 2016). Será tanto melhor, quanto maior for o envolvimento dos colaboradores, pois os responsáveis são sempre os próprios (E. Knight & Allen, 2012).

O ciclo PDCA assenta na análise de factos, previamente recolhidos no local, e está dividido em quatro etapas (Moen & Norman, 2009):

- I. **Plan** (Planear) - Recolher informações sobre o processo atual, tentando identificar possíveis causas para os problemas encontrados e desenvolver um plano de ação, mencionando sempre um responsável e uma data de conclusão;

- II. **Do** (Executar) – Executar a proposta de Solução;
- III. **Check** (Verificar) – Verificar e analisar os resultados;
- IV. **Act** (Normalizar) - Normalizar a ação e divulgar os resultados obtidos.

3.2.4 ANÁLISE DE CAUSAS RAIZ

A tomada de decisão e a resolução de problemas são ações transversais em qualquer organização, e cada vez mais a utilização de ferramentas para este propósito são estratégias recomendadas. Uma das ferramentas existentes, e muito usada no meio industrial principalmente em áreas de qualidade, é o diagrama *de Ishikawa* (Liliana, 2016).

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito, é uma ferramenta que ajuda a identificar as causas-raízes de um problema. O diagrama de ishikawa ficou conhecido nos anos 60, através do seu criador *Kaoru Ishikawa*, que era na altura o responsável de qualidade do estaleiro de Kawasaki (Liliana, 2016). O diagrama é igualmente conhecido por diagrama de espinha de peixe, devido ao seu formato semelhante a um esqueleto de peixe. Com este diagrama de causa efeito, *Kaoru* conseguiu aumentar significativamente a qualidade das operações e capacitou-o como líder, pois ajudou a resolver os problemas de uma forma simples, acessível, eficiente, e acima de tudo, precisa.

Os diagramas de espinha de peixe são normalmente operados da direita para a esquerda, em que cada "osso" grande do peixe se vai ramificando para incluir ossos menores contendo mais detalhes/causas. Esta abordagem ajuda decisores a perceberem bem as principais causas dos problemas, e a mais facilmente encontrarem contramedidas para as resolver (Prayudha & Harsanto, 2020).

Existem quatro passos na utilização da ferramenta: (1) Identificar o Problema, (2) Perceber os fatores principais envolvidos, (3) Identificar possíveis causas e (4) Analisar o diagrama (Prayudha & Harsanto, 2020).

As causas estão normalmente agrupadas em 6 grandes categorias, divididas entre os “ossos” transversais (Botezatu et al., 2019):

- I. **Pessoas:** o fator humano envolvido no processo;
- II. **Método:** Todas as causas relacionadas com o processo e como este é realizado, ou seja, o seu método.
- III. **Máquinas/ Equipamentos:** Todas as causas relacionadas com equipamento utilizado no processo (máquinas, computadores, veículo, etc).
- IV. **Material:** Causas relacionadas com a matéria-prima, componentes, utilizadas.
- V. **Medição:** Causas relacionadas com os indicadores e dados gerados no processo utilizados posteriormente para análise.
- VI. **Ambiente:** Causas relacionadas com as condições envolventes, como o tempo, local, clima, temperatura e cultura onde o processo acontece.

3.3 TFM – TOTAL FLOW MANAGEMENT

Este capítulo apresenta as principais ferramentas sobre a temática de *TFM*, existentes na literatura. Numa primeira instância serão abordadas as várias ferramentas que estão diretamente ligadas à produção, ou seja, ao momento de montagem, e numa segunda será explorado o conceito de Planeamento e quais os vários métodos existentes na literatura sobre este tema. No primeiro capítulo o foco foi para o *Line Design e Layout*, Balanceamento, *Standard Work*, SMED e por fim a métrica de avaliação do desempenho *OEE*.

3.3.1 CRIAÇÃO DE FLUXO NA PRODUÇÃO

3.3.1.1 LINE DESIGN E LAYOUT

No que design e layout diz respeito, uma linha de montagem pode ser categorizada de várias formas: Linhas em Série, Linhas Paralelas, Linhas em Forma de “U” e Linhas de montagem de dois lados (Saif et al., 2014). Nas primeiras, as estações são dispostas em série, num formato linear, ao longo de um tapete rolante que transporta o produto. Começando no primeiro posto, o produto percorre todo o tapete até ao último posto, onde é armazenado. Numa linha de montagem em série o tempo de ciclo é estabelecido pelo processo cujo tempo de ciclo é o mais longo, também chamado de processo de Estrangulamento. Para mitigar os efeitos deste processo, é comum introduzir *buffers* ao longo da linha para minimizar o impacto (Saif et al., 2014).

As **linhas em paralelo** são utilizadas para dividir a carga de trabalho entre os postos. Por exemplo, se o tempo de ciclo de uma determinada linha é superior ao desejado, então deve-se procurar o posto com a maior carga, e dividi-lo em dois postos paralelos. Esta ação vai resultar numa diminuição do tempo de ciclo para metade (Pinto et al., 1975).

As principais vantagens de uma linhas paralelas são:

- Aumento da capacidade de resposta a eventuais falhas: Há mais que uma linha em funcionamento que pode compensar eventuais falhas da outra (Rekiek et al., 2002).
- Um sistema que contém várias linhas em paralelo acaba por fornecer um melhor balanceamento, diminuem o *idle time* e os tempos de *Set-Up* e aumentam a produtividade do sistema no seu todo (Boysen et al., 2006).

As principais desvantagens:

- Elevados custos de equipamento e de manutenção. Duplicando a quantidade de máquinas e equipamentos, os custos associados vão naturalmente ser superiores.
- É necessário espaço para conseguir colocar mais que uma linha. O facto de ter mais que uma linha igual, no mesmo espaço fabril representa muitos custos em termos de espaço.

O terceiro tipo são as **linhas em forma de “U”** (*U-Shaped Line*). Num estudo realizado por Schonberger (1982), este reparou que ao contrário das linhas Americanas, cujas linhas de montagem estavam dispostas num linha reta, as fábricas Japonesas tinham as suas numa

disposição semelhante à letra U (Schonberg, 1982). Segundo o estudo de Ullah Saif (2014), uma das grandes vantagens deste *layout* em relação aos restantes, é a capacidade de a mesma tarefa, no mesmo posto, poder ser executada por operadores diferentes, graças à proximidade que existe entre as duas extremidades da linha, como pode ser verificado na figura 5. Esta capacidade permite a redução de postos de trabalho. Além disto, uma linha em U reduz significativamente o movimento dos operadores (estes operam no interior da linha), o *WIP* (*Work In Progress*, ou Produto Semi-Acabado) e o manuseamento do inventário, aumentando assim a produtividade (Miltenburg, 2001)(Ogan & Azizoglu, 2015). Outra das vantagens é a capacidade de conseguir utilizar uma quantidade de operadores fracionária. Ao calcular a capacidade requerida para uma dada produção, com um tempo de ciclo associado, pode-se chegar à conclusão que a dimensão ideal da equipa de operadores seria de, por exemplo, 12,3. Estes valores seriam impossíveis de concretizar dado que não existe 0,3 operadores, mas numa linha em U uma equipa facilmente se adapta a esta situação. Esta flexibilidade na mão-de-obra é denominada, no vocabulário *Lean*, como *Schojinka*, uma junção de três palavras japonesas que em português significa “Reduzir as Mudanças de Operadores” (Sparling, 1998).

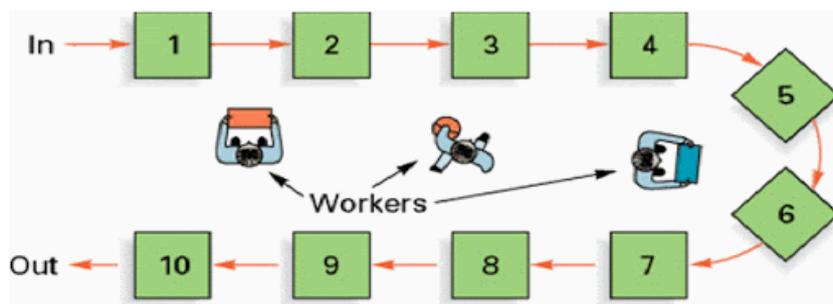


Figura 5 - Linha em Forma de "U"

Por fim existem as linhas de montagem de dois lados. Estas linhas geralmente são utilizadas para montagens de grande dimensão, como automóveis, camiões e autocarros e equipamento de construção (Saif et al., 2014).

3.3.1.2 BALANCEAMENTO

O Balanceamento é um passo fundamental do processo de criação de fluxo contínuo. No fundo, consiste em nivelar toda a carga de trabalho pelos vários postos da linha, de forma a evitar postos com excesso de trabalho que possam causar abrandamentos na linha, e postos com capacidade subaproveitada causando o chamado *idle time* (em português tempo ocioso) (Nallusamy & Adil Ahamed, 2017)(Becker & Scholl, 2006). O objetivo do balanceamento é atribuir um conjunto de processos ou tarefas a cada posto de trabalho, garantindo que não existem disparidades entre eles, e que o tempo de ciclo máximo não supera o tempo de *takt* calculado (Pulkurte et al., 2014). Alguns conceitos relacionados com o balanceamento de linhas são de seguida aprofundados:

Tempo de *Takt*

Tempo de *Takt* é definido como o “tempo disponível para produção num período de tempo / procura dos clientes no mesmo período de tempo” (Schroer, 2004). No fundo corresponde à

duração máxima que uma unidade de produto é produzida, de forma a conseguir satisfazer a taxa a que esta é requerida. Ou seja, de forma a satisfazer a procura, o tempo médio de produção unitário não poderá ser superior ao tempo de *takt* calculado (Lam et al., 2016).

Este conceito é particularmente importante para o Balanceamento, nomeadamente para calcular o número de postos e recursos necessários para conseguir garantir o tempo objetivo. Se, com os recursos e número postos atualmente em vigor, não se consegue produzir mais rapidamente que a duração do tempo de *takt*, significa que é necessário aumentar a capacidade. O contrário também se aplica (Pujo et al., 2015).

Tempo de Ciclo

O tempo de ciclo é definido como o tempo de demorara a executar um processo (Kazuhiro, 2004). A execução começa desde o momento em que o operador inicia o processo até este ser transmitido para a próxima fase. Num ambiente de linha de montagem, o tempo de ciclo consiste na duração do posto de trabalho. Ou seja, de quanto em quanto tempo, um dado operador transmite para o posto seguinte o resultado do seu trabalho (Adnan et al., 2016).

Um fator importante para um bom balanceamento é conseguir uniformizar os tempos de ciclo de todos os postos de trabalho de uma linha. A existência de tempos de ciclo dispare é um grande causador de ineficiências, uma vez que cada posto irá trabalhar a um ritmo diferente. A capacidade de uma linha de montagem é determinada pelo processo cujo tempo de ciclo é o mais elevado de toda a linha. Por isso, quanto menor for a diferença entre o máximo e o mínimo mais eficiente será o fluxo. Ao processo com o maior tempo de ciclo dá-se o nome de **Bottleneck** (Linck & Cochran, 1999).

O tempo de ciclo tem uma forte relação com o tempo de *takt*: o primeiro nunca deve ser superior ao segundo, incorrendo o risco de não se conseguir satisfazer a procura. O reverso também pode ser prejudicial para a eficiência. Ter tempos de ciclos muito inferiores ao tempo de *takt* significa que a produção tem uma cadência muito superior à que lhe é requerida pela procura, e poderá resultar em elevados níveis de acumulação de inventário. Quanto mais próximo o tempo de ciclo estiver do tempo de *takt*, mais eficiente será o processo, pois toda a produção ficará nivelada com a procura (Linck & Cochran, 1999).

Gráfico Yamazumi

Uma vez estabelecido os tempos e o número de postos, inicia-se o balanceamento através de um gráfico *Yamazumi*. Este gráfico evidencia a carga, em termos de duração, de cada posto. No fundo, um gráfico *Yamazumi* é um gráfico de barras em que no eixo do XX estão os vários postos de trabalho e no eixo dos YY a carga de todas as tarefas que o compõe (figura 6) (Adnan et al., 2016). Desta forma é possível, de uma forma muito visual, analisar o estado atual da linha e avaliar eventuais desequilíbrios entre os postos ou durações superiores ao tempo de ciclo definido (Talapatra et al., 2018) .

Os detalhes necessários para contruir um gráfico *Yamazumi* devem ser obtidos no início do processo de análise. A melhor forma é através da realização de filmagens aos postos de trabalho com uma posterior análise. A partir da informação das análises aos vídeos, o gráfico é construído (Linck & Cochran, 1999).

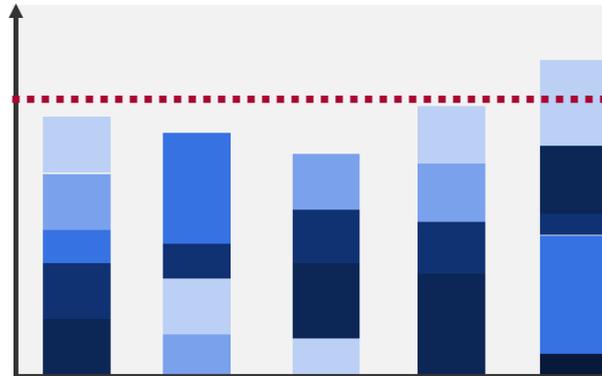


Figura 6 - Gráfico Yamazumi (adapt. de Adnan et al., 2016)

3.3.1.3 STANDARD WORK

Standard Work, ou em Português “Trabalho Padrão” é um conjunto de procedimentos que procuram a melhor combinação entre as ações do trabalhador e as especificidades do equipamento, de forma a atingir os melhores níveis de eficiência, produtividade, qualidade e segurança possível (Pereira et al., 2016). O *Standard Work* estabelece um ponto de partida e uma referência para a forma de executar uma dada tarefa, estabelecendo a forma de atuar mais produtiva e com menos desperdício. “O primeiro passo é *standardizar*, e depois estabilizar o processo. só depois se deve começar a melhorar” (Team, 2002).

Segundo MacInnes, na página 64 do seu livro “*The Lean Enterprise Memory Jogger: Create Value and Eliminate Waste Throughout Your Company*” para criar um SW são necessários oito passos: 1- formar uma equipa de melhoria; 2- determinar o *takt time*; 3- determinar o tempo de ciclo alvo; 4- determinar a sequência de montagem; 5- determinar a quantidade *standard* de Semi-Acabado; 6- preparar o fluxo de trabalho *standard*; 7- preparar o *standard* de cada operação; 8- melhorar de forma contínua os *standards* existentes (Macinnes, 2002).

Nem todas as tarefas são passíveis de *standardizar*, seja pela variabilidade que têm ou pela dificuldade em realizar uma análise precisa. Assim, o primeiro passo antes de criar um *standard* de trabalho é analisar e classificar a tarefa. Peter P. Feng e Glenn Ballard (2008) desenvolveram um *Framework*, para classificar as tarefas em termos da sua necessidade (ou possibilidade) de *standardizar* (Feng & Ballard, 2008). (anexo 1)

3.3.1.4 SMED

A globalização criou nas empresas uma necessidade tornarem mais flexíveis, e produzirem lotes com menos quantidade. A produção em lotes pequenos aumenta significativamente a frequência em que os *setup* são feitos. Assim, torna-se primordial capacitar os sistemas produtivos de uma capacidade extra de realizar estes *setup's* da forma mais rápida possível (Costa et al., 2013). O

SMED (*Single Minute Exchange of Die*) foi desenvolvido em 1950 no Japão em resposta a esta emergente necessidade. É uma das ferramentas centrais do sistema produção Toyota que busca uma produção *Lean* (Ulutas, 2011). O objetivo desta ferramenta é diminuir ao máximo o tempo despendido a realizar *Setup*, dado que esse tempo não está a acrescentar um real valor às organizações. Quanto menor for o tempo de *setup*, maior será o tempo disponível para produção, logo torna-se especialmente importante tentar reduzi-lo ao máximo (McIntosh et al., 2007).

Um estudo realizado por Abraham, Ganapathi e Motwani (2012) desenvolveu uma metodologia para o SMED que está dividida em 7 passos: (Abraham et al., 2012)

- **Separar as Atividades Externas das Internas:** Separar as tarefas que são feitas durante a fase em que a máquina está parada (tarefas internas) com as tarefas que podem ser feitas enquanto esta está a trabalhar (externas)
- **Standardizar as Atividades Externas:** Analisar as tarefas externas e torná-las o mais eficientes possível através da criação de *standards*
- **Converter as Atividades Externas em Internas:** Convertendo atividades internas em externas diminui-se o tempo em que a máquina está efetivamente parada, logo, quanto menor for o número de tarefas internas, menos tempo demorará essa paragem
- **Reduzir o tempo das tarefas internas:** Após converter todas as tarefas internas possíveis em externas, o passo seguinte para reduzir o tempo de paragem passa por tornar as internas o mais rápidas possíveis.
- **Reduzir o tempo das tarefas externas:** De seguida, faz-se o mesmo que no passo anterior, mas aplicando as soluções inovadoras às tarefas externas
- **Standardizar as tarefas:** Realizados os passos anteriores, deve-se criar *standards* de trabalho, para que todo o processo se torne o mais automático possível e que eventuais oportunidades de melhoria possam surgir
- **Eliminar o Set-Up:** Numa situação ideal, todas as tarefas internas seriam convertidas em externas ou eliminadas, conseguindo-se ter um tempo de *Set-Up* nulo

3.3.1.5 OEE – Overall Equipment Efficiency

Apresentado por *Nakajima* (1988) o *OEE* é definido como um dos principais indicadores utilizados no controlo de performance dos equipamentos de um sistema produtivo. O *OEE* é um indicador especialmente importante em empresas de produção e montagem, pois mede a eficiência total da produção, em relação à sua capacidade teórica. O *OEE* permite identificar as perdas de eficiência a três níveis, disponibilidade, desempenho e qualidade (Figura 7) (Yazdi et al., 2018).

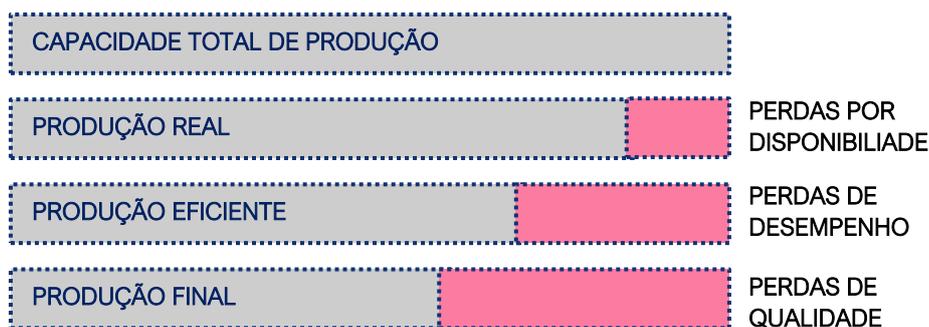


Figura 7 - Os três Parâmetros de Perdas de Eficiência do OEE

Disponibilidade – A disponibilidade é uma comparação entre a quantidade de tempo que a máquina está a produzir e a quantidade de tempo que estava programada para produzir. Retrata as paragens planeadas (e.g. paragens para *Set-Up*) e não planeadas dos equipamentos (e.g. avarias dos equipamentos por uma duração prolongada).

Rendimento – razão entre a quantidade real de unidades produzidas (QR) e a quantidade teórica de unidades que se podem produzir no tempo de funcionamento real do equipamento (QT). Este nível considera qualquer fator que reduza a velocidade de produção em relação à velocidade máxima teórica, incluindo microparagens⁹ e ciclos mais lentos (Ahmad et al., 2018).

