Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diogo Alberto Ferreira da Silva

Desenho e Implementação de uma linha de montagem com rumo ao aumento da eficiência operacional

Novembro de 2024

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Diogo Alberto Ferreira da Silva

Desenho e Implementação de uma linha de montagem com rumo ao aumento da eficiência operacional

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Rui Manuel Alves da Silva e Sousa

Novembro de 2024

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY-ND

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

AGRADECIMENTOS

Com o fim de mais uma etapa na minha vida gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todos os que contribuíram para o sucesso do meu percurso académico.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer profundamente aos meus pais e à minha irmã. O vosso apoio incondicional, motivação constante e confiança nas minhas capacidades foram fundamentais para que eu nunca deixasse de acreditar em mim próprio. Nos momentos mais desafiantes, foram vocês que me deram o conforto e a força de que tanto precisei, permitindo-me crescer e tornar-me numa melhor versão de mim mesmo.

Aos meus avós, que apesar de não terem acompanhado de perto esta conquista foram muito importantes no meu crescimento e sentem um orgulho enorme, estou certo, em verem o seu neto a concluir o percurso académico.

À minha namorada, pela sua presença constante e pelo seu afeto. O seu incentivo para que eu nunca desistisse e a forma como sempre me impulsionou a lutar pelos meus objetivos. A sua compreensão e apoio nos momentos difíceis ajudaram-me a ultrapassar cada obstáculo com mais confiança e determinação.

Aos meus amigos, tanto os que fiz na universidade como os que me têm acompanhado ao longo da vida, por me aconselharem nos maus momentos e me ensinarem o significado de amizade.

Ao *Kaizen Institute,* por acreditar no meu potencial e me proporcionar a oportunidade de crescer enquanto profissional e pessoa. Ao Engenheiro André Pinho Oliveira, ao Engenheiro Pedro Lourenço e ao Engenheiro André Oliveira, pela colaboração e assistência que prestaram ao longo do projeto.

À empresa X, o meu profundo agradecimento pela oportunidade de desenvolver este projeto. Um especial agradecimento às senhoras da linha, que demonstraram enorme disponibilidade e compromisso em garantir o sucesso do projeto, mesmo perante os desafios e imprevistos que surgiram.

Por fim, mas não menos importante, ao meu orientador, o Professor Doutor Rui Sousa, pela paciência, disponibilidade e orientação ao longo deste percurso.

A todos o meu mais sincero obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

O presente projeto de dissertação, enquadrado no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, foi desenvolvido numa empresa de *Printed Circuit Board Assembly* (PCBA) em colaboração com o *Kaizen Institute*, tendo como principal objetivo a substituição do subsistema produtivo de um dos clientes da empresa por um de maior desempenho face a uma redução de quase 50% na procura. O sucesso deste objetivo foi medido pela capacidade de reduzir o espaço ocupado no chão de fábrica, de reduzir o número de trabalhadores, de aumentar a produtividade para 12 peças/h-h, de estabilizar a taxa de defeitos para valores inferiores a 0,2% e de reduzir a quantidade de WIP no chão de fábrica.

Desta forma, começou-se por analisar detalhadamente o sistema produtivo da empresa identificando o sobredimensionamento da força de trabalho, a baixa produtividade dos trabalhadores, a existência de um *layout* inadequado que promovia movimentações desnecessárias e grandes quantidades de *work-in-process* no chão de fábrica.

Seguiu-se o desenho e implementação de ações de melhoria para eliminar os desperdícios encontrados e racionalizar o processo produtivo. Foi desenhada uma linha de produção tendo por base um balanceamento de operações e o *One-piece Flow* que permitiu reduzir o número de trabalhadores de 15 para 8, gerando uma poupança anual de 99.431,50 €. As alterações físicas ao espaço, que substituíram as mesas de trabalho por uma linha de produção em "U", libertaram 84,44 m², consolidando a produção em 35,56 m². A criação de fluxo entre a logística e a produção com a implementação do TFM e do novo processo produtivo, aumentaram a produtividade em 87% de 5,9 peças/h-h para 11 peças/h-h. Além disso, diminuiu-se drasticamente o WIP no chão de fábrica, de 1000 para 218 placas e de 2000 para 4 peças intermédias. As alterações efetuadas permitiram aumentar significativamente a eficiência operacional da empresa.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Manufacturing, Melhoria contínua, *Total Flow Management,* Balanceamento, *Mizusumashi*, *One-piece Flow*

Assembly line design and implementation aiming at the increase of operational efficiency

ABSTRACT

This dissertation project, developed as part of the Master's in Industrial Engineering and Management, was carried out at a Printed Circuit Board Assembly (PCBA) company in collaboration with Kaizen Institute. Its main objective was to replace the production subsystem of one of the company's key clients with a higher-performing one, in response to a nearly 50% reduction in customer demand. The success of this objective was measured by the ability to reduce the floor space occupied, the distance traveled, the number of workers, increase productivity to 12 units/h-h, concentrate the defect rate to values below 0.2%, and reduce the amount of WIP (Work-In-Process) on the shop floor.

To begin, a detailed analysis of the company's production system was conducted, identifying issues such as an oversized workforce, low worker productivity, an inadequate layout that promoted unnecessary movements, and large amounts of work-in-process on the shop floor.

This was followed by the design and implementation of improvement actions to eliminate identified waste and streamline the production process. A production line was created and balanced based on One-piece Flow, which allowed the reduction of workers from 15 to 8, generating an annual saving of €99,431.50. Physical changes to the space, which replaced workbenches with a "U" production line, freed up 84.44 m^2, consolidating production into 35.56 m^2. The creation of flow between logistics and production with the implementation of TFM and the new production process increased productivity by 87%, from 5.9 units/h-h to 11 units/h-h. Additionally, WIP on the shop floor was drastically reduced, from 1,000 to 218 boards and from 2,000 to 4 intermediate pieces. These changes significantly improved the company's operational efficiency.

KEYWORDS

Lean Manufacturing, Continuous improvement, Total Flow Management, Balancing, *Mizusumashi*, One-piece Flow

ÍNDICE

Agradecimentos iii
Resumo v
Abstract vi
Índice vii
Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos xiv
1 Introdução 1
1.1 Enquadramento e Motivação 1
1.2 Objetivos 2
1.3 Metodologia de Investigação 2
1.4 Estrutura 4
2 Fundamentação Teórica 5
2.1 *Toyota Production System (TPS)* 5
2.2 *Lean Manufacturing* 6
2.2.1 3M's 7
2.2.2 7 Desperdícios 7
2.2.3 *One-piece Flow* 8
2.2.4 5S 9
2.3 *Total flow management* 10
2.3.1 Fluxo na Produção 11
2.3.1.1 Desenho de linha e *layout* 11
2.3.1.2 Bordo de Linha 14
2.3.1.3 *Standard Work* 14
2.3.1.4 SMED 15
2.3.1.5 Automação de baixo custo 17
2.3.2 Fluxo na Logística Interna 18
2.3.2.1 Supermercados 18

2.3.2.2 *Mizusumashi* 19

3 Apresentação da Empresa 21

3.1 *Kaizen Institute* 21

3.2 Empresa X 21

3.3 Processo produtivo geral 22

3.4 *Layout* da empresa 23

4 Análise e diagnóstico da situação inicial 24

4.1 Caracterização da situação atual 24

4.1.1 Estudo da procura 26

4.1.2 Matriz produto-processo 28

4.1.3 Diagrama de processo 29

4.2 Mapeamento da situação inicial e identificação de problemas 32

4.2.1 Estudo da procura e dimensionamento da força de trabalho 32

4.2.2 Subsistema de produção 33

4.2.3 Análise de *stock* intermédio 35

4.2.4 *Layout* funcional 36

4.2.5 Análise qualidade 37

4.2.6 Logística 38

4.2.7 Fluxo da equipa de testes 41

4.2.8 Dinâmica de equipa da produção 41

4.2.9 Falta de visibilidade dos indicadores 42

4.3 Resumo dos problemas identificados 43

5 Apresentação das ações de melhoria 44

5.1 Conceção da linha de produção 44

5.1.1 *Takt Time* 44

5.1.2 Número de postos teóricos 44

5.1.3 Tempo de ciclo indicativo 45

5.1.4 Balanceamento da linha 45

5.1.5 Posto C 48

5.1.6 Definição do *layout* da linha 48

5.2 Abastecimento Logístico 53
5.2.1 Interface logística 54
5.2.2 Operador logístico e bordo de linha 55
5.3 Comunicação entre equipas 57
5.4 Melhorias na qualidade 60
5.5 *Dashboards* de controlo 61
6 Implementação das soluções 62
6.1 Implementação interface logística e plano de abastecimento 62
6.2 Treino do *mizusumashi* 63
6.3 Implementação da linha de produção 64
6.4 Ajustes ao balanceamento 65
6.5 Aplicação da metodologia 5S na linha 69
6.6 Troca de referências 69
6.7 Melhorias na qualidade 70
6.8 Alterações ao planeamento 72
6.9 Implementação Kaizen Diário e melhorias na comunicação 74
6.10 *Dashboards* de controlo 75
7 Discussão e análise dos resultados 77
7.1 Espaço ocupado e distância percorrida 77
7.2 Número de operadores 78
7.3 Produtividade da linha 79
7.4 Estabilização da qualidade 81
7.5 *Work-in-process* na linha 83
8 Conclusão 85
8.1 Considerações finais 85
8.2 Trabalho Futuro 86
Referências Bibliográficas 87
Apêndices 91
Apêndice 1 – Tabela classificação dos componentes 92
Apêndice 2 – Estudo do ciclo do *mizusumashi* 93
Apêndice 3 – *Standard Work* do *Mizusumashi* 94

Apêndice 4 – *Standard Work* troca de referências 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa TPS 5
Figura 2 - Modelo TFM 10
Figura 3 - *Layout* Funcional (a), *Layout* em linha (b) e *Layout* em fluxo (c) 12
Figura 4 - Posto de trabalho sem bordo de linha (a) e posto de trabalho com bordo de linha (b) 14
Figura 5 - Etapas do SMED 16
Figura 6 - Ciclo de um *mizusumashi* 19
Figura 7 - *Layout* da empresa 23
Figura 8 - Histórico da procura das últimas 32 semanas de 2023 26
Figura 9 - Distribuição da produção do cliente Y por famílias 27
Figura 10 - Top 16 referências mais produzidas em 2023 27
Figura 11 - Matriz produto-processo das 10 referências mais produzidas do cliente Y 28
Figura 12 - Diagrama de processo 30
Figura 13 - Processo produtivo das referências mais completas desde a receção ao verniz 33
Figura 14 - Processo produtivo das referências mais completos desde a programação à integração final 34
Figura 15 - Processo produtivo das referências mais completos desde o embalamento à expedição 35
Figura 16 - Histórico de defeitos 2023 37
Figura 17 - Distribuição das causas dos defeitos registados em 2023 38
Figura 18 - Análise VA/MUDA da receção de componentes 39
Figura 19 - Distribuição das tarefas realizadas por um operador do armazém 40
Figura 20 - *Yamazumi* da linha 46
Figura 21 - Capacidade Posto 1 46
Figura 22 - *Yamazumi* da linha com posto 4 duplicado 48
Figura 23 - *Layout* da linha de produção 51
Figura 24 - *Layout* alterado da empresa 53
Figura 25 - Interface Logístico desenvolvido 54
Figura 26 - Quadro de planeamento do abastecimento da interface logística 57
Figura 27 - Cartões *kamishibai* do abastecimento da interface logística 58
Figura 28- Quadro *Kaizen* Diário do cliente Y 59
Figura 29 - Matriz de auto qualidade 60
Figura 30 - Sequenciadores de OF 62

Figura 31 - Etiquetas das caixas de componentes (a) e etiquetas da interface logística(b) 63
Figura 32 - Estudo de capacidade do operador do P4 realizar P5 66
Figura 33 - Divisão das tarefas para 6 operadores (a) e Divisão das tarefas para 5 operadores (b) 68
Figura 34 - Distribuição dos defeitos do projeto 71
Figura 35 - DILO *Team Leader* 73
Figura 36 - Resumo *Output* da linha para diferentes tempos de ciclo 73
Figura 37 - Dashboard do processo produtivo 76
Figura 38 - Dashboard progresso produção 76
Figura 39 - Comparação *layout* e área ocupada 77
Figura 40 - Comparação distância percorrida pelos operadores 78
Figura 41 - Comparação FTE associados ao cliente Y 79
Figura 42 - Produtividade da linha com paragens 79
Figura 43 - Produtividade da linha sem paragens 80
Figura 44 - Produtividade semanal da linha 80
Figura 45 - Comparação de produtividade da linha 81
Figura 46 - Evolução do número e percentagem de defeitos do projeto 82
Figura 47 - Comparação percentagem média de defeitos da linha 83
Figura 48 - Comparação número de WIP na linha 84
Figura 49 - Grelha *Kanban/ Junjo* 92
Figura 50 - Estudo do ciclo do mizusumashi para 15 minutos(a), estudo do ciclo do mizusumashi para 30 minutos(b) e estudo do ciclo do mizusumashi para 45 minutos (c) 93
Figura 51- *Standard Work* do *mizusumashi* 94
Figura 52 - *Standard Work* trocas de referências 95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma do projeto de dissertação 3
Tabela 2 - Comparação entre layout funcional e *layout* em fluxo 13
Tabela 3 - Operações efetuadas nos produtos do cliente Y 24
Tabela 4 - Legenda do diagrama de processo 29
Tabela 5 - Resumo dos cenários para diferentes valores de procura 32
Tabela 6 - Resumo dos problemas identificados 43
Tabela 7 - Equipamentos da linha 49
Tabela 8 - Componentes da linha 49
Tabela 9 - Dimensões cada posto da linha 52
Tabela 10 - Resumo do estudo do *mizusumashi* 56
Tabela 11 - Tempo esperado e real da linha de produção 65
Tabela 12 - Tempos finais da linha de produção 65
Tabela 13 - Tempo de execução de cada operador para diferentes números de operadores 67

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

BOM - *Bill of Materials*

DILO - *Day in Life Of*

FTE - *Full-time Equivalent*

JIT - *Just-In-Time*

KD - *Kaizen* Diário

KI - *Kaizen Institute*

LED - *Ligh-emmiting diode*

MEGI - Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

OF - Ordens de Fabrico

OPL - *One Point Lesson*

PCBA - *Printed Circuit Board Assembly*

PCB - *Printed Circuit Board*

PDCA - *Plan-Do-Check-Act*

PME - Pequenas e médias empresas

SMART - *Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-Based*

SMED - *Single Minute Exchange of Die*

SMT - *Surface Mount Technology*

TC - Tempo de Ciclo

TFM - *Total Flow Management*

TPS - *Toyota Production System*

TT - *Takt Time*

VA - Valor Acrescentado

WIP - *Work-in-Process*

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se o projeto realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial (MEGI), introduzindo as empresas envolvidas e os objetivos estabelecidos. É descrita a metodologia adotada, que orienta a análise e otimização dos processos produtivos. Por fim, e a estrutura da dissertação introduzindo os capítulos desenvolvidos, proporcionando uma visão clara da organização e do conteúdo da dissertação.

1.1 Enquadramento e Motivação

A capacidade de uma empresa satisfazer a procura alocando menos recursos, sem comprometer a qualidade, é essencial para aumentar a produtividade tornando-a, desse modo, mais competitiva.

A filosofia *Lean Manufacturing* é eficaz a identificar as fraquezas das empresas e a resolvê-las de forma competitiva (Azzemou & Noureddine, 2018) ao se concentrar na eliminação de desperdícios. Esta abordagem visa, através de análise detalhada dos processos, identificar e eliminar desperdícios, com o objetivo de reduzir o esforço humano, minimizar o inventário e otimizar o espaço (Melton, 2005).

A produção em fluxo unitário (*One-piece Flow*) demonstra ser uma abordagem adequada, contrariamente à produção em lote, uma vez que existe apenas um produto entre cada par de postos de trabalho, resultando num baixo *Work-In-Proccess* (WIP) e, consequentemente, num tempo de atravessamento mais curto (Li & Rong, 2009). Outras vantagens desta abordagem são a possibilidade de integração de processos secundários na linha principal e a rapidez de adaptação à variação da procura (Miltenburg, 2001).

Um dos requisitos para a implementação do fluxo unitário é a versatilidade dos operadores de forma a existir entreajuda entre postos de trabalho em situações de atraso na produção (Nakade & Nishiwaki, 2008).

Neste contexto, surgiu a motivação para a aplicação dos princípios de *Lean Manufacturing* numa empresa de *Printed Circuit Board Assembly* (PCBA). Com o auxílio dos serviços de consultoria prestados pelo *Kaizen Institute*, a empresa procura substituir um dos seus subsistemas produtivos atuais por um de maior desempenho. O objetivo é tornar a produção o mais fluída possível, equilibrando a linha existente, aumentando a produtividade e minimizando os recursos alocados (Kumar et al., 2021). A criação de um Yamazumi revela-se uma ferramenta importante para o alcance do objetivo proposto, pois permite comparar o estado inicial com o futuro (Konrad et al., 2023).

Assim, o presente projeto visa não só apoiar a empresa na sua jornada de transformação, mas também promover um entendimento mais profundo das dinâmicas do fluxo unitário e de práticas de *Lean Manufacturing*. Espera-se que, através da aplicação prática dos conceitos e da análise detalhada das melhorias obtidas, a eficiência operacional da empresa seja significativamente aprimorada. Este aprimoramento não só terá um impacto direto na performance da secção em questão, como também servirá como um modelo de boas práticas a ser replicado em outras áreas da empresa.

1.2 Objetivos

Este projeto, realizado numa empresa de PCBA, teve como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de uma linha de montagem que se revelasse mais vantajosa em comparação com o subsistema de produção atual da empresa. De modo a garantir o sucesso do objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Reduzir o espaço ocupado no chão de fábrica pelo subsistema atual;
- Diminuir a distância percorrida em movimentações de operadores e transporte de peças;
- Reduzir o número de *full-time equivalent* (FTE)*;*
- Aumentar a produtividade dos operadores para 12 peças/h-h;
- Estabilizar a taxa de defeitos dentro dos 0,2% estabelecidos pela empresa;
- Reduzir o WIP no chão de fábrica.

O cumprimento destes objetivos permitirá um aumento significativo no desempenho da linha de montagem, além de possibilitar a libertação de recursos que poderão ser redirecionados para outros projetos da empresa, contribuindo para a sua competitividade a longo prazo.

1.3 Metodologia de Investigação

A seleção da metodologia de investigação é de extrema importância, pois dita a abordagem que será adotada no desenvolvimento da dissertação. É crucial que a metodologia escolhida seja adequada para assegurar a qualidade e o rigor dos resultados obtidos. Assim, foi selecionada a abordagem Investigação-Ação. Esta metodologia é particularmente adequada para o projeto descrito, pois é aplicada em contextos práticos (Williams et al., 2024), onde soluções são identificadas, estudadas e implementadas. Com base nos resultados obtidos, surge a necessidade de identificar novas soluções, tornando o processo cíclico.
Esta metodologia revela-se extremamente apropriada para este projeto, uma vez que será conduzido num contexto real, permitindo o contacto direto com o problema e a facilidade em testar soluções e

analisar os seus efeitos. Além disso, proporciona uma grande flexibilidade para lidar com novos desafios à medida que surgem.

Segundo Susman e Evered (1978), a metodologia de investigação pode ser dividida em cinco partes:

1. Diagnóstico: Definição do problema;
2. Plano de ação: Consideração de alternativas para resolver o problema;
3. Implementação da ação: Escolha e execução das opções;
4. Avaliação: Estudo das consequências das ações implementadas;
5. Especificação da aprendizagem: Identificação de conclusões e lições aprendidas.

Assim, foram definidas as fases de investigação, conforme apresentado no cronograma da Tabela 1:

1. Revisão Bibliográfica – Estudo de ferramentas que auxiliem a correta implementação dos conceitos planeados;
2. Diagnóstico e análise da situação atual – Recolha e análise de dados para caracterizar a situação inicial da empresa;
3. Desenho das soluções – Desenvolvimento das soluções a implementar com base nos dados recolhidos, nas restrições da empresa e nos objetivos propostos;
4. Implementação das soluções – Execução das soluções desenhadas, incluindo a monitorização do progresso e a implementação dos ajustes necessários com base no feedback dos operadores;
5. Avaliação e discussão dos resultados – Análise dos indicadores relacionados com os objetivos propostos e discussão de oportunidades de melhoria identificadas;
6. Escrita da dissertação.

Tabela 1 - Cronograma do projeto de dissertação

Fases	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1 - Revisão bibliográfica								
2 - Diagnóstico e análise da situação atual								
3 - Desenho das soluções								
4 - Implementação das soluções								
5 - Avaliação e discussão dos resultados								
6 - Escrita da dissertação								

A aplicação desta metodologia permitirá uma investigação prática e cíclica, fundamental para a implementação eficaz das soluções propostas. Espera-se não apenas resolver o problema identificado, mas também fomentar a cultura de melhoria contínua na empresa, promovendo um ambiente de inovação.

1.4 Estrutura

A presente dissertação está organizada em oito capítulos. O primeiro capítulo apresenta o enquadramento do projeto, incluindo os objetivos propostos e a metodologia utilizada. No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica, onde estão descritos os principais conceitos abordados e metodologias utilizadas. O terceiro capítulo apresenta as empresas intervenientes no projeto. O quarto capítulo caracteriza a situação inicial da empresa e identifica os principais problemas que esta enfrenta. O quinto capítulo detalha as soluções desenvolvidas e o processo de conceção subjacente. O sexto capítulo descreve a implementação das soluções idealizadas, assim como os ajustes realizados. O sétimo capítulo analisa os resultados obtidos com a implementação das soluções. Finalmente, no oitavo capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como os trabalhos futuros a seguir pela empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos teóricos e as ferramentas aplicadas durante o projeto.

2.1 *Toyota Production System (TPS)*

A crise petrolífera de 1973 destabilizou negócios em todo o mundo, a *Toyota*, no entanto, foi relativamente pouco afetada por este acontecimento. Este fabricante automóvel de renome mundial já tinha enfrentando as consequências devastadoras da Segunda Guerra Mundial com as repercussões desta tragédia a manifestar-se na falta de recursos em comparação com a concorrência americana, o que gerou a necessidade de abandonar a estratégia de produção até então adotada, a Produção em Massa (Ohno, 1988). Assim, surgiu o *Toyota Production System* (TPS), que foi evoluindo ao longo do tempo com o contributo de figuras históricas como Taiichi Ohno e Eiji Toyoda. De acordo com Monden (1993)o principal objetivo deste sistema é eliminar os diversos desperdícios presentes nas empresas, por meio de ações de melhoria contínua. Para representar este sistema, foi criada a "Casa *Toyota*", apresentada na Figura 1.

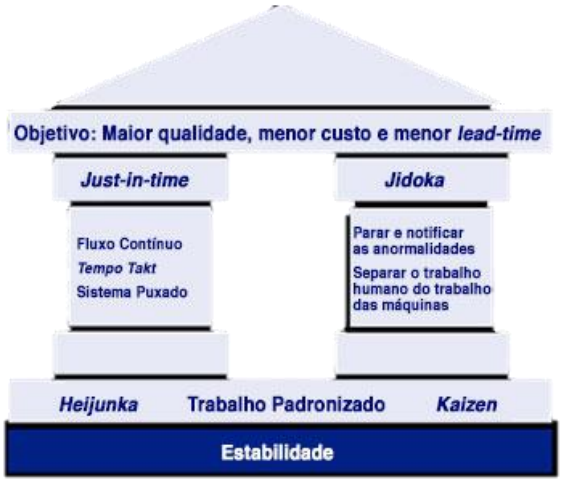


Figura 1 - Casa TPS
(Balé, 2016)

A escolha de uma casa como metáfora para representar o sistema é adequada, pois facilita a compreensão dos conceitos associados. Começando pelo topo, o telhado simboliza os objetivos deste sistema, que são produzir com maior qualidade, menores custos e *Lead Time* mais curto.

Seguem-se os pilares, que sustentam o telhado e permitem alcançar os objetivos definidos. O primeiro pilar, *Jidoka* ou *Autonomation,* garante que as máquinas cessem automaticamente as suas funções quando perante problemas, evitando que estes se propaguem ao longo produção; em essência, visa a deteção e correção dos defeitos na fonte. O segundo pilar, *Just-In-Time* (JIT), segue o princípio de produzir

estritamente o necessário, na quantidade exata e no momento certo. Para garantir o JIT, é necessário que o sistema funcione com base na produção puxada, iniciando a produção apenas após a receção de pedidos por parte do cliente, considerando o *Takt Time (TT)*, cadência de produção a cumprir para garantir que cumpre com a encomenda do cliente, e finalmente garantir um fluxo contínuo na produção, ou seja, sem interrupções (Liker & Morgan, 2006).

Por fim, surgem as três bases da casa, *Heijunka*, *Standardized Work* ou Trabalho Padronizado e *Kaizen*, que garantem a estabilidade da estrutura. O conceito de *Heijunka,* que pode ser traduzido como nivelamento, é utilizado para distribuir a produção de modo a satisfazer as necessidades do cliente e ao mesmo tempo, reduzir os custos da empresa e evitar a sobreprodução alcançando estabilidade no processo produtivo (Carvalho & Sousa, 2021). O trabalho padronizado racionaliza a produção ao definir normas sobre como executar determinados procedimentos, garantindo assim maior eficiência e minimizando a variabilidade nas operações ao garantir que diferentes pessoas seguem as mesmas indicações (Mor et al., 2019). A última base, *Kaizen*, foca-se na melhoria contínua, visando a eficiência dos processos através do envolvimento das equipas e dos líderes.

2.2 *Lean Manufacturing*

A filosofia *Lean* baseia-se na identificação do conceito de valor para os clientes (Habib et al., 2023), tendo por base a análise do fluxo de materiais e informação com o objetivo de encontrar e reduzir ou eliminar os desperdícios (Zhou, 2016). O termo *lean*, que significa magra, é devidamente empregue, dado que o conceito *lean manufacturing* indica um menor consumo de recursos comparativamente a um sistema convencional para produzir bens de qualidade igual ou superior (Womack et al., 1990).

Segundo Womack & Jones (1996), a metodologia *Lean* tem por base os seguintes 5 princípios:

- **Identificar valor:** Identificar o que o cliente está disposto a pagar.
- **Mapear a cadeia de valor:** Definir todas as etapas envolvidas na produção e, se possível, identificar e eliminar desperdícios
- **Garantir fluxo contínuo:** Assegurar que o fluxo de trabalho é ininterrupto e sem esperas.
- **Implementar Produção Puxada:** Apenas produzir com base em pedidos do cliente ou da etapa seguinte do processo produtivo ao invés de previsões.
- **Busca pela perfeição:** Esta filosofia promove a melhoria contínua dos processos, sendo necessária a eliminação constante de desperdícios e aumento da eficiência dos processos.

2.2.1 3M's

Um dos conceitos fundamentais do *Lean Manufacturing* são os 3 M's: *Muri, Mura* e *Muda (Imai, 2012).* Estes conceitos são as principais causas dos problemas presentes nas organizações (Katayama, 2017) que, quando mitigados, conduzem à otimização das operações, redução de custos e melhoria da qualidade.

Muri refere-se à sobrecarga, tanto de pessoas como de equipamentos. Esta sobrecarga pode resultar em fadiga, erros e, consequentemente, numa redução da produtividade. A eliminação do *Muri,* através do equilíbrio das cargas de trabalho, é crucial para manter a motivação dos colaboradores e assim alcançar os objetivos estabelecidos (Mor et al., 2019).