Qualidade – razão entre o número de unidades com qualidade aceitável para venda (QQ) e o número total de unidades produzidas (QT). Reflete as produções que não cumprem com os *standards* de qualidade (como por exemplo, os defeitos) ou a falta de qualidade no arranque da máquina, até estabilização da produção.

De acordo com *Janasekaran e Lim* (2019), o *OEE* pode ser calculado através Equação 1, que consiste na multiplicação dos três fatores identificados acima – disponibilidade, desempenho e qualidade – medidos em percentagem:

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (1)$$

3.3.2 PULL PLANNING

O Sistema de Planeamento *Pull*, é um dos pilares fundamentais da filosofia *Lean*. A grande diferença deste sistema para o sistema *Push* tradicional, é que no segundo a produção é despoletada pela procura, ou seja, produz-se uma quantidade certa para a procura real, enquanto que no primeiro a produção é feita tendo como base previsões e histórico da procura (Tsao et al., 2014). A este sistema também se dá o nome de *Just-in-Time*. Apesar de cada um dos sistemas ter as suas vantagens em relação ao outro, o que verdadeiramente destaca uma produção JIT é o facto de este ter a capacidade de reduzir substancialmente os níveis de *stock* em relação ao sistema *Push*. Na verdade, num sistema JIT ideal, os níveis de *stock* são praticamente zero, uma vez que assim que o produto é produzido é imediatamente enviado para

⁹ **Microparagens:** paragens na linha com uma duração inferior a 10 minutos.

o cliente. O mesmo acontece a montante, ou seja, as encomendas de matérias primas são sempre despoletadas pelas necessidades reais da produção, que por sua vez, como já foi explicado, são as necessidades reais da procura (Nagib et al., 2016) (Kesen & Sert, 2019). Naturalmente um JIT integral é algo muito complicado senão mesmo impossível de atingir, pelas variações e imprevistos que ocorrem em todas as fases da cadeia.

Para responder às limitações de um sistema JIT, a metodologia *Pull Planning* apresenta diversas alternativas, através de diferentes políticas de reabastecimento, mas sempre com o foco no consumidor e na procura real. Estas políticas de reabastecimento são designadas MTS, MTO e MTS-MTO dependendo do sistema de inventário adotado:

- **Sistema MTS:** O sistema MTS a procura é satisfeita através do *stock* existente e tem como política produzir com base em previsões de procura (Noorwali, 2014). É um Sistema particularmente utilizado em produtos com pouca, ou nenhuma, variabilidade na procura, em que resultam previsões muito precisas, e em situações cujos clientes exigem entregas num curto espaço de tempo (Agra et al., 2019).
- **Sistema *Pull* MTO:** um sistema em que todas as ordens de produção são despoletadas por encomendas dos clientes, não necessário existir inventário ao longo da cadeia de abastecimento. Este sistema traz uma enorme complexidade e os produtos devem respeitar algumas características para que seja realmente o sistema mais vantajoso. Devem ser produtos com uma alta variabilidade de procura (a previsão é pouco precisa e pode resultar em altos níveis de inventário caso se produza para *stock*), produtos muito customizados e produtos cujo cliente final esteja disposto a esperar o tempo equivalente ao *Lead Time* do produto, uma vez que este último não existe em *stock* (Noorwali, 2014) (Grant & Kaminsky, 2006).
- **Sistema *Pull* MTS-MTO:** Um sistema híbrido que permite as empresas diferenciarem os seus produtos consoante as suas características. Como o *Lead time*, a variabilidade de procura, a sua necessidade de customização. Um produto com uma procura irregular, com alta necessidade de customização e com um baixo *Lead time*, deve ser produzida à encomenda. Um produto com uma procura regular, com pouca customização e *Lead times* elevados, fará mais sentido produzir para *stock*, uma vez que as previsões são mais precisas e não se incorre no risco de não satisfazer uma encomenda (Beemsterboer et al., 2016) (Rajagopalan, 2002).

O fluxo de informação num sistema de produção JIT, é controlado por **Kanbans**. O sistema *Kanban* é uma das ferramentas *Lean*, que consiste em vários cartões (tipicamente) que servem como ordens de reabastecimento de um determinado produto ou material. No momento em que um produto é consumido do inventário o cartão *kanban* circula para montante de forma a solicitar a reposição desse produto (Kesen & Sert, 2019). O ponto em que os cartões *Kanban* surgem e é despoletada uma ordem de reposição exige uma compreensão profunda da cadência de consumo, pois deve-se tentar encontrar o melhor equilíbrio entre o espaço ocupado pelos materiais (quanto menor, melhor) e ao mesmo tempo garantir que nunca faltam (Cimorelli, 2005).

Como se pode verificar, pelas características que tem, a utilização de um sistema *kanban* é essencial para garantir, simultaneamente, o fluxo de materiais e informação ao longo do processo e o correto funcionamento de um sistema JIT (Spenhoff et al., 2014).

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DE TEMPOS E TAREFAS

No âmbito desta dissertação considerou-se pertinente realizar uma revisão bibliográfica de dois métodos de análise de tempos e tarefas, o método *Kaizen*, aprofundado ao longo dos capítulos anteriores, e o *Methods Time Measurement*, MTM. Sendo o segundo uma abordagem ligeiramente diferente do método *Kaizen*, mas que, tal como o este, tem ganho popularidade e cada vez mais são as empresas que o tem usado nas suas operações (Morlock et al., 2017).

3.4.1 INTRODUÇÃO MTM

O *Methods Time Measurement* (MTM), em português Método Medição de Tempos, é um sistema de análise de tempos, com valores predeterminados (MTM, 2005). Ou seja, de acordo com uma base de dados de tempos *standard* para cada movimento básico, consegue-se calcular a duração de uma determinada tarefa. Pode igualmente ser utilizada para ações de melhoria, por exemplo comparando a duração atual com a aquela que é pressuposta pelo sistema e de seguida perceber onde existem as maiores discrepâncias (Morlock et al., 2017).

Os valores definidos pelo MTM são, em regra geral, médias estatísticas, testadas para altos graus de fiabilidade e desenvolvidas através de diversas amostras de filmagens em operações industriais diversas. Quão mais comuns, no meio industrial, forem as tarefas, mais precisa será a aplicação das métricas do MTM. Estas não podem ser vistas como tendo durações exatas para todas as operações, independente do meio industrial ou da pessoa que a executa, mas sim uns valores aproximados (Karger & Bayha, 1966). A metodologia MTM está baseado em 5 movimentos básicos: **alcançar, agarrar, movimentar, posicionar e libertar**, (ver Figura 8). Estes movimentos representam cerca de 80 a 85% de todas as tarefas que dependem apenas da ação humana (Ferreira, 2015).

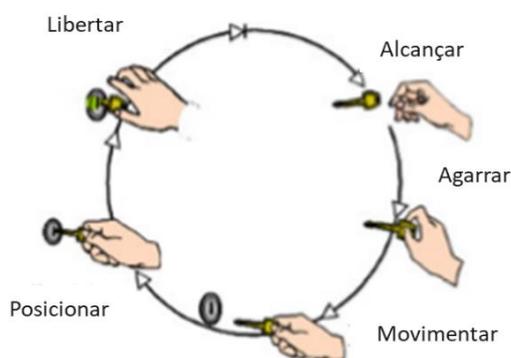


Figura 8- Os 5 Movimentos Básicos do MTM

Para realizar uma análise por meio da metodologia MTM, é necessário considerar as seguintes práticas: (1) observação direta e filmagem do posto de trabalho, por um analista; (2) análise das filmagens; (3) analisar os aspetos técnicos da montagem e do produto; (4) simulação dos movimentos por parte do analista; (5) envolver os operadores e os responsáveis do processo (Ferreira, 2015).

3.4.2 MTM COMBINADO COM METODOLOGIA KAIZEN

Há muitas metodologias que podem ser aplicadas em simultâneo com a MTM. O *Lean Kaizen*, com todas as ferramentas inerentes (VSM, 5S) é um bom exemplo de uma metodologia que facilmente se concilia com o MTM.

Uma das grandes conclusões de um estudo realizado por Denis de Almeida e João Ferreira (2015) foi que a metodologia MTM não é rival dos outros métodos existentes, mas sim complementar. Mesmo a análise de tempos com recurso a cronómetros, que muitos pensariam ser incompatível, é na realidade um bom exemplo de um método que pode ser aplicado juntamente com o MTM e trazer resultados muito positivos. Neste caso o cronómetro pode ser utilizado para detetar eventuais disparidades com os *standards* do MTM, ou vice-versa. Outra forma de combinar é aplicar o método MTM a tarefas de influência humana, e o cronómetro para tempos de máquinas e equipamentos.

O mesmo estudo de *Denis de Almeida e João Ferreira*, conclui que uma medição em direto do tempo de montagem, irá sempre estar condicionada pelo estado de espírito do operador que está a ser medido. Regra geral a medição causa algum desconforto por parte de quem está a ser medido, logo os resultados estarão condicionados.

Um outro estudo, realizado por *Kuhlang* (2011), combina o método MTM com o VSM (Mapeamento da Cadeia de Valor, abordado no capítulo 2.2.2. No seu estudo, *Kuhlang* conclui que as vantagens da combinação das duas metodologias são realmente significativas. Destaca o papel do VSM na análise de desperdício, oportunidades de melhoria e criação de instruções de trabalho, e do MTM na determinação e avaliação dos níveis de performance. No fundo o papel do MTM não está em protagonizar a mudança e a melhoria (isso é conseguido através do VSM, mas sim em auxiliar com informação detalhada dos vários processos. O MTM utilizado de forma isolada, não consegue atingir objetivos de melhoria, pois este limita-se a extrair os valores, sendo sempre necessária uma posterior análise.

Como principais áreas de aplicação, ou seja, áreas onde a utilização simultânea das duas técnicas tem mais impacto, o mesmo estudo destaca seis (Kuhlang et al., 2011):

- Avaliação da taxa de Valor Acrescentado e não acrescentado
- Avaliação de Processos Logísticos
- Design ergonómico dos postos de trabalho
- Comparar o estado atual com o objetivo
- Balanceamento de Linhas

- *Layout Design*

3.5 MODELOS DE TREINO

O treino dos operadores é um fator determinante para se obter um bom desempenho na linha de montagem. Quanto maior for a complexidade do processo, maior importância tem o momento do treino, por isso é deve-se perder tempo a desenvolver um modelo de treino adequado e que consiga assegurar processos de montagem eficientes, de qualidade (que reduzam ao máximo os erros no processo) e ergonômicos (Dzubáková & Kopták, 2015). Para que a implementação seja bem-sucedida, é importante garantir que os métodos de treino não estão assentes nos princípios de treino tradicionais, de aprendizagem passiva, mas sim de uma forma interativa, onde existe feedback constante entre o formador e o formado, ou seja, uma aprendizagem ativa. (Ruano et al., 2019)

3.5.1 TRAINING WITHIN INDUSTRY (TWI)

Um dos métodos mais utilizados pela metodologia *Lean* está assente nos princípios do programa TWI, *Training Within Industry*, em português: Treinar na Indústria. Este programa foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial, numa altura em que as circunstâncias exigiam um aumento significativo na capacidade produtiva de materiais de defesa, bem como assegurar produtos de alta qualidade e com pouca variabilidade. (Bianchi & Giorcelli, 2020) Face a estas exigências, foi desenvolvido, por *Charles Allen*, um programa de treino que mais tarde daria origem ao programa TWI. Este método revelou-se muito eficiente, e foi rapidamente replicado para as outras áreas da indústria, tornando-se um pilar importante da metodologia *Kaizen* (Dzubáková & Kopták, 2015).

O perfil do supervisor e ao papel que este representa no desenvolvimento do operador são pontos chave no programa do TWI. Allen destaca as 5 características que um supervisor deve ter (Huntzinger et al., 2002):

- I. Conhecimento da Tarefa
- II. Conhecimento da Responsabilidade
- III. Técnicas de Formação de Pessoas
- IV. Capacidade em Melhorar Processos e Métodos
- V. Capacidade de Liderança

O TWI divide-se em três módulos: *Job Instruction*, *Job Method* e *Job Relations*

- I. **Job Instrucion:** tem como objetivo conseguir operações consistentes, através do envolvimento das pessoas. Ensina os supervisores em como formar um novo operador a realizar uma tarefa de forma correta, segura e consciente. Este método pressupõe que existe um *standard* de trabalho, cujo treino se vai basear, de forma a que se alguma das partes, operador ou supervisor, se alterar o processo não fica comprometido (Huntzinger

et al., 2002). O método é composto por um plano de duas partes, a primeira para preparar para treinar, e a segunda para o treino em si, e todos os formadores levam consigo um cartão com os passos de cada uma das partes. Um exemplo destes cartões está presente em anexo (anexo X).

O treino é composto por 4 passos:

1. **Preparação** (criar uma atmosfera de aprendizagem positiva para os novos operadores e avaliar o conhecimento de cada um);
 2. **Apresentação** (listar e demonstrar cada passo do processo, destacando os passos principais, enquanto os novos operadores observam e escutam);
 3. **Experiência** (os operadores põem em prática a aprendizagem e experimentam fazer sozinhos o processo, explicando ao formador os vários passos do processo e destacando os passos principais);
 4. **Acompanhamento** (assim que o formador sentir que o operador está autónomo passa para um papel mais passivo de monitorizar e corrigir quando necessário).
- II. **Job Methods:** Este módulo tem como objetivo capacitar as empresas e os seus colaboradores a continuamente melhorar os seus processos. As empresas treinam os seus colaboradores nas técnicas de J-M, para estar constantemente a inovar e melhorar os seus processos. Seguindo a metodologia de 4-passos do *Job Method*, os supervisores ficam capazes de descobrir oportunidades de melhoria, e criar e testar possíveis soluções.
- III. **Job Relations:** “Boas relações, levam a bons resultados”(Dzubáková & Kopták, 2015). Um bom ambiente de trabalho, e uma cultura de entreajuda e trabalho de equipa, são decisivos para o sucesso de qualquer empresa. (Rentzos et al., 2015)O programa do *Job Relations* permite às empresas estimulem os seus colaboradores, através de incentivos de desempenho, e alinhando os objetivos entre todos os envolvidos. A comunicação bilateral, a proximidade e acessibilidade entre os vários níveis hierárquicos da empresa são alguns dos pontos que o módulo procura atuar (Bianchi & Giorcelli, 2020).

3.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os conceitos teóricos, retratando o estado da arte no âmbito de variados assuntos abordados ao longo dos subcapítulos nele incluídos, nomeadamente: Pensamento *Lean*, Produção *Lean*, *Total Flow Management* e uma comparação entre duas metodologias de análise de tempos e tarefas: *Kaizen* e MTM.

Esta revisão terá uma enorme importância para o futuro trabalho que será desenvolvido, pois permitiu não só ter uma perspetiva mais histórica da evolução de alguns conceitos, como também uma forte componente da aplicabilidade desses mesmos conceitos às indústrias de montagem atuais. Pela análise feita a principal conclusão retirada é do enorme impacto e potencial que as

ferramentas *Lean* podem numa determinada indústria, mais precisamente neste caso, em linhas de montagem. A utilização das ferramentas como os 5S, a análise VSM e o ciclo melhoria PDCA, que, segundo vários autores, têm um impacto imediato em qualquer tipo de organização, combinada com ferramentas para a criação de fluxo na Produção, pode ter resultados significativos.

Ao mesmo tempo, a combinação da metodologia *Kaizen* com outros métodos pode ser realmente vantajoso para uma organização, pois, quando bem conciliados, é possível retirar o melhor de cada um. Isto ficou espelhado após uma revisão a duas metodologias de análise de tempos e tarefas, neste caso o método *Kaizen* e o MTM.

A evolução que a metodologia *Kaizen Lean* tem sentido ao longo dos anos, foi ficando cada vez mais patente ao longo desta revisão. A capacidade de se reinventar e adaptar as suas ferramentas às exigências atuais, tem trazido resultados realmente disruptivos nas várias indústrias onde está presente.

4 ANÁLISE DA SITUAÇÃO INICIAL

Neste capítulo é apresentado o estudo realizado à empresa X, as principais origens dos problemas encontrados atualmente na empresa, e os efeitos que estes causam na operação. Também são apresentados os indicadores atuais, que permitem um entendimento mais quantitativo do estado das operações. Por fim, é apresentada a metodologia e os objetivos que se pretende atingir com a sua implementação.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DE PROCESSOS E IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

A presente seção está dividida em duas partes. Na primeira são apresentadas as várias visitas feitas ao *Gemba*, onde se identificaram alguns desperdícios e são apresentados os layouts atuais da Empresa X. A segunda parte foca-se na realização de um Value Stream Mapping (VSM) à Empresa X, com o objetivo de conhecer os vários processos e atividades da empresa. Ainda se procurou conhecer as causas raiz dos principais problemas (desperdícios) que a empresa enfrenta de modo a se sugerir um conjunto de oportunidades de melhoria para a mesma.

4.1.1 GEMBA WALKS E DESENHO DOS LAYOUTS ATUAIS

O início do projeto foi caracterizado por vários *Gemba Walks*, onde, na companhia de alguns elementos da empresa X, entre eles os diretores de produção e montagem, foram identificados os principais processos, as maiores dificuldades e algumas oportunidades de melhoria. Esta percepção do espaço de trabalho da empresa foi determinante para a fase de VSM e serviu de preparação para os problemas e desafios que seriam identificados no futuro. O facto de ter sido realizado em conjunto com os diretores foi igualmente importante para perceber quais as preocupações da gestão de topo, e garantir o alinhamento dos objetivos.

O principal foco destes *Gemba Walks* esteve na área de montagem, que se divide entre as linhas de pré-montagem e as linhas de montagem, e que, consoante as famílias, podem estar no primeiro (ver Figura 9) ou segundo piso. A área de montagem, além das linhas, também é responsável pela gestão do supermercado de componentes. Este último é uma área intermédia, entre armazém e montagem que assegura o seu contínuo abastecimento e está dimensionado segundo os consumos teóricos das linhas. Apesar do foco estar na área de montagem, também a de injeção foi visitada.

De seguida, são descritos os principais desperdícios identificados durante as visitas realizadas a cada uma das áreas da empresa, assim como o seu tipo de MUDA, de acordo com o estudado na seção 3.1.2.

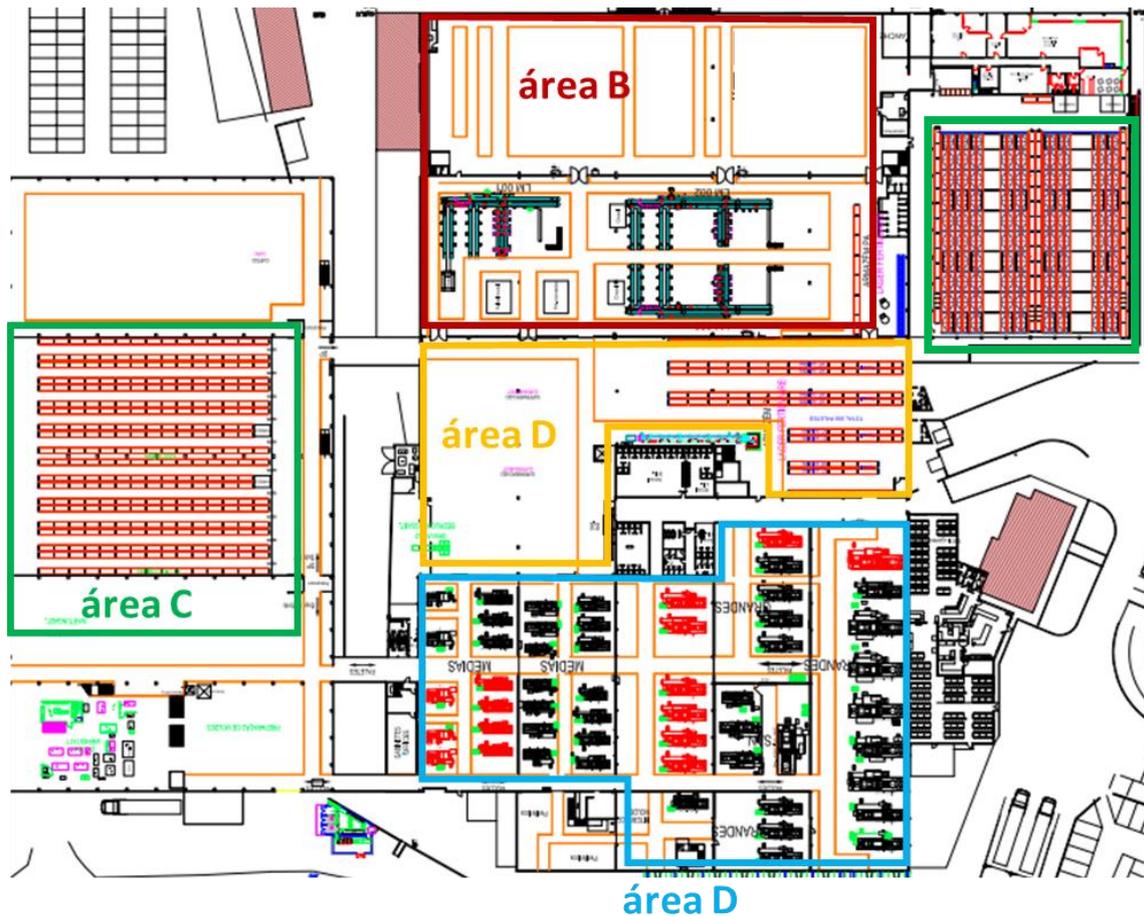


Figura 9 - Mapa das instalações da Empresa X

Área de Injeção – área A

Começou-se pela área da injeção, assinalada como área D a azul na Figura 9 em cima. Esta área é responsável pela produção das peças de plástico que são posteriormente utilizadas nas linhas para montar as FACM. A área é composta por 54 máquinas de injeção, e produzem quase a totalidade das peças utilizadas nas linhas, sendo o principal fornecedor da montagem. Nesta zona existem cerca de 270 operadores, que se dividem entre manutenção, produção, qualidade e logística. Foram identificados cinco desperdícios principais: 1) elevados tempos de *setup* (Muda de material e pessoas em espera); 2) inexistência de indicadores em tempo real; 3) problemas da qualidade nas peças fabricadas (muda de Defeitos); 4) Planeamento de componentes a injetar em *push* e não em *pull*, que origina *stock* elevado (*muda* da produção em excesso); 5) falta de *standards* de trabalho (*muda* de defeitos e sobreprocessamento).

Área de Montagem – área B

De seguida, foi observada a área de montagem, com uma maior atenção à linha 3, aquela cujo projeto vai procurar melhorar. A área de montagem é composta por 5 linhas de montagem, em que 3 estão no piso 2 (reproduzido na Figura 9 - Mapa das instalações da Empresa X) e produzem para duas marcas, e as outras duas no piso 1 (em anexo) e produzem para uma

terceira marca. É de se destacar que as duas linhas do piso de baixo já foram desenvolvidas em conjunto com o instituto *Kaizen*, tendo por isso algumas das características retratadas neste documento e níveis de produtividade superiores às restantes. A área de montagem é onde se encontra a maior parte da mão de obra da empresa. São mais de 900 operadores, divididos entre linhas, manutenção, logística, engenharia, qualidade e planeamento, que dedicam o seu tempo à operação de montagem.

Durante as visitas foram detetados vários desperdícios, e consequentes oportunidades de melhoria: 1) Os pré-montados longe da linha principal, causando constrangimentos no abastecimento (*muda* de movimento de pessoas e material); 2) Não existe um processo normalizado de entrega de componentes. Paragens não planeadas devido à falta de componentes a acontecerem com bastante frequência (*muda* de material e pessoas em espera); 3) Postos mal balanceados e a operar a ritmos diferentes, resultando em altos níveis de *stock* intermédio e/ou operadores a aguardar pelo posto que o antecede (*muda* de pessoas e material em espera, e *muda* de defeitos). 4) *Setup's* demorados e não normalizados, acentuados pelas constantes mudanças que existem devido aos múltiplos modelos que a linha produz (*muda* de pessoas e material em espera); 5) Os processos não estão normalizados e não existem *standards* de trabalho, resultando num aumento da variabilidade entre os operadores e problemas de qualidade (*muda* de defeitos); 6) componentes chegam com defeitos à linha, não existindo um controlo de qualidade rigoroso a montante da linha (*muda* de defeitos).

Armazém Avançado – área C

O terceiro local a ser visitado foi o armazém, o local onde as várias componentes que irão dar forma às máquinas são guardadas. No caso dos componentes serem comprados a fornecedores externos, serão armazenados em prateleiras móveis. Caso sejam provenientes do departamento de plásticos (injeção), serão armazenados em corredores estreitos com empilhadores automáticos. Os principais desperdícios desta área estavam ligados ao planeamento que era realizado, tanto a montante como a jusante. Este planeamento era realizado em *push*, o que fazia com que os níveis de *stock* fossem elevados, para evitar roturas. Além deste problema, a gestão de informação não era totalmente precisa, existindo incoerências entre aquilo que realmente existia e aquilo que estava registado em sistema.

Supermercado de Componentes – área D

Por fim, foi-se conhecer o supermercado de componentes. Um supermercado é um entreposto entre o armazém e as linhas de montagem, e tem como principal objetivo acelerar e facilitar o abastecimento e reposição da linha. Graças à proximidade que tem com a linha e à sua menor dimensão (relativamente a um armazém), o acesso às componentes é bastante facilitado. A reposição é feita através de um comboio logístico (ou *mizu*) com uma rota e um tempo de ciclo definidos. As principais oportunidades identificadas nesta área foram: 1) o incumprimento das rotas normalizadas dos *mizus*; 2) sobredimensionamento das necessidades de algumas componentes; 3) subdimensionamento das necessidades de algumas componentes.

Depois de resumidos os principais desperdícios identificados durante as visitas ao Gemba, foi necessário contextualizá-los na cadeia de valor da Empresa X, isto é, conhecer e analisar a sequência de processos desde a chegada das matérias-primas até à expedição dos Produtos Acabados (PA). Para isso recorreu-se à conhecida ferramenta *Lean*: VSM. Esta ferramenta além de permitir mapear de uma forma exaustiva toda a cadeia de valor, também permite observar os seus principais problemas e oportunidades de melhoria.

4.1.2 EVENTO KAIZEN : VSM

O VSM da Empresa X foi realizado num evento *Kaizen*, e teve a duração de três dias, onde participou uma equipa multidisciplinar composta por seis elementos, quatro dos quais internos à Empresa X e dois da equipa do *Kaizen Institute*. Estes últimos responsáveis por liderar o evento e a implementação do VSM. Foi feito um mapeamento a todos os processos desde a chegada da matéria prima, até à saída de uma FACM totalmente fabricada. A aplicação do VSM ocorreu em três etapas consecutivas: 1) mapeamento do estado atual da Empresa X; 2) identificação das causas raiz do desperdício identificado; 3) mapeamento do estado futuro da Empresa X.

1 - Mapeamento do estado atual da Empresa X

Realizou-se o mapeamento das componentes que atravessam toda a cadeia de valor da Empresa X, ou seja, a cadeia de valor das componentes fabricadas internamente. Como o processo era praticamente igual independentemente das peças, optou-se por mapear aquela que acrescenta maior complexidade e cuja importância para a montagem é maior, o chassis.

Este fluxo começa com a chegada da matéria-prima que é recebida na área de receção da fábrica. A matéria prima é de seguida inspecionada e armazenada. De seguida é enviada para a zona de secagem, onde é preparada, sendo de seguida enviada para a injeção. Na zona de injeção é enviada para uma das máquinas, onde estão instalados os moldes que iram produzir os chassis. Uma vez fabricados, estes são novamente armazenados. Ficam armazenados até que a linha de montagem necessite de reposição de chassis. Como o chassis é uma componente de maior dimensão, segue num *pallet stacker* para o posto de montagem, em vez do comboio logístico. O chassis é montado logo no primeiro posto na linha. Quando toda máquina está finalizada, é embalada e armazenada, ficando pronta para ser expedida, a última fase da cadeia de valor. O detalhe dos tempos e das distâncias pode ser observado na Figura 10.

Durante este mapeamento, foram também registados os *Lead-times* e a quantidade média de peças em *stock* para cada operação ou etapa de cada fluxo (ver Tabela 3)

Tabela 3 - Lead time médio entre cada operação

Fluxo	Lead-time
• Receção	10 dias
• Secagem	0
• Injeção	13 dias
• Palatização	3 dias
Total	26 dias

Além da área de montagem identificou-se uma oportunidade de melhoria no desenvolvimento de projetos de novas linhas de montagem. Tal como explicado no capítulo 2.3.3, o processo de análise de tempos e sequência de montagem é um dos principais responsáveis pelo processo de desenhar uma nova linha demorar tanto tempo. Esta é uma oportunidade de não só conseguir encurtar o tempo de projeto como também conseguir análises mais precisas. Esta tarefa é realizada pelo departamento de Sistemas Industriais (GSI), uma unidade totalmente dedicada à área de montagem composta por cerca de 10 pessoas.

2 – Análise das Causas Raiz

Apesar dos problemas identificados no mapeamento existirem ao longo de toda a cadeia de valor, o principal foco, a pedido do cliente, foi na área de montagem. A principal vontade do cliente era a construção de uma nova linha, para conseguir dar vazão ao substancial aumento de procura. Uma vez que o principal foco era a montagem apenas aí se realizou uma análise mais profunda das causas raiz dos problemas identificados. Na tabela seguinte (ver tabela 4) está o detalhe dos vários desperdícios identificados durante o mapeamento.

Tabela 4 Descrição dos Mudanças identificadas durante o VSM

Tipo de Muda	Descrição
1. Inventário	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de produção para <i>stock</i> intermédio • Excesso de WIP entre postos da linha
2. Defeitos	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas com defeitos que são retrabalhadas depois de serem montadas • Peças vêm da injeção com defeitos e inconformidades
3. Movimento de Pessoas	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos dos <i>mizus</i> não estão normalizadas, levando a que sejam os próprios operadores de linha a ir ao armazém fazer reposição • Excesso de movimentos desnecessários durante a montagem
4. Movimento de Material	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-montados longe da linha principal obriga a movimentar material de um local para o outro
5. Pessoas em Espera	<ul style="list-style-type: none"> • Postos mal balanceados, com ritmos de montagem diferentes entre operadores, que resulta que muitos deles estejam à espera dos postos anteriores.

A ferramenta utilizada para estudar as causas raiz foi o diagrama de Ishikawa. Esta ferramenta além de muito simples e visual, é também muito precisa e consegue identificar de uma forma estruturada as causas raiz dos problemas. A realização de um diagrama de Ishikawa pressupõe um problema principal. Neste caso, e em conversações com toda a equipa, decidiu-se analisar as causas raiz do reduzido *Overall Equipment Efficiency* (OEE).

De acordo com Ishikawa (1990), este diagrama permite agrupar todas as possíveis causas de um determinado problema produtivo tradicional em cinco grupos, também conhecidos como os “5M”:

- **Máquina** – todas as causas que envolvem as máquinas que estão a ser operadas, neste caso, as linhas e os equipamentos de montagem existentes na Empresa X.
- **Método** – todas as causas relacionadas com o método de trabalho.
- **Material** – todas as causas relacionadas com material, seja ele Produto acabado ou matéria prima.
- **Mão-de-obra** – causas relacionadas com os operadores.
- **Medida** – todas as causas relacionadas com os instrumentos de medição e a medição em si. Neste caso, a consequência analisada é uma medição de eficiência.

Uma vez realizado o diagrama (ver Figura 11) foi possível retirar algumas conclusões importantes. Resumidamente é possível agrupar as causas em cinco grandes famílias:

- **Falta de Standards** – a falta de *standards* de montagem leva a uma maior variabilidade nos processos e a problemas de qualidade, e a falta de *standards* no *setup*, faz com que este tenha uma duração elevada.
- **Falta de Balanceamento** – Postos não balanceados aumentam o *stock* entre postos, e fazem com que muitos operadores trabalhem a ritmos diferentes, criando períodos de espera e/ou de tensão. Da mesma forma, o facto dos pré-montados trabalharem a um ritmo diferente da linha, aumenta significativamente os níveis de *stock* e/ou paragens da linha por falta de componentes.
- **Bordos de Linha não Otimizados** – Este facto vai resultar numa menor produtividade dos operadores no momento da montagem, uma vez que têm de realizar movimentos mais longos e menos eficientes para montar.
- **Pré-Montados Longe da Linha Principal** – Aumentando o movimento de material na fábrica e o *stock* de pré-montados.
- **Falta de Indicadores** – A falta de um sistema de acompanhamento e de indicadores resulta numa fraca perceção do estado da operação por parte dos responsáveis. Sem um conhecimento factual do estado da operação torna todo o processo de melhoria mais complicado.

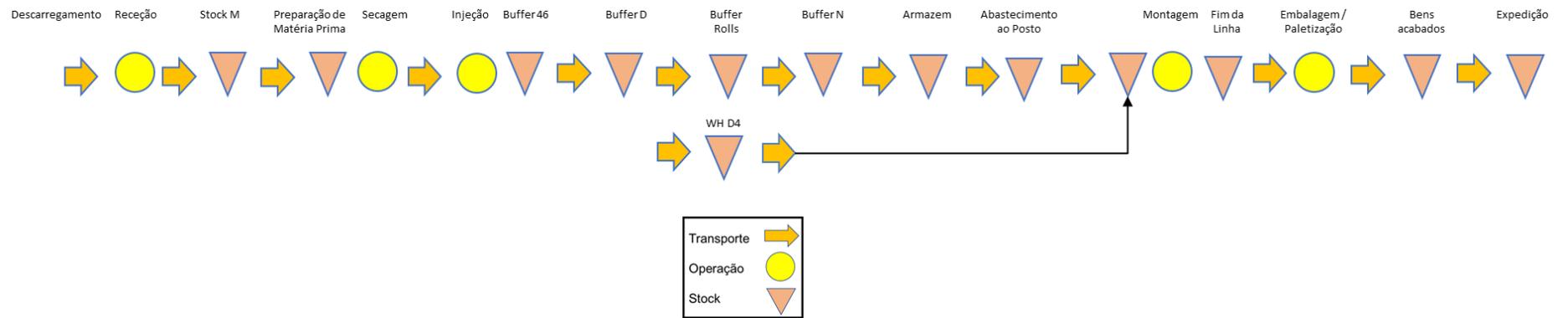


Figura 10 - Mapeamento do fluxo de atividades do chassis, no estado atual da empresa X

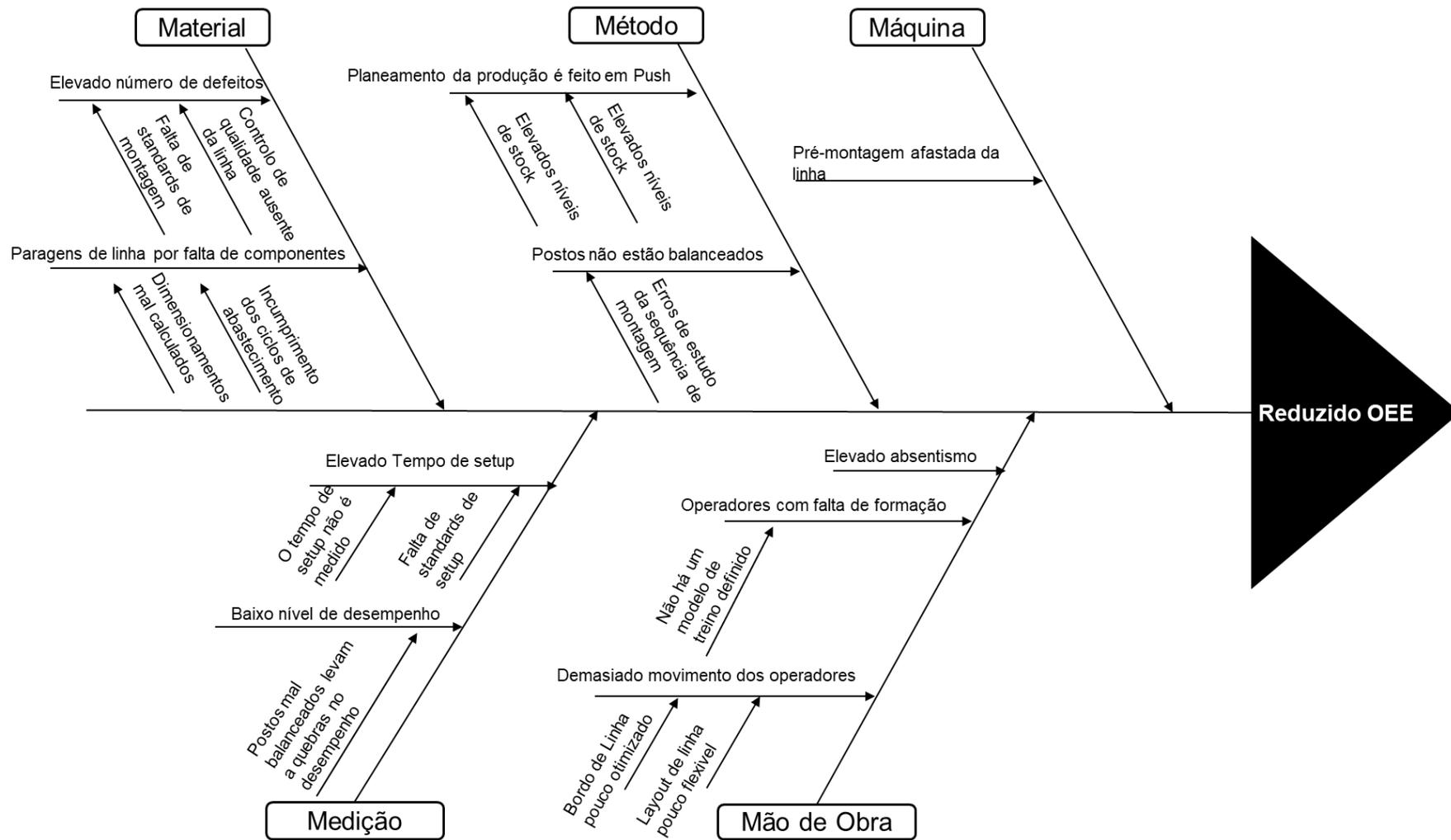


Figura 11 - Diagrama de Ishikawa

3- Mapeamento do estado futuro da Empresa X

Nesta etapa pretende-se identificar a visão futura da nova linha de montagem da Empresa X, em conjunto com a equipa multidisciplinar. O VSM veio levantar uma série de problemas nas operações da Empresa X, e após um estudo mais profundo da origem desses problemas, tornou-se claro qual seria o caminho a seguir para os resolver.