Mura diz respeito à variabilidade, ou seja, às inconsistências que surgem ao longo do processo produtivo. Esta variabilidade pode causar gargalos (*bottlenecks)* e sobrecarga de recursos (*Muri*), resultando em aumentos no stock, custos e *Lead Time*. A eliminação do *Mura* é alcançada através da normalização dos processos e do nivelamento da produção, promovendo uma operação mais fluida (Mor et al., 2019).

Finalmente, *Muda* que representa desperdício, definido como qualquer atividade ou processo que consome recursos, mas não cria valor para o cliente (Rodrigues & Alves, 2024). A identificação e eliminação destes problemas é essencial para aumentar a produtividade e reduzir os custos das organizações.

2.2.2 7 Desperdícios

O conceito mais importante de *Lean Manufacturing* é a perceção de valor nos processos (Welo & Ringen, 2016). Este conhecimento permite a identificação dos desperdícios presentes nos processos, sendo de extrema importância a eliminação dos mesmos para garantir o funcionamento eficiente dos processos de uma organização. Ohno (1988) identifica 7 desperdícios sendo eles os seguintes:

- **Transporte de material**: O transporte refere-se ao movimento de materiais ou produtos no chão de fábrica, que contribui para o aumento do tempo de ciclo. A eliminação deste desperdício é dificultada pelas restrições impostas pelo *layout*, mas a sua minimização é fundamental, pois maximiza o tempo produtivo dos operadores.
- **Movimento de pessoas**: Similarmente ao transporte, a deslocação desnecessária de pessoas representa uma significativa fonte de desperdício. A sua presença é característica de processos e *layouts* mal otimizados, bem como de estações de trabalho pouco ergonómicas, que exigem, por exemplo, movimentos excessivos dos membros superiores.

- **Esperas**: As esperas são facilmente identificáveis pela ausência de tarefas por parte dos operadores ou por uma máquina se encontrar parada. Este desperdício é causado por ineficiências no sistema e pela falta de equilíbrio na carga de trabalho dos diferentes colaboradores. Exemplos comuns deste tipo de desperdício incluem a espera por materiais ou pela conclusão de uma operação tanto pelos operadores como pelos equipamentos.
- ***Stock***: O excesso de inventário é um desperdício que camufla os vários problemas presentes no processo produtivo, como ineficiências na produção, que são frequentemente ignoradas devido à existência de produtos no armazém. O *stock* também representa investimento parado, que poderia ser utilizado para melhorar o processo produtivo e que está vulnerável ao aparecimento de defeitos, outra forma de desperdícios, que podem surgir com o tempo.
- **Sobreprodução**: Como mencionado em 2.1, um dos princípios do *TPS* é o *JIT,* que em nada coincide com a sobreprodução. Este desperdício ocorre quando se produz mais do que o necessário, tanto em quantidade como em variedade ou quando se produz antes do tempo em que os produtos são requisitados, criando *stock*, aumentando os custos de armazenamento e expondo-se ao risco de os produtos fabricados perderem a sua relevância e tornarem-se obsoletos.
- **Sobre processamento**: Este desperdício verifica-se quando são realizadas operações em excesso, isto é, operações desnecessárias ou redundantes, ou quando se utilizam recursos em maior quantidade ou com uma qualidade superior ao necessário.
- **Defeitos**: São as não conformidades que ocorrem na produção que exigem retrabalho, consumindo mais recursos humanos e materiais do que esperado. É de extrema importância garantir que os defeitos não chegam ao cliente e que sejam rapidamente identificados, idealmente, o mais próximo possível da fonte, para permitir a identificação da sua origem e assegurar que não se repetem.

A identificação e a eliminação dos sete desperdícios constituem um processo longo e contínuo, mas vital para melhorar a eficiência do processo, reduzir custos e garantir a satisfação das necessidades dos clientes.

2.2.3 *One-piece Flow*

O conceito de *One-piece Flow* ou produção em fluxo unitário refere-se à movimentação de apenas um produto entre cada par de postos de trabalho, ou seja, apenas um componente é manipulado numa determinada operação, e assim que esta é concluída, o componente avança para o posto seguinte (Li &

Rong, 2009). Esta abordagem difere significativamente do método tradicional em que os componentes são processados em lote. A implementação de *One-piece Flow* resulta num baixo WIP e, consequentemente, num tempo de atravessamento mais curto, uma vez que as peças não ficam em linha à espera de um lote para seguirem para a secção seguinte (Feld, 2001).

Entre as vantagens desta abordagem estão a possibilidade de integrar processos secundários na linha principal e a rapidez de adaptação à variação da procura (Miltenburg, 2001).

Para implementar o fluxo unitário, é necessário definir um *layout* que minimize os movimentos e os transportes e que facilite a comunicação entre colaboradores, sendo o *layout* em "U" o mais comum. A disposição das máquinas e equipamentos deve ser definida de modo a seguir a sequência do processo e a garantir que não há interrupções (Coimbra, 2009).

Além disso, é crucial operar num sistema de produção puxada, ou *pull*, que dita que se deve produzir de acordo com encomendas ao invés de previsões, utilizando um sistema de *kanbans* para sinalizar as necessidades do material. A versatilidade dos operadores também é essencial para garantir a entreajuda entre os postos de trabalho em situações de atraso na produção (Nakade & Nishiwaki, 2008).

2.2.4 5S

Com base na procura e eliminação dos desperdícios é imperativo criar um ambiente de trabalho organizado, limpo e eficiente, sendo a metodologia 5S a ideal para o atingir. Os princípios desta metodologia de acordo com Hirano (1995) são os seguintes:

- Separar: Triar o necessário do desnecessário.
- Organizar: Organizar os objetos e locais de forma a facilitar o acesso.
- Limpar: Assegurar que o ambiente de trabalho se mantém limpo.
- Normalizar: Estabelecer normas para manter a limpeza e a organização.
- Disciplinar: Cultivar uma cultura de disciplina e respeito pelas regras estabelecidas.

Desta forma, a implementação do 5S promove não só a melhoria contínua, mas também a segurança e a produtividade no ambiente de trabalho. Ao eliminar desperdícios e otimizar os processos, esta metodologia contribui para a criação de uma cultura organizacional focada na eficiência e na sustentabilidade, impactando positivamente a motivação e o desempenho das equipas.

2.3 *Total flow management*

O *Total Flow Management* (TFM) é um modelo de gestão logística que se aplica a toda a cadeia de abastecimento de uma empresa. Esta abordagem visa otimizar o processo de produção ao melhorar o fluxo de valor dos processos e operações, com o objetivo de eliminar desperdícios e criar um fluxo contínuo no processo produtivo, tornando-o mais eficiente (Coimbra, 2013). Estes objetivos são sustentados por três macrofluxos constituem os pilares do TFM, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Modelo TFM
(Kaizen Institute, 2019)

O primeiro pilar, fluxo na produção, foca-se na otimização do fluxo dentro da produção, com os principais objetivos a implementação do *One-piece Flow,* que traz mais flexibilidade, e a eliminação de atividades que não acrescentam valor. Para que este pilar seja bem-sucedido, Coimbra (2013) defende que é necessário aplicar os seguintes conceitos:

- Desenho de linha e *layout*: Garantir o *One-piece Flow*.
- Bordo de Linha: Assegurar a eficiência do abastecimento.
- *Standard Work*: Reduzir a variabilidade e garantir a eficiência do processo.
- *Single Minute Exchange of Die* (SMED): Diminuir o tempo de *setup* e garantir flexibilidade.
- Automação de baixo custo: Simplificar tarefas e aumentar a produtividade.

O segundo pilar, fluxo na logística interna, procura estabelecer um fluxo de informação que acompanha o material em todas as etapas, além de implementar um sistema de produção *Pull*. Os conceitos associados a este pilar, segundo Coimbra (2013) incluem:

- Supermercados: Melhorar a eficiência do abastecimento;
- *Mizusumashi*: Efetuar o transporte dos materiais do supermercado ao bordo de linha e eliminar transporte de operadores "produtivos";

- Sincronização (*Kanban/Junjo*): Organizar as necessidades materiais;
- Nivelamento da produção: Garantir a eficiência do processo;
- Planeamento em *Pull*: Assegurar uma produção alinhada com as necessidades do cliente.

Finalmente, surge o terceiro pilar, que se concentra na melhoria do processo de movimentação de bens entre fornecedores e clientes, que abrange desde a receção de matérias-primas até à expedição dos produtos finais. Para atingir este fim as abordagens mais comuns são, segundo Kaizen Institute (2019):

- Definição da forma de armazenamento e desenho do armazém;
- Comboio Logístico (*milkrun*);
- Fluxos de entrada (*inbound*);
- Fluxos de saída (*outbound*);
- Planeamento em *Pull* total.

2.3.1 Fluxo na Produção

Neste subcapítulo, serão descritos de forma mais pormenorizada os conceitos associados ao primeiro pilar do TFM, o Fluxo na Produção. Os principais objetivos deste pilar incluem a implementação do *One-piece Flow*, desde a matéria-prima até à sua transformação em produto acabado, a customização em escala, através da flexibilidade obtida com a aplicação da metodologia SMED para a produção de lotes pequenos, a eliminação das atividades que não acrescentam valor e a automatização das operações mais simples.

2.3.1.1 Desenho de linha e *layout*

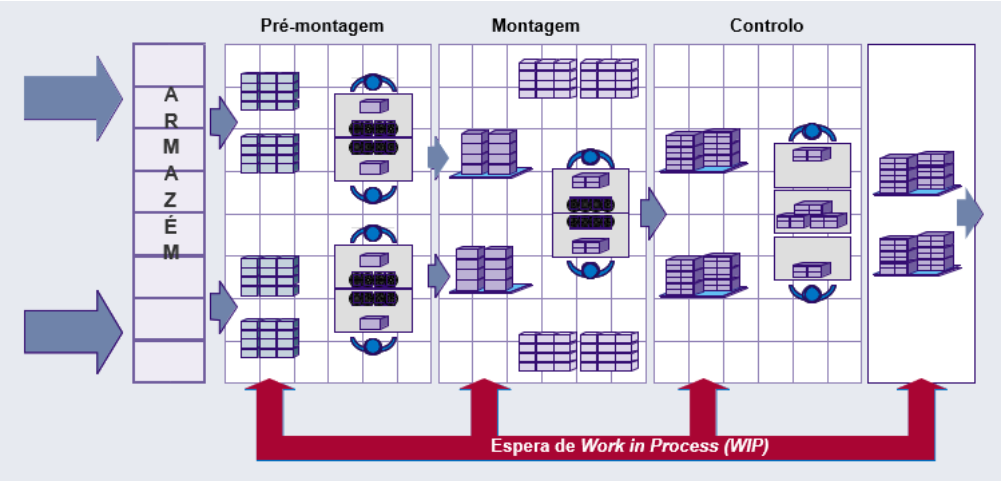
O primeiro passo para alcançar os objetivos definidos no primeiro pilar do TFM é o desenho da linha de produção e a definição do *layout*. O principal foco deste conceito é reduzir as atividades que não acrescentam valor, de modo a permitir que os colaboradores se movimentem o mínimo possível e que os materiais percorram distâncias mais curtas, facilitando a implementação de *One-piece Flow* entre as atividades que agregam valor (Coimbra, 2013).

Os *layouts* mais comuns dos sistemas de produção incluem:

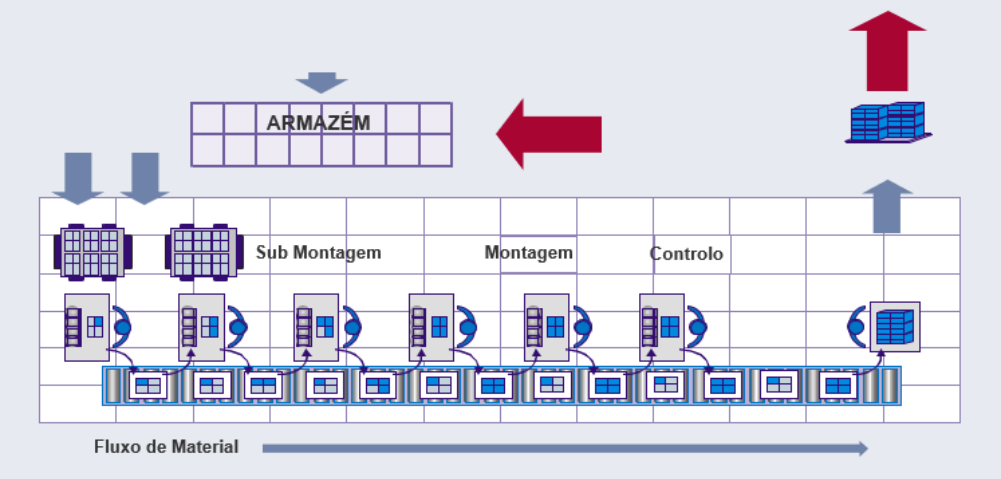
- ***Layout* funcional**: Característico de produção em lote, onde as máquinas e os equipamentos são organizados por função.
- ***Layout* em linha**: Associado à produção com lotes mais pequenos, onde as operações seguem uma sequência linear.

- ***Layout* em fluxo**: Associado ao *One-piece Flow*, onde os materiais e as informações fluem de forma contínua entre os postos de trabalho.

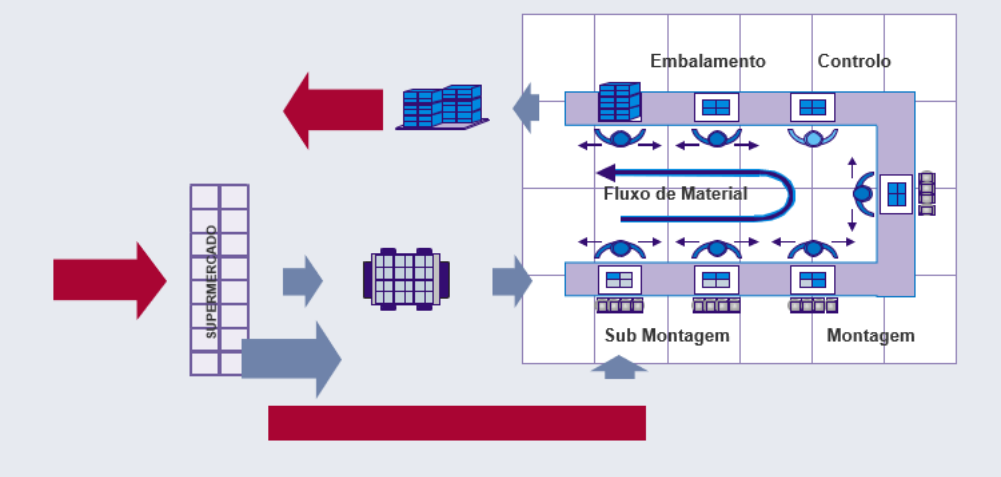
Os *layouts* referidos estão apresentados na Figura 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 3 - *Layout* Funcional (a), *Layout* em linha (b) e *Layout* em fluxo (c)
(Kaizen Institute, 2019)

As diferenças entre os *layouts* apresentados não são meramente físicas, mas também se refletem na forma como as operações são realizadas e como os materiais e a informação fluem.

Na Tabela 2, são apresentadas as principais diferenças enunciadas por Kaizen Institute (2019) entre o *layout* funcional e o *layout* em fluxo, não constando o *layout* em linha por ser uma abordagem intermédia entre os dois extremos.

Tabela 2 - Comparação entre layout funcional e layout em fluxo

Tópico a comparar	**Layout funcional**	**Layout em Fluxo**
Operador	Operação única	Operação múltipla
WIP	Elevado	Mínimo (One-piece Flow)
Transporte	Elevado	Baixo
Cadência de produção	Desalinhado do TT	"Igual" ao TT
Espaço ocupado	Elevado	Baixo
Resposta à variabilidade	Inflexível	Flexível

Os principais elementos presentes num *layout* em fluxo são a redução da distância percorrida pelas peças, a minimização do WIP e, comum ao *layout* em linha, a incorporação de várias tarefas num único posto de trabalho e a adaptação da cadência de produção para ser ligeiramente inferior ao TT.

Os benefícios associados à reestruturação da linha são desejáveis para qualquer organização que pretenda melhorar a sua produtividade, no entanto, esta mudança requer uma intensa preparação.

Na fase de preparação, é essencial realizar uma análise de Pareto ou ABC, que classifica as referências como "A", "B" ou "C" tendo por base a procura das mesmas, para identificar quais os produtos mais fabricados (Mehdizadeh, 2020). Esta análise possibilita a construção de uma matriz produto-processo tendo como base as principais referências A, identificadas na análise de Pareto. Esta matriz, devido à marcação das operações realizadas nas diferentes referências permite identificar padrões e semelhanças nos processos. Os padrões identificados na matriz levam à construção de um gráfico de processo que identifica a sequência das operações do processo produtivo assim como os tempos associados às mesmas, distinguindo as tarefas manuais das automáticas (Kaizen Institute, 2019).

Para o dimensionamento e balanceamento da linha, é imperativo conhecer o TT e garantir que o Tempo de Ciclo (TC), ou seja, o intervalo de tempo entre a produção de peças consecutivas, seja ligeiramente inferior à cadência imposta pelo mercado.

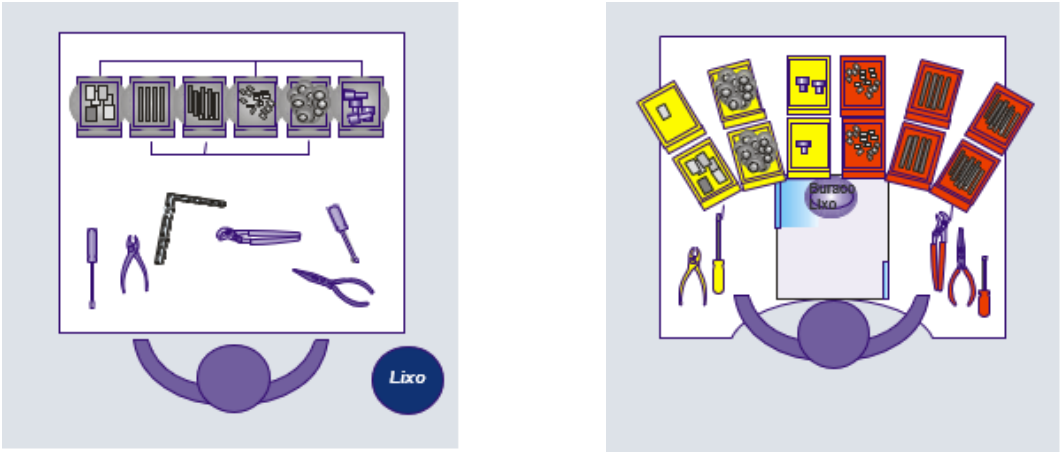
Finalmente, é possível proceder ao balanceamento das tarefas cujo objetivo é distribuir as tarefas pelos diferentes postos de trabalho, garantindo que a carga de trabalho seja o mais equilibrada possível (Lam et al., 2016). O equilíbrio dos postos de trabalho é feito com recurso ao TT e ao cálculo do número de postos teóricos e tempo de ciclo indicativo, e através da criação de um gráfico *Yamazumi,* ferramenta na qual as diferentes tarefas são distribuídas pelos postos de trabalho (Sly, 2018). Embora a distribuição

uniforme seja ideal, nem sempre é possível devido às restrições do processo, devendo o tempo de cada posto ser sempre o mais próximo possível do TT sem nunca o ultrapassar (Boysen et al., 2007). A disparidade de tempos entre postos consecutivos, no entanto pode ser reduzida, já que a entreajuda entre postos é uma característica típica destes layouts.

2.3.1.2 Bordo de Linha

O bordo de linha pode ser definido como a interface entre a produção e a logística, desempenhando um papel crucial na facilitação da troca de materiais e informações entre ambas as áreas (Coimbra, 2009). A sua integração na linha de produção tem como principal foco reduzir os movimentos que os operadores precisam de realizar para recolher os componentes necessários.

A Figura 4 retrata as diferenças entre postos com e sem bordo de linha.



(a) (b)

Figura 4 - Posto de trabalho sem bordo de linha (a) e posto de trabalho com bordo de linha (b) (Kaizen Institute, 2019)

A inclusão do bordo de linha é caracterizada pela colocação dos componentes ao alcance do operador, reduzindo o desperdício associado ao movimento para a recolha dos materiais, pela atribuição de posições fixas para os componentes mais comuns e para as ferramentas utilizadas, pela utilização de um sistema de duas caixas que indica à logística a necessidade de reposição do material, e pela capacidade de abastecer os componentes de forma frontal, garantindo que o fluxo de produção não cessa para recolher materiais (Kaizen Institute, 2019).

O seu dimensionamento deve ser efetuado tendo por base os ciclos de abastecimento e restrições materiais ou físicas presentes nas organizações.

2.3.1.3 *Standard Work*

O *Standard Work* é uma metodologia orientada para a observação e simplificação de tarefas, possibilitando a compreensão das dificuldades enfrentadas pelos colaboradores e a identificação de

oportunidades de melhoria no processo, com o principal objetivo de uniformizar as operações realizadas e a sequência das mesmas, reduzindo assim o desperdício associado (Mor et al., 2019).

Para garantir uma implementação bem-sucedida, esta metodologia deve ser aplicada no *Gemba*, local onde se acrescenta valor, e baseada na observação direta das tarefas executadas pelos colaboradores.

Os benefícios desta metodologia permitem produzir eficientemente com mínimo desperdício associado (Kok Lim et al., 1999) através da simplificação, normalização e melhoria dos métodos de trabalho e partilha de boas práticas entre colaboradores. A diminuição dos tempos de ciclo dos processos é fruto da redução da variabilidade dos processos (Womack & Jones, 1996).

A definição das ações de melhoria deve basear-se nas observações efetuadas durante o acompanhamento dos colaboradores, o que requer o registo dos movimentos e tempos, das anomalias e dificuldades encontradas, bem como dos principais desperdícios, como materiais e informação em espera, movimentos e transportes desnecessários, e retrabalho associado a defeitos.

Segundo Kaizen Institute (2019), a informação recolhida permite cumprir os cinco passos do processo de *Standard Work,* que são:

- **Definição de objetivos SMART** (*Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-Based*): Estes objetivos permitem a comparação entre as diferentes fases do processo, caracterizadas pelas alterações implementadas.
- **Estudo da informação recolhida**: Através dos tempos medidos, diagramas de *Spaguetti* construídos e análises VA/MUDA (percentagem de tempo onde o trabalhador acrescenta valor), são geradas ações de melhoria que são classificadas numa matriz esforço-impacto
- **Implementação das ideias de melhoria**: As ideias de melhoria levantadas são implementadas e monitorizadas para garantir que os objetivos evoluem como esperado.
- **Normalização do trabalho**: Criar normas que sustentem as melhorias e OPL *(One Point Lesson)*, documentos visuais que instruem o leitor sobre os novos métodos de execução, com o principal objetivo de reduzir a variação de desempenho entre os colaboradores.
- **Treino dos Colaboradores**: Consiste na formação dos colaboradores com recurso aos documentos criados, e na consolidação do trabalho para garantir o cumprimento das normas e a transmissão das boas práticas.

2.3.1.4 *SMED*

A flexibilidade é fundamental para garantir a excelência operacional sendo a capacidade de produzir pequenas quantidades de uma grande diversidade de produtos a base da produção puxada (Ferradás &

Salonitis, 2013). Uma metodologia que permite maior flexibilidade às organizações é o SMED. Desenvolvida por Shigeo Shingo nos anos 50, o SMED visa a redução do tempo de *changeover*, que, segundo Coimbra (2009), pode ser definido como, o tempo entre a última peça boa da produção atual e a primeira peça boa da produção seguinte. Este tempo inclui todo o processo de troca de ferramentas, componentes e ajustes de máquinas.

A metodologia segue a sequência ilustrada na Figura 5.

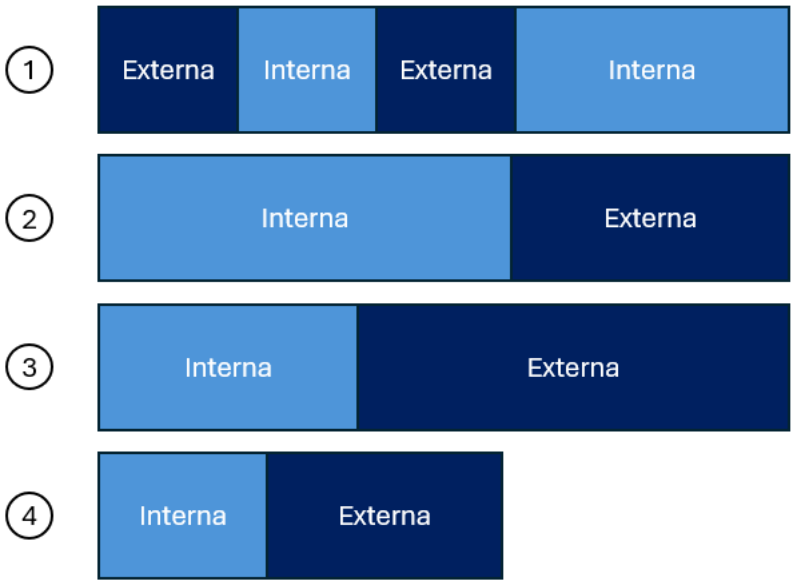


Figura 5 - Etapas do SMED

Os princípios da metodologia, descritos por Shingo (1985), são os seguintes:

- **Estudo do trabalho**: Nesta fase, as tarefas de mudança realizadas são identificadas e classificadas em internas ou externas. As tarefas internas são definidas como aquelas realizadas enquanto o equipamento está parado, não havendo produção. As tarefas externas, em contraste, são tarefas efetuadas enquanto a máquina está em funcionamento, não interferindo com a produção.
- **Separação das tarefas internas e tarefas externas**: Este passo consiste na reordenação da sequência de tarefas, de modo a garantir que as tarefas internas e externas estejam devidamente separadas, ao agrupar as tarefas de acordo com o momento em que são realizadas. Para tal, as tarefas externas são posicionadas no início ou no final da mudança.
- **Converter operações internas em externas**: As operações internas são analisadas com o objetivo de identificar alterações necessárias ao processo e equipamentos de modo a transformá-las em externas e assim serem realizadas em simultâneo com a produção.

- **Simplificação das tarefas**: Esta fase visa a redução dos tempos, tanto das tarefas internas como tarefas externas, sendo prioritário a redução das internas.

A correta implementação desta metodologia, aliada à procura contínua por ações de melhoria no processo de *changeover* possibilitam a redução de *stocks,* o aumento da produtividade e uma maior flexibilidade, que possibilita a produção de artigos variados em lotes mais pequenos, devido aos tempos de mudança mais curtos (Rosa et al., 2017). Apesar do esforço associado à aplicação do SMED, as vantagens a longo prazo fazem deste um investimento valioso para qualquer organização.

2.3.1.5 *Automação de baixo custo*

As empresas cada vez mais procuram soluções que as tornem mais competitivas para além de mão-de-obra barata. O panorama atual da indústria caracteriza-se pela procura pela produtividade, flexibilidade e fiabilidade (Kaur et al., 2017), forçando todas as organizações a explorar oportunidades de melhoria e a tomar decisões económicas. A ascensão do conceito de automação de baixo custo oferece às pequenas e médias empresas (PME) a possibilidade de explorar soluções que aumentem a sua produtividade e competitividade, sem incorrer em custos desmesurados e que, segundo Albertos (1998), permitam averiguar a viabilidade, confiança e segurança das soluções desenhadas.

Existe uma diversidade de soluções de automação que podem ser implementadas, e para garantir a sua correta aplicação, segundo Kaizen Institute (2019), devem ser seguidos os seguintes princípios:

- Automação incremental, que procura testar de forma simplificada a fiabilidade das soluções desenhadas com pouco risco financeiro e futuramente incrementar o nível das mesmas;
- Incorporação de mudanças nos equipamentos atuais, visa, na eventualidade de ser mais económico, melhorar os equipamentos já existentes ao invés de adquirir equipamentos novos que tenham essas mesmas funcionalidades já incorporadas;
- Mecanismos e ferramentas simples, para evitar a complexidade e garantir que a sua implementação não exige muita formação e custos elevados;
- Simplificação do processo, deve ser feito antes de aplicar as alterações projetadas para evitar que ineficiências existentes sejam perpetuadas.

Em conjunto com os princípios identificados, os passos a seguir incluem, com base no *standard work,* a identificação de oportunidades, com base na análise dos processos, reconhecendo os gargalos e as tarefas mais repetidas. Posteriormente definem-se os objetivos que se esperam atingir como a redução de custos e o aumento da produtividade e qualidade (Kaizen Institute, 2019) A fase seguinte é o desenvolvimento das soluções, que devem ser simples, com custo baixo e de reduzido risco operacional

(Albertos, 1989). A validação e teste das soluções deve ser feita através de projetos piloto em pequena escala seguida de uma implementação em maior escala. A monitorização dos objetivos estabelecidos permite avaliar os benefícios alcançados e identificar novas oportunidades de melhorias.

2.3.2 Fluxo na Logística Interna

Neste subcapítulo, serão apresentados os conceitos de Supermercado e Operador Logístico, descritos no segundo pilar do TFM, o Fluxo na Logística Interna. Estes conceitos têm como objetivo a implementação de um fluxo de informação e material eficiente, que acompanhe o material em todas as etapas, e a vinculação da produção à logística, de modo a permitir a instalação de um sistema de produção puxada.

2.3.2.1 *Supermercados*

A criação de fluxo na Logística Interna está associada a uma elevada flexibilidade e agilidade no abastecimento dos componentes necessários à produção, tornando imperativo definir uma estratégia clara que assegure a inexistência de roturas de componentes, evitando assim perdas de produtividade. O conceito de supermercado consiste no armazenamento limitado de componentes entre o armazém e a zona de produção, facilitando o reabastecimento conforme necessidade, de forma simples e eficaz (Coimbra, 2013).

Uma das principais decisões, que deve ser constantemente reavaliada durante a implementação deste conceito, é a escolha dos componentes a serem armazenados, sendo essencial selecionar componentes de elevada rotação e em quantidades limitadas, garantindo que não se acumulam peças obsoletas.

O reabastecimento do supermercado é sinalizado através de um sistema de sincronização, recorrendo a mecanismos visuais que facilitem a gestão da informação sobre os componentes a serem repostos, sendo estes classificados como *Kanban* ou *Junjo*. Os componentes *Kanban* são transversais à maioria das referências da organização, sendo o seu abastecimento no supermercado despoletado por um cartão ou caixa vazia (González-R et al., 2012). Por outro lado, os componentes *Junjo* são peças que não fazem parte da lista de materiais ou *Bill of Materials* (BOM) de todas as referências, sendo, por isso, apenas colocados no supermercado por pedido, ao invés de um sistema contínuo como o utilizado para os componentes *Kanban (Kaizen Institute, 2019)*. Desta forma, assegura-se que o supermercado não tem roturas de materiais.

A implementação eficaz de um supermercado requer, inicialmente, a identificação dos componentes a serem armazenados, bem como as dimensões das caixas que os contém e as quantidades adequadas. Esta identificação permite o correto dimensionamento do espaço necessário para componente. A

localização do supermercado também é um fator crítico, devendo ser escolhido um local próximo da linha de produção (Jin et al., 2021) para minimizar o transporte das peças para o Bordo de Linha, sem descurar a facilidade de reabastecimento a partir do armazém.

O sucesso da implementação contribui para menores distâncias percorridas pelos materiais no momento da requisição e na diminuição de matéria-prima presente na zona de produção (Emde & Boysen, 2012). A utilização do supermercado torna-se, assim, essencial para garantir um fluxo contínuo e eficaz entre a produção e a logística.

2.3.2.2 *Mizusumashi*

O *mizusumashi*, trata-se de um colaborador responsável por abastecer os materiais necessários na linha, sendo o seu principal objetivo garantir que os materiais e a informação necessárias, nas quantidades exatas cheguem quando planeado (Gil Vilda et al., 2020) de modo a nunca estarem em falta, evitando assim paragens na produção. Sendo a movimentação e o transporte dois dos principais desperdícios, a criação desta função surge com o objetivo de concentrá-los num operador, permitindo aos operadores da produção focarem-se exclusivamente na criação de valor nos produtos (Coimbra, 2009).

Para garantir o correto abastecimento da linha usualmente segue-se um ciclo semelhante ao definido na Figura 6.

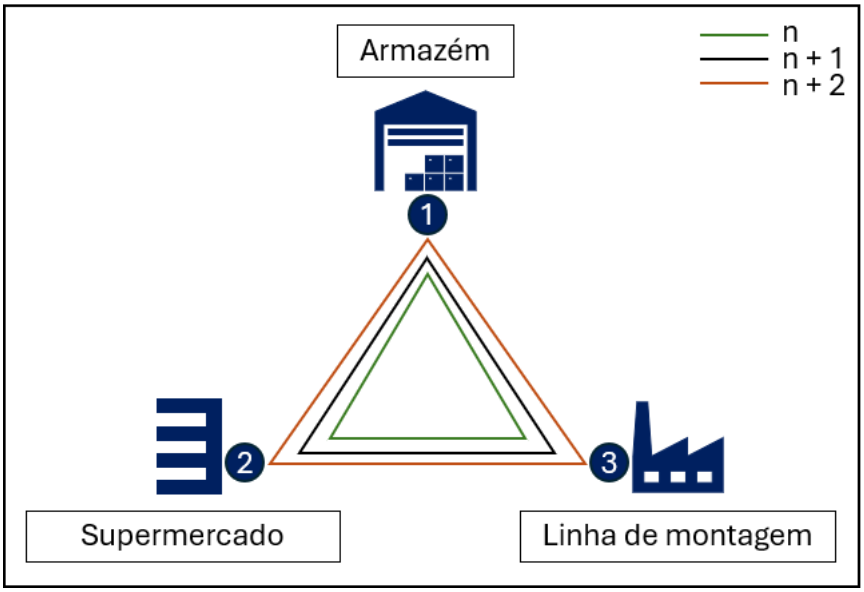


Figura 6 - Ciclo de um mizusumashi

O *mizusumashi* cumpre este ciclo e necessita de o dominar de forma exímia o mesmo caso precise de efetuar alterações (Hill, 2012). O ciclo consiste na recolha de caixas do armazém que são abastecidas no supermercado e, conforme a necessidade, levadas para o bordo de linha. No bordo de linha, as caixas vazias são recolhidas e levadas de volta para o armazém, onde são reabastecidas e colocadas no supermercado por um trabalhador do armazém. Este abastecimento usualmente demora 2 ciclos (n+2),

sendo este o tempo necessário até os materiais se encontrarem reabastecidos no supermercado, possibilitando o abastecimento dos mesmos pelo *mizusumashi*. (Coimbra, 2013)

A periodicidade da rota do comboio logístico deve ser definida de acordo com o tempo necessário para o mesmo conseguir realizar todas as suas operações, tendo esta decisão impacto no dimensionamento do bordo de linha.

Para calcular o número de caixas necessárias de cada componente é requerida a autonomia de cada caixa individual de componentes, sendo a mesma definida de acordo com o Kaizen Institute, (2019) pelo tempo de esvaziar uma caixa seguindo a cadência do TT. Posto isto, é também necessário levar em consideração o fator de incorporação, quantidade de cada componente consumida por ciclo, sendo calculado de acordo com a Equação [1].

$$Autonomia = \frac{Quantidade\ na\ caixa\ \times\ Takt\ Time}{Fator\ de\ incorporação} \qquad [1]$$

Com o conhecimento da autonomia de cada componente é possível calcular do número de caixas a incluir no bordo de linha, sendo o mesmo definido através do quociente de dois ciclos completos do *mizusumashi* (um para recolher e outro para abastecer) pela autonomia das caixas com a inclusão de uma caixa extra, como apresentado na equação [2].

$$Número\ de\ caixas\ BoL = \frac{Tempo\ entre\ ciclos\ do\ mizusumashi\ \times\ 2}{Autonomia} + 1 \qquad [2]$$

A integração do *mizusumahsi* no processo de abastecimento é crucial para garantir de forma eficiente e eficaz a integração de materiais e informação nas linhas (Tellini et al., 2019), eliminando paragens pela falta dos mesmos. Ao assegurar a disponibilidade dos materiais no momento certo, os operadores não necessitam de cessar as suas funções para recolher os mesmos aumentando assim a produtividade.

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O projeto documentado nesta dissertação foi desenvolvido no *Kaizen Institute,* em colaboração com uma empresa do setor de eletrónica e tecnologia especializada na transformação de PCB em *Printed Circuit Board Assembly* (PCBA) e na integração de outros componentes mecânicos para a fabricação de diversos produtos. Devido a um contrato de confidencialidade, o nome da empresa será omitido, pelo que será denominada Empresa X ao longo do documento. Este capítulo tem como objetivo introduzir o *Kaizen Institute*, a Empresa X e o processo produtivo da mesma.

3.1 *Kaizen Institute*

O *Kaizen Institute* (KI) surge na Suíça, no ano de 1985, pelo seu fundador Masaaki Imai. Desde a sua criação, o objetivo do KI tem sido auxiliar as empresas na implementação de metodologias e práticas sustentáveis que aumentem a produtividade, eficiência e qualidade. O KI encontra-se espalhado por todo o mundo, estando presente em mais de 60 países, e inserido numa variedade de setores. O *Kaizen Institute Western Europe* é responsável por liderar projetos em Portugal, Espanha, França, Alemanha, Luxemburgo, Reino Unido, Estados Unidos da América e Catar.

A palavra "*Kaizen*" deriva das palavras japonesas "*Kai*", que significa "mudar", e "*Zen*", que simboliza "melhor". Portanto, "*Kaizen*" pode ser traduzido como "Mudar para melhor". Esta filosofia reflete a missão do KI, que é promover a melhoria contínua diariamente em todas as áreas e para todas as pessoas. A empresa desenvolve uma cultura de melhoria contínua em colaboração com os seus clientes, oferecendo serviços de consultoria e de formação. O objetivo é proporcionar aos clientes o conhecimento necessário, para que possam implementar melhorias de forma autónoma.

Além de focar nas melhorias dos resultados através da revisão e alteração de processos, o KI valoriza o envolvimento e compromisso dos colaboradores, incentivando-os a participar na definição e implementação de soluções. Desta forma, procura criar uma cultura de melhoria contínua, capacitando os trabalhadores a aperfeiçoar os processos da empresa de forma independente no futuro.

3.2 Empresa X

A empresa X, sediada na Europa, possui unidades fabris distribuídas pela Europa e África. A sua produção é realizada sob encomenda para outras empresas. Os diferentes produtos fabricados pela empresa são característicos do cliente que os encomenda respeitando as especificações exigidas. Os clientes são

responsáveis por fornecer a instrução de trabalho e os componentes necessários, enquanto a Empresa X se encarrega da produção dos PCBA e da montagem dos produtos finais.

A decisão da Empresa X de ingressar neste projeto foi guiada pela sua ambição e determinação em inovar e otimizar os seus processos. A diminuição da procura por parte de um cliente levou a empresa X a contratar o KI para auxiliar na otimização do processo produtivo deste cliente, permitindo assim a realocação dos recursos libertados para outros projetos.

A Empresa X, comprometida com a melhoria contínua, espera que a colaboração com o KI, aliada à experiência desta entidade, promova tanto o aumento do conhecimento dos trabalhadores como o crescimento sustentável da empresa no mercado.

3.3 Processo produtivo geral

Apesar da vasta gama de produtos fabricados pela empresa, devido à diversidade de clientes, é possível apresentar um processo produtivo geral, estando a principal variação entre os produtos na fase da montagem final. O processo produtivo segue a seguinte sequência:

1. ***Surface Mount Technology* (SMT):** Nesta secção da empresa, que adota o próprio nome do método aplicado, os componentes eletrónicos são integrados nos PCB, transformando-os em PCBA e preparados para juntar os restantes componentes.
2. **Pré-montagem:** Aqui, são adicionados aos PCBA componentes que necessitem de soldadura adicional, impossibilitando a sua aplicação direta na fase de montagem final.
3. ***Wave*:** Os componentes integrados na etapa anterior são soldados às placas utilizando o processo de soldadura por onda.
4. **Programação e Teste:** O programa é instalado nos PCBA, seguido de um teste automático para assegurar que os mesmos estão em conformidade com as especificações;
5. **Verniz:** Nesta etapa, é aplicada uma camada de Gel e Verniz nos PCBA para proteção adicional;
6. **Montagem Final:** Os PCBA são transformados em produtos acabados por meio da configuração, teste final da placa a inserção dos diversos componentes.
7. **Embalamento:** Os produtos recebem etiquetas identificadoras e são colocados em sacos para o envio.

A Empresa X apresenta uma divisão no chão de fábrica em áreas de acordo com o cliente para o qual produzem, existindo um *team leader* associado a cada uma. A área de atuação deste projeto coincide com a secção de um dos principais clientes da empresa, o cliente Y responsável por uma enorme

variedade de referências agrupadas em famílias estando focado exclusivamente nas etapas de montagem final e embalamento, uma vez que são as áreas pertencentes ao subsistema produtivo que a Empresa X pretende otimizar.

A definição detalhada do processo de montagem final deste cliente é apresentada no capítulo 4.1.3.

3.4 *Layout* da empresa

O *layout* da empresa está ilustrado na Figura 7, estando a localização do subsistema de produção do cliente Y a estudar destacado a azul.

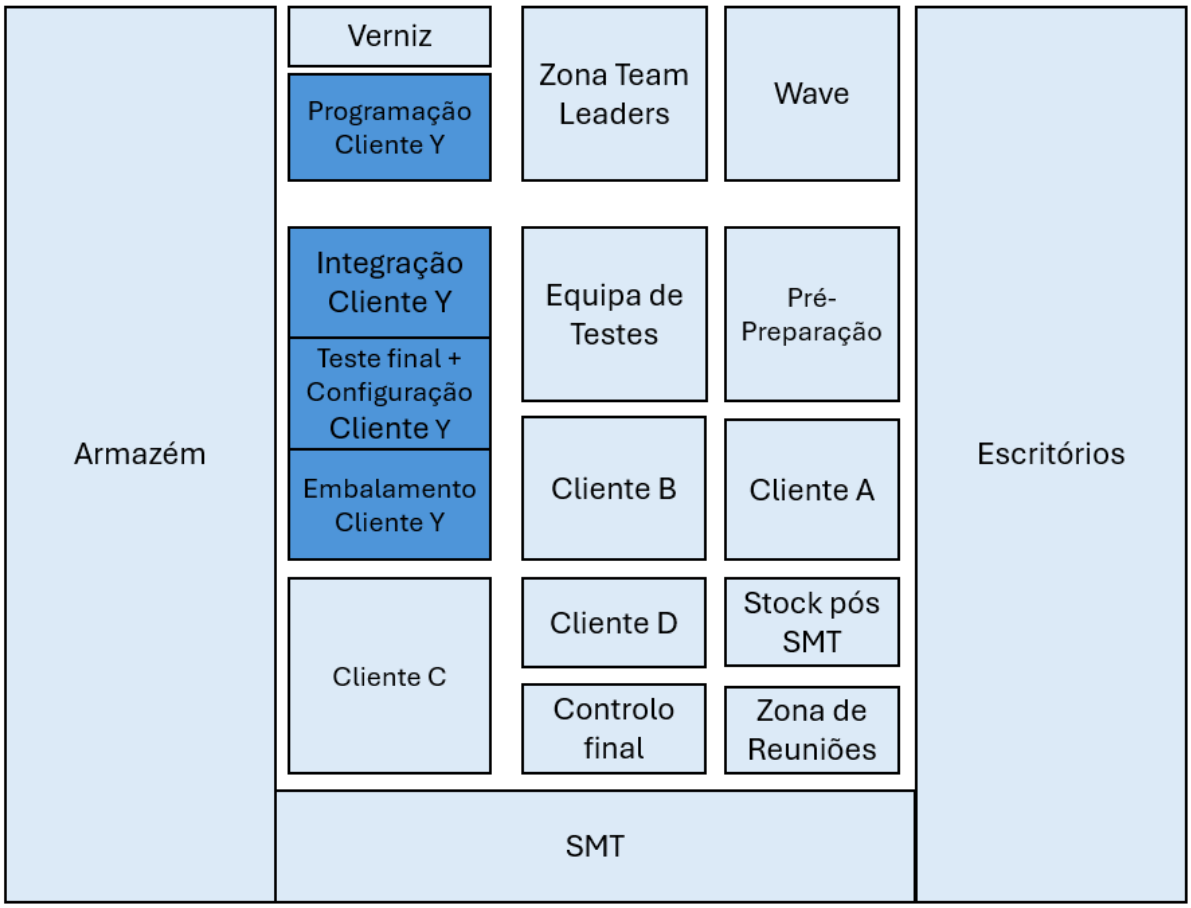


Figura 7 - *Layout* da empresa

Cada subsistema dos diferentes clientes é autossuficiente, não havendo partilha dos processos de integração, teste e embalamento. O cliente Y ocupa cerca de 120 m² de espaço, com cada uma das suas secções a ocupar perto de 30 m², destacando-se como o cliente com maior presença no chão de fábrica.

4 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL

Este capítulo visa descrever a situação inicial da empresa, através da caracterização da mesma e descrição detalhada do processo produtivo da montagem final e embalamento do cliente Y. Segue-se a análise crítica do estado inicial através da identificação dos principais problemas encontrados.

4.1 Caracterização da situação atual

O processo produtivo atual do cliente em estudo conta com a participação de 15 operadores, sendo estes responsáveis pelas operações de programação, teste, configuração, montagem e embalamento dos produtos. Essas operações, juntamente com as respetivas tarefas e tempos, estão representadas na Tabela 3, estando as tarefas totalmente automáticas destacadas. Embora a aplicação de verniz faça parte do processo produtivo, não terá foco no projeto, uma vez que não condiciona o trabalho do cliente Y, e apresenta capacidade suficiente para alimentar as diversas secções da fábrica.

Tabela 3 - Operações efetuadas nos produtos do cliente Y

Operação	Tarefa	Tempo por peça (s)
Programação	Degrapagem	5
	Carregar máquina programação	9
	Programação (4 peças por ciclo)	11,25
	Descarregar máquina programação	9
Teste inicial	Carregar máquina teste	4
	Carregar máquina teste	4
	Teste (1 peça por ciclo)	45
	Descarregar máquina teste	4
	Descarregar máquina teste	4
Preparação guias	Cortar guias	6
Preparação caixa	Dobrar instrução de trabalho	4
	Construir caixa de cartão e colocar instrução de trabalho	8
	Colocar componentes em saquinhos	14
Preparação base	Colocar etiqueta na base	6
	Inserir porcas na base	12
Integração tampa	Colocar guias na tampa	12
	Retirar adesivo da antena	8
	Colocar antena na tampa	13
	Colocar PCBA na antena	10
	Colocar etiqueta na tampa	4
	Colocar *bornier*	4
Configuração	Carregar máquina configuração	2
	Configuração (10 peça por ciclo)	13
	Descarregar máquina configuração	2
Teste final	Carregar máquina teste	4

	Teste (1 peça por ciclo)	50
	Descarregar máquina teste	4
	Colocar *bornier*	3
	Marcar testado	3
Integração final	Colocar etiquetas na tampa	10
	Juntar base e tampa	4
Embalamento	Colocar saquinho no conjunto	5
	Colocar etiquetas na base	10
	Colocar conjunto num saco	7
	Colocar saco na caixa	4
	Colocar etiquetas na caixa	10
	Colocar caixa na palete	4

A organização e monitorização do processo é feita por um chefe de linha que está encarregue pelo sequenciamento de produção, alocação de tarefas no chão de fábrica e supervisionamento do trabalho realizado.

O abastecimento dos componentes é efetuado pelos operadores do armazém que, semanalmente recebem as ordens de fabrico (OF) correspondentes à semana seguinte. Estas OF são entregues pelo chefe de linha ao chefe do armazém e contém os materiais e quantidades necessárias a abastecer, sendo estes preparados e colocados em paletes no armazém até serem requeridos na produção. O transporte dos materiais para os postos de trabalho é efetuado após a conclusão da OF transata e consoante pedido do chefe de linha que decide a nova OF a produzir.

Além da equipa da produção e da logística, há mais três equipas que provocam um grande impacto na fluidez do processo produtivo, tendo cada uma destas um *team leader* associado. A equipa de testes que é responsável pelo *setup* dos equipamentos eletrónicos necessários e por analisar todos os problemas, como não conformidades e avarias que podem surgir associados às placas dos produtos. A equipa é notificada pelos operadores em caso de erros constantes num curto espaço de tempo. Outra equipa é a de qualidade com recurso a um controlo final por amostragem e juntamente com o *feedback* dos clientes é responsável por analisar os problemas encontrados e desenvolver mecanismos para evitar que os mesmos se repitam.

Finalmente, surge a equipa dos métodos responsável por gerir todos os sistemas informáticos, de estudar o processo produtivo e de efetuar as mudanças necessárias, assim como construir as instruções de trabalho a serem seguidas.

A troca de informação entre as equipas acontece na forma de duas reuniões diárias. Na primeira, os *team leaders* da produção, que representam os diferentes clientes, reúnem brevemente com o chefe de produção e o chefe da equipa de testes onde anunciam e discutem os seguintes assuntos:

- Quantidade produzida no dia anterior, comparando com o objetivo definido;
- Intervenções da equipa de testes e estado das reparações em curso;
- Planeamento para o dia;
- Informações urgentes (pessoas de baixa).

Esta reunião contextualiza o chefe da equipa de testes das trocas de equipamentos necessárias e o chefe de produção do estado e necessidades das secções, para que os tópicos levantados possam ser discutidos numa segunda reunião junto dos responsáveis das outras equipas e dos diretores de fábrica. Para além de contextualizar as equipas e os diretores do estado da produção, nesta reunião também são discutidos os indicadores de qualidade e dos testes, tarefas pendentes e possíveis ações de melhoria.

4.1.1 Estudo da procura

Ao contrário do habitual em outras indústrias, a Empresa X tem uma visibilidade a longo prazo da distribuição da procura, devido à sua operação baseada em encomendas semestrais feitas pelos seus clientes. Isto permite à empresa definir oportunamente a melhor abordagem para a produção.

Na Figura 8, é apresentado o histórico de encomendas das últimas 32 semanas de 2023, onde não se observa sazonalidade, com a procura mantendo-se relativamente constante ao longo do tempo. A procura média é de 6.815 peças por semana, com um valor máximo registado de 10.099 peças numa semana.

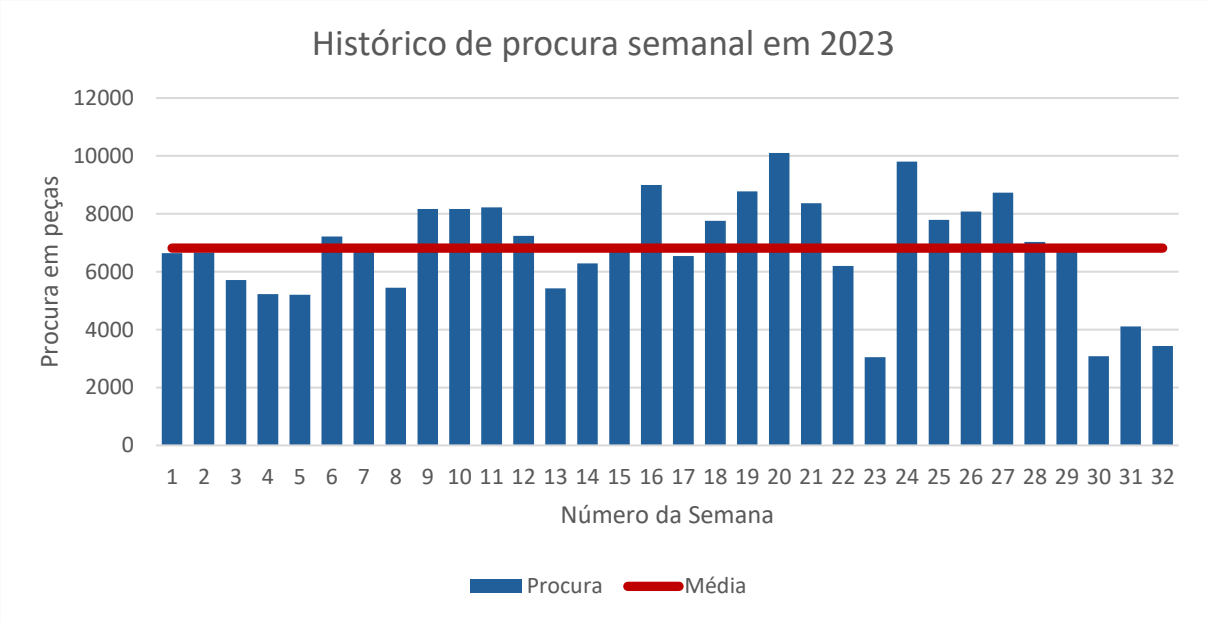


Figura 8 - Histórico da procura das últimas 32 semanas de 2023

Apesar do histórico apresentado, a empresa prevê uma queda no volume de produção para cerca de 3.524 peças por semana no seguinte ano, devido às encomendas recebidas pelo cliente Y. Esta queda

começa a ser visível a partir da semana 30, conforme ilustrado na Figura 8, com uma redução na procura de cerca de 47% em relação ao valor médio semanal, passando de 6.700 para 3.524 peças.

Uma análise mais detalhada dos dados de produção revela que as famílias de produtos mais fabricadas são as A, AS e A1 representando mais de 70% da produção total, como mostra a Figura 9. Com menor representação, encontram-se as famílias A1S, Módulo e AT, com cerca de 23%, e, finalmente, as famílias W e A MS2 com 3% cada uma, traduzindo-se na produção de uma a duas semanas ao longo de um ano.

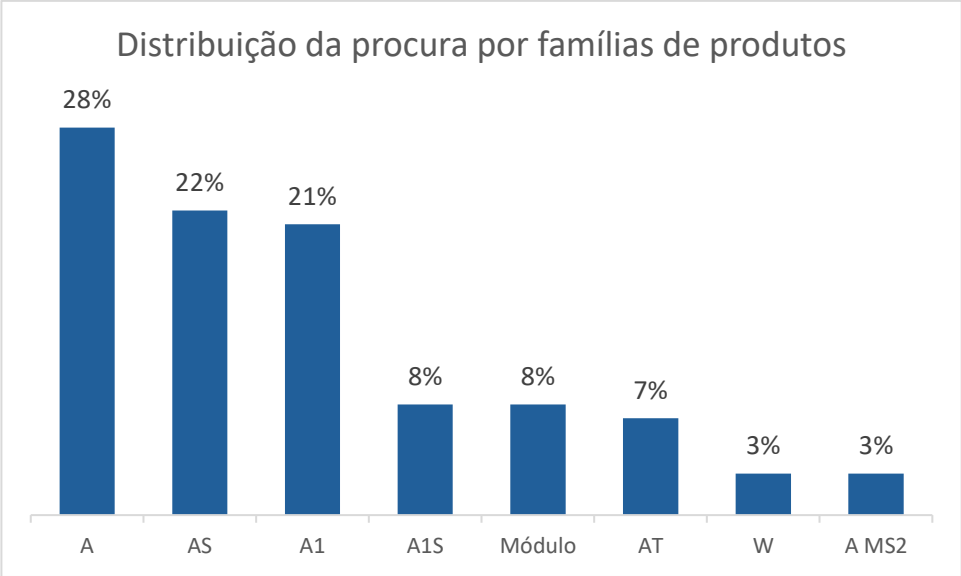


Figura 9 - Distribuição da produção do cliente Y por famílias

Analisando as referências produzidas, através da Figura 10, conclui-se que das quatro mais produzidas, três pertencem à família AS, destacando-se a superioridade das famílias A, AS e A1 como era de esperar, pela análise prévia da Figura 9. Conclui-se também que, de forma geral, o volume de produção entre as diferentes referências está relativamente equilibrado e que as dezasseis referências mais fabricadas compõem cerca de 36% da produção total.