Desta forma, na visão futura dos processos da Empresa X, pretende-se que:

- O layout da linha seja flexível, permita um abastecimento das componentes feito de forma frontal, e facilite a entreaajuda entre operadores.
- *Setup's* curtos e normalizados, onde cada operador conhece o seu papel e garante que no seu posto estão as condições reunidas para mudar de modelo. Além dos operadores também a logística sabe com antecedência que um *setup* vai ocorrer, precavendo-se atempadamente.
- Postos balanceados, evitando operadores folgados e outros em tensão, e reduzindo o WIP entre postos.
- Pré-montados a abastecer diretamente na linha, e a funcionarem com o mesmo tempo de ciclo. Reduzindo *stock* e *Lead-time*.
- *Standards* de montagem em cada posto, que garantam pouca variabilidade entre operadores, qualidade na montagem e cumprimento do tempo de ciclo.
- Bordos de linha otimizados, reduzindo os movimentos dos operadores e garantindo a ergonomia durante a montagem.
- Ciclos de *Mizus* normalizados, e bordos de linha bem dimensionados, garantindo que a linha não é interrompida devido a falta de componentes.
- *Dashboard* de indicadores visual e sempre atualizado.

4.2 RECOLHA DE DADOS: INDICADORES DE DESEMPENHO

Neste capítulo serão apresentados os valores dos indicadores considerados como sendo os mais importantes e representativos do estado atual da linha de montagem. Esta recolha foi feita para os valores de 2019, e serviram de referência para que no final do projeto fossem comparados com os resultados, de forma a avaliar o impacto positivo ou negativo do projeto.

4.2.1 OEE

Tal com explicado no capítulo 3.3.1.5 o OEE é um dos principais indicadores no universo industrial. A sigla OEE significa *Overall Equipment Efficiency*, e tem como objetivo medir a eficiência global de um dado processo. Esta métrica resulta da combinação de três fatores, cada um com um tipo de impacto diferente na eficiência (ou falta dela) num processo: a disponibilidade, o desempenho e a qualidade. O estudo do OEE permite qualquer equipa analisar as principais

causas da falta de eficiência, daí ser uma métrica central de qualquer organização que procure melhorar o seu desempenho.

O intervalo de tempo escolhido para calcular o OEE de referência da linha antiga, foi do ano de 2019, ou seja, do ano anterior ao da nova linha que iria ser contruída. A Empresa X disponibilizou os dados completos de todo o *mix* de produção desse ano, juntamente com os indicadores médios de disponibilidade, qualidade e desempenho de cada dia. O resultado pode ser visto na tabela apresentada de seguida. (ver Tabela 5)

Tabela 5 - Dados OEE de 2019

Indicador	Valor 2019
1. Disponibilidade	86,5%
2. Desempenho	91,0%
3. Qualidade	93,3%
OEE	73,3%

Este valor, como se pode ver pelo gráfico em baixo, tem uma grande volatilidade, existindo muito pouca consistência ao longo das semanas. Na causa destes problemas está a pouca flexibilidade que faz com que, consoante o modelo a produzir, o ritmo possa estar mais alto ou mais baixo. Outra das razões é a elevada duração dos *setups*, que faz com que semanas com um maior *mix* de produção tenham um nível de disponibilidade inferior.

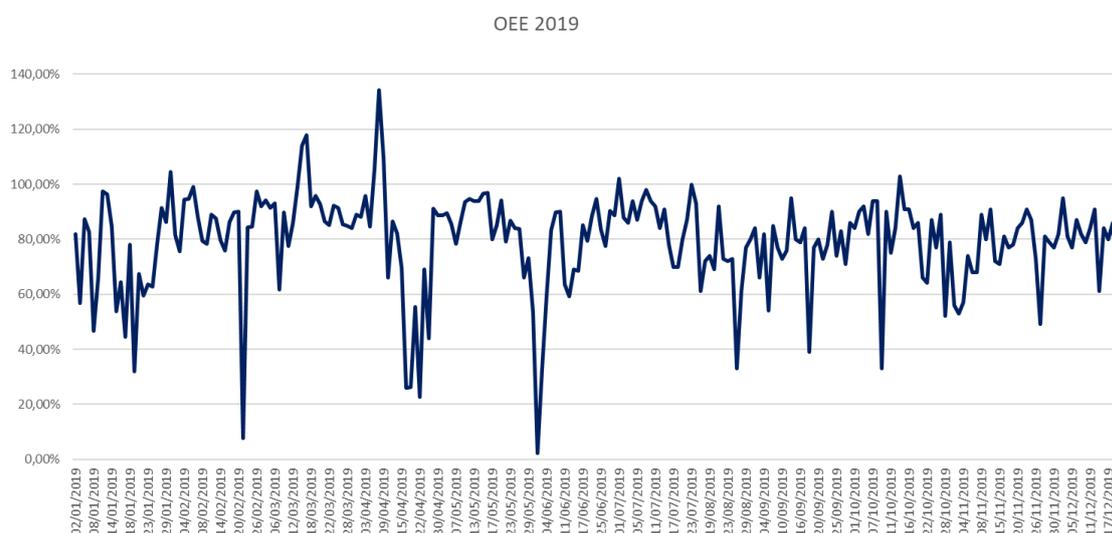


Figura 12 - Evolução do OEE ao longo do ano de 2019

Como se pode verificar pelos dados da tabela, a Disponibilidade é a dimensão com maior impacto no valor do OEE. A disponibilidade está diretamente ligada com a duração dos *setups*, um dos pontos identificados como oportunidade de melhoria durante o VSM, e com as paragens de longa

duração. Estas segundas podem estar relacionadas com vários fatores, como avarias das máquinas ou falta de componentes que obriguem a linha a parar mais que 10min.

O valor do Desempenho surge por diversas razões, como por exemplo postos mal balanceados, obrigando os operadores mais sobrecarregados a parar a linha devido a um elevado número de máquinas acumuladas, a operadores em formação que ainda não conseguem respeitar o tempo de ciclo da linha, ou devido à variabilidade dos postos e à falta de *standards* de montagem.

Por fim a dimensão da Qualidade é a que se apresenta com melhor resultado. Este indicador mede o nível de máquinas produzidas sem defeitos. A qualidade está relacionada com outro indicador utilizado na Empresa X que é o FTQ, ou, *First Time Quality*. Este indicador é calculado através da divisão do número de máquinas produzidas sem defeitos sobre o número total de máquinas produzidas. Várias tarefas da sequência de montagem são de inspeção de qualidade, havendo inclusivamente postos de testes funcionais, elétricos e de fluidos. É extremamente importante garantir a qualidade das máquinas, por isso a exigência e o nível de atenção aos detalhes nestas tarefas é imperativo. Todos os dias as coordenadoras reportam as reparações realizadas e com esta informação é possível perceber quais os tipos de reparações mais comuns, e trabalhar mais arduamente para resolver aqueles cuja relação esforço-impacto é melhor. Na Figura 13 encontram-se o top-10 de reparações do ano de 2019. (ver Figura 13)

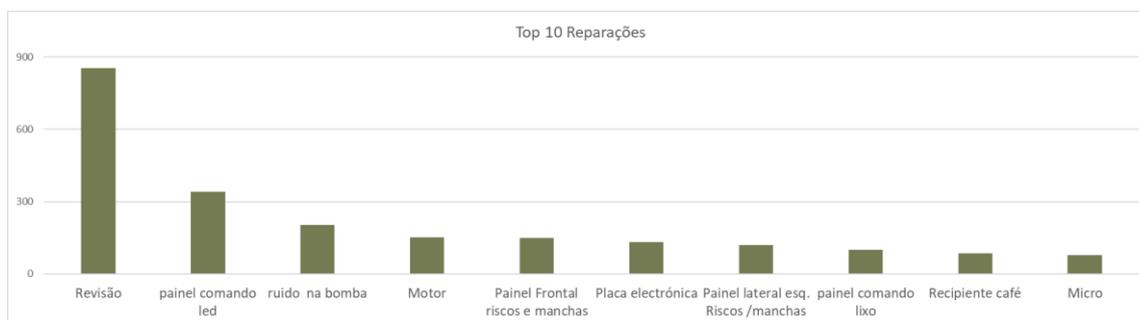


Figura 13 - Top 10 de reparações de 2019

4.2.2 TEMPO DE SETUP

Como visto em capítulos anteriores a duração do *setup* é um dos principais causadores de desperdício de toda a operação. A falta de *standards*, as excessivas deslocaciones e a pouca flexibilidade da linha, causam muita entropia a todo o processo, resultando em longos tempos de paragem cada vez que se troca de modelo.

Um tempo de *setup* elevado obriga a empresa a produzir grandes lotes do mesmo modelo de seguida, tentando com isto mitigar o impacto que as longas paragens têm na operação. Com

esta estratégia os níveis de *stock* aumentam significativamente, e com eles o aumento dos custos logísticos e de armazenamento. Apesar da pouca disponibilidade da linha ser o efeito mais direto dos elevados tempos de *setup*, há uma série de processos (tanto a montante como a jusante) que também são impactados.

Tabela 6 - Dados do setup de 2019

Nº de Setups	Duração Média (min)	Desvio Padrão (min)
85	33	18

No ano de 2019 foram realizados cerca de 85 *setups*, com uma duração média de 33 minutos com um desvio padrão de 18 minutos. O valor do desvio padrão corresponde a aproximadamente 55% da média, o que é bem representativo da enorme variabilidade da duração do *setup*.

4.2.3 PRODUTIVIDADE DA LINHA

Um dos indicadores mais importantes para o projeto é a produtividade. Esta, é medida pelo número de máquinas produzidas a dividir pelo número de operador na linha (ver **Error! Reference source not found.**), e é um indicador muito realista do custo por máquina. Um dos princípios fundamentais de todo o projeto é que os grandes ganhos se encontram na capacidade de fazer o mesmo, mas com menos recursos, ou seja, com maior produtividade.

$$\text{Produtividade da Linha de Montagem} = \frac{\text{Nº de Máquinas Produzidas}}{\text{Nº de Operadores na Linha}} \quad (2)$$

A Produtividade da Linha de Montagem do ano de 2019 foi de 9,7 máquinas/operador, como se pode perceber com maior detalhe na tabela em baixo (ver Tabela 7).

Tabela 7 - Dados da produtividade de 2019

Média Produção Diária	Média Equipa	Produtividade LM3 2019
524,5	54,1	9,7

4.2.4 ÁREA DA LINHA

Outro indicador observado foi a área que a atual linha ocupa. Como estudado no capítulo da revisão bibliográfica, uma das vantagens de uma linha em “U” é o pouco espaço que ocupa. Esta redução do espaço ocupado é uma enorme mais valia para a empresa que, numa perspetiva futura de crescimento, pode querer aumentar a sua capacidade instalada sem ter de construir mais um edifício ou rearranjar todo o espaço da fábrica.

A área instalada atualmente é de 400m².

4.3 ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Assim, tendo todos os dados e informações necessários, segue-se a resolução dos problemas identificados segundo uma determinada estratégia. Para cada problema foi definida uma estratégia de resolução inspirada em vários autores e estudos realizados. Para cada problema a é a seguinte:

1. Agilizar Processo de Análise de Tempos

Num primeiro momento o foco está em treinar a equipa responsável na aplicação KTS. Nesta fase será importante não só explicar detalhadamente as funcionalidades e limitações da aplicação, como também sensibilizar a equipa em relação àquilo que é desperdício (*Muda*) e o que é valor acrescentado.

Depois, já formada a equipa, dar-se-á início à análise dos vídeos de montagem com recurso à aplicação KTS. Será uma fase importante para todo o processo, não só pelo impacto que a análise terá para o desenvolvimento da nova linha, mas também pela importância que tem para o projeto a diminuição da duração desta análise.

Com esta solução vai se procurar acelerar todo o projeto, antecipando de forma significativa o início da produção

2. Desenvolver uma Linha de Montagem Flexível

A metodologia proposta para o desenvolvimento de uma linha de montagem, teve como inspiração os princípios *Lean* e as ferramentas que oferece. Apesar de outras metodologias, consideradas por muitos como válidas, conclui-se que a metodologia *Lean* é que melhor corresponde aos objetivos pretendidos.

- I. **Layout em U-** O layout da linha é um dos pontos centrais do projeto a ser desenvolvido. Como se viu no capítulo 3.3.1.1 este layout tem inúmeras vantagens que respondem a vários dos problemas identificados. A forma como permite a entreaajuda entre os operadores de postos próximos, consegue mitigar um eventual problema no balanceamento da linha. Além disto, o facto de ter um abastecimento frontal, facilita esta tarefa, reduzindo os problemas de falta de componentes e as excessivas deslocações dos operadores quando fazem “autoabastecimento”.
- II. **Redução dos Tempos de Setup** – Um dos principais problemas da linha atual era a duração dos *Set-Ups* que além de estar pouco normalizado, tinha várias ações que podiam ser feitas com a linha em andamento. Aplicando a metodologia SMED, revista no capítulo 3.3.1.4, vai se procurar tornar este *setup* mais curto, de forma a não prejudicar o OEE.
- III. **Standard Work** – Tarefas não normalizadas criam variabilidade, que por sua vez gera falhas de produtividade e problemas de qualidade. Assim, um dos pontos de maior

importância será a criação de instruções de trabalho. Para cada tarefa de montagem, será feito uma norma com um determinado procedimento a seguir. Desta forma, não só se conseguirá uma boa qualidade na montagem, processos ergonômicos e menos variabilidade.

- IV. Balanceamento** – O balanceamento dos postos da linha terá um papel central no principal indicador de produção utilizado nas linhas: o *OEE*. Postos bem balanceados reduzem significativamente o MUDA de pessoas e mercadorias em espera, e aumenta a capacidade produtiva, pois garante que a linha e os seus operadores, anda sempre ao mesmo ritmo. Através do gráfico *Yamazumis* e dos tempos das tarefas calculados no primeiro passo, procurar-se-á balancear a linha da forma mais eficiente possível.

Além destas ferramentas para criação de fluxo na produção, o Planeamento da produção deverá ser em *Pull*. Com este planeamento espera-se que exista uma redução dos níveis de *stock* e de produto semi-acabado.

3. Melhoria Sustentada

Para o terceiro e último problema a estratégia a adotar deverá ser a implementação de três ferramentas *Lean*:

- I. **As reuniões de Kaizen Diário**, para que todas as equipas consigam acompanhar os seus indicadores de forma regular e com isso motivarem-se para melhorar.
- II. **Implementação de 5S na fábrica**: a criação de normas de arrumação e limpeza, não só aumenta a eficiência dos trabalhadores (redução significativa dos tempos de procura e do espaço ocupado) como também os motiva para manter um espaço de trabalho limpo e organizado.
- III. **Ciclo de Melhoria PDCA**: Envolver os colaboradores na dinâmica de melhoria, aumenta a probabilidade de sucesso, uma vez que o grau de compromisso é significativamente superior.

4.4 OBJETIVOS PROPOSTOS

As expetativas do cliente em relação ao projeto são grandes. Na tabela em baixo estão apresentados de forma discriminada todos os objetivos que a equipa do *Kaizen* se comprometeu a atingir e o respetivo valor de referência (de 2019), sendo o principal a produtividade da linha.

Tabela 8 - Resumo dos objetivos

Indicador	Valor referência	Objetivo	Variação
▪ Tempo de Análise de vídeo	40 dias	15 dias	-62,5%
▪ Área Ocupada	400m ²	350	12,5%
▪ OEE	73,3%	85%	11,7pp
▪ Tempo de <i>Setup</i>	33min	90 seg (2 ciclos)	95,5% (31,8min)
▪ Produtividade	9,7	12,6	2,9pp

4.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Através dos *Gemba Walks* e da realização de um VSM, foi possível conhecer os quatro fluxos produtivos da empresa e identificar um grande conjunto de desperdícios. Destes desperdícios, escolheu-se o reduzido OEE da linha de montagem atual como sendo um dos mais críticos e realizou-se um diagrama de Ishikawa para analisar as suas causas raiz. Depois desta análise foi mapeado um estado futuro, em que, através dos princípios estudados no capítulo 3, se iria procurar reduzir ou eliminar os desperdícios identificados. Esta visão futura está assente nos princípios *Lean* e *Kaizen*, onde o foco está no aumento da eficiência e redução do *MUDA*. Numa segunda fase foram levantados os indicadores de desempenho atuais, nomeadamente do dos tempos de análise de vídeo, do OEE, do Tempo de *Setup*, da Produtividade e também da Área da linha de montagem.

Uma vez tendo toda a informação do estado atual (processos e indicadores) foi definida uma estratégia de implementação de melhorias. Esta estratégia está dividida em três grandes grupos, estando o primeiro direcionado para a fase do estudo de tempos e tarefas, onde se irá procurar agilizar este processo através da aplicação KTS, o segundo direcionado para o desenvolvimento da linha de montagem, onde se definiu uma estratégia inspirada nos princípios *Lean* e nas várias ferramentas de desenvolvimento de Linha de montagem e por fim o terceiro grupo direcionado para a sustentabilidade das melhorias.

Como objetivos o KI comprometeu-se com o aumento de 5 indicadores: Tempo de Análise de Vídeo; Área Ocupada; OEE; Tempo de *Setup* e Produtividade.

5 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Neste capítulo pretende-se descrever a implementação de melhorias efetuada na Empresa X. O capítulo é composto por três secções. Na secção 5.1 descreve-se a implementação e treino na aplicação KTS, que viria a desempenhar um papel importante no projeto. Na secção 5.2 são apresentadas todas as etapas do desenvolvimento da linha de montagem. Por fim, na secção 5.3 descreve-se a estratégia implementada para que as melhorias atingidas fossem sustentadas mesmo após o projeto terminar.

5.1 IMPLEMENTAÇÃO E TREINO KTS

Um dos grandes desafios foi capacitar a equipa de Sistemas Industriais dos conhecimentos necessários para que a utilização da ferramenta KTS na análise da sequência de montagem tivesse um impacto realmente significativo. Para isso, foi preparada uma formação com a duração de um dia inteiro, onde o objetivo era não só explicar alguns dos fundamentos teóricos por de trás da ferramenta, mas também, e principalmente, como utilizar as várias especificidades que ela tem. No final, houve espaço para *feedback* e também para discutir entre todos a aplicabilidade no caso do projeto da linha.

Nesta formação, além da equipa de projeto do KI, que estava a dar a formação, estavam presentes três membros da equipa de sistemas industriais e o responsável da produção da fábrica. Os vídeos utilizados durante a formação vinham incluídos no pacote que a aplicação disponibiliza, e mostravam um processo de fabrico de moldes. Apesar dos vídeos utilizados no treino serem de um tipo de indústria diferente da empresa X, foram o suficiente para treinar a equipa.

A formação iniciou-se com uma explicação teórica dos conceitos e fundamentos da aplicação. Foram explicados o significado do tempo de *takt* e a fórmula de cálculo, os conceitos de eficiência e o que são tarefas de *MUDA* ou de valor acrescentado. Uma vez explicados os conceitos base, iniciou-se a parte prática. O treino teve por base a metodologia TWI (*Training Within Industry*). Esta metodologia divide o treino em 4 partes, uma primeira onde é apresentado a área de trabalho à pessoa que está a ser formada (neste caso o ecrã e os vários botões existentes na ferramenta), uma segunda parte em que o formador faz a tarefa e explica os passos chave, uma terceira em que o formado comprova os conhecimentos na presença do formador e uma última parte de acompanhamento em que o formado já é autónomo na realização da tarefa.

A formação foi feita em fluxo, em que se ia treinando tarefa a tarefa do processo de análise, percorrendo, em cada uma, as 4 etapas do TWI. A primeira tarefa foi a análise do vídeo e a sua repartição em atividades. Depois avaliou-se cada uma das atividades como sendo de valor acrescentado ou desperdício. Após esta avaliação procedeu-se ao balanceamento da linha, onde foi calculado um tempo de *takt* (segundo uma procura virtual) e consequentemente o número de postos, e o conjunto de tarefas que cada posto iria ter. Neste último passo, garantindo que o

tempo de *takt* fosse respeitado em todos os postos. Por fim, exportaram-se os valores finais para Excel e analisou-se o resultado obtido.