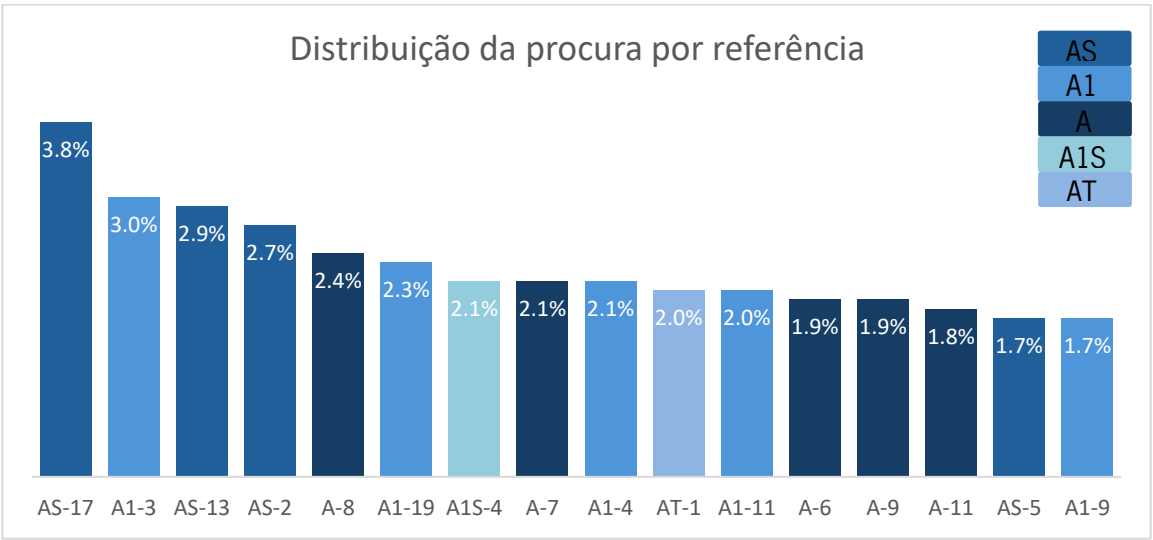


Figura 10 - Top 16 referências mais produzidas em 2023

4.1.2 Matriz produto-processo

Após a análise da procura e considerando as dez referências mais produzidas, apresentadas na Figura 10, que representam mais de um quarto da produção, foi elaborada uma matriz produto-processo, apresentada na Figura 11. Esta matriz tem como objetivo identificar padrões nos diferentes processos produtivos e possibilitar a construção de um gráfico de processo o mais universal possível.

Referência	Família	Degrapagem	Programação PCBA	Programação antena	Teste inicial	Verniz PCBA	Verniz antena	Gel	Gel antena	Preparação guias	Integração	Colocar antena	Teste final	Dobrar a instrução e preparar a Caixa	Preparação saquinho	Preparação base	Embalamento
AS-17	AS	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
A1-3	A1	X	X		X	X					X	X	X	X	X		X
AS-13	AS	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
AS-2	AS	X			X						X		X	X			
A-8	A	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
A1-19	A1	X	X		X	X					X	X	X	X	X		X
A1S-4	A1S	X	X		X	X					X	X	X	X	X		X
A-7	A	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
A1-4	A1	X	X		X	X					X	X	X	X	X		X
AT-1	AT	X	X		X	X			X	X	X		X	X	X	X	X

Figura 11 - Matriz produto-processo das 10 referências mais produzidas do cliente Y

A análise da matriz revela que certas tarefas são comuns a diversas referências. A preparação de guias e bases é realizada em metade das referências, enquanto a preparação de sacos, colocação da antena, programação e embalamento são tarefas presentes em quase todas as referências. A degrapagem, testes, integração, e a preparação da instrução e caixa são realizadas em todas as referências. Relativamente ao verniz, quase todas as referências passam pela secção, mas as operações realizadas variam conforme as especificações individuais, como a aplicação de gel.

Embora a colocação de antena esteja presente em 90% das referências analisadas, apenas uma delas recebe aplicação de gel e nenhuma é programada, sendo esta última característica limitada a referências de menor rotação.

Quatro das referências, embora pertençam a famílias distintas, partilham as mesmas tarefas. Da mesma forma, as três referências da família A1 analisadas, seguem exatamente o mesmo processo. Apesar de existirem ligeiras diferenças em relação às referências mencionadas anteriormente, é evidente uma grande similaridade e consistência no processo.

4.1.3 Diagrama de processo

Para complementar as análises realizadas anteriormente, foi desenvolvido um diagrama de processo para o produto mais completo do cliente Y, com foco nas secções de programação, teste, verniz, configuração, montagem final e embalamento, devido à significativa diferenciação destas secções em comparação com as utilizadas para os outros clientes da empresa. Este diagrama tem o objetivo de ilustrar as tarefas envolvidas no processo produtivo da referência mais complexa do cliente, proporcionando uma visão mais clara e concisa do fluxo de trabalho.

Dado o catálogo de produtos do cliente Y, onde diferentes referências utilizam variados componentes e requerem tarefas distintas durante a produção, o diagrama foi elaborado com base na matriz produto-processo apresentada na Figura 11, tendo como objetivo definir o processo produtivo mais completo. Esta matriz permitiu definir a sequência das tarefas de forma mais detalhada e específica.

Para garantir um diagrama compacto e de fácil interpretação, foi criada uma legenda, apresentada na Tabela 4 para distinguir os processos manuais, apresentados previamente na Tabela 3, dos automáticos.

Tabela 4 - Legenda do diagrama de processo

Processo Manual (M)	**Processo Automático (A)**
M1: Programação	A1: Programação
M2: Teste inicial	A2: Teste inicial
M3: Alimentar verniz	A3: Verniz
M4: Preparação guias	A4: Secagem verniz
M5: Preparação caixas	A5: Configuração
M6: Preparação base	A6: Teste final
M7: Integração tampa	
M8: Configuração	
M9: Teste final	
M10: Integração final	
M11: Embalamento	

Estes elementos foram cuidadosamente integrados para proporcionar um diagrama de processo que reflete com precisão o processo produtivo, oferecendo um panorama detalhado do processo das operações realizadas, apresentado na Figura 12.

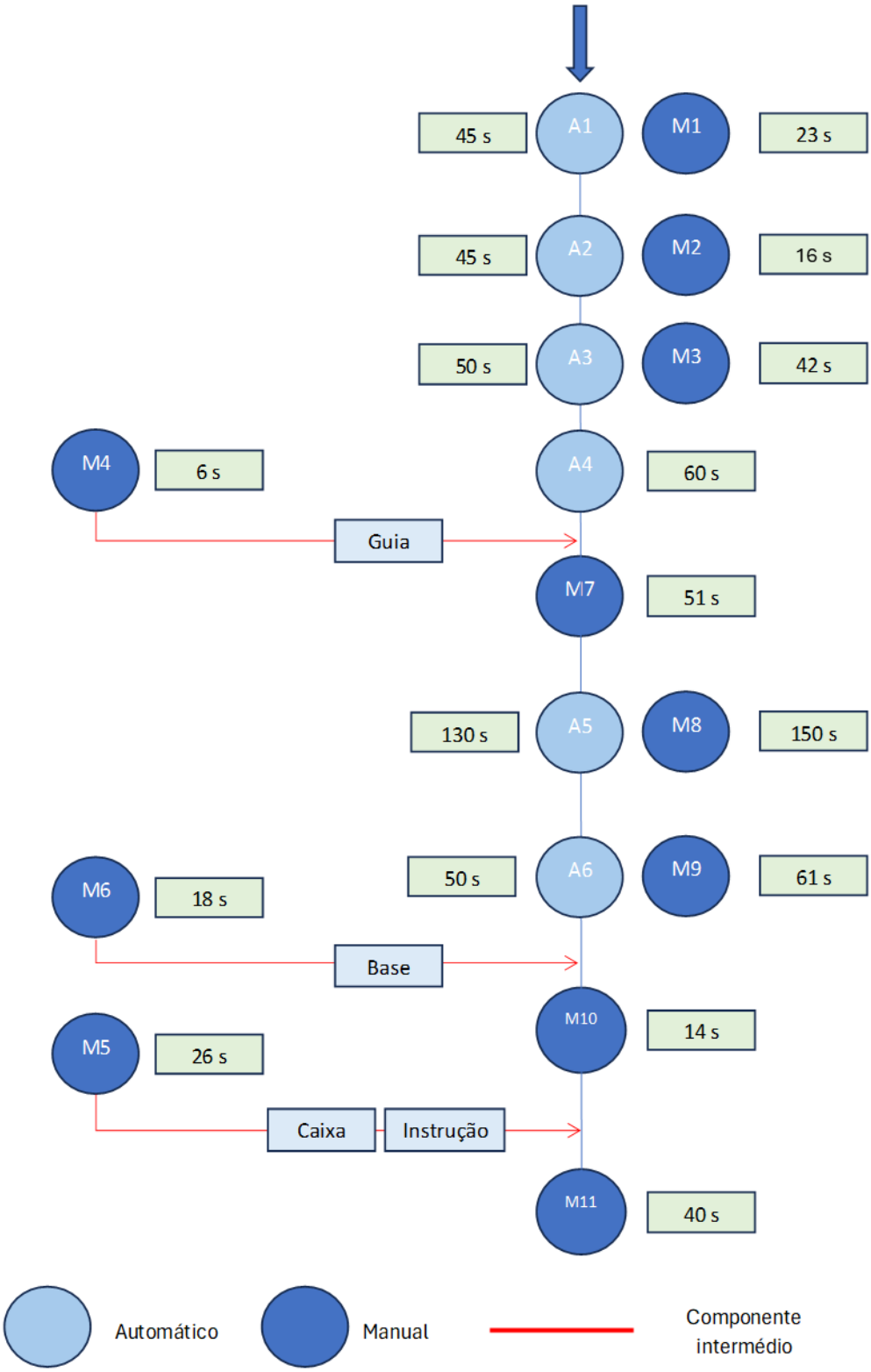


Figura 12 - Diagrama de processo

O processo inicia-se com a Programação (M1), começando pela tarefa da degrapagem que consiste na transformação dos *flans* (conjunto de PCBA) em PCBA individuais, preparando assim as placas para a programação. Cada referência tem um programa específico, indicado na OF do produto, e a programação é realizada num equipamento capaz de processar quatro placas simultaneamente.

Após a programação, os PCBA são submetidos a um teste para garantir a conformidade da programação. A empresa dispõe de 5 bancos de teste: 2 capazes de testar todas as referências da família A, 2 para as famílias AS, A1 e A1S, e o último capaz de testar todas as famílias com o devido *setup.*

Uma vez verificada a conformidade no teste, os PCBA retornam ao verniz, onde é aplicada uma camada de verniz ou gel, conforme as especificações, seguida de um período de secagem. Após a secagem, os PCBA são transportados para os postos de trabalho dos operadores, onde se realiza a primeira integração, M7. Esta operação inclui a fixação de guias (previamente cortadas em M4), a colocação da antena, do PCBA, da etiqueta e do *bornier*. Segue-se a configuração em um equipamento com capacidade para 10 peças por ciclo.

Após a configuração, o processo prossegue para os equipamentos de teste final. Estes equipamentos, embora fisicamente semelhantes aos utilizados no início do processo, realizam uma avaliação diferente, como testes sonoros e a validação do funcionamento dos LED. Este teste requer um acompanhamento manual contínuo, ao contrário do teste inicial, e é realizado em equipamentos que testam quase todas as famílias de produtos, sendo menos frequente as trocas entre referências.

Com o teste final concluído, o produto está pronto para a integração final, representado por M10, que inclui a colocação de um par de etiquetas na tampa do produto e a integração da base, previamente preparada em M7 com a colocação de etiqueta e inserção de duas porcas na base.

O produto avança para a secção de embalamento, onde é agrupado a um saquinho com peças, embalado num saco de plástico e colocado numa caixa com o manual de instruções. Todos estes componentes, com exceção do saco de plástico, são preparados atempadamente em M5. Antes de fechar e identificar a caixa, o produto é visualmente inspecionado pelos operadores.

A identificação do produto é realizada ao longo do processo, começando na programação, com a aplicação de uma etiqueta micro que permite, através da picagem com recurso a um *scanner*, o rastreamento do produto em todas as etapas do processo e na caixa final.

Assim que uma caixa de produto final está completa, é colocada numa palete para expedição no final da produção. Antes da expedição, uma amostra de caixas é selecionada aleatoriamente e inspecionada para verificar a presença de não conformidades. Se não forem detetados problemas, todas as caixas são expedidas para o cliente Y.

4.2 Mapeamento da situação inicial e identificação de problemas

Nesta secção, são identificados os principais problemas encontrados na empresa que impactam a produção do cliente Y. O objetivo é evidenciar os fatores críticos que comprometem a eficiência operacional para se formularem soluções eficazes.

4.2.1 Estudo da procura e dimensionamento da força de trabalho

Com base na visibilidade fornecida pelo cliente Y em relação à procura semestral o chefe de produção consegue elaborar o planeamento semanal da produção. Este planeamento, permite ao diretor de produção, em colaboração com o chefe de produção, decidir o número operadores a alocar para satisfazer a procura. Atualmente, existem dois cenários distintos com diferentes números de operadores, dependendo da procura semanal. O primeiro cenário, utilizado normalmente pela empresa, conta com 15 operadores num único turno, adequado para uma procura semanal média de 6.715 peças. O segundo cenário, adotado exclusivamente em situações de urgência, envolve a alocação de 22 trabalhadores, com a necessidade de subcontratar sete trabalhadores adicionais, alocados exclusivamente ao turno da noire, para garantir a entrega completa das encomendas, que ronda em média as 10.000 peças.
Atualmente, para uma procura semanal média de 3524 peças, a empresa adota o cenário 1, o que impacta significativamente a produtividade dos operadores, como ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo dos cenários para diferentes valores de procura

Cenário	Nº de operadores	Produção semanal média	Horas trabalhadas semanalmente	Produtividade (peças/hora-homem)
Cenário 1 - 1 turno (atual)	15	3524	600	5,9
Cenário 1 - 1 turno (prévio)	15	6715	600	11,2
Cenário 2 - 2 turnos	T1= 15 T2 = 7	10000	880	11,4

Analisando as três abordagens apresentadas na Tabela 5, verifica-se que, para a procura atual, as 40 horas de trabalho semanal estão associadas a uma taxa de produção de 88,1 peças/hora e, para as 600 horas trabalhadas (15 operadores que trabalham 8 horas durante 5 dias da semana), uma produtividade de 5,9 peças/hora-homem. Com o mesmo número de horas, a empresa anteriormente conseguia quase o dobro da produção, alcançando uma produtividade de 11,2 peças/hora-homem. Para quase o triplo da procura e com apenas 47% mais horas, o cenário 2 é capaz de produzir 11,4 peças/horas-homem.

Desta forma, torna-se evidente o excesso de FTE associados ao cliente Y, devido à diminuição da procura, sendo expectável a continuação deste problema, através da visibilidade oferecida pelo cliente.

A baixa produtividade observada é atribuível à redução na procura, havendo um claro sobredimensionamento da força de trabalho em relação à carga de trabalho, resultando em ineficiências significativas. Assim, é necessário consolidar a produção com menos colaboradores. Esta ação não só racionalizará os recursos humanos disponíveis, mas também permitirá realocar trabalhadores para secções mais necessitadas, melhorando o equilíbrio e a eficiência operacional da empresa.

4.2.2 Subsistema de produção

O subsistema de produção atual segue a metodologia de produção em lote. Para identificar os problemas decorrentes desta abordagem, foi mapeado o processo completo desde a receção do material até à expedição, apresentado na Figura 13, Figura 14 e Figura 15, sendo este baseado na Figura 12. A ferramenta apresenta as diferentes operações efetuadas, pontos de *stock* intermédio e deslocações do material.

A Figura 13 ilustra o processo completo que antecede as secções relevantes para projeto, desde o SMT até à conclusão das tarefas no verniz. Neste percurso, as peças percorrem 103,5 metros dentro da fábrica, passando por vários pontos de *stock* intermédio de forma sucessiva, sem qualquer operação ou controlo pelo meio. Embora esta longa distância entre secções seja claramente problemática, é uma consequência das restrições de espaço na fábrica.

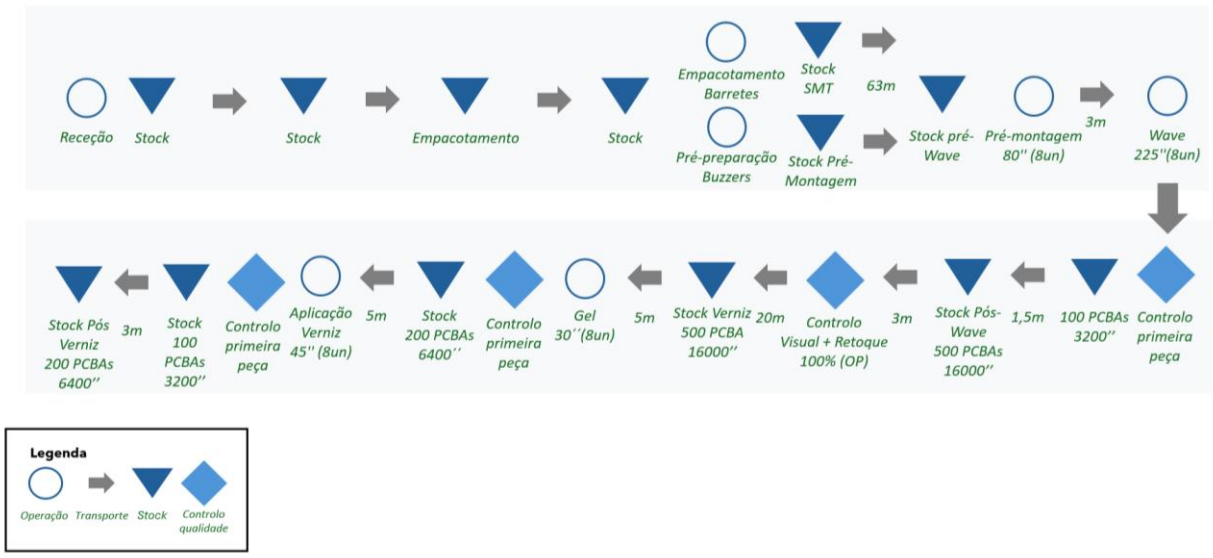


Figura 13 - Processo produtivo das referências mais completas desde a receção ao verniz

A Figura 14 apresenta as operações do diagrama do processo ilustrado em 4.1.3, destacando a necessidade de uma análise detalhada dos problemas identificados. O processo começa com a recolha

de 200 PCBA do verniz, que são devolvidos à secção após o teste de todas as placas. As placas retornam à zona de produção em lotes de 100 unidades, exigindo que os operadores percorram 24 metros para recolher as peças. Os 100 PCBA são integrados nas tampas, já equipadas com antenas e guias, havendo 500 destas peças sido previamente preparadas. Em seguida, as peças percorrem 3 metros até à zona de configuração. Após esta operação, as 100 peças, são levadas durante 3 metros para o teste final. Posteriormente, as placas percorrem mais 3 metros para a integração final, onde 500 bases e 500 saquinhos já estão preparados.

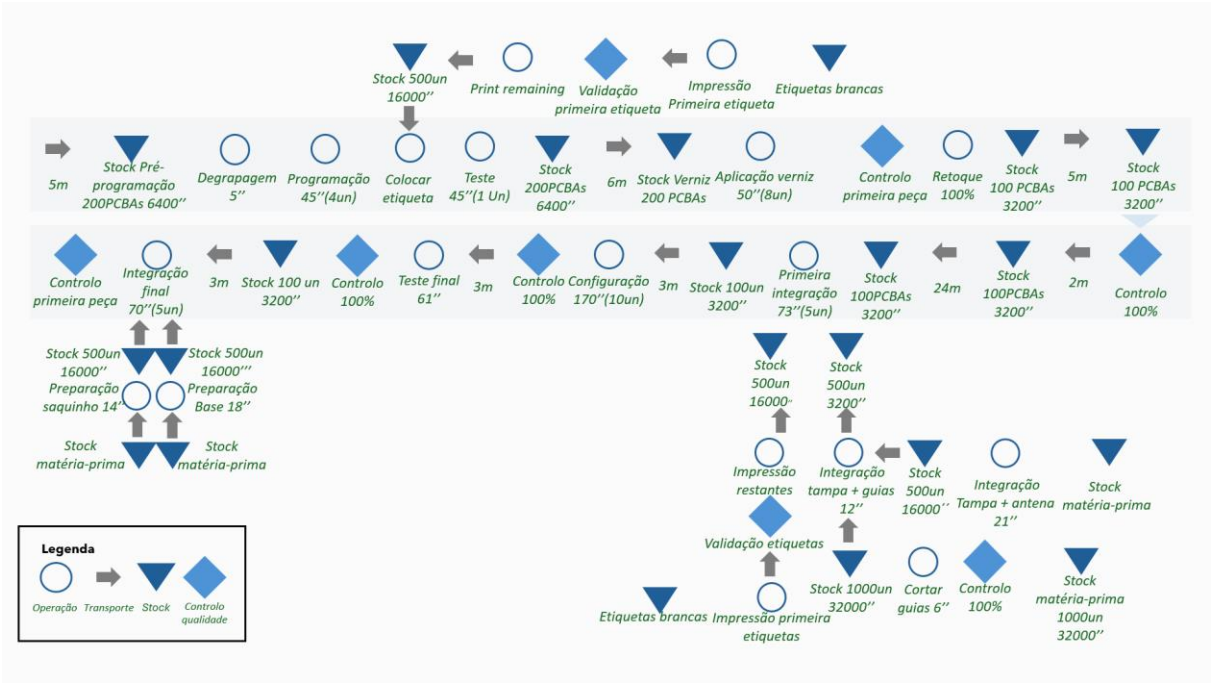


Figura 14 - Processo produtivo das referências mais completas desde a programação à integração final

Na Figura 15 está representado o fim do processo, iniciando no embalamento que só começa quando 500 peças estão prontas (a quantidade usual de uma OF), havendo 500 caixas e 500 instruções de trabalho prontas para uso. O processo termina com o controlo final e a expedição, que ocorrem semanalmente.

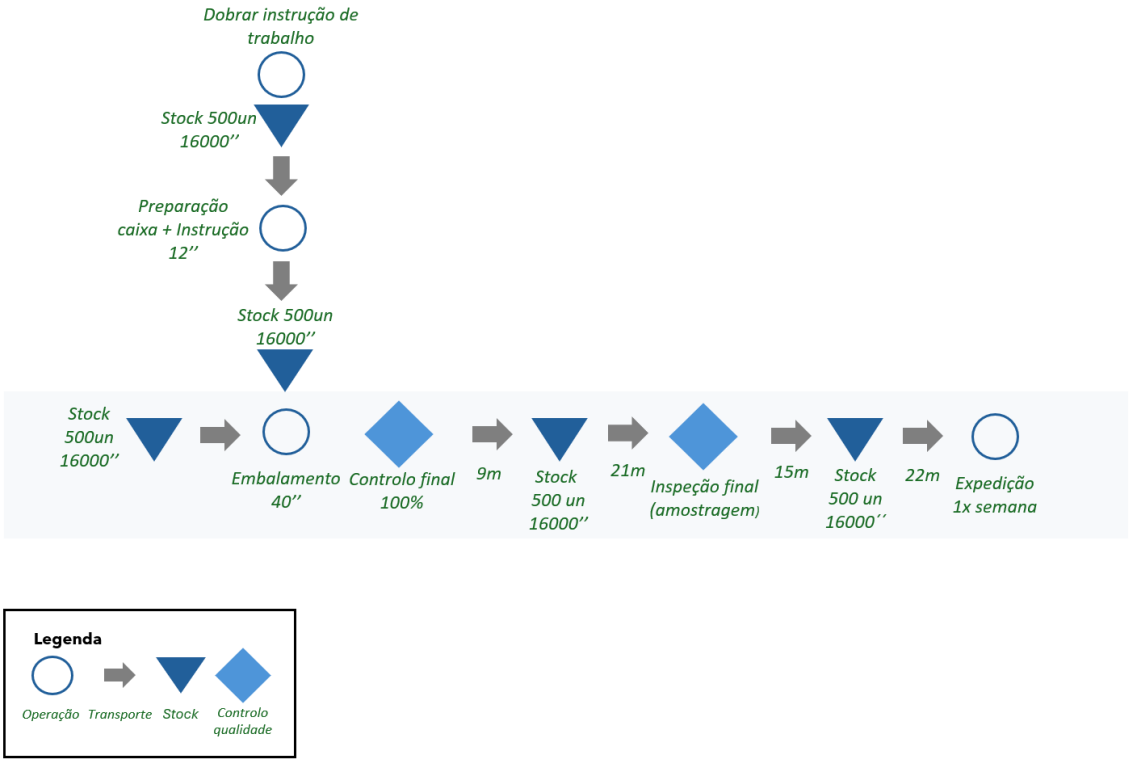


Figura 15 - Processo produtivo das referências mais completas desde o embalamento à expedição

A análise do diagrama evidencia a existência de elevadas movimentações das peças, bem como elevadas quantidades de *stock* intermédio devido à produção em lote do processo. Assim, conclui-se que a abordagem de produção em lote adotada pela empresa é a principal causa da interrupção do fluxo contínuo de produção. Esta descontinuidade origina tempos de espera prolongados, reduz a produtividade dos operadores e resulta na criação de vários pontos de *stock* de diferentes referências ao longo do processo. Além disso, a fragmentação do fluxo produtivo e a mistura de OF aumenta o risco de não conformidades, comprometendo a qualidade final dos produtos e a eficiência operacional da empresa.

4.2.3 Análise de *stock* intermédio

A análise do processo evidencia claramente a existência de uma grande quantidade de WIP no chão de fábrica, com um registo de 1000 PCBA nas diferentes fases do processo (200 após a programação, 100 antes e após a integração, 100 após o teste final e 500 após a integração final) e 2000 peças intermédias (500 tampas com antenas, 500 saquinhos com peças, 500 bases com porcas e 500 caixas montadas com instruções de trabalho).

De acordo com a lei de Little, para a taxa de produção atual de 88,1 peças/hora, as 1000 placas de WIP em fábrica estão associadas a um tempo de atravessamento superior a 11 horas, como apresentado na equação [3].

$$Tempo\ de\ atravessamento = \frac{Quantidade\ de\ WIP}{Taxa\ de\ Produção} = \frac{1000}{88{,}1} = 11{,}35\ horas \quad [3]$$

Estes pontos de *stock* representam inventário intermédio que não agrega valor, que ocupa espaço e consome recursos financeiros que poderiam ser alocados a outros projetos ou investimentos. Este valor elevado de WIP é a causa do tempo de atravessamento tão elevado e da pouca flexibilidade da empresa em responder a variações na procura. A existência de grandes quantidades de material em diferentes estados de produção, com qualquer interrupção, atrasa todo o fluxo de trabalho comprometendo assim capacidade de responder ao mercado.

Além disso, a acumulação de *stock* em diversos pontos aumenta a probabilidade de problemas de qualidade, uma vez que promove a deterioração dos componentes e a mistura de componentes em fases diferentes do processo. Essa mistura pode ocorrer quando a mesma operação é realizada em várias peças em simultâneo, uma prática comum na produção em lote, elevando o risco de algumas peças ficarem esquecidas e avançarem para a próxima etapa sem todas as modificações necessárias.

Este problema foi observado durante a integração dos componentes, onde peças avançavam sem todos os componentes necessários, representando 22% dos defeitos do processo. Outro indício da recorrência deste problema é uma alteração no processo implementada pela equipa de qualidade, que exige a marcação das peças com caneta após terem sido testadas, evidenciando a necessidade de identificar as peças testadas para evitar a mistura com peças por testar. Ambos os problemas de qualidade mencionados são analisados com maior detalhe em 4.2.5.

Finalmente, estes pontos de *stock* sobrecarregam o espaço, que poderia ser mais bem aproveitado para atividades produtivas, melhorando o ambiente de trabalho atualmente congestionado.

4.2.4 *Layout* funcional

O processo produtivo da empresa X é suportado por um *layout* funcional que ocupa 120 m^2, conforme ilustrado anteriormente na Figura 7 com secções individuais dedicadas às diferentes atividades do processo produtivo.

Com base na Figura 13, Figura 14 e Figura 15, identificou-se que o material percorre 43 metros desde a programação até ao embalamento. Em relação à distância percorrida pelos operadores, considerando uma OF de 500 peças, os operadores precisam de se deslocar 195 metros (30 metros por 3 lotes na programação, 120 metros para 5 lotes do verniz, 15 metros para 5 lotes da primeira integração, 15 metros para 5 lotes de configuração e 15 metros para 5 lotes de teste final) para transportar os lotes entre secções.

A considerável distância que os operadores têm de percorrer não só significa que o fluxo de trabalho é interrompido, mas também que resulta numa diminuição da produtividade, uma vez que os operadores têm de parar as suas atividades produtivas para transportar materiais entre secções. Esta necessidade constante de movimentação reflete as ineficiências associadas ao *layout*, que sobrecarrega os operadores com tarefas não produtivas.

4.2.5 Análise qualidade

Para avaliar o estado da qualidade dos produtos na empresa, foram requisitados os dados históricos da qualidade, apresentados na Figura 16.

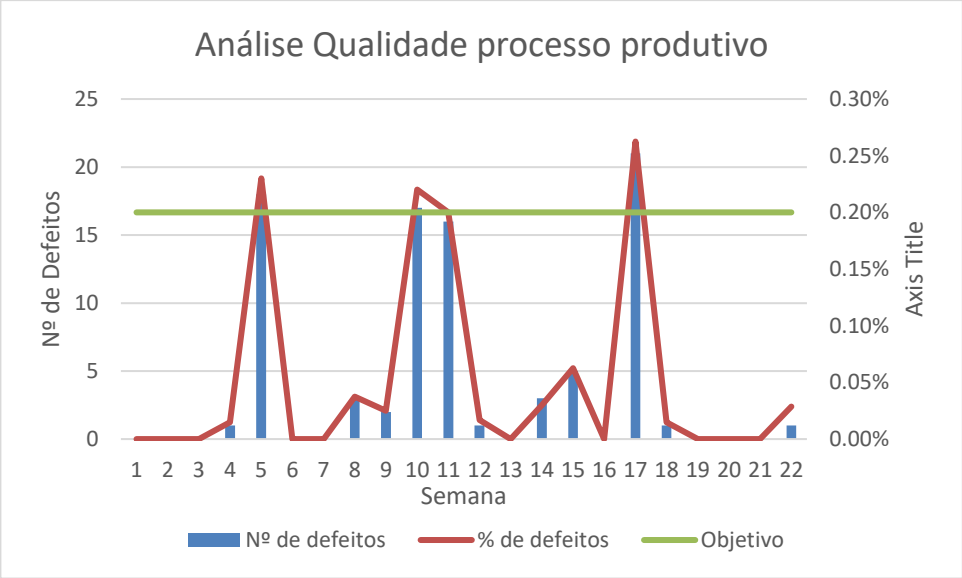


Figura 16 - Histórico de defeitos 2023

Os indicadores de qualidade dos produtos do cliente Y demonstram que, de modo geral, a produção conseguiu manter a percentagem de defeitos dentro dos 0,2% estabelecidos como limite pela empresa. Contudo, durante algumas semanas, os defeitos ultrapassaram o objetivo, o que levou à introdução de medidas corretivas por parte por parte da equipa de Qualidade, resultando numa ausência de defeitos nas semanas subsequentes.

Além da quantidade de defeitos, é igualmente relevante identificar a causa das ocorrências, sendo analisada a distribuição dos mesmos, apresentada na Figura 17.

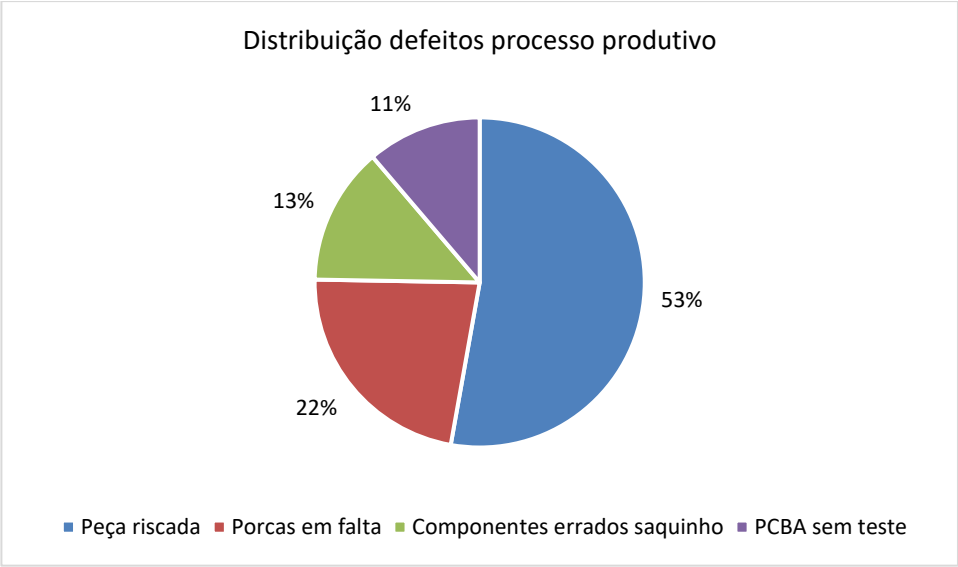


Figura 17 - Distribuição das causas dos defeitos registados em 2023

O principal defeito observado é o surgimento de riscos nos produtos, que exige a substituição da base superior. Os defeitos mais comuns a seguir, já documentados em 4.2.3, consistem em porcas em falta e componentes errados nos saquinhos, devido à permanência prolongada no chão de fábrica. O defeito com menor incidência é a identificação de PCBA sem teste, problema que foi mitigado através da introdução da marcação das peças testadas.

Embora a média geral permaneça dentro de um limite aceitável, os desvios registados indicam a necessidade de melhorar a consistência na qualidade ao longo do tempo e de resolver os problemas ainda existentes. A não resolução dos mesmos está associada a retrabalho e custos avultados para a empresa.

4.2.6 Logística

O abastecimento correto e atempado dos componentes é essencial para minimizar as interrupções na produção. Com o objetivo de identificar os principais entraves neste processo, foi realizada uma análise VA/MUDA, uma ferramenta indispensável para distinguir atividades que acrescentam valor (VA - Valor Acrescentado) das que representam desperdício (MUDA) num processo produtivo. Esta abordagem proporciona uma visão aprofundada dos fluxos de trabalho, revelando oportunidades preciosas para otimização, redução de custos e melhoria contínua. A análise requer o levantamento do tempo e a classificação em VA ou MUDA das diferentes tarefas de uma operação. Com os dados recolhidos e categorizados, calcula-se a percentagem de tempo das tarefas VA em relação do tempo total da operação. A análise, focada no processo de receção de componentes realizada pela logística está apresentada na Figura 18.

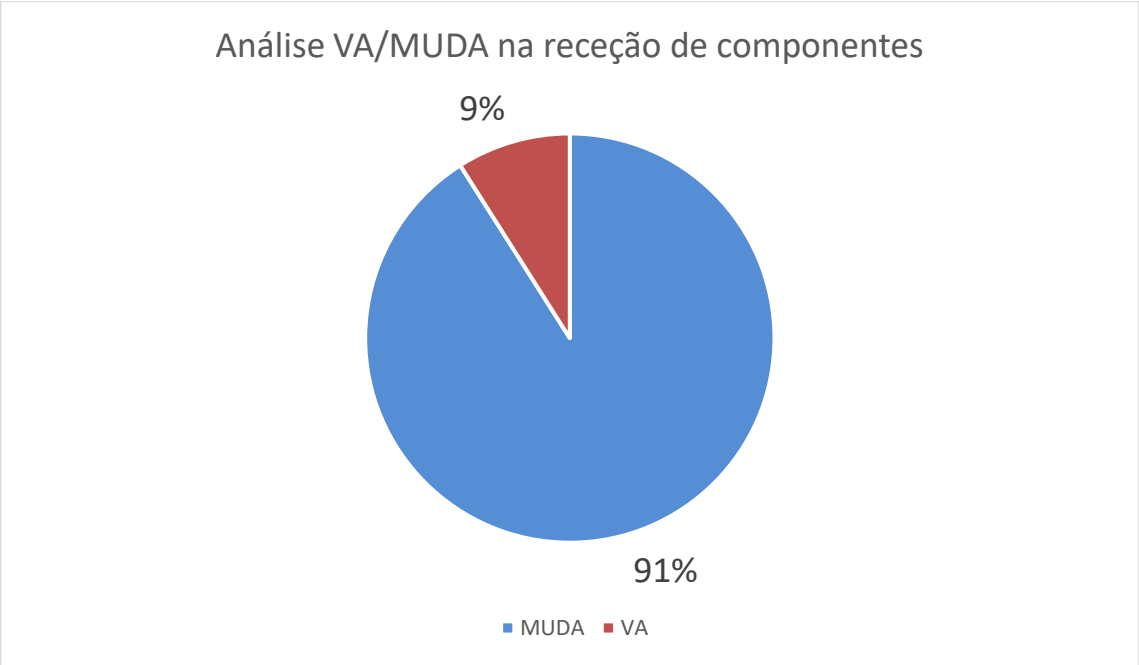


Figura 18 - Análise VA/ *MUDA* da receção de componentes

O processo de receção de componentes apresenta apenas 9% de tempo de VA. Este baixo valor deve-se ao desperdício associado ao tempo despendido na descarga dos camiões, na procura de paletes de material e na movimentação para recolha de componentes destinados ao processo de etiquetagem, sendo contabilizado como VA a colocação do componente na devida localização no armazém. Este processo, que é exclusivo da logística, limita a disponibilidade dos operadores para prestar um apoio mais eficaz à produção quando necessário.

Com base nesta análise, e considerando o papel vital da logística para assegurar a fluidez do processo produtivo, foi realizada uma segunda análise, desta vez às tarefas quotidianas de armazém. A análise consistiu em acompanhar, durante um dia inteiro, um operador logístico, de modo a categorizar e quantificar, com base no tempo dedicado, as principais tarefas realizadas. O principal objetivo da análise, ilustrada na Figura 19, foi identificar as principais ineficiências e descobrir oportunidades para racionalizar e redistribuir os recursos.

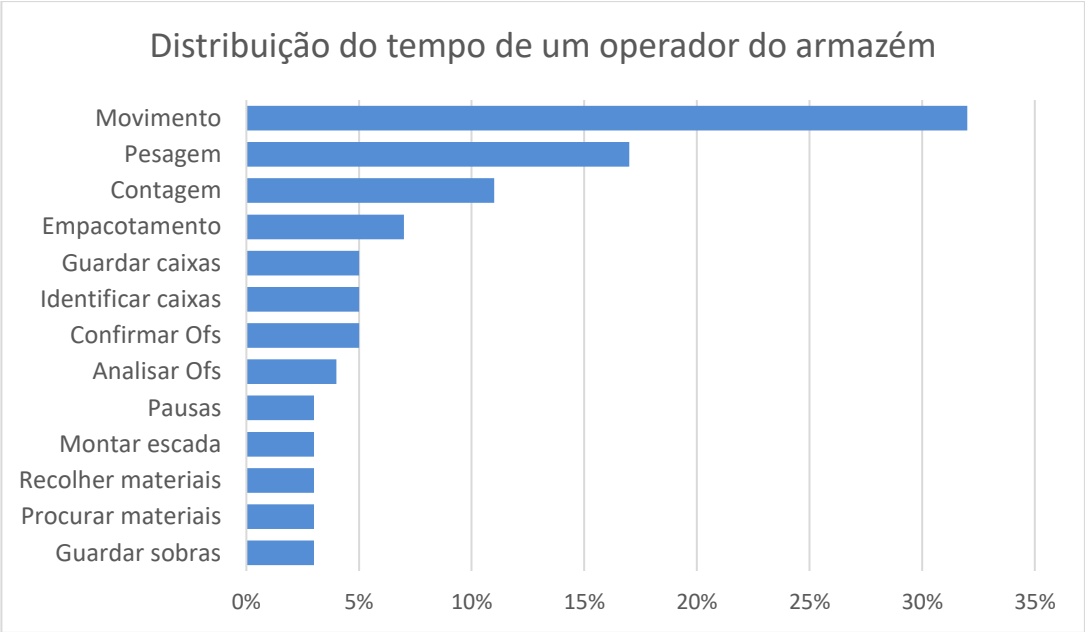


Figura 19 - Distribuição das tarefas realizadas por um operador do armazém

A maior parte do tempo dos operadores é consumido em movimentações sendo a dispersão dos materiais no armazém um dos temas com maior impacto. Os componentes necessários para as diferentes referências encontram-se dispersos e misturados com componentes de outros clientes, uma vez que o armazenamento é feito com base no tamanho das caixas dos componentes, o que resulta numa organização ineficiente para o cliente em questão.

Além disso, 35% do tempo dos operadores é gasto em tarefas como pesagem, contagem e empacotamento de materiais. Estas operações visam garantir que apenas a quantidade necessária de peças, conforme especificado nas OF, é colocada no chão de fábrica. No entanto, este tempo poderia ser mais bem aproveitado se os componentes mais utilizados fossem armazenados num suporte perto da zona de integração, reabastecido regularmente conforme necessidades.

A análise revela a existência de sobreprocessamento nas operações do armazém e sublinha a necessidade de uma melhor definição das tarefas da logística para diminuir a ocupação dos trabalhadores.

Verificou-se que a logística é notificada com uma semana de antecedência sobre as necessidades materiais, de modo a preparar os componentes necessários, prontos para serem utilizados quando solicitados pelo *Team Leader*. No entanto a comunicação do momento exato do abastecimento entre ambas as partes não está atualmente consolidada, o que pode resultar em atrasos no fornecimento de materiais essenciais, causando interrupções na produção. Este problema foi observado durante a fase de diagnóstico, no entanto, a empresa não tinha o hábito de registar estas paragens.

Outro problema identificado é a rotura de componentes devido à falta de espaço na zona de integração. Atualmente, os componentes são colocados na mesa onde a operação é efetuada, e quando esgotados, os trabalhadores necessitam de abandonar as suas tarefas para reabastecer os componentes na palete disponibilizada no armazém. Este movimento não planeado não só reduz a produtividade dos trabalhadores, como também pode causar desordem na produção, aumentando a probabilidade de erros e acidentes.

Para mitigar estes problemas, é essencial a implementação de um sistema de comunicação robusto entre a produção e a logística, que proporcione visibilidade a ambas as partes do progresso das tarefas, a criação de um suporte no chão de fábrica para facilitar o acesso aos materiais necessários à produção e a adoção de uma estratégia que assegure um fluxo de abastecimento contínuo de modo a possibilitar o total foco dos operadores na produção.

4.2.7 Fluxo da equipa de testes

A limitada agilidade na comunicação entre a produção e a equipa de testes foi identificada como uma fonte de ineficiências inerente ao processo produtivo da empresa. A equipa de testes assume a responsabilidade pela troca e configuração dos equipamentos, bem como pela análise e reparação das placas rejeitadas durante os processos de programação, configuração e teste. A fraca sinergia entre as equipas de produção e testes compromete o desempenho de ambas as partes, tornando fundamental um alinhamento eficaz para garantir um fluxo de produção contínuo e evitar paragens desnecessárias.

Na ausência de um canal de comunicação claro e direto, que permita transmitir atempadamente as necessidades da produção, a equipa de testes encontra dificuldades em realizar as suas tarefas sem interferir no ritmo produtivo, dado que são os únicos capacitados para efetuar as mudanças. De forma similar, a identificação e resolução de problemas nas placas não conformes são essenciais para o cumprir os prazos das encomendas semanais. Sem uma comunicação eficaz, a identificação e correção de defeitos podem ser retardadas, resultando em acumulações de placas defeituosas que podem comprometer a entrega completa dos pedidos.

Assim, é imperativo implementar uma ferramenta que facilite a organização do trabalho de ambas as equipas, aumentando a transparência e a partilha de informações atualizadas, promovendo uma melhor compreensão mútua dos desafios e das necessidades de cada uma.

4.2.8 Dinâmica de equipa da produção

A ausência de um meio de comunicação formal na equipa é uma dificuldade enfrentada pelos operadores durante o arranque dos turnos, nas trocas de referências e na gestão de avarias e não conformidades.

Por conseguinte, é de extrema importância criar um espaço dedicado à comunicação do plano de trabalho, à análise de indicadores de produtividade, à discussão de problemas identificados e ao registo de melhorias propostas. A rotina de reuniões da empresa, indicada em 4.1, não contempla um momento formal de alinhamento dos operadores de chão de fábrica com o seu *team leader,* impedindo a disseminação atempada de informações críticas, como alterações no plano de trabalho ou o estado dos indicadores de desempenho. Esta lacuna na comunicação pode resultar em mal-entendidos, atrasos na execução das tarefas e uma resposta lenta a problemas emergentes.

Adicionalmente, a discussão sistemática dos problemas encontrados durante o processo produtivo é vital para a identificação de soluções eficazes e para a implementação de ações corretivas. Um meio formal que promova a discussão das causas raiz dos problemas e o registo de ações pendentes é, desta forma, fundamental. É, também, indispensável para assegurar que as lições aprendidas são documentadas e que as melhores práticas são disseminadas e adotadas por toda a equipa.

Para mitigar estes problemas, é imperativo implementar uma plataforma de comunicação formal que permita a comunicação do plano de trabalho, a análise de indicadores de produtividade, a discussão de problemas encontrados e a definição de ações a testar para mitigar o impacto desses problemas. A adoção desta rotina não só melhorará a transparência e a partilha de informações, como também promoverá uma cultura de melhoria contínua e colaboração entre os membros da equipa.

4.2.9 Falta de visibilidade dos indicadores

A empresa X ainda se encontra muito pouco avançada no que toca à visibilidade e registo de dados. A disponibilidade de informações em tempo real sobre o estado da produção, tempo de ciclo das diferentes referências, defeitos encontrados em produção e outros indicadores relevantes é vital para garantir uma gestão eficiente e eficaz. A implementação de uma *dashboard* para visualizar e monitorizar estes dados pode trazer inúmeros benefícios para a organização como o aumento da produtividade.

O acompanhamento contínuo dos indicadores permite identificar ineficiências no processo, possibilitando a sua correção imediata. Esta capacidade de reação rápida é crucial para diminuir a frequências de interrupções e manter a produção a funcionar de forma contínua e eficiente.

Enquanto a equipa de qualidade realiza uma análise detalhada das reclamações do cliente e dos dados recolhidos internamente para aprimorar constantemente o processo, a produção limita-se a contabilizar o número de unidades produzidas, independentemente das horas trabalhadas, demonstrando falta de interesse na melhoria contínua.

A transparência e a acessibilidade dos dados promovem uma cultura de melhoria contínua, fornecendo aos trabalhadores informações precisas e atualizadas para melhor corresponder às exigências da produção. Além disso, a integração de uma plataforma de dados em tempo real também facilita a comunicação e coordenação entre a produção e os restantes departamentos como a logística e a equipa de testes, permitindo visibilidade do estado da produção e do progresso efetuado para a conclusão de cada ordem de fabrico.

4.3 Resumo dos problemas identificados

Ao longo deste capítulo, foram identificados e analisados diversos problemas que afetam o desempenho da empresa. A presente secção tem como objetivo recapitular e sintetizar estas dificuldades, proporcionando uma visão clara e concisa das adversidades. Desta forma, foi criada uma tabela que resume os obstáculos encontrados, estando a mesma apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Resumo dos problemas identificados

Dificuldade identificada	**Consequência**
Sobredimensionamento da força de trabalho	Baixa produtividade
Abordagem de produção desadequada	Elevada quantidade de WIP
	Tempo de atravessamento elevado
Layout desadequado	Deslocações excessivas
	Interrupções na produção
Qualidade inconsistente	Retrabalho
Baixa percentagem de tarefas de valor da logística	Atrasos no fornecimento de materiais
	Interrupções na produção
	Rotura de materiais
Fraco alinhamento com as equipas	Tempo elevado na resolução das não conformidades
	Constrangimento do trabalho
Falta de indicadores	Pouca visibilidade dos problemas
	Falta de espaço para ações de melhoria

Os problemas identificados representam todos melhorias que aumentarão a eficiência organizacional da empresa se bem abordados e também simplificarão os processos de todos os trabalhadores.

5 APRESENTAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIA

O presente capítulo tem como intuito a descrição detalhada do processo de conceção e desenvolvimento das diferentes soluções propostas para os problemas identificados no capítulo anterior. Este capítulo combina os conceitos teóricos estudados com as necessidades reais da Empresa X sendo a sua correta aplicação crucial para o sucesso do projeto.

O capítulo está organizado em secções que correspondem a cada solução apresentada. Em cada secção, será explicada a escolha das metodologias utilizadas e o desenvolvimento das soluções.

5.1 Conceção da linha de produção

De modo a contra-atacar as dificuldades associadas à produção em lote e sobredimensionamento da força de trabalho, definiu-se como sendo a melhor abordagem a conceção de uma linha de produção, para substituir o atual subsistema produtivo e diminuir o espaço ocupado pelo cliente Y no chão de fábrica, de modo a permitir a inclusão de novos projetos. Nas seguintes secções são explicados os passos e o raciocínio por detrás da solução.

5.1.1 *Takt Time*

O primeiro passo para dimensionar a linha é o cálculo do TT, informação imprescindível para a definição das tarefas a realizar em cada posto de trabalho e do número de pessoas necessários para cumprir com a procura.

O cálculo do TT consiste no quociente do tempo de trabalho disponível pela procura esperada. O TT dos produtos do cliente em estudo da empresa X é 40,86 segundos para uma procura semanal de 3524 peças (valor máximo esperado nos meses seguintes) e para 40 horas semanais trabalhadas por operador, ou 144 000 segundos, estando o cálculo do mesmo indicado na Equação [4].

$$Takt\ Time\ = \frac{Tempo\ total\ disponível}{Procura} = \frac{8\ \times 5\ \times 3600}{3524}\ = 40{,}86s/peça \qquad [4]$$

5.1.2 Número de postos teóricos

O passo seguinte consiste no cálculo do número de postos teóricos que é fundamental para o balanceamento da linha e para garantir que o *TT* seja cumprido. Para tal, é necessário determinar o tempo de processamento, que pode ser obtido através da soma dos tempos da lista de tarefas apresentada na Tabela 3. O número de postos é então 6,53 para um tempo de processamento de 275 segundos e TT de 40,86 segundos, conforme apresentado na equação [5].

$$Nº\ de\ postos\ teóricos = \frac{Tempo\ de\ processamento}{Takt\ Time} = \frac{275}{40{,}86} = 6{,}53\ postos \qquad [5]$$

O valor obtido de 6,53 indica que teoricamente, no mínimo, serão necessários 7 trabalhadores para garantir que a cadência de produção exigida seja alcançada.

5.1.3 Tempo de ciclo indicativo

Com a determinação do número de postos teóricos, é possível calcular o tempo de ciclo indicativo, que será integrado na ferramenta *Yamazumi*, um gráfico onde são distribuídas as tarefas por posto como o objetivo de assegurar o equilíbrio da carga de trabalho entre os mesmos. Este cálculo requer o tempo de processamento e o número de operadores teóricos, que é igual 275 segundos e 7 operadores, respetivamente, conforme apresentado na equação [6].

$$Tempo\ de\ ciclo\ indicativo = \frac{Tempo\ de\ processamento}{Nº\ de\ operadores\ teórico} = \frac{275}{7} = 39{,}28\ segundos \qquad [6]$$

A definição de todos os postos com 39,28 segundos de tempo de execução geraria um equilíbrio perfeito na linha, uma eficiência de linha de 100%, devendo o valor calculado ser utilizado como referência para quando estiver a ser efetuada o balanceamento da linha.

5.1.4 Balanceamento da linha

Com a preparação efetuada nos capítulos anteriores, é possível avançar para o balanceamento da linha de produção, assegurando assim a fluidez do processo produtivo. O balanceamento da linha incluirá as operações e respetivas tarefas apresentadas na Tabela 3, que refletem a sequência mais comum que diz respeito às referências A e B. As restantes referências, as C, seguirão uma estratégia distinta, a ser apresentada em 5.1.5.

Com base nas tarefas, respetivos tempos, número de postos teóricos e tempo de ciclo indicativo foi possível proceder à construção de um *Yamazumi*, apresentado na Figura 20.