Finalizado o treino prático, deu-se um espaço para comentários e feedback. A aplicação foi unanimemente considerada como tendo um grande potencial, e em geral toda a equipa estava motivada para iniciar a sua aplicação na análise da montagem da nova linha.

5.2 DESENVOLVIMENTO DA LINHA DE MONTAGEM

Neste capítulo são explicados os vários passos no desenvolvimento da linha de montagem. O principal objetivo do projeto é a construção de uma nova linha para a Empresa X, uma linha flexível, assente nos princípios *Lean* e que consiga atingir resultados excecionais a um baixo custo. O desenvolvimento da linha foi feito em sete etapas. A primeira (capítulo 5.2.1) foi definir o tempo de *takt* e calcular o número de postos necessários para produzir a essa cadência. Após ter o tempo de *takt* e o número de postos, realizou-se um estudo à sequência de montagem e definiu-se um gráfico de *yamazumi* provisório, com o apoio da aplicação KTS (capítulo 5.2.2). Na terceira etapa (capítulo 5.2.3) testou-se e alterou-se, quando necessário, a sequência de montagem em cada posto, num estudo de *mockup*. A quarta etapa (capítulo 5.2.4) consiste na definição do modelo de logística interna, onde se dimensionou o supermercado de componentes. A quinta (5.2.5) e a sexta etapa (5.2.6) foram respetivamente a construção e arranque da linha. Por fim, no capítulo 5.2.7 está descrito a implementação da ferramenta SMED cujo objetivo é reduzir o tempo de *setup*.

5.2.1 CÁLCULO DO TEMPO DE TAKT E DEFINIÇÃO DO Nº DE POSTOS

O primeiro passo no desenvolvimento de uma linha de montagem é calcular o tempo de *Takt*, e será a partir deste valor que todos os passos posteriores se vão reger. Tal como explicado na revisão bibliográfica, um dos desperdícios (ou *MUDAs*) que pior impacto tem no desempenho e custos de uma organização é a sobreprodução. Este desperdício vai desencadear muitos dos outros desperdícios, como o aumento de *stock*, por exemplo. Ao mesmo tempo deve se garantir o nível de serviço, e as encomendas são satisfeitas. Por estas razões, considera-se é de extrema importância garantir que ao definir a cadência da linha, esta está em conformidade com a procura real do produto.

Em reunião com os departamentos de planeamento e comercial, estabeleceu-se um objetivo de produção para 2021 de 110 000 FACM. Além disso, definiu-se e que o horário de trabalho era apenas em dias úteis, num regime de turno único de 7h40 excluindo as pausas e o intervalo de almoço. Este horário corresponde a 27600 segundos. A produção diária da empresa para fazer face à procura é igual à produção anual sobre o número de dias de trabalho previsto para 2021, neste caso de 200 dias, ou seja, 570 FACM por dia.

- Produção Objetivo para 2021= 110 000 un.
- Nº de dias de Trabalho por Ano = 200 (dias úteis)
- Horário de Trabalho = Turno único de 7h40

Isto significa que para conseguir cumprir o objetivo estabelecido, seria necessário produzir em média cerca de 550 máquinas por dia, com um tempo de abertura de 7h30 que correspondem a 27600 segundos de tempo de produção, ou tempo de abertura. Com esta informação estão as condições todas reunidas para se calcular o tempo de *takt*. Através da fórmula de proposta por Lam (2016) calculou-se um tempo de *takt* de 50 segundos.

$$\text{Tempo de Takt} = \frac{\text{Tempo de Abertura}}{\text{Produção diária necessária para fazer face à procura}} \quad (3)$$

Este valor irá determinar a cadência da linha, ou seja, de quanto em quanto tempo se deve estar a acabar de montar uma máquina, para que a procura seja satisfeita. Como explicado no capítulo 3.3.1.2, o balanceamento da linha deve ter sempre em consideração as ineficiências associadas. Seria imprudente balancear os postos para um tempo de ciclo de 50 segundos, uma vez que isso obrigava a linha a funcionar com uma eficiência de 100%, uma meta difícil de se atingir. Desta forma estabeleceu-se um OEE objetivo de 85%, que representa um tempo de ciclo de 43 segundos.

O próximo passo é definir o número de postos a ter na linha. A forma mais direta de calcular o número de postos é através da divisão entre a duração total da sequência de montagem e o tempo de ciclo. Este cálculo foi feito para os dois modelos de forma separada uma vez que, tal como já foi dito, apesar de semelhantes têm uma sequência de montagem diferente, pelo que deve ser feito um planeamento dos postos diferente para cada. As grandes diferenças entre os modelos estão na estrutura e na parte exterior da máquina, sendo que o funcionamento interno é bastante semelhante entre eles. De forma a garantir que na mudança de modelo a linha mudava o menos possível as tarefas com maior variação entre modelos, foram transferidas para linhas de pré-montagem. Graças a esta estratégia conseguiu-se garantir alguma consistência dentro da linha principal.

O primeiro modelo a ser analisado foi aquele cuja quantidade de produção prevista será maior. Após um estudo rápido da sequência de montagem, chegou-se a um valor total de tempo de montagem de 22 minutos, correspondente a 1320 segundos. Este tempo não inclui processos de pré-montagem, que, apesar de fazerem parte do processo de montagem, foram retirados da linha principal. Dentro dos 22 minutos, existiam tarefas cujo tempo de execução excedia o tempo de ciclo. Estas tarefas são os testes funcionais, que, sendo realizados em máquinas com programas específicos, não podiam ser encurtados ou divididos entre postos. A solução passou por duplicar o número de postos de teste, evitando a criação de postos de estrangulamento superiores ao tempo de ciclo. No final o número de postos estabelecido foi de 31, dos quais 7 são para testes funcionais e de fluidos.

Para o segundo modelo o processo foi semelhante. Os postos dentro da linha passaram de 31 para 30, mas o número de postos em pré-montagem é de 13.

5.2.2 BALANCEAMENTO DE POSTOS E YAMAZUMI INICIAL – KTS

Uma vez formados, os colaboradores responsáveis pela análise e tratamento de vídeos estavam prontos para iniciar a análise ao processo de montagem através da aplicação KTS. Este processo é importante no desenvolvimento da linha, pois é quando se listam todas as tarefas da montagem, e os seus tempos. A implementação da ferramenta KTS na operação, revelou-se verdadeiramente disruptiva, pois possibilitou realizar uma análise com o mesmo nível de detalhe, mas de uma forma significativamente mais rápida.

Passo 1: Filmagem da Sequência de Montagem

O primeiro passo foi filmar o processo de montagem completo. Estas filmagens foram realizadas na linha 3, pois era aquela cuja nova linha iria substituir. Foram feitas várias filmagens para o mesmo posto, para desta forma se identificar as tarefas mais críticas, cuja variabilidade era maior. Uma vez que a linha produzia 2 modelos diferentes teve de se filmar cada posto as mesmas duas vezes. A linha 3 ainda tinha várias ineficiências, por essa razão muitas técnicas de montagem estavam pouco otimizadas, e o próprio bordo de linha não permitia que se realizassem movimentos mais eficientes.

Passo 2: Análise da Sequência de Montagem através do KTS

Através de cliques com o rato sobre o vídeo separou-se o processo de montagem em todas as tarefas. A especificidade de reduzir a velocidade do vídeo, foi bastante útil para se conseguir um nível de rigor mais elevado. Foi nesta fase que se analisou tarefas de valor acrescentado e tarefas de desperdício. Para as segundas tentou-se encontrar soluções de melhoria, que reduzissem o tempo da tarefa ou até mesmo que o eliminassem. Tal como mencionado no capítulo 2, a aplicação torna o processo de análise de desperdício mais rápido, de uma forma muito interativa, através de cliques no botão do lado direito do rato. No final ficam listadas todas as tarefas, com o tempo real e o tempo útil (valor acrescentado) das duas medições realizadas e a categoria de cada tarefa. (Figura 14). A sequência de montagem de um único modelo de máquinas de café é composto por mais de 250 tarefas, representativo da exigência deste trabalho de análise.

É importante referir que estes tempos são teóricos, e por mais próximos que possam estar da realidade podem não representar na totalidade os tempos verdadeiros. Isto acontece por várias razões já mencionadas no capítulo 4, como a falta de *standards* ou bordos de linha pouco otimizados. Por esta razão todos os postos devem ser validados na fase de *mockup*.

View 1 ▾			Element							
No.	Element Name	Category1								
			1	2	3	4	5	6	7	8
7	Fixar válvula	Regular work	3.80	5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Aperitar parafuso 2	Regular work	7.07	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Virar Chassis	Prepare/cleanup	1.36	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Colocar anilhas 1	Regular work	7.64	10.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Colocar anilhas 2	Regular work	5.27	4.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Passar Pré-montado 1	Waste	1.26	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Trocar caixa vazia por caixa cheia	Waste	21.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Buscar Tampa Superior	Waste	3.83	12.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Colocar Botões	Regular work	10.17	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Colocar Componente 2	Regular work	9.74	14.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Colocar Etiqueta	Regular work	7.17	6.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	Virar Tampa Superior	Prepare/cleanup	0.96	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total		134.96	126.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 14 - Lista de Tarefas da Sequência de Montagem

Passo 3: Criação do Gráfico de Processo

Analisada a sequência de montagem, segue-se a criação do Gráfico de Processo. Neste gráfico, além de mostrar de uma forma visual toda a sequência de montagem, também se detalham as componentes utilizadas. Ou seja, para cada tarefa, deve definir-se, de uma forma clara, todos as componentes necessárias para a sua execução. Cada componente terá associado um fator de integração, que representa a quantidade da componente por máquina. (Ex: na tarefa 3, são necessários 3 parafusos tipo A para montar a tampa superior. O fator de integração dos parafusos tipo A é de 3).

Ao criar o gráfico de processo, identificam-se as precedências na sequência de montagem, ou seja, todas as tarefas que devem obrigatoriamente preceder uma outra. Esta identificação será decisiva para fases futuras, mais precisamente na definição dos postos de montagem, onde se deve garantir coerência na sequência.

Passo 4: Balanceamento dos Postos e Gráfico Yamazumi

Através do cálculo do Tempo de Ciclo, definiu-se o número de postos. Cada posto é caracterizado por ter uma sequência de tarefas, com uma determinada duração, que se pode denominar por tempo de ciclo do posto. Idealmente cada posto teria exatamente o mesmo tempo de ciclo que o tempo de ciclo da linha, para não só estarem todos os postos perfeitamente balanceados, mas também porque se garantia a cadência de máquinas pretendida. Isto iria resultar numa redução dos níveis de *stock* e aumento da eficiência global da fábrica. Apesar do esforço para encontrar o balanceamento ideal é muito difícil, se não mesmo impossível, garantir que todos os postos têm o mesmo tempo de ciclo

A aplicação KTS tem uma funcionalidade para balanceamento de postos. Basta introduzir o tempo de ciclo e o nº de postos, que automaticamente é criado um gráfico de barras, com uma barra por cada posto. O passo seguinte é ir distribuindo as tarefas pelos postos. É um processo difícil e minucioso pois deve-se garantir o cumprimento das precedências entre tarefas e o tempo de ciclo máximo. Uma das principais limitações da aplicação KTS é a impossibilidade de definir

precedências, o que traz uma enorme complexidade ao balanceamento dos postos. Deve-se por isso ter uma atenção redobrada ao transferir tarefas entre os postos.

Na Figura 15, é possível ver o resultado do balanceamento. Dos 37 postos da linha principal (excluindo os pré-montados) apenas 10 postos ficaram com um tempo de ciclo superior aos 45 segundos estabelecidos. Para estes postos deve-se dar uma atenção especial, e procurar formas de otimizar as tarefas que lhe foram atribuídas. O próprio fator humano e o treino dado aos colaboradores destes postos são decisivos.

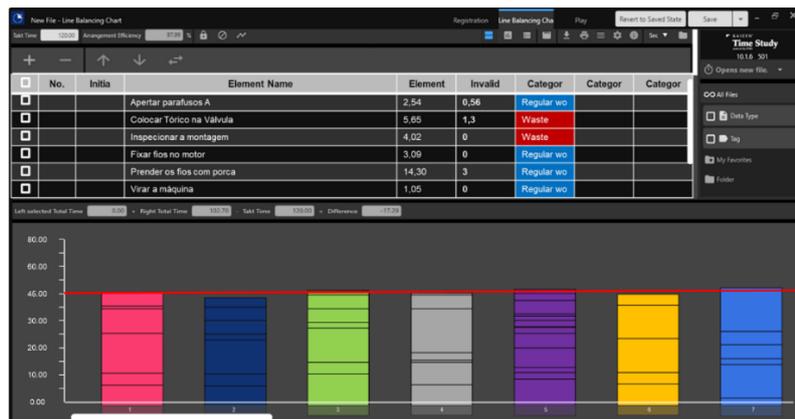


Figura 15 - Gráfico Yamazumi na Aplicação KTS

Todo este processo é feito de forma iterativa, quer isto dizer que ao longo do desenvolvimento da linha é bastante comum ajustar os tempos das tarefas, os postos e a própria sequência. Principalmente durante a fase de *mockup*, é comum rebalancear e redefinir os postos de trabalho. Isto significa que não se deve olhar para o trabalho feito de forma imperativa, tentando forçar um cumprimento do mesmo, mas antes tentar perceber junto dos operadores e dos próprios resultados se a análise feita inicialmente é a mais indicada.

5.2.3 MOCKUP

Uma das fases mais importantes de todo o processo de *line design* é a fase de *mockup*. É nesta fase em que todo o estudo realizado anteriormente é testado e validado. Na fase de *mockup* deve ser definido a sequência final da montagem e o aspeto geral que cada posto deve ter, ou seja, todas as ferramentas necessárias, as várias bancadas que vão suportar as caixas de componentes e o bordo de linha. Devem estar envolvidos nesta fase, além da equipa de projeto, uma operadora da linha, membros da manutenção e, sempre que possível, algum responsável da segurança e higiene do trabalho para garantir a ergonomia dos processos.

A fase de *mockup* foi dividida em duas etapas, uma primeira de preparação e construção de uma réplica da linha, e uma segunda de testes à sequência de montagem.

1. Preparação e construção da réplica da linha

Esta fase tem como objetivo validar toda a sequência de montagem. Esta validação deve ser o mais rigorosa possível, pois uma vez construído o posto e iniciados os processos de montagem,

fica muito complicado de fazer grandes alterações aos mesmos. Naturalmente que podem surgir alterações, mas torna-se mais complicado realizá-las numa fase em que a linha já foi contruída. Por esta mesma razão deve-se procurar recriar exatamente as mesmas condições da linha, de forma a que os resultados que saírem desta fase sejam o mais próximo possível da realidade.

Assim, o primeiro momento é construir uma réplica da linha, com o mesmo material, as mesmas estantes e a mesma passadeira rolante que irão dar forma à futura linha. A estrutura da réplica, tal como da futura linha, é feita em *trilogic* um material que permite ser ajustada facilmente. Esta réplica foi contruída nas instalações da equipa responsável pelo desenvolvimento da linha, o GSI. (ver

Figura 16)

Figura 16 - Réplica da Linha de Montagem utilizada na mockup

Figura 16 - Réplica da Linha de Montagem utilizada na mockup



Figura 16 - Réplica da Linha de Montagem utilizada na mockup

2. Validação dos Postos e da Sequência de Montagem

A fase seguinte consiste em, de uma forma iterativa, testar, alterar e validar a sequência de montagem e definir posições das componentes no bordo de linha. Apesar dos valores medidos durante a fase de estudo da sequência de montagem serem muito úteis na definição do número de postos, tempos de ciclo, etc, não 100% fiáveis pelo que se tem sempre de realizar esta validação. Além deste último fator, toda a definição do bordo de linha também é fundamental para se conseguir otimizar ao máximo os movimentos dos operadores e garantir a ergonomia dos processos.

A operadora escolhida para testar a sequência era experiente pois o objetivo está em definir a sequência para o estado futuro e não para o arranque, onde a variabilidade e os problemas são maiores. Apesar da grande maioria das futuras operadoras da linha serem novas, define-se sempre para o objetivo.

O processo foi realizado posto a posto. Para cada posto testou-se a sequência de montagem estabelecida nas fases anteriores. Num primeiro momento o foco está em observar os

movimentos realizados pelo operador e procurar identificar ineficiências nos seus movimentos. Depois de identificar as ineficiências nos movimentos, arranjam-se soluções que os otimizem, como alterar as técnicas de montagem ou tornar o bordo de linha mais otimizado. Depois de se otimizar o bordo de linha e os movimentos, poderiam surgir três hipóteses:

- 1- A primeira hipótese é o posto estar com **um tempo de ciclo dentro do esperado**, ou seja, entre os 43 e 50 segundos (aceitaram-se postos com tempos até aos 50 segundos pois, apesar da experiência da operadora, a sequência era nova e ainda se podia considerar um período de aprendizagem que iria reduzir esta duração). Neste caso dar-se-ia o posto válido e iniciava-se o seguinte;
- 2- A segunda hipótese é o **posto estar com um tempo de ciclo inferior** a 43 segundos, o que significa que iria existir um posto com folga a ser subaproveitado. Para estes casos, procurou-se identificar em postos seguintes, tarefas com possibilidade de serem transferidas.
- 3- A última hipótese é a **duração estar acima do tempo de ciclo pretendido**. Neste caso devia-se transferir ou trocar tarefas com outros postos de forma a garantir o balanceamento. Nesta fase foi importante garantir que ao transferir tarefas entre os postos não se comprometiam as regras de precedências das tarefas.

Mesmo quando o posto ficava com um tempo de ciclo dentro do pretendido, não se podia dar logo o posto como fechado. As transferências poderiam também acontecer entre postos anteriores, em que o estudo e a validação já tinham sido feitos. Por esta razão não se podia dar como fechado o posto mal a sua sequência era validada, pois a este poderiam ser-lhe acrescentadas/retiradas tarefas. Nestes casos, o posto devia ser novamente testado, garantindo que a nova sequência não comprometia o tempo de ciclo. A estratégia adotada foi dar os postos como fechados após 5 postos à sua frente estarem com um tempo de ciclo dentro do esperado. A partir deste momento o posto era dado como indisponível para a transferência de tarefas da sequência de montagem, e seu o plano era enviado para a área da manutenção que iniciava a construção. No final de cada validação a equipa de projeto atualizava a base de dados da linha e tirava fotografias ao bordo de linha, para registar as posições de cada componente. Este processo foi feito para os dois modelos que a linha viria a montar.

5.2.4 LOGÍSTICA INTERNA: DIMENSIONAMENTO DO BOL

O próximo passo consiste na preparação e dimensionamento do bordo de linha. O bordo de linha é o espaço existente para as caixas de materiais que se encontram junto à linha de produção, que são necessários para que os operadores possam realizar o seu trabalho. Cada posto deve ter o seu bordo de linha com todos os materiais e ferramentas necessárias para realizar a sequência do posto. Este espaço, tal como explicado no capítulo 3, surge numa perspetiva de maximizar a eficiência das tarefas de montagem, ou seja, de valor acrescentado. De forma a operação ser o mais eficiente possível, o bordo de linha deve estar otimizado, de forma a reduzir ao máximo os movimentos do operador.