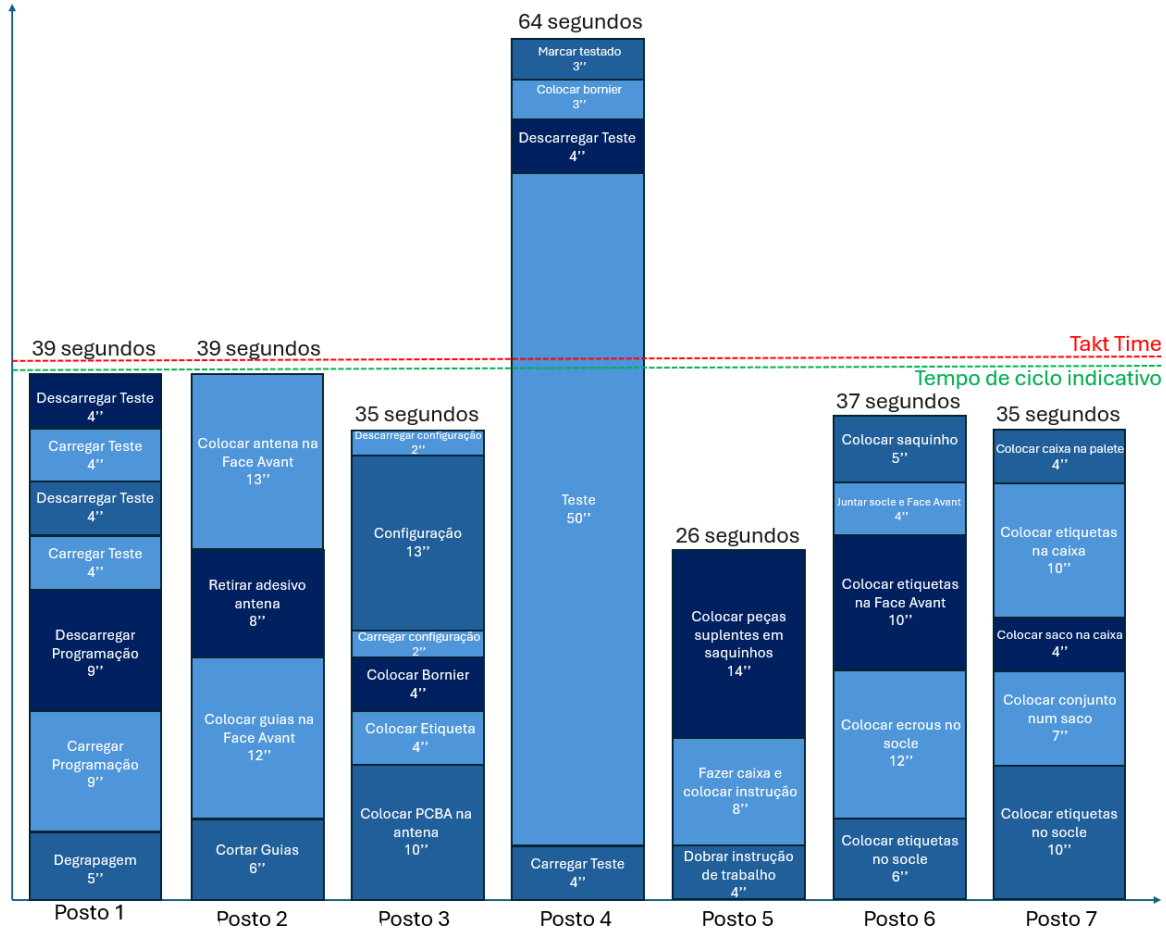


Figura 20 - *Yamazumi* da linha

O primeiro posto de trabalho consiste na programação e teste das placas, com um ciclo de 39 segundos de tarefas manuais. Este posto tem a capacidade de processar várias peças em simultâneo, pelo facto da programação e teste serem totalmente automáticos. Desta forma, como demonstrado na Figura 21, após a programação inicial, o operador tem abertura para efetuar todas as operações manuais nos 45 segundos de teste, tirando uma peça para o verniz a cada 39 segundos.

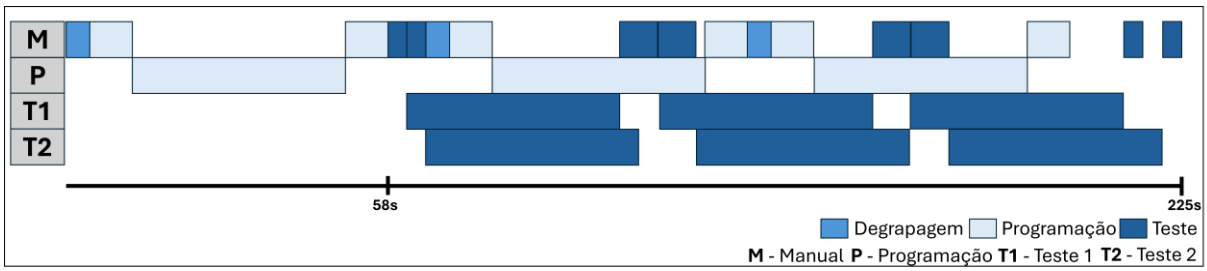


Figura 21 - Capacidade Posto 1

O claro desequilíbrio entre este posto e os restantes não afeta o desempenho geral da linha porque as peças são envernizadas na secção verniz, onde permanecem durante algum tempo. Desta forma, é expectável que existam referências distintas antes e após a secção do verniz.

O segundo posto inclui a operação "Preparação guias" e algumas tarefas da operação "Integração tampa", com uma duração de 39 segundos. No terceiro posto são executadas as restantes tarefas da operação e a operação de "Configuração", totalizando um tempo de 35 segundos.

No posto 4 é efetuada a operação "Teste final". Este posto tem um ciclo, que ultrapassa o TT estabelecido. Esta discrepância deve-se ao elevado tempo necessário para o teste, que, ao contrário do que ocorre nos postos 1 e 3, é completamente manual, exigindo o acompanhamento contínuo do operador e impossibilitando-o de manusear mais que um equipamento simultaneamente, como acontece nos postos anteriores.

O quinto posto é onde é efetuada a operação "Preparação caixa", com duração de 26 segundos. Já o posto 6 realiza as operações "Preparação base", "Integração final" e uma tarefa, pertencente à operação "Embalamento", que consiste em colocar o saquinho proveniente do posto anterior dentro do conjunto, totalizando 37 segundos. Finalmente, no posto 7, são executadas as restantes tarefas da operação "Embalamento" concluindo o processo produtivo em 35 segundos.

O *Yamazumi* construído garante o equilíbrio dos postos 1,2,3,6 e 7, apresentando todos tempos bastante próximos do tempo de ciclo indicativo de 39 segundos calculado. Os postos 4 e 5 encontram-se, no entanto, bastante afastados do objetivo proposto. O baixo tempo de execução do posto 5 permite que o operador tenha liberdade para auxiliar os postos adjacentes. Já o posto 4 apresenta um tempo de 64 segundos, sendo que a tarefa de teste das placas, por si só, demora 50 segundos, ultrapassando o TT disponível. Para solucionar este desequilíbrio, é necessário duplicar o posto 4, duplicando assim a produção e reduzindo para metade o tempo entre peças. Com esta alteração, representada na Figura 22, obtém-se um tempo de ciclo de 39 segundos, referente aos postos 1 e 2, valor ligeiramente inferior aos 40,86 segundos de TT, mas suficiente para cumprir a procura.

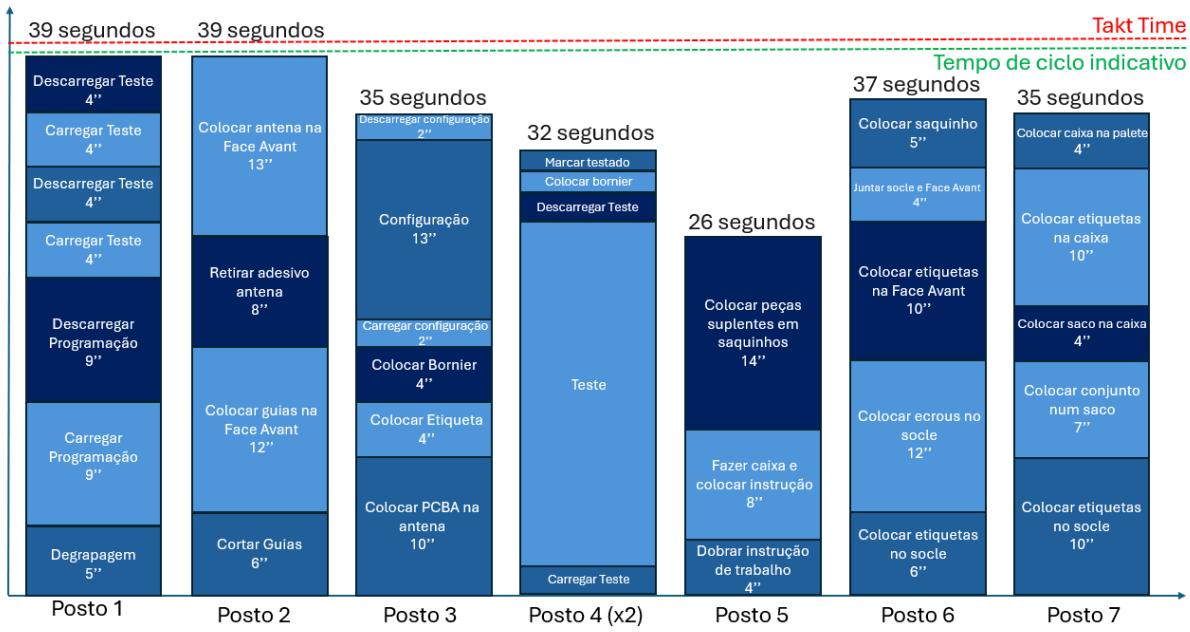


Figura 22 - *Yamazumi* da linha com posto 4 duplicado

5.1.5 Posto C

Foi adotada uma estratégia específica para as referências do tipo C, devido às suas diferenças relativamente às de maior rotação. Esta abordagem envolve a preparação de certos componentes dessas referências fora da linha de produção, uma vez que algumas das tarefas têm durações consideravelmente superiores ao TT e requerem a utilização de ferramentas específicas. Posteriormente, esses componentes são colocados no bordo de linha para que a integração e o embalamento sejam concluídos. Os processos produtivos de determinadas referências consistem exclusivamente na programação e embalamento das placas. A programação, em particular, possui uma duração superior a 2 minutos, com apenas um único equipamento disponível. Assim, devido à duração prolongada dessas tarefas, é necessário realizá-las fora da linha de produção, devendo ser incorporadas na linha de produção para embalamento no fim da semana, após conclusão das mesmas.

Assim, será criado um posto C, adjacente à linha onde serão produzidas estas referências mais demoradas.

5.1.6 Definição do *layout* da linha

A conceção do *layout* de uma linha requer um enorme foco na funcionalidade, praticidade e racionalização do espaço. O objetivo da definição do *layout* é a redução do espaço ocupado e a minimização dos desperdícios associados a movimentações e transportes.

O dimensionamento começou com o levantamento das necessidades de cada posto, identificando os equipamentos e componentes requeridos para o funcionamento de cada um. Na Tabela 7 estão listados

os equipamentos a incluir, as respetivas dimensões e quantidades, assim como o posto onde serão colocados.

Tabela 7 - Equipamentos da linha

Equipamento	Posto	Nº de equipamentos	Comprimento (cm)	Largura (cm)
Máquina de programação	1	1	35	32,5
Banco de teste inicial	1	2/3	48,5	41
Máquina de configuração	3	1	66	64,5
Banco de teste final	4	2	35	32,5
Impressora	3,6,7	1	30	30

Relativamente aos componentes, foi definido um tipo de caixa normalizado onde cada um é inserido. Esta normalização visa incluir os componentes num bordo de linha, evitando a utilização de caixas com tamanhos distintos. Foram definidos três tamanhos de caixas normalizados: pequenas (18x10x7,5cm), médias (30x20x12cm) e as grandes (60x40x10cm), que foram alocadas aos diferentes componentes, tendo em conta o tamanho das peças, de modo a minimizar o espaço sem comprometer a autonomia das caixas.

A Tabela 8 apresenta os diferentes componentes necessários para a integração, onde consta o posto de inserção, o tipo de caixa normalizada e a quantidade armazenada.

Tabela 8 - Componentes da linha

Componente	Posto	Caixa	Quantidade
PCBA	1,3	Grande	200
Guias	2	Média	160
Bornier 1	3	Pequena	1350
Bornier 2	4	Pequena	450
Antena	2	Pequena	150
Tampa	2	Grande	100
Saquinhos	5	Pequena	300
Resistência 1	5	Pequena	1000
Resistência 2	5	Pequena	1000
Condensador	5	Pequena	1000
Parafuso 1	5	Pequena	1000
Parafuso 2	5	Pequena	1000
Chave	5	Pequena	500
Instrução de trabalho	5	Média	200
Caixa	5	Média	100
Porcas	6	Pequena	2000
Base	6	Média	34
Sacos	7	Média	1000

As informações recolhidas sobre os equipamentos e componentes permitiram definir o comprimento mínimo necessário para cada posto, sendo construído um *layout*. Optou-se por um *layout* em "U", abordagem tradicional para a implementação de *One-piece Flow* como mencionado em 2.2.3, por concentrar todos os postos todos numa única secção, aproveitando assim o espaço disponível. Esta configuração aproxima os operadores, facilitando a comunicação e diminuindo as movimentações entre postos de trabalhos, caso sejam necessárias para futuras referências. Facilita também o abastecimento dos componentes uma vez que as operações são efetuadas "dentro do U" e o abastecimento é feito pela parte exterior. Além disso, este *layout* permite reconfigurações para adaptar os postos a processos distintos.

A vista superior do *layout* proposto, está apresentada na Figura 23.

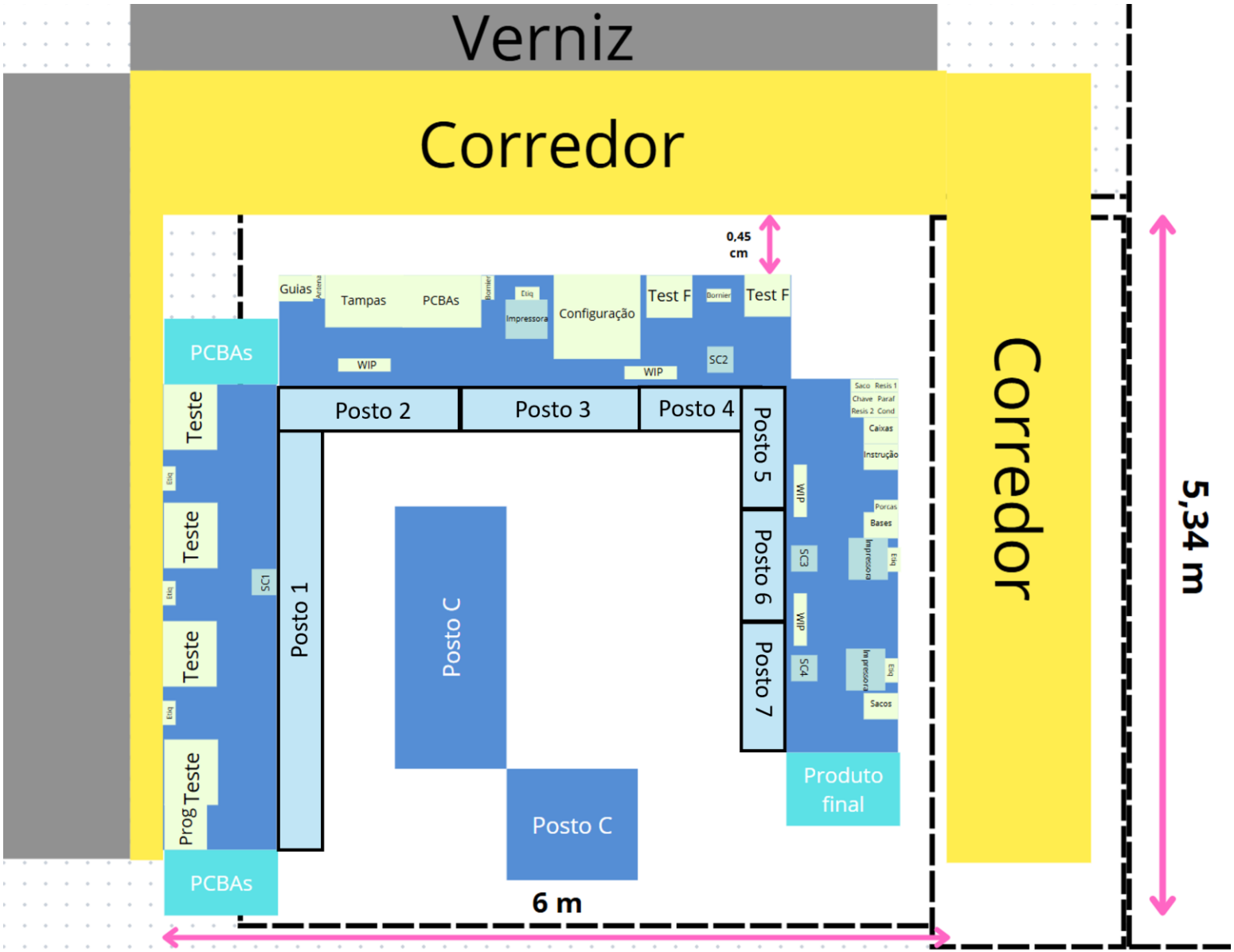


Figura 23 - *Layout* da linha de produção

O posto 1 foi dimensionado para incluir um equipamento de programação e até quatro equipamentos de teste, com um mínimo de 40 cm entre eles, para evitar interferências e reduzir o risco de não conformidades. O posto 1 é o maior dos sete postos, dada a necessidade de incluir vários equipamentos, estando o foco na minimização do percurso do operador, sendo o espaço disponível face às restrições para incluir as etiquetas e o scanner. O segundo posto consiste numa mesa com espaço para as caixas das guias e das antenas, além de área suficiente para a integração associada. Embora as tampas comecem o seu percurso no posto 2, foram também contabilizadas para o dimensionamento do posto 3, estando na fronteira de ambos os postos. Esta decisão foi tomada para facilitar a realização de tarefas de entreajuda. Adicionalmente, o posto 3 inclui espaço para as caixas de PCBA provenientes do verniz, uma caixa de *borniers*, uma impressora e a máquina de configuração. O posto 4 inclui dois bancos de teste final, devido à incapacidade de satisfazer as necessidades da linha com apenas um equipamento, como discutido em 5.1.4, além de uma caixa de *borniers* e um *scanner*. O posto 5 é onde as caixas do produto são montadas, com as caixas de componentes necessárias para tal. O sexto posto tem espaço para as caixas de bases, porcas e uma impressora conectada a um scanner. Finalmente, o sétimo posto possui espaço para uma impressora ligada a um *scanner* e a caixa com os sacos finais.

Anexado à linha, o posto 1 terá uma zona para a colocação dos contentores de PCBA a programar e, no lado oposto, uma zona para as caixas com PCBA programados, que serão posteriormente transportados para o verniz. Junto ao último posto haverá uma palete com as caixas de produto final, onde são colocados os produtos da linha.

O posto C está inserido no espaço disponível dentro da linha principal, com espaço para os equipamentos de programação e de preparação dos componentes, como *kits* de soldadura.

Para facilitar o transporte das peças testadas do posto 4, foi incluído no desenho um tapete rolante, que passa por debaixo das mesas, transportando as peças do quarto para o sexto posto, eliminando a necessidade de o operador do posto 5 se deslocar para transportar as peças, permitindo que se concentre na construção das caixas e sacos de componentes. No posto 4 há uma rampa para a colocação das peças e no posto 6, as peças ficam ao nível da mão dos operadores, garantindo a ergonomia do posto de trabalho.

As dimensões de cada posto, baseadas nas restrições e necessidades de cada um, estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensões cada posto da linha

Posto	Comprimento (m)	Largura (m)
1	3,55	0,85
2	0,7	0,85

3	2,05	0,85
4	1,15	0,85
5	0,85	0,85
6	1	0,85
7	1	0,85
Posto C (vertical)	2	0,85
Posto C (horizontal)	1	0,85

Em colaboração com a empresa, definiu-se que a melhor localização para a nova linha seria junto à zona do verniz, de modo a reduzir o transporte dos PCBA e o tempo de abastecimento dos mesmos. É possível integrar a nova linha na zona de programação do cliente, sendo necessária uma pequena redução à zona dos team *leaders*. É expectável que a linha ocupe 32,04 m² estando o *layout* alterado da empresa apresentado na Figura 24.

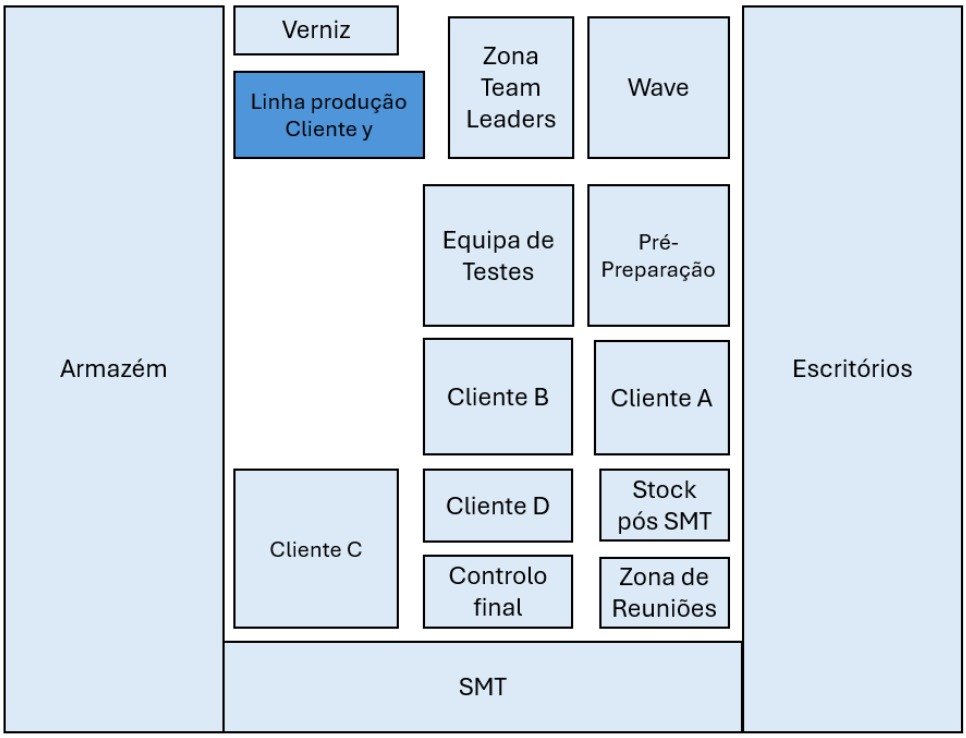


Figura 24 - *Layout* alterado da empresa

Estão ainda disponíveis 0,45 metros de espaço livre entre a linha e o corredor para a instalação do bordo de linha, sendo o dimensionamento deste apresentado em 5.2.2.

5.2 Abastecimento Logístico

A reestruturação do subsistema produtivo para uma linha de produção implica alterações na logística havendo um foco, como identificado no capítulo anterior, na eliminação das roturas de componentes. As

principais mudanças envolvem a implementação de uma interface logística de componentes e a definição de um novo sistema de abastecimento, coordenado por um operador logístico.

5.2.1 Interface logística

Decidiu-se a criação de uma interface logística, seguindo alguns princípios do conceito de supermercado, a colocar perto da linha para armazenar os componentes necessários ao longo da semana. Este método de armazenamento garante uma melhor organização e gestão dos componentes, além de proporcionar mais agilidade no reabastecimento da linha. O dimensionamento da interface logística foi realizado com base na lista de componentes da Tabela 8, resultando no desenho de três secções distintas, cada uma destinada a um tamanho específico de caixa, todas com seis prateleiras, conforme ilustrado na Figura 25.

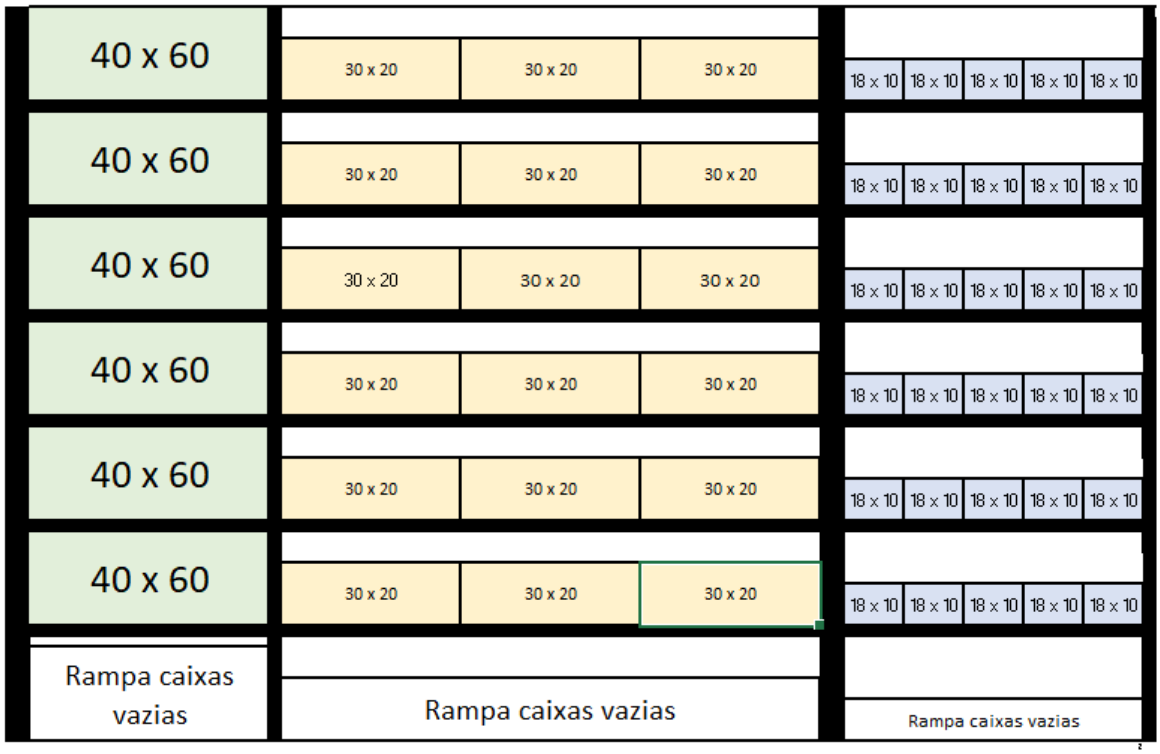


Figura 25 - Interface Logístico desenvolvido

A secção destinada às caixas grandes será utilizada exclusivamente para o armazenamento de tampas, uma vez que o outro componente associado a este tipo de caixas são os PCBA. Neste sentido, foi definido espaço para a largura de uma caixa por prateleira, com capacidade para quatro caixas em profundidade, totalizando 24 caixas grandes, o que equivale a 1440 tampas, ou seja, cerca de três OF, possibilitando assim trocas no planeamento semanal com base em imprevistos de outras secções. A zona destinada às caixas médias possui três espaços por prateleira, com capacidade para armazenar oito caixas por espaço, totalizando 144 caixas. Finalmente, a secção para as caixas de menor dimensão foi projetada

com cinco espaços por prateleira, com capacidade para armazenar oito caixas, resultando num total de 240 caixas pequenas.

As zonas associadas às caixas médias e pequenas encontram-se claramente sobredimensionada, sendo improvável a ocupação total das mesmas. No entanto, esses espaços são fundamentais devido à restrição imposta, que prevê a ocupação de apenas uma referência por espaço, evitando assim a mistura de componentes e consequentes não conformidades, além de facilitar a recolha.

As prateleiras da interface foram desenhadas para terem uma leve inclinação e serem equipadas com sistema de rolos, que facilita tanto a recolha quanto o abastecimento dos componentes, garantindo, salvo roturas, a presença de caixas na primeira posição. Adicionalmente, os diferentes espaços estão divididos por calhas móveis que podem ser adicionadas, removidas ou reposicionadas, permitindo assim a transformação, por exemplo, de dois espaços de caixas médias em um espaço para caixa grande.

Finalmente, foi adicionada em cada uma das secções uma rampa com inclinação oposta à das prateleiras, para que as caixas vazias possam ser colocadas e posteriormente reabastecidas no armazém.

A interface ocupa assim 2,2 metros de comprimento, 1,6 metros de largura e 1,4 metros de altura necessitando de 3,52 m^2.

5.2.2 Operador logístico e bordo de linha

A interface logística foi concebida para auxiliar o trabalho do operador logístico, também conhecido como *mizusumashi,* que é responsável por todas as tarefas logísticas. Este operador tem como função recolher os materiais do armazém, de acordo com as OF, e colocá-los na interface, garantindo assim a preparação atempada de todos os componentes antes de serem requisitados na linha de produção. Para reduzir o tempo dedicado a esta tarefa, foi definido um modelo de abastecimento dos componentes baseado nos sistemas *Kanban* e *Junjo,* conforme apresentado no Apêndice 1 – Tabela classificação dos componentes*.* Os componentes *Kanban,* que têm uma maior rotação, são alocados a uma posição fixa da interface, enquanto os componentes *Junjo* são abastecidos apenas quando requisitados numa OF, ocupando assim os espaços livres. Dessa forma, são armazenadas cerca de quatro caixas de cada componente *Kanban* na interface, e estas são reabastecidas pelo *mizusumashi* no armazém quando as caixas vazias retornam à interface. Relativamente aos componentes *Junjo*, estes são servidos na quantidade exata necessária, evitando que permaneçam na interface desnecessariamente durante longos períodos.

Além do abastecimento da interface logística, o operador logístico é também responsável por abastecer a linha de produção várias vezes ao dia. O abastecimento mais demorado ocorre durante as trocas de

referências, que exigem a remoção dos componentes que não serão utilizados na nova referência e a colocação de várias caixas dos componentes necessários. O outro tipo de abastecimento é realizado em ciclos periódicos, onde o operador se desloca à linha, recolhe as caixas vazias utilizadas pelos operadores, retorna à interface logística para depositar as caixas vazias e, em seguida, repõe uma nova caixa do mesmo componente na linha. Estes ciclos são executados sempre com a mesma periodicidade, determinada com base nas restrições existentes na empresa. A principal restrição está relacionada com o tamanho do bordo de linha: quanto maior a frequência dos ciclos, menor será o espaço necessário; por outro lado, ciclos mais longos exigem um maior número de caixas para evitar que os operadores enfrentem roturas de material, o que aumenta o tamanho do bordo de linha. O dimensionamento do bordo de linha deve estender-se para o corredor até, no máximo, 0,45 metros de profundidade, conforme mencionado em 5.1.6. Dado que as mesas têm 0,85 metros de profundidade, cerca de metade da área deve ser reservada para o bordo de linha, de modo a permitir fácil acesso aos componentes, sem comprometer a área de trabalho. Posto isto, o bordo de linha deverá ter uma profundidade máxima de 0,85 metros.

Para apoiar essa decisão, foi preparado um ficheiro, apresentado no Apêndice 2 – Estudo do ciclo do *mizusumashi*, que, com base na autonomia dos componentes calculada de acordo com a equação [1] e considerando diferentes períodos de ciclo a serem cumpridos pelo operador logístico, indica o número de caixas necessárias de cada componente, conforme calculado pela equação [2]. O objetivo deste estudo é encontrar o tempo ideal em que o operador consegue realizar confortavelmente as suas tarefas, e o número de caixas necessárias para prevenir de roturas, não ultrapassando a restrição de espaço imposta.

O resumo do estudo encontra-se apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo do estudo do *mizusumashi*

Ciclo *mizusumashi*	**Profundidade máxima necessária**
15 minutos	0,80 metros
30 minutos	0,80 metros
45 minutos	1,20 metros

Foram registados os valores de profundidade necessários para armazenar todas as caixas necessárias de modo evitar roturas de material para diferentes ciclos do operador logístico

O valor mais baixo registado de profundidade, para ciclos de 15 e 30 minutos, é de 0,80 metros, estando enquadrado nos 0,85 metros disponíveis. Para ciclos de 45 minutos é necessário um maior número de caixas no bordo de linha, requisitando 1,2 metros, espaço esse indisponível.

Desta forma só são viáveis os ciclos de 15 e 30 minutos, optando-se pela opção mais longa, espaçando as deslocações à linha e assim minimizando as paragens do operador que pode utilizar os 30 minutos para reabastecer a interface logística e transportar placas do verniz para a linha.

Com a definição do ciclo do *mizusumashi*, é possível dimensionar os bordos de linha para os postos 3,4,5 e 6. Todos, com exceção do posto 4, terão a mesma profundidade de 0,85 metros, com 0,45 metros a ficarem situados fora da mesa. É expectável que os postos 3 e 6 ocuparão essa profundidade na totalidade para incluir as duas caixas grandes de PCBA e as quatro caixas médias de bases, respetivamente. O bordo de linha do posto 5 requer duas prateleiras, com o comprimento da mesa, uma vez que são necessários vários componentes para a preparação do saquinho, situação que se repete para postos 3 e 6. O posto 4, por sua vez, necessita apenas de espaço para incluir duas caixas de *borniers* sendo o bordo de linha ligeiramente mais pequeno.

Os bordos de linha foram projetados com inclinação para facilitar a movimentação das caixas e incluem um sistema de retorno debaixo das mesas para auxiliar na recolha das mesmas pelo operador logístico.

5.3 Comunicação entre equipas

Um dos principais problemas que afetam o bom funcionamento da linha é a falta de alinhamento entre as equipas, tornando imprescindível a implementação de ações que melhorem essa coordenação. Para fortalecer o alinhamento entre os setores de produção e logística, foi desenvolvido um plano de abastecimento, a ser preenchido em conjunto pelo *team leader* e pelo *mizusumashi,* conforme ilustrado na Figura 26.

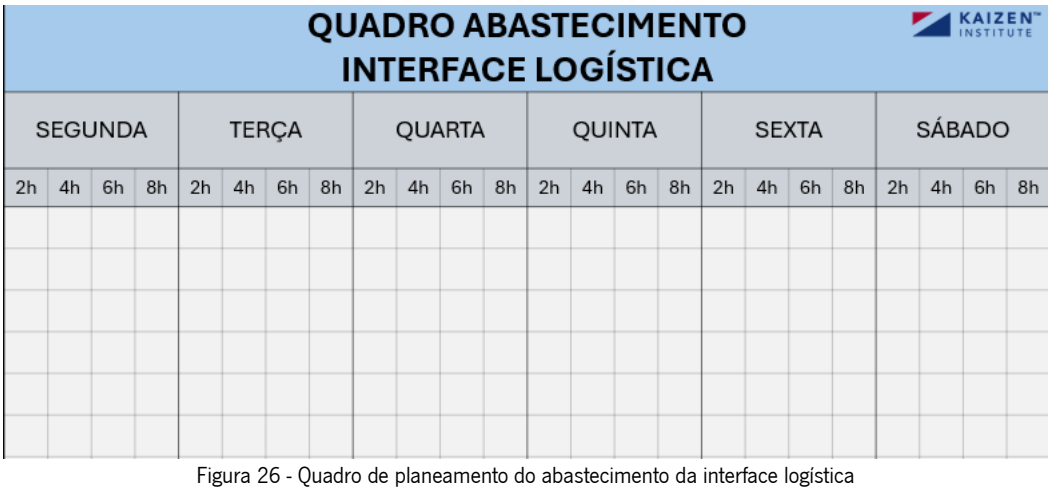


Figura 26 - Quadro de planeamento do abastecimento da interface logística

O quadro foi organizado de modo a abranger os diferentes dias da semana, sendo pedido pela empresa a inclusão do sábado para eventuais necessidades. Cada dia está dividido em quatro períodos de duas

horas, cada um subdividido em seis espaços. O preenchimento do quadro é efetuado com recurso a cartões *kamishibai*, apresentados na Figura 27.

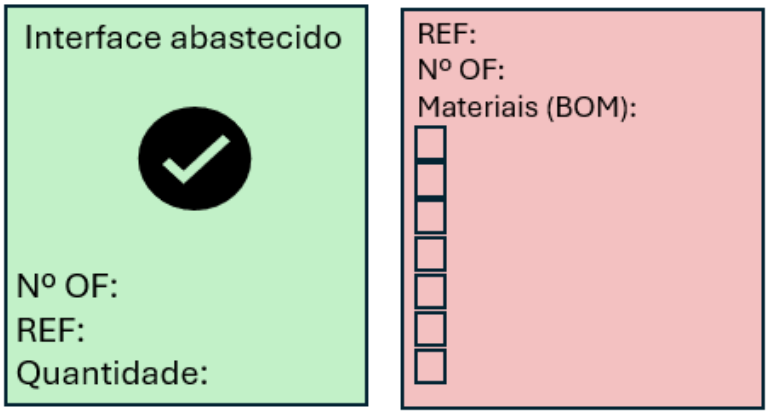


Figura 27 - Cartões *kamishibai* do abastecimento da interface logística

Os cartões *kamishibai* apresentam dois lados: o lado verde indica que a interface logística se encontra abastecido com a OF e referência indicada. O lado vermelho do cartão, por sua vez, indica que a OF ainda não está totalmente abastecida na interface logística. Neste caso, deve-se identificar a OF de forma semelhante ao lado verde, incluindo a BOM associada, e marcar os materiais na caixa de verificação assim que forem abastecidos para o interface logístico.

Quando o *team leader* define a sequência de produção, informa o operador logístico, que preenche os cartões no lado vermelho com os materiais indicados na OF. Caso necessário, pode ser utilizado mais de um cartão para a mesma OF.

Após o preenchimento dos cartões referentes às OF da semana seguinte, estes devem ser colocados no dia e hora previstos para o início da produção. Este quadro serve como principal guia para o operador logístico, indicando de forma sequencial como deve abastecer a interface logística para evitar roturas na linha.

Além do quadro associado à logística, foi desenhado um meio de comunicação para a equipa da produção, um quadro de *Kaizen Diário* (KD), uma ferramenta característica da metodologia *Kaizen*. O objetivo do KD é criar um espaço dedicado à equipa para discutir o trabalho realizado, analisar os indicadores de desempenho e identificar oportunidades de melhoria. O KD promove o envolvimento das equipas e apoia a implementação de mudanças significativas no processo. É neste local que a voz dos colaboradores se torna crucial, proporcionando à gestão uma visão mais precisa dos problemas enfrentados e alterações necessárias.

O quadro de KD, apresentado na Figura 28 , foi concebido especificamente para a equipa da linha, estando refletido nos diferentes elementos.

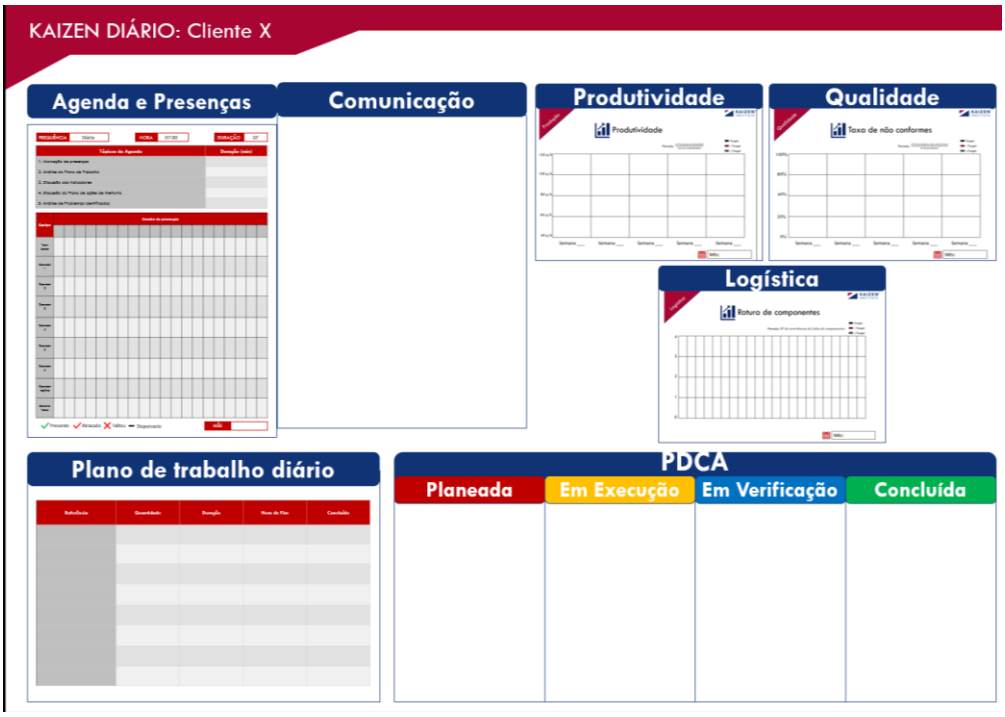


Figura 28- Quadro Kaizen Diário do cliente Y

O quadro inclui um elemento de agenda e presenças, onde está indicada a sequência de tópicos a abordar, juntamente com os participantes da reunião: o *team leader*, os operadores, o *mizusumashi* e o responsável da equipa de testes. Adicionalmente, o quadro contém elementos relativos ao plano de trabalhos semanal, indicadores de desempenho, comunicação e plano de ações, organizado de acordo com o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*).

A reunião ocorre diariamente, com uma duração máxima de 10 minutos, sendo conduzida pelo *team leader.* Este inicia abordando o plano de trabalhos semanal, analisando o estado atual da produção, o cumprimento dos prazos estabelecidos, e comunicando alterações que impactem a sequência inicialmente definida e a necessidade de troca de equipamentos entre referências ao longo do dia. Em seguida, é feita a análise dos indicadores de produtividade, qualidade e abastecimento. Cada indicador tem um objetivo definido, se o valor registado for superior à meta deve ser preenchido a verde, caso contrário, a vermelho. Por fim, com base na análise dos indicadores, devem ser discutidos os problemas identificados e sugeridas ações para mitigá-los, que devem ser implementadas e cujo impacto deve ser monitorizado e analisado.

Estas duas dinâmicas visam resolver os problemas de comunicação existentes entre as equipas de produção, logística e testes, para que todos saibam antecipadamente as suas tarefas e se possam preparar de forma adequada.

5.4 Melhorias na qualidade

A qualidade dos produtos garante a satisfação dos clientes, sendo imprescindível o seu controlo aquando da produção.

É expectável a estabilização dos indicadores de qualidade com a implementação da linha de produção, no entanto, é importante nas semanas iniciais de implementação monitorizar rigorosamente a deteção de defeitos. Desta forma, para fomentar a cultura de melhoria contínua e tentar consciencializar sobre os problemas de qualidade, foi definida a implementação de uma matriz de auto qualidade a ser preenchida pelos operadores. A matriz desenvolvida encontra-se apresentada na Figura 29.

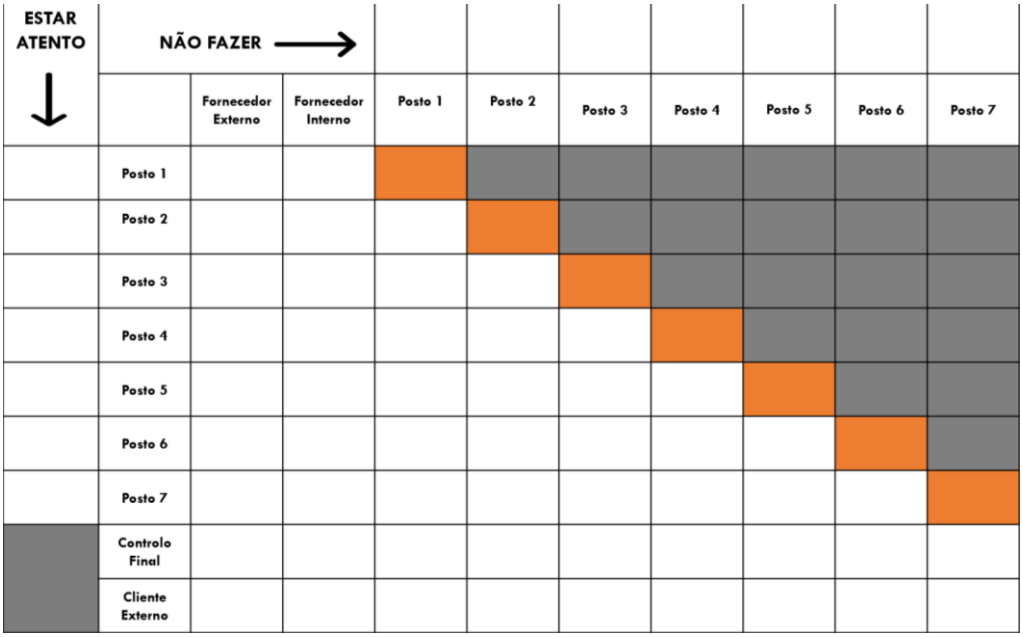


Figura 29 - Matriz de auto qualidade

O objetivo desta matriz é, através dos registos dos operadores, identificar os postos que estão a gerar o maior número de não conformidades, direcionando assim os esforços do departamento de qualidade para o posto identificado, sendo imperativo encontrar as fontes dos defeitos e realizar as alterações necessárias no processo. O preenchimento da matriz consiste na marcação de uma ocorrência na coluna onde o defeito foi detetado e na linha onde o defeito teve origem. As células da linha superior são reservadas para o registo de práticas a evitar, que frequentemente originam defeitos, enquanto as da coluna da esquerda servem para destacar pormenores a que se deve estar atento, indicando a presença de defeitos. É imperativo que, caso ocorram não conformidades, estas sejam detetadas em linha, idealmente o mais próximo possível da sua origem, evitando que cheguem ao cliente.

5.5 *Dashboards* de controlo

Para superar a falta de visualização dos dados no processo produtivo decidiu-se a implementação de *dashboards.* Esta iniciativa visa proporcionar uma visão clara e detalhada do desempenho da produção permitindo que toda a equipa tenha acesso imediato a informações cruciais. Esta ferramenta incluirá dados essenciais, como a produtividade da linha, tempo de ciclo e progresso em tempo real da OF em produção.

A integração desta ferramenta permitirá à equipa monitorizar continuamente o progresso da produção e identificar rapidamente desvios ou problemas, tomando assim decisões informadas para melhorar a eficiência e a qualidade do processo produtivo. Para além de facilitar a comunicação e o alinhamento entre as diferentes áreas, promove também uma cultura de transparência e proatividade na empresa.

6 IMPLEMENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Neste capítulo, será detalhada a implementação das soluções propostas no capítulo anterior, bem como as alterações realizadas com base no acompanhamento do processo e no *feedback* dos colaboradores, funcionando, assim, como um ciclo PDCA. O objetivo é demonstrar a aplicação prática das estratégias delineadas e como a contribuição ativa da equipa influenciou positivamente o processo de melhoria contínua.

6.1 Implementação interface logística e plano de abastecimento

A implementação prática das soluções iniciou-se com a preparação da interface logística para garantir que o arranque da linha não fosse comprometido por falhas de abastecimento, estando toda a reestruturação do subsistema produtivo dependente do bom funcionamento do novo sistema logístico.
As soluções concebidas para a logística foram apresentadas a todos os trabalhadores do armazém para obter o maior número de opiniões e aprimorar o trabalho desenvolvido. O conceito de interface logística foi facilmente compreendido e os benefícios associados foram claros para toda a equipa, no entanto, o plano de abastecimento não obteve a mesma aceitação. Durante a primeira semana de implementação os colaboradores indicaram que a utilização dos cartões *kamishibai* implicava a anotação de todos os materiais de todas as OF. Foi sugerida a simplificação do processo, por se tratar de uma tarefa de longa duração que não acrescentava valor. A simplificação consiste na marcação dos componentes nas OF assim que os mesmos são colocados na interface logística. A sugestão dos trabalhadores demonstra preocupação com retrabalho, mas elimina a visibilidade que o plano trazia relativamente à sequenciação das OF optou-se, assim, por uma solução capaz de promover ambos os benefícios. Foram criados dois sequenciadores, conforme ilustrado na Figura 30.

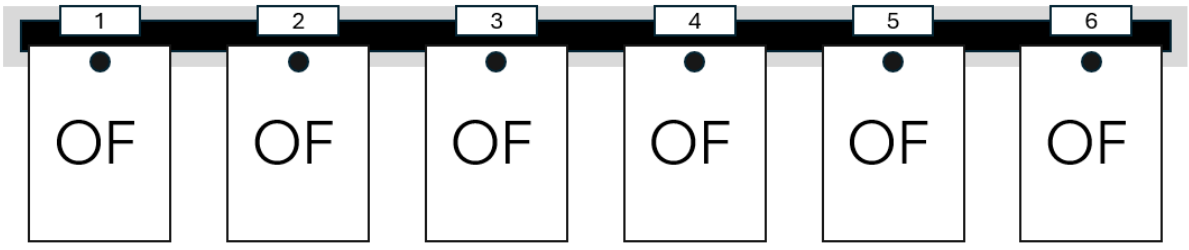


Figura 30 - Sequenciadores de OF

Os sequenciadores estão localizados no armazém e ao lado da interface logística. Estas ferramentas funcionam com base na premissa do operador logístico ordenar as OF no armazém de acordo com a sequência definida pelo *team leader*, colocando a primeira na posição 1 e assim sucessivamente.

Quando todos os materiais da OF tiverem sido colocados na interface logística, o operador retira a OF do sequenciador do armazém e coloca-a no da interface logística, simbolizando que esta está pronta para ser colocada na linha.

A implementação dos sequenciadores foi bem recebida pelos operadores, sendo verificado o sucesso da mesma pela redução do tempo gasto na execução da tarefa e abandonando assim a solução do plano previamente desenvolvida.

Seguiu-se o abastecimento da interface logística com os componentes *Kanban*, conceito bem recebido pelos trabalhadores do armazém uma vez que diminui o tempo associado à recolha e empacotamento do mesmo componente para várias OF, já que com o método anterior retiravam todos os componentes na quantidade exata de cada OF. Para facilitar a identificação e recolha dos componentes foram criadas etiquetas a colocar nas caixas, com a quantidade, e na interface logística, presentes na Figura 31.



(a) (b)

Figura 31 - Etiquetas das caixas de componentes (a) e etiquetas da interface logística(b)

6.2 Treino do *mizusumashi*

Após a fase inicial de alinhamento do projeto com a equipa logística, foi identificada pela gestão uma operadora do chão de fábrica para conciliar as suas responsabilidades produtivas com as de *mizusumashi*. Desta forma, foi criada uma norma onde consta a sequência de tarefas a realizar, estando apresentado no Apêndice 3 – *Standard Work* do *Mizusumashi*. Para além do documento e da formação dada à operadora, a operadora foi acompanhada na semana antes do arranque da produção em linha, já com as OF da semana seguinte, para garantir que os conceitos de sequenciador e interface logística estavam interiorizados. A organização e identificação da interface logística foi efetuada pela mesma para que a própria se pudesse familiarizar com a posição dos componentes.

Com o começo da produção, as responsabilidades aumentaram, passando a incluir o abastecimento da linha com placas provenientes do verniz e os ciclos de 30 minutos para reabastecimento de caixas consumidas. Como seria de esperar, a operadora não demonstrou capacidade para conciliar as responsabilidades produtivas com as de *mizusumashi* devido à carga de trabalho, tendo esta hipótese sido testada para tentar minimizar a alocação de FTE ao projeto. Diante disso, foi nomeada uma nova operadora, dedicada exclusivamente às funções de operadora logística que rapidamente passou a

executar de forma autónoma as tarefas e a contribuir de forma positiva com sugestões ao processo definido, como a reorganização da interface logística tendo por base os postos da linha.

6.3 Implementação da linha de produção

Antes de começar a produção em linha, os operadores foram convocados e apresentados ao conceito de trabalho em linha, sendo este recebido com algum ceticismo. Para mitigar a incerteza e convencer os mesmos dos benefícios associados foi explicado o conceito de *One-piece Flow* juntamente com uma atividade prática que demonstrou em pequena escala os benefícios que esta alteração provocaria. Após a interiorização dos conceitos, foi apresentado o *layout* da linha e as tarefas a realizar em cada posto, não tendo sido levantadas objeções pelos operadores.

Com a instalação física da linha, o projeto arrancou com uma procura semanal inferior ao esperado para os operadores se começarem a adaptar ao seu novo ambiente e método de trabalho com condições calmas e estáveis. O *feedback* do posto 1 foi bastante positivo, uma vez que o método de trabalho se revela semelhante ao anterior. A principal diferença reside no percurso, que agora é unidirecional até à conclusão dos testes das peças, regressando depois para a recolha das peças programadas. O início dos trabalhos capacitou os operadores a rapidamente identificarem a necessidade de criar um tabuleiro específico para colocar as peças programadas que alimentam as máquinas de teste, a fim de evitar a mistura de placas.

Os operadores dos postos 2 e 3 não levantaram alterações ao processo, sendo a principal dificuldade o cumprimento do *One-piece Flow.* As dificuldades encontradas no posto 4 surgiram pela inexistência de recursos, havendo apenas um banco de teste para algumas referências, impossibilitando a duplicação deste posto. Para além da falta de equipamentos, apenas foram disponibilizados pela empresa 7 operadores ao invés dos 8 previstos, tornando impossível a obtenção de um tempo de ciclo inferior ao TT. Para combater este problema, durante a primeira semana de produção, um operador do turno da noite criava *stock* de peças testadas para garantir que os postos seguintes não tivessem de esperar durante o dia seguinte.

Os operadores dos postos 5 e 6, de forma semelhante aos dos postos 2 e 3, também encontraram dificuldades em cumprir com o fluxo esperado, produzindo várias unidades e gerando grandes quantidades de WIP entre os postos 6 e 7, uma vez que os tempos previstos para estes postos se encontravam bastante distanciados dos reais. Este acontecimento deveu-se a uma característica do processo incompatível com as operações desenhadas para a linha, sendo rapidamente retificada como explicado em 6.4.

Foram, também, realizadas alterações físicas à linha para garantir o conforto dos operadores. Estas alterações incluíram o aumento da altura das mesas, a instalação de um tapete anti fadiga, a redução da inclinação dos bordos de linha e o ajuste da profundidade para que este fosse mais facilmente alcançável.

6.4 Ajustes ao balanceamento

Devido aos problemas identificados em 6.3, foram levantados tempos das tarefas em linha para verificar se os mesmos coincidiam com os levantados inicialmente. Na Tabela 11 está apresentado para cada posto, o tempo previsto e o tempo real da linha, estando realçados os tempos que apresentam diferenças.

Tabela 11 - Tempo esperado e real da linha de produção

	Esperado	**Real**
Posto 1	39	39
Posto 2	39	39
Posto 3	35	35
Posto 4	32	32
Posto 5	26	19
Posto 6	37	18
Posto 7	35	54

O posto 5 apresenta um tempo menor ao previsto devido à destreza dos operadores. O posto 6, por sua vez, não se encontrava preparado para efetuar as tarefas de colocar etiquetas na tampa, integrar as duas peças e colocar o saquinho dentro do conjunto, uma vez que todas as etiquetas eram impressas no posto 7. Isto resultou num aumento substancial do tempo do posto 7 para um valor superior ao TT.

A equipa de métodos foi alertada deste problema e conseguiu rapidamente redistribuir a impressão das etiquetas entre os postos 6 e 7, conforme o balanceamento inicial sugeria. Desta forma, os tempos foram normalizados em 37 segundos para o posto 6 e 35 segundos para o posto 7, como esperado inicialmente. Os tempos finais registados em cada posto encontram-se apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Tempos finais da linha de produção

	Tempo final
Posto 1	39
Posto 2	39
Posto 3	35
Posto 4	32
Posto 5	19
Posto 6	37
Posto 7	35

Relativamente à inexistência de um 8º operador para realizar um segundo teste, estudou-se a possibilidade do operador do posto 5 assumir a tarefa periodicamente, produzindo uma peça testada de forma intercalada com as suas responsabilidades sem comprometer o trabalho do posto 6. O operador do posto 5 foi o escolhido devido ao menor tempo de execução, sendo a proximidade ao posto 4 uma agradável coincidência, uma vez que reduz as deslocações associadas. O estudo mencionado encontra-se apresentado na Figura 32.