O papel do operador é realizar o processo de montagem, e toda a operação, tanto a montante como a jusante, deve estar direcionada para este momento. Por esta razão, tudo o que são operações extra montagem, devem ser externalizadas e nunca realizadas pelos operadores. Naturalmente que o bordo de linha exige uma gestão. O espaço não é infinito, e as caixas de componentes não vem diretamente dos fornecedores da mesma forma que será posteriormente arrumada no bordo de linha. Isto exige não só uma atividade de reposição do bordo de linha, ou seja, garantir o contínuo abastecimento da linha, como também exige uma atividade de *repacking*. A primeira para garantir que a linha nunca para por falta de material e a segunda para que o embalamento do material vem no formato e na quantidade correta segundo as condições do bordo de linha. Tal como já foi dito, o papel do operador deve ser apenas de montagem, externalizando todas as outras tarefas que não acrescentam valor.

Gestão do *Repacking*

O momento do *repacking* acontece entre o fornecedor e a linha de montagem. O bordo de linha deve estar totalmente otimizado, para que os operadores desperdicem o menor tempo possível a fazer o *picking* das componentes. Muitas vezes este fator exige que as componentes venham para a linha com um tipo de embalamento diferente daquele com que vêm do fornecedor. O facto do maior fornecedor da linha de montagem ser a área de injeção da própria empresa, ou seja, ser um fornecedor interno, reduz bastante o trabalho de *repacking*. Esta realidade permite que as áreas comuniquem entre elas, e as componentes vêm diretamente da injeção no formato pretendido pela montagem. Apesar deste último fator, ainda há algumas componentes que têm de ser retrabalhadas antes de entrar na linha, obrigando a este tal trabalho de *repacking*.

Gestão da Reposição

As componentes vêm todas em caixas, que podem ser maiores ou menores consoante a componente e o formato da caixa. A quantidade de cada componente por caixa é limitada, obrigando a de X em X tempo, conforme a quantidade, seja repostas. Quando uma componente acaba, é da responsabilidade do operador de a arrumar no local da reposição, uma prateleira junto ao seu posto. Estas caixas são de seguida recolhidas e posteriormente repostas. Esta reposição é realizada por meio de um comboio logístico, que no vocabulário *Lean* se denomina por *Mizusumachi*, ou apenas *Mizu*. O *mizu* opera entre o supermercado de componentes e a linha de montagem, e é o responsável pela recolha das caixas vazias e reposição das caixas com componentes. As caixas funcionam como *Kanbans*, e assim que uma fica vazia despoleta uma ordem de reposição. O seu ciclo começa no primeiro posto e vai percorrendo toda a linha, simultaneamente recolhendo as caixas vazias (guardadas na zona de reposição, prontas para serem recolhidas) e repondo todas as componentes recolhidas no ciclo anterior. De seguida segue para o supermercado para fazer a reposição de todas as componentes cuja caixa retirou das zonas de reposição dos postos. Cada caixa contém a informação sobre a componente em falta, por isso assim que o *mizu* chega ao supermercado sabe exatamente a que caixas tem de ir buscar e repor na linha. Depois de ter recolhido todas as componentes necessárias, volta para a linha e inicia novamente o ciclo.

A duração do ciclo do mizu é de 20 minutos, o que significa que a duração entre recolher uma caixa e repô-la demora aproximadamente essa duração. Isto significa que se tem de garantir que a quantidade de cada componente em linha deve ter uma autonomia suficiente para aguentar o tempo de ciclo do mizu. O dimensionamento do número de caixas de uma componente no bordo de linha deve ser feito tendo em conta o pior cenário possível, ou seja, para um cenário em que o mizu passa pelo posto no instante imediatamente anterior ao fim de uma caixa. Neste contexto, a caixa só seria recolhida pelo mizu no próximo ciclo e reposta passados apenas 2 ciclos, ou seja, 40 minutos. Por esta razão estabeleceu-se uma métrica segundo a seguinte fórmula:

$$\# \text{ de Caixas no BOL} = \text{Consumo de caixa num ciclo} * 2 + 1 \text{ caixa de segurança} \quad (4)$$

O valor final deve ser sempre arredondado para cima. Com esta fórmula garante-se que cada componente tem autonomia para 2 ciclos do mizu (no pior cenário possível) e ainda fica com mais uma unidade de margem caso o mizu exceda o tempo de ciclo (o tempo de ciclo é uma média, é bastante comum ter ciclos mais complicados e morosos que outros). O consumo de uma caixa por ciclo é calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Consumo de caixa num ciclo} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de unidades de componente por caixa}}{\text{N}^\circ \text{ de FACM produzidas num ciclo} * \text{Fator de integração}^{10}} \quad (5)$$

Num exemplo mais prático: Pretende-se calcular o número de caixas a posicionar no bordo de linha de uma componente com um fator de integração de 2 e arrumada em lotes de 200 unidades por caixa. O tempo de ciclo da linha estabelece-se nos 45 segundos, o que significa que em 20 minutos (tempo de ciclo do mizu) são produzidas 26,67 máquinas. Esta caixa tem assim um consumo num ciclo de 0,94 caixas e uma quantidade de caixas no bordo de linha de 3.

De forma a facilitar o trabalho do mizu, e garantir que este sabe sempre o local da reposição na linha e do reabastecimento no supermercado, criaram-se etiquetas para cada componente com essa informação. Deste modo o trabalho do mizu era mais eficiente.

Pode acontecer uma determinada componente necessitar de uma quantidade de caixas em bordo de linha superior à ao espaço disponível. Nestes casos o mizu anda sempre com uma caixa da componente no carro, garantindo que de 20 em 20 minutos há sempre reposição.

5.2.5 CONSTRUÇÃO DA LINHA

Após a fase de *mockup* e dimensionamento do BOL, ficam reunidas as condições para se iniciar a construção da linha. As duas fases anteriores são decisivas e é importante que sejam tratadas com o rigor que se lhe pede, uma vez que a linha, uma vez construída, é mais difícil e dispendiosa de se alterar.

Antes de se construir “fisicamente” a linha, faz-se o desenho 3D num software próprio para este tipo de infraestruturas. Este desenho é feito segundo os parâmetros calculados nas fases anteriores, ou seja, o posto e o local das componentes deve ser aquele que, durante a fase de

¹⁰ Fator de Integração corresponde ao número de unidades de uma componente por máquina montada

mock, se conclui ser o mais eficiente. Enquanto que as dimensões das prateleiras onde são colocadas as caixas de componentes, são fornecidas através da análise realizada na fase anterior, de estudo do BOL.

O *design* deve ser rigoroso em todos os aspetos, uma vez que serão as medidas do programa que vão ditar as dimensões das peças que irão dar corpo à linha de montagem. É um processo moroso e exigente, uma vez que a linha tem aproximadamente 50 postos de montagem, e cada um deve ser tratado ao detalhe. Além das dimensões do bordo de linha, também se deve desenhar os equipamentos e suportes de moles, bem como as zonas de retorno.

Também os testes têm de ser desenhados e programados. Tal como foi explicado no capítulo 4 são necessários realizar dois testes às máquinas, de forma a garantir que não há nenhum problema com o seu funcionamento. Os testes são feitos na linha principal, entre os postos 20 e 28. Uma vez que o tempo dos testes é superior ao tempo de *takt*, foi necessário multiplicá-los, de forma a não criar um estrangulamento. Esta zona de testes traz alguma complexidade em termos de programação, pois deve-se garantir que as máquinas não embatem umas com as outras à medida que vão entrando e saindo. Deve-se garantir que uma máquina só pode entrar quando outra sair.

Os desenhos e o detalhe de cada posto são enviados à equipa de engenharia, que os irá fabricar. O material utilizado é o *trilogiq*, conhecido pela sua flexibilidade e robustez. Toda a fase de montagem foi feita com a equipa de engenharia interna que graças à experiência das linhas passadas, estavam bastante habituados a trabalhar com este tipo de material. A montagem foi feita posto a posto, onde só se iniciava a construção do posto seguinte quando o primeiro já estava construído, testado e validado. Desta forma evitava-se retrabalho e tornou todo o processo de construção da linha mais eficiente. O processo de montagem da linha demorou cerca de 4 semanas até todos os postos estarem construídos e operacionais. No final era possível ter um esqueleto da futura linha de montagem, faltando apenas instalar as zonas de testes, o sistema de reinserção de carros na linha e os sistemas elétricos e motores da linha.

Os testes foram montados com apoio da equipa de engenharia e de IT, devido à importante componente tecnológica. Além da construção da zona de testes é necessário instalar uma zona de reparação (ver Figura 18) Figura 18 Zona de reparação, caso os equipamentos não sejam aprovados nos testes e seja preciso avaliar e corrigir eventuais defeitos. É necessário programar os dois casos, em que o equipamento está conforme e pode seguir para o próximo posto, e outro em que necessita de ser avaliado e reparado, sendo neste caso encaminhado para a zona correspondente.



Figura 17 Zona de testes



Figura 18 Zona de reparação

5.2.6 ARRANQUE E ACOMPANHAMENTO DA LINHA

5.2.6.1 Sistema de controlo e monitorização

Um dos pontos chave no arranque de qualquer projeto é criar um sistema de controlo e monitorização. “Não Podemos melhorar aquilo que não controlamos. Não Podemos controlar aquilo que não medimos. Não podemos medir aquilo que não conseguimos definir” (Thompson 1902). O sistema de controlo foi implementado através da criação de um quadro físico, instalado nas imediações da linha, para que todos os operadores e coordenadores o pudessem ver. Neste quadro constavam indicadores, os objetivos e um plano de ações, e era analisado todos os dias. Nesta reunião estavam presentes, além dos elementos do KI, a chefe de linha, a responsável pela logística interna, membros da equipa de sistemas industriais (GSI) e representantes da manutenção e qualidade.



Figura 19 Quadro da reunião de acompanhamento do projeto

Para criar um sistema de controlo eficaz, a chave está em conseguir arranjar e calcular os indicadores corretos. É importante garantir que aquilo que se está a medir representa de uma forma correta o estado real da linha. O principal indicador é o nível de eficiência da Linha, ou seja, o OEE, pois transmite o nível de desempenho da linha (se está a produzir na sua máxima capacidade), a qualidade da produção (se existem máquinas defeituosas) e a disponibilidade da linha (se se está a perder muito tempo em paragens ou *setups*).

Numa fase de arranque é importante ajustar os objetivos de produção diária à maturidade dos operadores e dos processos. Uma linha totalmente nova acarreta enormes desafios em relação à operação de montagem, uma vez que os operadores têm de assimilar a sequência do seu posto e as técnicas de montagem para as diferentes ferramentas. Além disso o próprio balanceamento da linha pode não estar totalmente otimizado e o Bordo de Linha tem de ser ajustado várias vezes. Também os processos logísticos têm uma fase de maturação, os ciclos de reposição, numa fase inicial, são difíceis de cumprir. Para se conseguir acompanhar a maturidade da linha, e perceber se o desempenho esperado está acima ou abaixo do desejado, outro dos indicadores presentes no quadro é um gráfico com os valores esperados vs reais. Os valores esperados foram definidos juntamente com o diretor de produção, e tiveram como base a curva de evolução das outras linhas da fábrica.

É comum numa fase inicial, que os erros de montagem surjam com maior frequência, e que o número de máquinas defeituosas seja maior. A envolvimento da área de qualidade, numa fase inicial, é, portanto, um fator decisivo.

5.2.6.2 Treino dos Operadores

No momento de arranque da linha, é necessário treinar os operadores a sequência de montagem. O treino dos operadores foi inspirado no método TWI, desenvolvido no capítulo 3. O primeiro passo foi desenvolver os cartões que iriam acompanhar os coordenadores da linha, e forma-los na metodologia TWI. Os cartões, apresentados na Figura 20 em baixo, são compostos por dois lados, um de preparação e outro de treino, e servem de base para todo o processo. Uma vez criados os cartões, deve-se formar as operadoras na metodologia proposta.

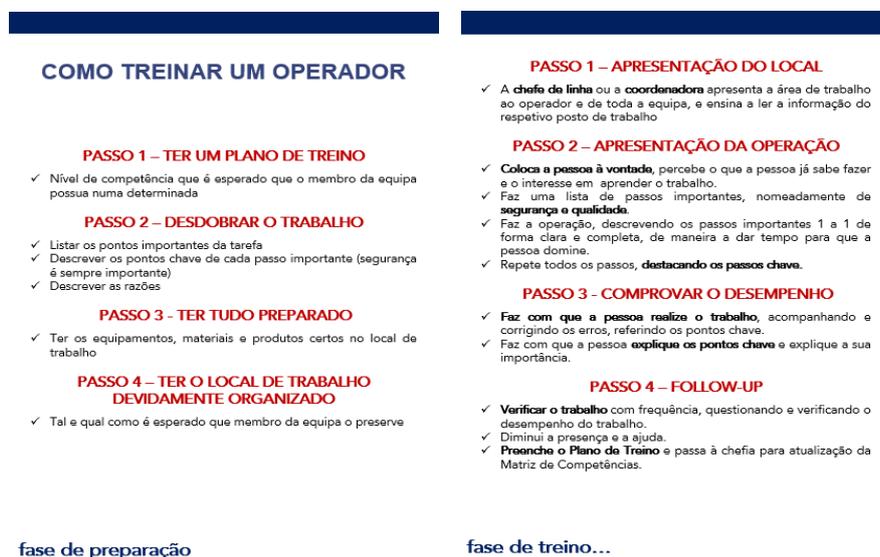


Figura 20 Modelo de treino dos operadores, inspirado no modelo TWI

É importante garantir que ao longo da fase de treino as coordenadoras respeitam o processo. Um dos erros típicos de um processo de treino acontece quando as coordenadoras se instalam num determinado posto em que a operadora está em maiores dificuldades e realizam parte da sua montagem, de forma a garantir que o ritmo da linha não é afetado. Este comportamento,

apesar de garantir um melhor nível de produção no imediato, pode trazer problemas maiores para a posterioridade, pois desta forma o operador nunca irá aprender na totalidade a sequência de montagem do posto. Além disso, o facto da coordenadora estar a realizar parte da montagem não permite à equipa de projeto avaliar possíveis desvios no balanceamento dos postos.

5.2.6.3 Ajustes e Alterações aos Postos de Montagem

No arranque de uma linha de montagem é bastante comum realizar ajustes aos postos de trabalho. Apesar do balanceamento definido durante a fase de *mockup* representar uma aproximação da realidade, nalguns casos podem existir desvios. É importante, durante esta fase, garantir uma presença assídua na linha de montagem por parte da equipa de projeto. Tal como explicado anteriormente o arranque de uma linha de montagem tem um período de maturação. Não se pretende que no início a linha produza máquinas à cadência máxima, ou seja, ao tempo de ciclo definido de 45 segundos. Naturalmente, a velocidade deve ser menor, para que exista tempo para os operadores assimilarem a sequência e habituarem-se às ferramentas. O retrabalho, devido a erros de montagem, são mais regulares, o que exige um trabalho extra ao posto de reparação.

O gráfico apresentado de seguida, mostra a evolução da produção (esperado vs real).(ver Figura 21) Como se pode ver é uma evolução lenta, foram necessários 7 semanas de produção até o nível ultrapassar a barreira das 500 máquinas.

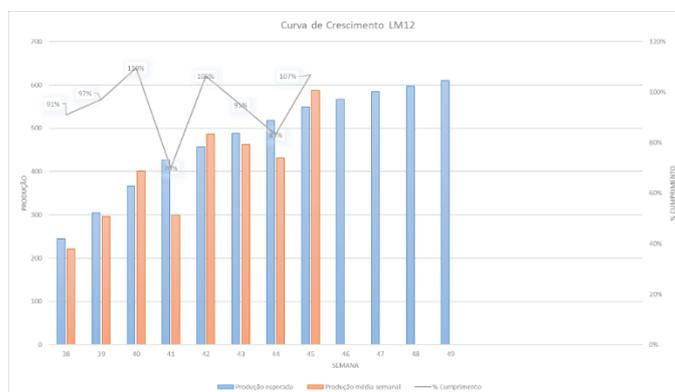


Figura 21 - Evolução da produção

Ao longo desta fase, é muito importante garantir que todos os postos estão bem balanceados. De forma a controlar a evolução e identificar os postos com maior ou menor carga, foi desenvolvido um sistema de auditorias de postos. Este sistema consistia num formulário, onde além de constarem várias perguntas sobre o bordo de linha (se estava otimizado ou não) e ergonomia, também se devia introduzir três medições do tempo de montagem do posto. Este formulário estava ligado a um ficheiro *excel*, que alimentava um *dashboard* com indicadores que era atualizado cada vez que se submetia um novo formulário. Neste *dashboard*, como se pode ver pela Figura 22, facilmente se percebia quais os postos a causar maior constrangimento à linha, e quais aqueles com capacidade para acumular algumas das tarefas dos primeiros. As auditorias eram feitas tanto aos postos da linha principal, como aos pré-montados. Ao contrário

do indicador do quadro de reunião diária, onde apenas indicava o OEE do dia, este dashboard tinha o detalhe de cada posto.

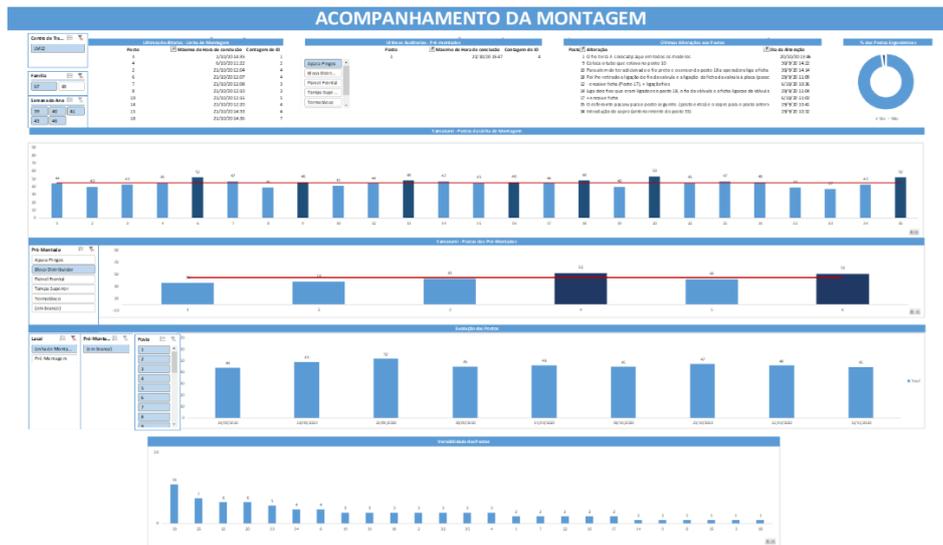


Figura 22 - Dashboard de controlo e acompanhamento da linha

O passo seguinte, após estudar os resultados das auditorias, é ir para a linha e avaliar as alterações. Deve-se primeiro garantir que a troca de tarefas entre postos não compromete a sequência, isto é, respeita as precedências das tarefas. Um dos pontos chave de todo este passo foi envolver, em cada alteração, a chefe de linha e os responsáveis pelo desenvolvimento da linha. Uma vez validada a alteração, atualizava-se a folha do *Standard Work* de cada posto, com/sem, a tarefa adicionada/retirada. (ver Figura 23)



Figura 23 – Alterações ao Standard Work de um Posto

O acompanhamento dos postos foi uma tarefa realizada diariamente, e há medida que o tempo de ciclo ia diminuindo novos problemas iam surgindo onde era necessária uma nova intervenção.

5.2.7 SMED

Um dos principais desperdícios identificados no VSA foi o elevado tempo de *setup* registado, em média, nos equipamentos presentes na Empresa X. Um elevado tempo de *setup*, reduz o tempo de produção, o que significa que se produz menos máquinas o que resulta em grandes perdas financeiras. Este capítulo visa explicar a estratégia tomada de modo a diminuir a duração dos *setups* efetuados na Linha.

A linha em análise produz cerca de 2 modelos diferentes de FACM, com peças e processos de montagem distintos.

O primeiro passo para reduzir o tempo foi realizar um estudo mais profundo da situação atual. Para isto foram observaram-se 3 mudanças de modelo. Esta análise inicial foi fundamental para o sucesso da iniciativa. Ao analisar o atual *setup*, foram identificados os principais fatores da sua longa duração e as principais atividades realizadas. Os desperdícios identificados devem-se sobretudo à falta de *standards* que leva ao desconhecimento dos envolventes sobre o seu papel e à desordem geral. Isto resulta em erros e tempo despendido.

De forma a planear o SMED foram feitas duas análises:

- **Componentes:** listar todas as componentes e os modelos em que são utilizadas. Com esta informação fica possível conhecer todas as componentes que são adicionadas/removidas na mudança de modelo.
- **Equipamentos:** Listar todos os equipamentos utilizados em cada modelo. Neste ponto consideram-se equipamentos, todos os acessórios de apoio à montagem, como aparafusadoras, moldes ou suportes.

Com esta informação fica possível identificar necessidades de *setup*, ou seja, todas as tarefas e alterações à linha que têm de ser realizadas aquando na mudança de modelo. Estas necessidades podem ser atendidas pelos operadores de linha, pelos coordenadores da linha ou pelos responsáveis logísticos e de armazém, conforme será agora explicado:

- Os operadores de linha são os responsáveis pelo retorno de todas as componentes não utilizadas, e introdução das componentes corretas. De forma a normalizar este processo, e para minimizar os erros, introduziu-se na etiqueta da caixa das componentes uma nota com todos os modelos em que estas entram na montagem. Há uma cor para cada modelo. (ver Figura 24) Desta forma é possível de uma forma rápida rearranjar o bordo de linha, apenas com as componentes do modelo que vai entrar em produção. Para as componentes não utilizadas, podem ser enviadas para retorno (nos casos das componentes abastecidas em junjo) ou então apenas colocar uma etiqueta com o sinal “Não usar”. (ver Figura 25)



Figura 24 - Etiqueta da componente com os modelos (cores)



Figura 25 - Etiqueta "Não usar" colocada nas caixas de componentes

- Os coordenadores da linha são os responsáveis por garantir que os equipamentos de apoio à montagem são corretamente colocados nos postos. Um processo que anteriormente era realizado pelos operadores de linha. Devido à alta rotatividade dos operadores, em que muitos não conheciam as normas, esta troca gerava alguns erros e atrasados no arranque. Além de se transferir a troca dos equipamentos para os coordenadores, também foram criadas normas. Para cada *setup* existe uma folha de apoio que indica todas as alterações, facilitando a tarefa.
- A equipa logística era responsável pelo abastecimento de todas as componentes em junjo. Deviam garantir que as componentes que iam entrar no novo modelo eram levantadas do supermercado no ciclo certo e abastecidas.

Através da simplificação dos processos e criação de normas, o momento da mudança de modelo ficou significativamente mais eficiente e com menos erros.

5.3 SUSTENTABILIDADE DE MELHORIAS

Uma vez implementadas todas as ações de melhoria, torna-se necessário desenvolver um sistema que as sustente ao longo do tempo. O sustentar de melhorias obriga a uma mudança cultural na empresa, em que cada pessoa, independentemente do nível hierárquico que ocupa, deve ser protagonista nesta vontade de fazer melhor em todas as áreas, todos os dias.

A primeira, e mais eficaz forma de o fazer, é através da implementação de reuniões diárias de equipa. Estas reuniões, já abordadas no capítulo 3, têm como objetivos apoiar as equipas a evoluir e melhorar o seu desempenho, de uma forma autónoma e sustentada. A metodologia começa pela definição de líderes que desenvolvam as suas equipas de modo a criar autonomia na prática de melhoria contínua. Uma vez definidos os líderes, prepara-se a reunião.

As reuniões de *Kaizen* Diário tem o auxílio de um quadro físico, com um conjunto de elementos de guiam a reunião e permitem os participantes visualizar o estado geral da sua equipa. Os elementos deste quadro dividem-se entre os indicadores, um plano de ações e uma zona dedicada a comunicações e tensões. Outro elemento importante do quadro é a agenda, cujo objetivo é tentar garantir que a reunião não se prolonga e que todos os elementos do quadro são abordados. À medida que a maturidade da equipa evolui, o próprio quadro também vai ganhando novos elementos. O ciclo de melhoria PDCA, uma zona para a resolução de problemas são alguns dos elementos. Tal como foi dito, um dos grandes objetivos do *Kaizen* diário é melhorar as equipas de uma forma sustentada, por essa mesma razão criaram-se vários níveis de *Kaizen* Diário, em que as equipas vão evoluindo à medida que os níveis anteriores são cumpridos. Existem cerca de quatro níveis de *Kaizen* Diário, e a passagem de um nível inferior para um superior é feita por via de uma auditoria, onde se procura garantir que os objetivos do nível atual, estão assimilados e há a capacidade e maturidade de evoluir para o nível seguinte.

Os indicadores utilizados estão, na sua generalidade, relacionados com a eficiência da linha, ou seja, OEE. Ao longo da reunião, percorrem-se os valores do índice de qualidade e desempenho

do dia anterior bem como a média da semana. Além destes indicadores mais operacionais, também o absentismo é analisado.

A reunião de *Kaizen* Diário da linha 12 foi programada para antes do arranque de turno, e tem a duração de 10 minutos. Visto a linha ser operada por aproximadamente (visto depender de modelo para modelo) 35 pessoas, eram feitas 3 reuniões simultâneas, lideradas por 3 coordenadoras diferentes. Os 3 quadros são cópias uns dos outros, e todos os dias são atualizados com os mesmos valores, visto tratarem-se da mesma linha.

5.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A estratégia de implementação foi dividida em três grandes etapas. Na primeira, o objetivo foi implementar um novo modelo de análise de tempos e tarefas. Este modelo estava assente numa ferramenta, recentemente desenvolvida, chamada *Kaizen Time Study*, uma aplicação que permite as equipas de análise de tempos e tarefas aumentar a produtividade de uma forma significativa. Esta implementação ocorreu conforme o planeado, a equipa esteve bastante envolvida e o balanço final é positivo. Esta aplicação seria posteriormente aplicada na segunda etapa, numa fase do processo, onde se estuda a sequência de montagem e se constrói o primeiro gráfico *yamazumi*. Inicialmente, a estratégia desenhada iria integrar o método de análise de tempos MTM, *Methods Time Measurement*. Porém, devido à falta de tempo para criar uma base de dados completa e graças à precisão da aplicação (unanimemente aceite pela equipa), a equipa concordou em alterar a estratégia. Além destes fatores, visto ser sempre necessária uma fase de *mockup*, onde se volta a validar os tempos e a sequência, considerou-se que integrar o MTM no projeto apenas iria aumentar o retrabalho e atrasar o calendário. O resto das implementações ocorreram sem grandes desvios face à estratégia inicial. O principal foco de tensão esteve na fase de arranque onde, devido ao elevado número de novos operadores, se teve de passar muito tempo dentro da linha a garantir o cumprimento dos Standards criados e a identificar oportunidades de balanceamento.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez descritas as propostas de melhoria que derivaram do projeto desenvolvido na empresa X, torna-se agora pertinente expor e analisar os resultados obtidos com a implementação destas mesmas propostas. As várias ações implementadas tinham como objetivo melhorar a operação da empresa X em diferentes eixos. Apesar de todos os resultados convergirem para uma maior produtividade da linha de montagem, é importante apresentar as melhorias de forma isolada, para que fique claro que o aumento da produtividade da linha, foi o resultado de uma série de implementações. Este capítulo fica assim dividido em duas partes, uma primeira onde são apresentados os resultados nos diferentes eixos de melhoria, que são o (1) Tempo de análise dos vídeos, com a aplicação KTS, (2) o OEE e FTQ, (3) o Tempo de *Setup*, (4) a Produtividade da Linha e (5) a Área Ocupada pela nova linha, e uma segunda parte em que se faz uma análise crítica aos resultados do projeto obtido.

6.1 RESULTADOS OBTIDOS COM A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

6.1.1 TEMPO DE ANÁLISE DE VÍDEO, COM A APLICAÇÃO KTS

Uma das primeiras ações do projeto foi o treino da equipa de projeto na aplicação *Kaizen Time Study*, para ser posteriormente utilizado na primeira fase de análise de sequência de montagem. Dada a urgência da linha, era crucial acelerar a fase de preparação, mas sem nunca comprometer a qualidade da mesma. Uma das formas de tornar a preparação mais breve foi através da ferramenta KTS, que permitiu a equipa realizar um trabalho que no passado demorava cerca de 2 meses, em 3 semanas. Esta ação teve duas fases, uma primeira onde o objetivo foi treinar e capacitar a equipa e uma segunda de implementação e análise da sequência. A primeira fase, de treino, foi realizada numa sessão de formação de 4 horas, onde além da equipa do *Kaizen* (os formadores), estiveram presentes membros da equipa de sistemas industriais (GSI) da fábrica e o diretor de produção. Na segunda fase, a principal de toda esta ação, analisou-se toda a sequência de montagem dos dois modelos que a linha vai montar e foi realizada durante 15 dias.

No final, a aplicação permitiu uma redução em 65% do tempo de análise de vídeo, aos quais se juntam um aumento do rigor e da qualidade da análise. Atingindo o objetivo proposto concluiu-se que a utilização da ferramenta KTS foi, de forma consensual, um sucesso.

Tabela 9 – Resultados no indicador do Tempo de Análise de vídeos

Indicador	Valor referência	Valor Final	Variação
▪ Tempo de análise de vídeo	40 dias	15 dias	- 25 dias

6.1.2 TEMPO DE SETUP

Uma das ações implementadas durante o projeto foi o SMED (*Single Minute Exchange or Die*) cujo principal objetivo é a redução do tempo de mudança de modelo, ou seja, do *setup*. O valor

do tempo de *setup* tem um impacto significativo no valor do OEE, pois quanto maior o primeiro é, menor será o valor da disponibilidade da linha resultando num menor valor de OEE. O grande objetivo do projeto era conseguir desenhar uma linha tão flexível cujo tempo de *setup* seria igual ao tempo de ciclo de 2 máquinas, ou seja, 90 segundos, o que representaria uma redução de 97% face ao valor anterior. A medição do tempo de *setup* é feita através da subtração entre o tempo médio de montagem do modelo em produção, menos o tempo de montagem da primeira máquina do novo modelo a entrar na linha. O objetivo de 90 segundos era bastante ambicioso, e apesar do valor final significar já uma grande melhoria em relação ao valor inicial, ainda não foram atingidos. No final, o tempo de *setup* variou entre os 3 e os 4 minutos, uma melhoria de 90% face aos 33 minutos iniciais.

Tabela 10 - Resultados no indicador de tempo de *setup*

Indicador	Valor referência	Valor Final	Varição
▪ Tempo de <i>setup</i>	33min	200 seg	-90%

6.1.3 OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY) DA LINHA

Uma das grandes melhorias que o projeto proporcionou foi o aumento da eficiência da linha, medido através da métrica do OEE. No início do projeto definiu-se como objetivo num aumento de 11,7 pp no valor do OEE. Um objetivo que apesar de ambicioso, foi encarado com muito compromisso. Como se pode ver no gráfico em baixo, o valor do OEE teve um crescimento muito positivo até estabilizar nos valores próximos dos 85%.



Figura 26 - Evolução do Indicador OEE

O valor do OEE é o resultado da combinação de três indicadores: Disponibilidade, Desempenho e Qualidade:

O indicador da disponibilidade conseguiu atingir um valor próximo dos 95%. Este resultado vem de um conjunto de ações, que fizeram com que o tempo disponível para a produção fosse superior. A realização do SMED permitiu uma diminuição significativa do tempo de *setup*, e a introdução de *standards* de montagem fez com que o número de avarias originadas pela utilização não conforme das ferramentas de montagem fosse menor.

No indicador desempenho, a melhoria também foi significativa, atingindo valores próximos de 94%. Esta melhoria deveu-se sobre tudo ao balanceamento definido (que permitiu uma maior cadência da linha e redução de operadores a aguardar máquinas), à criação de *standard* de trabalho que otimizassem os movimentos e garantissem consistência e à implementação de uma cultura de melhoria contínua dentro da empresa que capacitou e motivou todos os envolvidos.

Por fim o indicador de qualidade atingiu também resultados muito positivos, conseguindo valor próximos dos 97%, algo que, num universo de montagem com este, é algo extremamente difícil de se atingir. A principal ação por de trás deste resultado, foi a criação de *standards* de trabalho, que reduziram o número de erros de forma significativa.

Na tabela em baixo estão resumidos os vários resultados dos indicadores. (ver Tabela 11)

Tabela 11 - Resultados nos indicadores do OEE

Indicador	Valor referência	Valor Final	Varição
▪ Disponibilidade	86,5%	94,3%	+ 7,3pp
▪ Desempenho	91%	95,2%	+4,2pp
▪ Qualidade	93,3%	96,5%	+3,2pp
▪ OEE	73,3%	86,6%	+13,3pp

6.1.4 PRODUTIVIDADE DA LINHA

Sendo a Produtividade Global o indicador central do projeto de melhoria, este é naturalmente influenciado por todos os outros KPIs definidos anteriormente. Tal como explicado anteriormente o indicador produtividade é medido pelo número de máquinas produzidas durante um período de tempo a dividir pelo número de operadores que as produziram. Como se pode ver pelo gráfico em baixo, o objetivo foi atingido de forma categórica, com várias semanas a atingirem valores médios bastante superiores ao objetivo (ver Figura 27) .

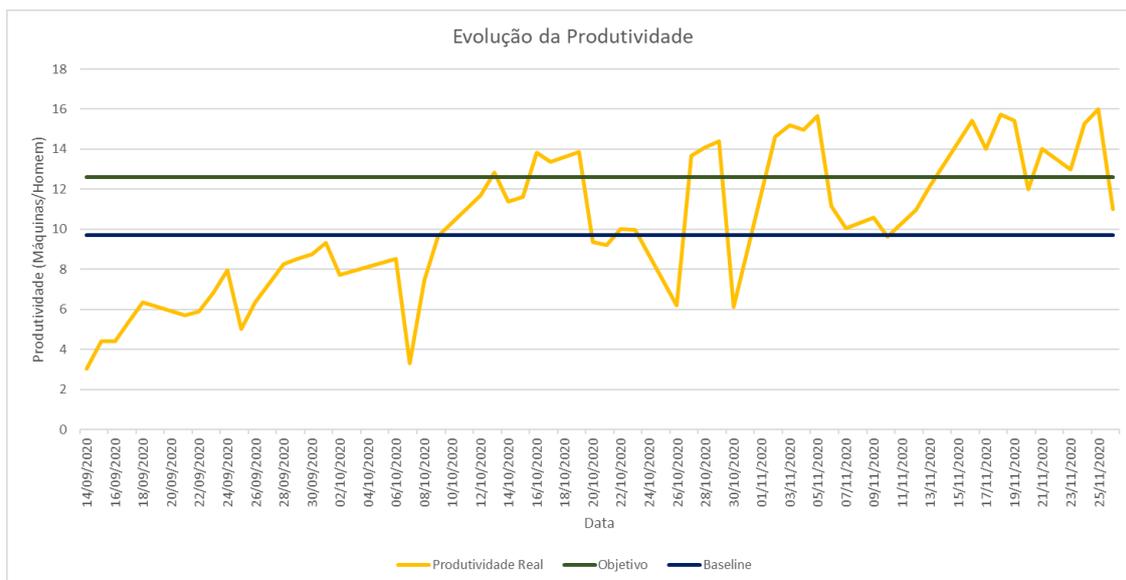


Figura 27 - Evolução da produtividade da linha

Estes resultados, tal como já foi dito, são fruto de um conjunto de implementações das quais se destacam:

- Balanceamento dos postos e integração das operações de pré-montagem na linha, a operarem ao mesmo ritmo. Com isto aproveita-se ao máximo a capacidade disponível, reduzindo o número de operadores.
- Criação de *standards* de trabalho, que aumentaram o desempenho dos operadores e a qualidade da montagem, resultando num aumento das máquinas produzidas.
- Redução do tempo de *setup* através do SMED

Tabela 12 - Resultados no indicador de Produtividade

Indicador	Valor referência	Valor Final	Variação
▪ Produtividade	9,7	14,3	+ 47,7%

6.1.5 ÁREA OCUPADA

Outro dos indicadores de sucesso da linha era a área que esta iria ocupar. As novas linhas de montagem, pelo formato em “U” que apresentam, têm a capacidade de, com o mesmo número de postos, ocupar uma área reduzida. A área total ocupada pela linha deve contemplar também a área dos pré-montados. O objetivo estabelecido inicialmente era de 350 m² quadrados de ocupação, uma redução de 12,5%. No final o objetivo não foi atingido na sua plenitude, mas mesmo assim foi possível reduzir a área ocupada em 9%, com 360 m² de ocupação, como se pode ver pela imagem em baixo. (ver Figura 28)

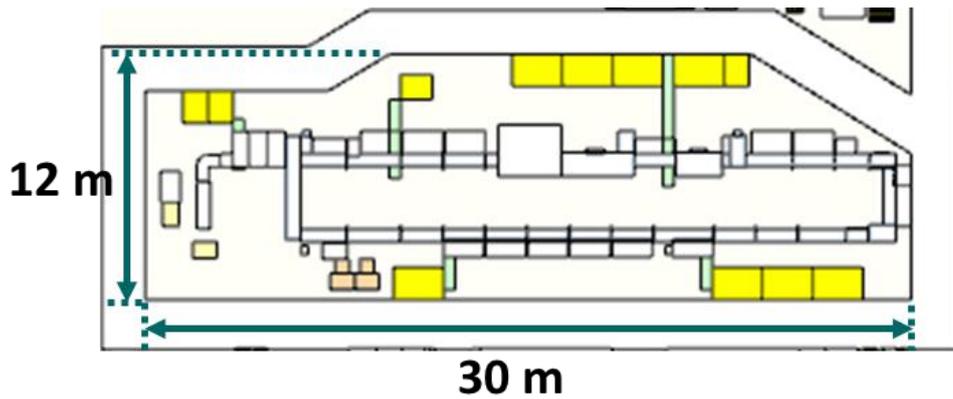


Figura 28 - Layout final da linha e as suas dimensões

Tabela 13 Resultados no indicador da Área da linha

Indicador	Valor referência	Valor Final	Variação
▪ Área Ocupada	400m ²	360m ²	- 9%

6.2 RESUMO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Uma vez apresentados os resultados das implementações de melhoria, rapidamente se conclui que o projeto foi um sucesso. Mesmo não se tendo conseguido atingir alguns dos objetivos propostos (no caso do tempo de *setup* acredita-se que é uma questão de tempo até se atingir os 90 segundos) os objetivos principais foram cumpridos. Além dos resultados apresentados, há também uma série de outros fatores que, mesmo não podendo ser quantificados, sofreram melhorias graças ao projeto desenvolvido. Várias atividades tanto a montante com a jusante do processo de montagem saíram beneficiadas com as ações implementadas, como por exemplo as atividades logísticas que, graças à estratégia de planeamento em pull, foi possível reduzir os níveis de *stock* e simplificar a gestão.

Na tabela em baixo é possível ver um resumo de todas as melhorias atingidas e os seus desvios em relação ao valor referência e ao valor objetivo:

Tabela 14 - Resumo dos resultados finais

Indicador	Valor referência	Valor Objetivo	Valor Final	Varição em relação à referência	Varição em relação ao objetivo
▪ Tempo de Análise de Video	40 dias	15 dias	15 dias	-25 dias	0 dias
▪ Tempo de <i>Setup</i>	33min	90 seg	200 seg	-90%	- 4,5 pp
▪ OEE	73,3%	85%	86,7%	+13,4pp	+ 1,7 pp
▪ Produtividade	9,7	12,6	14,3	+47,7%	+ 17,7pp
▪ Área ocupada	400m ²	350m ²	360m ²	-9%	- 3,5 pp

É possível observar na tabela que em todos os indicadores as ações implementadas trouxeram benefícios para a empresa. No caso do indicador do tempo de análise de vídeo da montagem, cuja proposta inicial foi de uma redução de 25 dias do tempo de análise, o objetivo foi atingido. No segundo indicador, o tempo de *setup*, apesar de representar uma clara melhoria em relação ao tempo anterior, ainda não foi possível atingir os 90 segundos que a equipa do *Kaizen* se comprometeu. A redução de 94,5% estabelecida inicialmente ficou-se pelos 90%, uma diferença de 4,5pp. Não obstante, a equipa acredita que este valor poderá ser atingido num curto espaço de tempo. O objetivo estabelecido para o indicador OEE foi não só atingido, como também ultrapassado, como se pode ver na tabela, com um aumento de 13,4 pp, uma diferença de 1,7 pp relativamente ao objetivo. Na produtividade, o indicador principal, o objetivo foi mais uma vez ultrapassado, com um aumento de 47,7% (mais 17,7pp em relação ao objetivo), passando de uma produtividade de 9,7, para 14,3 máquinas por homem. Por fim, a área ocupada foi reduzida em 9%, equivalente a 40m², a 10m² do objetivo proposto.

7 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

A presente dissertação de mestrado consistiu na elaboração de um projeto de melhoria para uma empresa de produção de máquinas de café, utilizando para isso metodologias e ferramentas *Lean*. Este projeto está inserido num contexto profissional entre o *Kaizen Institute* (KI), uma consultora de gestão *Lean*, e a Empresa X, a empresa cuja situação foi estudada e melhorada.

Esta dissertação retratou a aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de linhas de montagem ao caso de estudo da Empresa X. A Empresa X é uma conhecida produtora de máquinas de café sediada na Suíça. As suas marcas são conhecidas em termos mundiais e reconhecidas pela enorme qualidade que as suas máquinas têm. A procura pelos seus produtos tem vindo a aumentar significativamente, aumento esse também potenciado pelo contexto de pandemia que se vive, onde cada vez mais as pessoas ficam em casa e adquirem máquinas de café para uso doméstico. Desta forma a empresa sentiu necessidade de alargar a sua capacidade produtiva através da construção de uma nova linha de montagem e para os apoiar neste desenvolvimento, contactaram o Instituto *Kaizen*, uma consultora com uma vasta experiência em projetos semelhantes e cuja parceria com a Empresa X tem sido um verdadeiro sucesso. O Instituto *Kaizen* procura implementar nos seus projetos os princípios *Lean*, cujos objetivos se centram na criação de fluxo, otimização dos processos e redução do desperdício, objetivos estes que estão alinhados com a estratégia da empresa.

Na revisão bibliográfica realizada, estudou-se a evolução do conceito *Lean* ao longo dos anos, analisaram-se os conceitos de pensamento *Lean* e produção *Lean* e procurou-se conhecer as principais metodologias e ferramentas. Das ferramentas *Lean* destacam-se a Gestão Visual e 5S, o Mapeamento da Cadeia de Valor, o Ciclo de Melhoria PDCA e também ferramentas de Análise de Causas Raiz. Além destas, também foram estudadas ferramentas mais centradas no âmbito e objetivos do projeto, neste caso, ferramentas de desenvolvimento de linhas de montagem flexíveis. Foram então analisadas várias estratégias e ferramentas de criação de fluxo na produção, das quais se destacam o Layout em U, a importância do Balanceamento, o *Standard Work*, o *Single Minute Exchange or Die* (ou SMED) e a métrica do OEE. Por fim foram estudados métodos de análise de tempos e tarefas e modelos de treino. Este último estudo está diretamente relacionado com uma aplicação desenvolvida por parceiros do *Kaizen Institute*, cujo objetivo é facilitar e melhorar o processo de análise de tempos e tarefas e balanceamento dos postos.

Depois da revisão bibliográfica foi necessário entender de uma forma clara o caso de estudo em questão. Para tal foi realizado um mapeamento da cadeia de valor, ou VSM, (uma das metodologias abordadas na revisão de bibliográfica) que possibilitou uma melhor compreensão do caso de estudo e dos desafios que este iria representar. A análise VSM foi dividida em três etapas. A primeira foi mapear os principais processos da empresa, com especial foco na área de produção, e em cada um detalhar os problemas e oportunidades de melhoria. Recorreu-se à gestão visual durante esta etapa, através de esquemas e imagens, que possibilitaram uma leitura

mais acessível e uma maior facilidade para identificar desperdícios. Após identificação dos principais problemas, procedeu-se à análise das suas causas raiz. Durante esta análise sentiu-se necessidade de aprofundar a causa que, após conversas com a equipa, se entendeu ser a maior responsável pelos atuais problemas da linha: o Reduzido valor o OEE. Para tal foi utilizada a ferramenta de análise de causas raiz, o diagrama de *Ishikawa*. Por fim, foi realizado um mapeamento do estado futuro, um cenário cuja equipa de projeto e do KI acreditava, pela sua experiência, ser possível de atingir, com vários dos problemas identificados a serem eliminados ou reduzidos. Após se estabelecerem objetivos e a estratégia de implementação, o projeto estava pronto para começar.

A implementação foi dividida em três fases: uma primeira para a fase de análise de tempos e tarefas, onde se treinou e implementou a aplicação *Kaizen Time Study*, que se revelou muito importante e uma clara melhoria em relação ao passado. A estratégia inicial para esta etapa era integrar na análise o método MTM. Devido à falta de uma base de dados completa de todos os movimentos básicos, no ambiente em questão, e à falta de tempo para a construir, a equipa considerou por bem limitar-se ao KTS. A segunda fase, a principal, foi o desenvolvimento da linha de montagem. Esta fase seguiu a metodologia proposta, segundo os princípios *Lean* e com recurso as várias ferramentas de desenvolvimento de Linha de montagem, como o Balanceamento de postos, *standard work*, SMED e planeamento Pull. Por fim implementou-se uma cultura de melhoria contínua, através de reuniões diárias de equipa.

Os resultados destas implementações foram realmente admiráveis, com todos os colaboradores da obj ficarem rendidos ao *Kaizen Institute* e aos princípios que Este defende. Dos resultados atingidos são de destacar a melhoria do OEE de 73,3% para os 86,7% e da produtividade global da linha, onde se passou de um valor inicial de 9,7 para 14,3 máquina/homem/dia.

7.1 TRABALHO FUTURO

Devido ao limite temporal imposto para a realização do projeto documentado na presente dissertação, surgem algumas propostas de trabalho futuro a implementar, por forma a dar continuidade ao trabalho desenvolvido nos últimos meses.

O primeiro objetivo passa pela melhoria do tempo de *Setup*. Através do SMED foi possível reduzir em 90% o tempo de mudança de modelo, ou seja, o tempo de *Setup*, para 200 segundos. Este resultado, apesar de significar uma grande melhoria, ficou aquém do objetivo dos 90 segundos e, por essa razão, deve ser uma prioridade. O processo já está montado, resta melhorar as normas definidas e garantir que todos os envolvidos conhecem o seu papel e o cumprem na totalidade.

Uma ação que, apesar de não ser prioritária, deve ser considerada, é a aposta nas tecnologias de indústria 4.0. Com o avanço tecnológico as alternativas são cada vez melhores e muitas das tarefas manuais existentes aos dias de hoje podem ser substituídas por máquinas ou RPAs. Um bom exemplo está na reposição e controlo dos *stocks*. Aos dias de hoje este controlo não é

realizado e as informações na reposição são dadas por etiquetas. Uma boa alternativa seria através de sistemas de leitura automática, como RFID, que despoletasse um aviso automático sempre que alguma componente tivesse de ser reposta na linha. Outro exemplo é o *Pinking by Light* que poderia aumentar a eficiência dos responsáveis de armazém.

Por fim deve se procurar manter as melhorias alcançadas. Um dos grandes desafios em projetos de melhoria, como este caso, é conseguir manter a disciplina e impedir que a cultura de melhoria contínua se vá deteriorando aos poucos, comprometendo o trabalho realizado e os resultados atingidos. Uma verdadeira cultura de melhoria deve assegurar que as mesmas melhorias alcançadas estão bem assentes e com raízes suficientemente resistentes garantindo a sua sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- Abraham, A., Ganapathi, K. N., & Motwani, K. (2012). Setup Time Reduction through SMED Technique in a Stamping Production Line. *SASTECH Journal*, 11(2), 47–52.
- Adnan, A. N., Arbaai, N. A., & Ismail, A. (2016). Improvement of overall efficiency of production line by using line balancing. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(12), 7752–7758.
- Afsar, H.-M., Ben-Ammar, O., Dolgui, A., & Hnaien, F. (2020). Supplier Replacement Model in a One-Level Assembly System under Lead-Time Uncertainty. *Applied Sciences*, 10(10), 3366.
- Agra, A., Poss, M., Santos, M., Agra, A., Poss, M., Santos, M., Make-to-stock, O., Agra, A., Poss, M., & Santos, M. (2019). *Optimizing Make-To-Stock policies through a robust lot-sizing model*.
- Ahmad, N., Hossen, J., & Ali, S. M. (2018). Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 239–256.
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715.
- Beemsterboer, B., Land, M., & Teunter, R. (2016). Hybrid MTO-MTS production planning: An explorative study. *European Journal of Operational Research*, 453–461.
- Bianchi, N., & Giorcelli, M. (2020). *The Dynamics and Spillovers of Management Interventions: Evidence from the Training Within Industry Program*.
- Botezatu, C., Condrea, I., Oroian, B., Hrițuc, A., Ețcu, M., & Slătineanu, L. (2019). Use of the Ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 682(1).
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2006). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*.
- Budiman, I., Sembiring, A. C., Tampubolon, J., Wahyuni, D., & Dharmala, A. (2019). Improving effectiveness and efficiency of assembly line with a stopwatch time study and balancing activity elements. *Journal of Physics: Conference Series*, 1230(1).
- Choi, T. Y., & Liker, J. K. (1995). Bringing Japanese Continuous Improvement Approaches to U.S. Manufacturing: The Roles of Process Orientation and Communications. *Decision Sciences*, 26(5), 589–620.
- Cimorelli, S. (2005). *Kanban for the Supply Chain: Fundamental Practices for Manufacturing Management*.
- Costa, E. S. M. da, Sousa, R. M., Bragança, S., & Alves, A. C. (2013). An industrial application of the SMED methodology and other Lean production tools. *4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, 1(i), 1–8.
- Domingo, R. T. (2003). Identifying and Eliminating The Seven Wastes or Muda. *Business Management Articles Manufacturing Management of Asian Institute of Management*, 1–4.
- Dzubáková, M., & Kopták, M. (2015). Training within industry. *Journal for Research and Education*, 5(2), 2–3.
- E. Knight, J., & Allen, S. (2012). Applying the PDCA Cycle to the Complex Task of Teaching and Assessing Public Relations Writing. *International Journal of Higher Education*, 1(2), 67–83.
- Feng, P. P., & Ballard, G. (2008). Standard work from a Lean theory perspective. *Proceedings of IGLC16: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, May*, 703–712.
- Ferreira, J. C. E. (2015). Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies. *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, 1(2), 9.

- Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: An integrated management system. *Management Decision*, 46(4), 565–579.
- Grant, N. S. F., & Kaminsky, P. M. (2006). *MTO-MTS Production Systems in Supply Chains*.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of *Lean* production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437.
- Huntzinger, J., Industry, T. W., & Origin, T. (2002). The Roots of *Lean*. *Target*, 18(1), 6–9.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* New York: Random House Business Division.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy* Library Journal, 122, 13-33.
- Johnson, C. N. (2016). *The Benefits of PDCA* (p. Quality Progress 49 (1) 45).
- Karger, D. W., & Bayha, F. H. (1966). *Engineered Work Measurement: The Principles, Techniques, and Data of Methods-time Measurement, Modern Time and Motion Study, and Related Applications Engineering Data* (Forth). Industrial Press Inc.
- Kazuhiro, Y. (2004). Implementation of *Lean* manufacturing process to xyz company in minneapolis area. In *CWL Publishing Enterprises, Inc., Madison*
- Kesen, S. E., & Sert, M. (2019). A simulation analysis of a serial line pull system producing orders with various part types and volumes. *International Journal of Modelling and Simulation*, 00(00), 1–17.
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., & Sihm, W. (2011). Methodical approach to increase productivity and reduce *Lead* time in assembly and production-logistic processes. In *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 4 (1), 24–32.
- Lam, N. T., Toi, L. M., Tuyen, V. T. T., & Hien, D. N. (2016). *Lean* Line Balancing for an Electronics Assembly Line. *Procedia CIRP*, 40(1), 437–442.
- Lasa, I. S., Laburu, C. O., & De Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52.
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1).
- Linck, J., & Cochran, D. S. (1999). The importance of takt time in Sabadka, D., Molnar, V., Fedorko, G., & Jachowicz, T. (2017). Optimization of Production Processes Using the Yamazumi Method. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(4), 175–182
- Macinnes, R. L. (2002). *The Lean Enterprise Memory Jogger: Create Value and Eliminate Waste Throughout Your Company*, Salem,
- Manufuture High-Level Group. (2018). *Competitive, Sustainable and Resilient European Manufacturing*.
- McIntosh, R., Owen, G., Culley, S., & Mileham, T. (2007). Changeover Improvement: Reinterpreting Shingo's "SMED" Methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54, 98–111.
- Melton, T. (2005). The benefits of *Lean* manufacturing: What *Lean* thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662–673.
- Miltenburg, J. (2001). *U-shaped production lines: A review of theory and practice*. 201–214.
- Moen, R., & Norman, C. (2009). Evolution of the PDCA Cycle. *Society*, 1–11.
- Morlock, F., Kreggenfeld, N., Louw, L., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2017). Teaching Methods-Time Measurement (MTM) for *Workplace Design in Learning Factories*. *Procedia Manufacturing*, 9, 369–375.
- Moser, L., & Santos, A. (2003). Exploring the role of visual controls on mobile cell manufacturing: A case

study on drywall technology. *International Group of Lean Construction*.

MTM. (2005). *Notes on the Basic MTM Method*.

Nagib, A. N. M., Adnan, A. N., Ismail, A., Halim, N. H. A., & Khusaini, N. S. (2016). The Role of Hybrid Make-to-Stock (MTS) - Make-to-Order (MTO) and Economic Order Quantity (EOQ) Inventory Control Models in Food and Beverage Processing Industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1).

Nallusamy, S., & Adil Ahamed, M. A. (2017). Implementation of *Lean* tools in an automotive industry for productivity enhancement - A case study. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29(March), 175–185.

Noorwali, A. (2014). Apply MTS-MTO & Rule Base in Food Flow Processing System. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(June), 11.

Ogan, D., & Azizoglu, M. (2015). A branch and bound method for the line balancing problem in U-shaped assembly lines with equipment requirements. *Journal of Manufacturing Systems*, 36(February 2015), 46–54.

Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable *Standardized Work* in a *Lean* Company - A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 239–244.

Pierce, J. L., Kostova, T., & Dirks, K. T. (2001). Toward a theory of psychological ownership in organizations. *Academy of Management Review*, 26(2), 298–310.

Pinto, P., Dannenbring, D. D., & Khumawala, B. M. (1975). A branch and bound algorithm for assembly line balancing with paralleling. *International Journal of Production Research*, 13(2), 183–196.

Poppendieck, M. (2011). Principles of *Lean* thinking. *IT Management Select*, 1–7.

Prayudha, A. N., & Harsanto, B. (2020). Integration of Service Quality, Benchmarking and Ishikawa Diagram in Service Operations. *Jurnal Manajemen Dan Pemasaran Jasa*, 13(2), 151–166.

Pujo, P., El Khabous, I., & Ounnar, F. (2015). Experimental assessment of the productivity improvement when using U-shaped production cells with variable takt time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(1), 17–38.

Pulkurte, R., Masilamani, R., Sonpatki, S., & Dhake, R. (2014). Cycle time reduction in assembly line through layout improvement, ergonomics analysis and *Lean* principles. *Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(2), 455–463.

Rajagopalan, S. (2002). Make to Order or Make to Stock: Model and Application. *Management Science*, 241–256. 5

Rekiek, B., Dolgu, A., Alain, D., & Bratcu, A. (2002). State of art of optimization methods for assembly line design. *Annual Reviews in Control* 26, 163–174.

Rentzos, L., Mavrikios, D., & Chryssolouris, G. (2015). A two-way knowledge interaction in manufacturing education: The teaching factory. *Procedia CIRP*, 32(Clif), 31–35.

Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to See Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. *Lean Enterprise Institute Brookline*, 102.

Ruano, J. P., Hoyuelos, I., Mateo, M., & Gento, A. M. (2019). *Lean* School: A learning factory for training *Lean* manufacturing in a physical simulation environment. *Management and Production Engineering Review*, 10(1), 4–13.

Saif, U., Guan, Z., Wang, B., Mirza, J., & Huang, S. (2014). A survey on assembly lines and its types. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9(2), 95–105.

Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies *Lean* manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for *Lean* manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811–833.

- Schonberg, R. J. (1982). Japanese Manufacturing Techniques. In *The Free Press*.
- Schroer, B. J. (2004). Simulation as a Tool in Understanding the Concepts of *Lean Manufacturing*. *Simulation*, 80(3), 171–175.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of *Lean production*. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Shook, J., & Rother, M. (2008). *LEAN LEXICON. A graphical glossary for Lean Thinkers*.
- Sparling, D. (1998). Balancing Just-In-Time Production Units: The N U-Line Balancing Problem. *Information Systems and Operational Research*.
- Spenhoff, P., Semini, M., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2014). The fit of planning methods for the part manufacturing industry, a case study. *Advances in Manufacturing*, 2(2), 165–172.
- Talapatra, S., Sharif-Al-Mahmud, Z. Z. Z., & Kabir, I. (2018). Overall efficiency improvement of a production line by using Yamazumi chart: A case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018(JUL)*, 3166.
- Team, T. P. D. (2002). *STANDARD WORK FOR THE SHOPFLOOR* (T. & F. INC (ed.)).
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: A literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 766–799.
- Tezel, B. A., Koskela, L. J., & Tzortzopoulos, P. (2009). The functions of visual management. *International Research Symposium*, 201–219.
- Tsao, C. C. Y., Draper, J., & Howell, G. A. (2014). An overview, analysis, and facilitation tips for simulations that support and simulate pull planning. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014*, 1(208), 1483–1494.
- Ulutas, B. (2011). An application of SMED methodology. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 79(July 2011), 100–103.
- Womack, B. J. P., & Jones, D. T. (1992). The machine that changed the world: By James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. *Business Horizons*, 35(3), 81–82.
- Yazdi, P. G., Azizi, A., & Hashemipour, M. (2018). An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach. *Sustainability (Switzerland)*, 10(9).

ANEXOS

ANEXO 1 – Framework para Standar Work