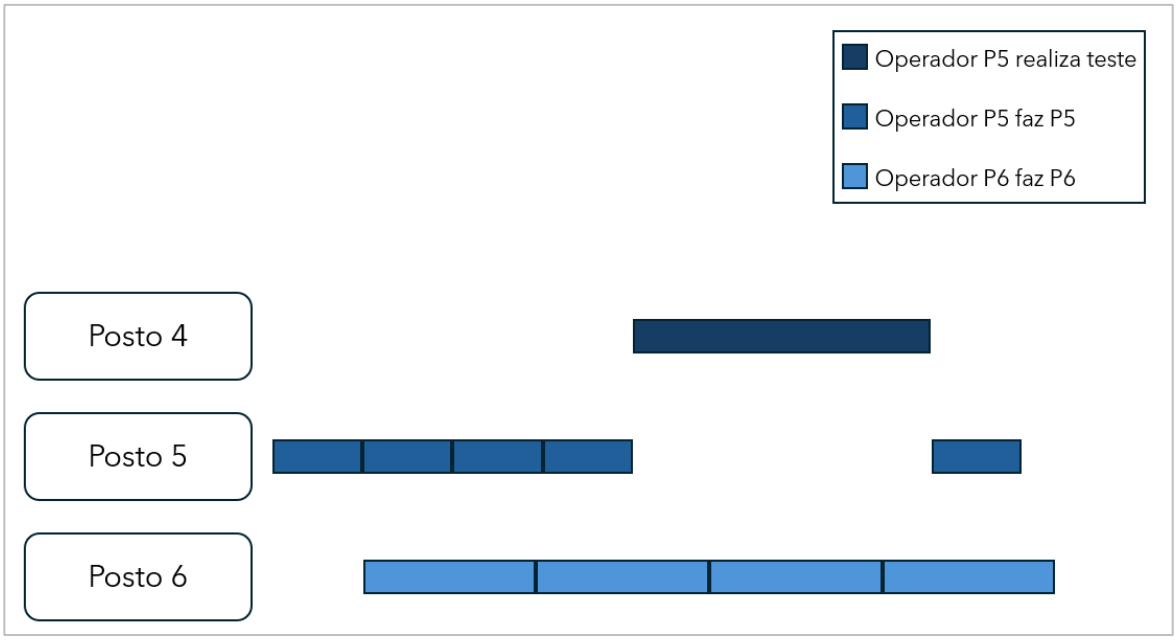


Figura *32* - Estudo de capacidade do operador do P4 realizar P5

O estudo permite concluir que haverá uma peça adicional testada a cada 140 segundos (quatro ciclos de 19 segundos no posto 5 mais um ciclo de 64 segundos no posto 4), sendo o sucesso deste teste comprovado pela ausência de roturas de material no posto 6.

Com a implementação bem-sucedida desta rotina, o posto 4 é capaz de produzir cerca de 81 peças testadas por hora: 56 pelo operador fixo (uma peça a cada 64 segundos) e 25 pelo operador do posto 5 (uma peça a cada 140 segundos) equivalendo a um tempo de ciclo de 44 segundos, superior ao TT, sendo impossível o cumprimento do mesmo com os recursos fornecidos pela empresa. Para evitar a contratação de um operador extra o operador do posto 5 concilia as tarefas do posto 4 para além das suas, até o operador do posto 1 completar as programações semanais e ficar livre para se juntar ao posto 4 a tempo inteiro.

Apesar do sucesso da implementação da rotina em questão surgiu outro problema, o absentismo. Durante as primeiras semanas de implementação, raramente estavam disponíveis os 7 operadores. Diante disso, a empresa solicitou um balanceamento para os diferentes números de operadores, estando conscientes das implicações no cumprimento das encomendas.

Para cumprir com o pedido da empresa, através dos tempos levantados em linha, foram redistribuídas as tarefas que cada operador deveria realizar. Para cada cenário com diferentes números de operadores em linha (5 e 6), foi calculado o tempo médio que cada posto deveria demorar para que todos se encontrassem equilibrados. O cálculo, apresentado na equação [7], consiste no quociente do tempo de processamento (soma de todos os postos) pelo número de operadores a balancear, excluindo o posto 1. Este posto é removido do cálculo porque as tarefas do seu posto não serão alteradas, estando o foco em enviar as placas da semana rapidamente para o verniz, libertando-o para se juntar aos restantes postos.

$$Tempo\ médio\ por\ posto\ = \frac{Tempo\ de\ processamento\ da\ linha\ -\ Tempo\ Posto\ 1}{Nº\ de\ operadores\ -\ 1} \qquad [7]$$

Concluiu-se assim que para 6 operadores, cada posto deveria demorar cerca de 47 segundos e, para 5 operadores, cerca de 59 segundos. As tarefas foram, assim, distribuídas entre os postos tendo em conta o valor de referência calculado, estando os tempos de cada operador apresentados na Tabela 13.

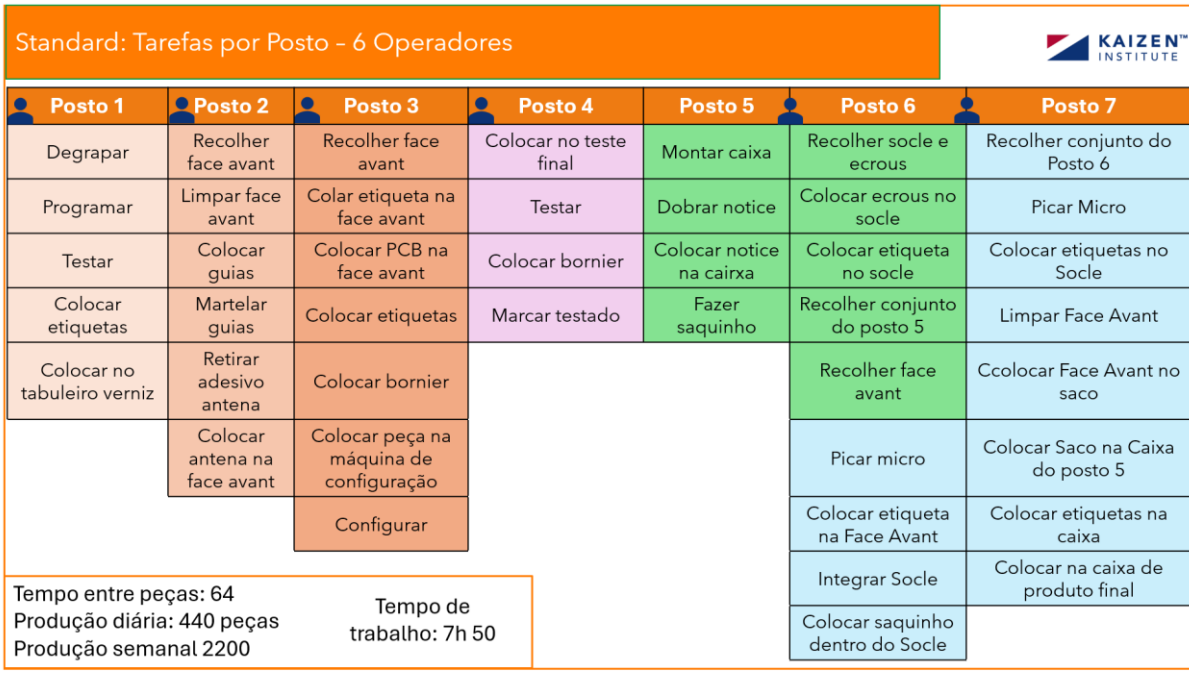
Tabela 13 - Tempo de execução de cada operador para diferentes números de operadores

	Cenário com 6 operadores	**Cenário com 5 operadores**
Operador 1	39	39
Operador 2	39	74
Operador 3	35	64
Operador 4	64	47
Operador 5	47	44
Operador 6	44	-

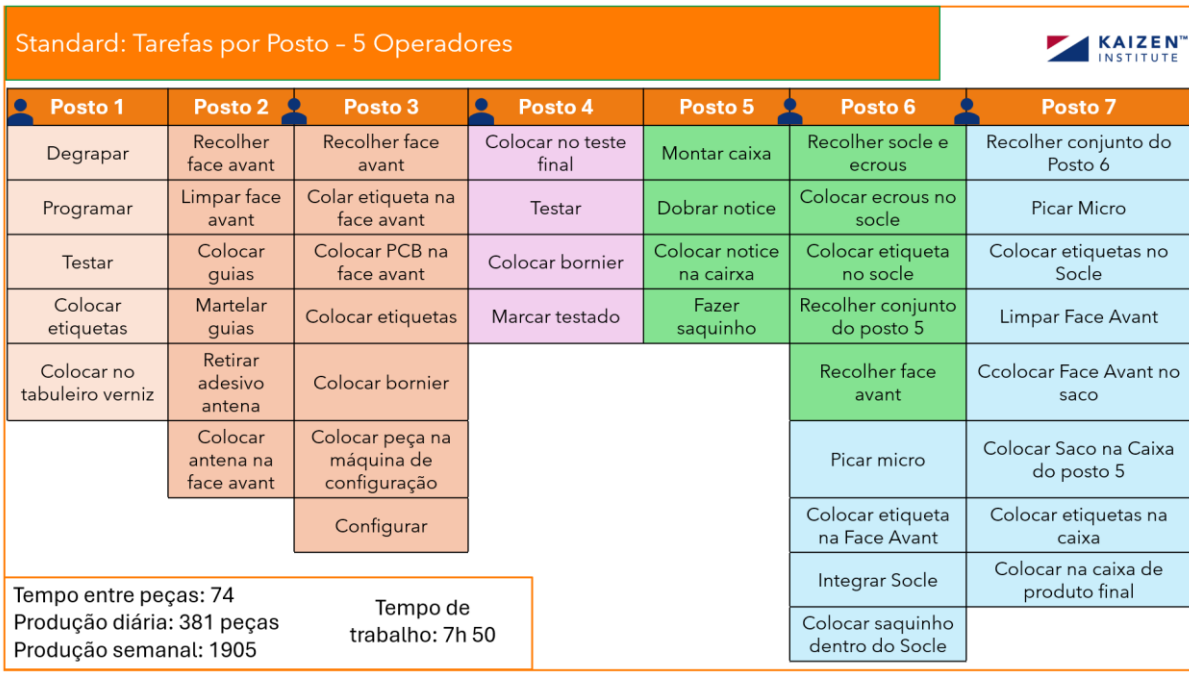
No cenário de 6 operadores, com exceção do teste final, todos os postos estão próximos do valor de referência, havendo a possibilidade do operador do terceiro posto assumir a função de realizar um segundo teste final periodicamente. No cenário de 5 operadores, o operador 2 ocupa o segundo e o terceiro posto, ultrapassando em 15 segundos os 59 segundos de referência, sendo de extrema dificuldade reorganizar as tarefas para outra disposição dada a configuração escolhida inicialmente.

Para facilitar a compreensão dos operadores e o ajuste a efetuar quando preciso, foi criado uma norma onde está visível a divisão das operações a serem efetuadas por cada um.

A divisão de tarefas da norma para os cenários com 6 e 5 operadores encontram-se apresentados, na Figura 33.



(a)



(b)

Figura 33 - Divisão das tarefas para 6 operadores (a) e Divisão das tarefas para 5 operadores (b)

Além da distribuição das tarefas para os diferentes cenários, foram também definidas as tarefas de entreajuda entre postos. A tarefa de entreajuda do posto 2 a ser efetuada pelo operador do posto 3 é a colocação da etiqueta na tampa. O operador do posto 5 coloca as etiquetas no base quando necessário e o posto 7 coloca o saquinho dentro do conjunto. Os restantes postos não têm tarefas definidas, pois começam as suas tarefas com equipamentos como as impressoras no posto 7, impedindo ajuda por parte do posto 6.

Foi também identificada uma oportunidade de melhoria no posto 2, que consistiu na aquisição de um equipamento capaz de, ao alimentar uma guia e uma tampa, cortar a guia e inseri-la na tampa, reduzindo substancialmente o tempo desse posto.

As propostas de balanceamento pedidas pela empresa são essenciais para garantir que a linha consegue operar mesmo sendo afetada pelo absentismo. No entanto, todos os cenários apresentados nesta secção são incapazes de cumprir com o *Takt Time*, sendo aceite pela empresa o risco associado de não conseguirem cumprir com o plano semanal de produção e baixar o seu nível de serviço, para conseguirem utilizar os recursos libertados para outros projetos. A abordagem da empresa é focada na minimização do impacto do absentismo, visto que é um problema transversal às diferentes secções da empresa, sendo impossível, do ponto de vista da organização, a realocação de trabalhadores entre secções.

6.5 Aplicação da metodologia 5S na linha

De modo a garantir um espaço de trabalho mais organizado, limpo e seguro, foi realizado um workshop, de forma autónoma, sobre 5S na sexta semana do projeto. O *workshop* começou com a explicação aos operadores dos conceitos da metodologia *Lean,* sendo seguida pela participação dos mesmos num jogo didático para reforçar os conceitos ensinados. O jogo consistiu numa competição entre dois operadores, em que se avaliou qual o mais rápido a construir uma torre. Cada operador recebeu um *kit* de montagem diferente: um preparado com a aplicação dos 5S e outro sem essa aplicação, demonstrando assim os benefícios de trabalhar em ambientes organizados e limpos.

Durante a tarde, foram definidas, junto da equipa, as alterações a efetuar à linha de modo a obter um espaço de trabalho mais limpo e organizado. Com o trabalho bem definido, seguiu-se a aplicação das alterações identificadas à linha de produção em conjunto com os operadores. Procedeu-se à remoção dos componentes acumulados no posto C, que durante as primeiras semanas do projeto, não era tratado pelos operadores como um posto de trabalho, mas sim como uma mesa auxiliar à linha, à marcação dos equipamentos nos postos, sendo identificado e definido o local exato dos bancos de teste, dos bordos de linha e das ferramentas utilizadas, à limpeza da linha e, por fim, foram definidas rotinas para garantir a sustentabilidade e continuidade da metodologia.

6.6 Troca de referências

A transição para trabalho em linha exigiu a melhoria do processo de trocas de referências, garantindo que estas ocorressem de forma ágil e ininterrupta. Dado que cada troca envolve múltiplos elementos,

como componentes, equipamentos, programas e instruções de trabalho, todos os aspetos foram minuciosamente analisados.

As trocas de componentes são efetuadas pelo *mizusumashi* que abastece os componentes, e pelo *team leader,* responsável pela OF e etiquetas do posto 3. As tarefas de preparação dos componentes, como a recolha dos componentes da interface logística, são classificadas como tarefas externas devendo ser realizadas antes da troca propriamente dita, diminuindo o tempo de inatividade da linha. Assim, com a linha parada, apenas é necessário abastecer os componentes na linha, já colocados no carrinho por parte do operador logístico e impressos pelo *team leader* (Fase 1 SMED, Separação em tarefas internas e externas).

As trocas de equipamentos são sempre realizadas pela equipa de testes, que partilha a tarefa da troca de programa com os operadores. Os operadores, no entanto, são capazes de efetuar a alteração apenas no posto 1. Foram analisadas as tarefas da equipa de testes, o que levou à externalização das tarefas de verificação da versão do programa das OF e da colocação dos novos equipamentos nos carrinhos (Fase 2 SMED, Conversão tarefas internas em tarefas externas). Além disso, a identificação adequada dos equipamentos foi implementada para reduzir o tempo de recolha dos mesmos (Fase 4 SMED, Racionalização tarefas externas). A troca de equipamentos, classificada como uma tarefa interna, revelou-se a operação mais demorada e, consequentemente, a causa de longos períodos de inatividade. Com base nesta análise, foram levantadas ações de melhoria em conjunto com a equipa de testes para reduzir o tempo desta tarefa. As melhorias que se conseguiram implementar incluíram a incorporação de cabos de rede fixos em todos os equipamentos, evitando a necessidade de abrir os equipamentos, e a criação de um *kit* de mudança que incluía as ferramentas necessárias para a troca, os *dossiers* relevantes e a OF correspondente (Fase 3 SMED, Racionalização tarefas internas). Para além das melhorias implementadas, ficou uma ação pendente de adaptar os bancos de teste a mais referências, reduzindo o número de trocas de equipamentos e assim diminuindo o tempo de inatividade da linha.

Como todo este processo se revelou novo para os operadores, foi criada uma norma, apresentada no Apêndice 4 – *Standard Work* troca de referências*,* onde estão discriminadas as tarefas de cada pessoa, o momento em que devem ser realizadas e a sequência correspondente, com o objetivo de normalizar a mudança e, consequentemente, reduzir o tempo necessário para as trocas.

6.7 Melhorias na qualidade

A introdução da matriz de auto qualidade, apresentada em 5.4, levou algum tempo até ser utilizada de forma consistente pelos operadores, o que resultou num número significativo de defeitos a serem

detetados apenas no controlo final durante as primeiras três semanas. No entanto, com o passar do tempo, o aumento da experiência dos operadores permitiu uma redução dos problemas de qualidade e a utilização mais regular da ferramenta proposta. Na Figura 34 está apresentada a distribuição dos defeitos encontrados em linha.

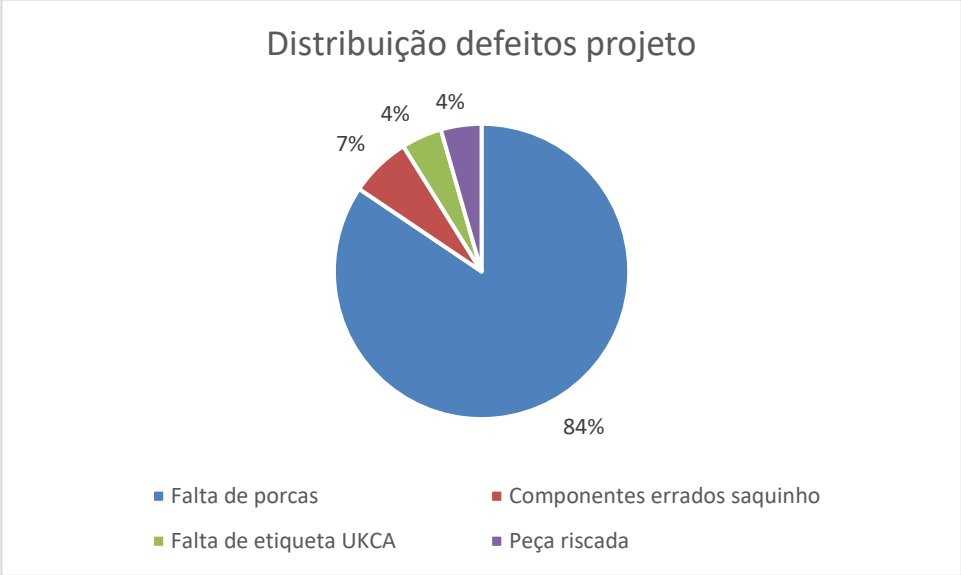


Figura 34 - Distribuição dos defeitos do projeto

Embora seja crucial examinar cada problema individualmente, a falta de porcas foi identificada como a principal fonte dos defeitos, exigindo uma intervenção imediata. A análise dos registos e as conversas com os operadores indicaram que o problema surgia quando a linha operava com cinco pessoas. A conciliação de tarefas dos postos 5 e 6 levou o operador a preparar múltiplas peças simultaneamente, recaindo no vício da produção em lote, acabando por transferir peças sem o componente para o posto 7. Além disso, a falta de inspeção visual no posto 7 emergiu como um ponto crítico que precisava ser abordado para prevenir tais problemas.

Para mitigar esses problemas, foi implementado um controlo mais rigoroso por parte do *team leader*, com o objetivo de garantir a realização do *One-piece Flow*, foi promovido um maior foco dos operadores no posto 7 para identificar os problemas em linha e a utilização da matriz auto qualidade desenvolvida. Estas ações visaram não apenas resolver o problema das porcas, mas também melhorar o controlo visual de todos os defeitos identificados na Figura 34.

Além da implementação desta ferramenta, foi identificada a principal causa dos riscos nas peças, que se devia ao saco de embalamento. A resolução deste problema passou por forrar com tecido o suporte dos sacos do embalamento, isolando assim o agrafo que danificava a tampa dos produtos.

Os valores dos indicadores de qualidade e a sua evolução no decorrer do projeto estão apresentados no capítulo 7.

6.8 Alterações ao planeamento

Durante o período de implementação, surgiram problemas significativos no planeamento, que não haviam sido identificados no capítulo 4, devido à falta de alinhamento com a secção da *wave* e verniz, bem como à alocação ineficaz de recursos para referências específicas. Estes problemas surgiram pela falta de comunicação contínua entre as secções, sendo de extrema importância o alinhamento do estado das placas nas diferentes áreas, uma vez que todo o trabalho em linha e da logística acontece de acordo com uma sequência de referências que, pode não ser representativa da seguida nas zonas que fornecem os PCBA.

As paragens registadas, devido à ausência de placas, por exemplo, não ocorreram por incapacidade das secções mencionadas em abastecer a linha, mas sim pela ausência de sincronização com as mesmas. Para além das interrupções causadas pela falta de sincronização, a alocação dos operadores, de forma a conciliar a produção em linha com as referências C, também se revelou desafiante. Algumas referências C, como as AT, podem ser processadas em linha, contudo, existe apenas um equipamento de teste disponível, com capacidade para testar cerca de 60 peças por hora. Para estas referências, não é necessário utilizar a configuração inicialmente desenhada. É essencial alocar o número adequado de operadores para minimizar o tempo de espera entre eles e garantir a máxima ocupação dos recursos disponíveis. Os operadores remanescentes devem ser redistribuídos pelas outras referências C da semana ou, caso não seja aplicável, para outros clientes, assegurando assim a produtividade ideal da linha.

Deste modo, foram criadas duas normas, a primeira, um *Day in Life Of (DILO),* apresentado na Figura 35, cujo principal objetivo é orientar o dia do *team leader,* sendo um dos blocos dedicado ao alinhamento do estado das secções da *wave* e verniz, para ajustar o plano de produção conforme o estado das placas nas diferentes secções precedentes à linha.

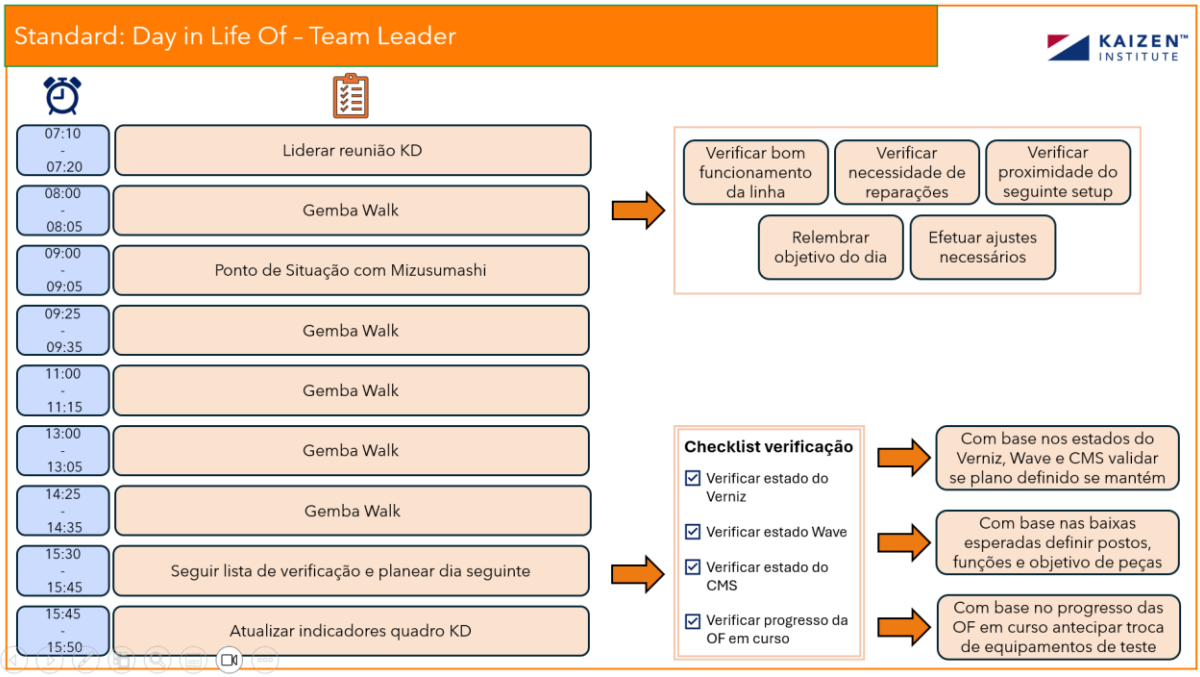


Figura 35 - DILO *Team Leader*

Esta norma também aborda o planeamento dos recursos humanos do dia seguinte, considerando a referência a ser produzida e o número esperado de operadores. No início da semana, com base no plano fornecido pelo chefe de produção, o *team leader* deve planear o número necessário de operadores para cada referência. Esse planeamento, no entanto, não estava a ser realizado eficientemente, sendo assim criada a segunda *norma*, apresentada na Figura 36, para auxiliar o *team leader*.

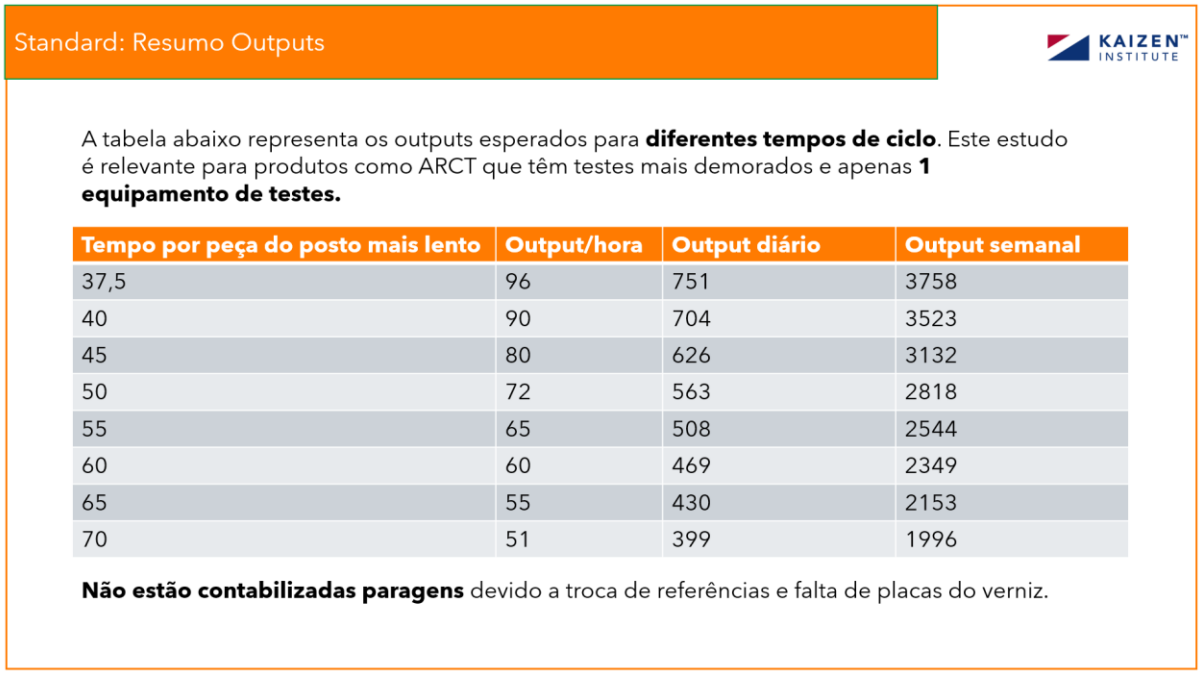


Figura 36 - Resumo *Output* da linha para diferentes tempos de ciclo

Com base no tempo de ciclo da referência a produzir, o *team leader* pode prever o a produção diária com maior precisão e, assim, fornecer ao chefe de produção uma estimativa mais fiável do cumprimento

das encomendas. Considerando o tempo de ciclo esperado, seja por restrições do processo ou por absentismo, o *team leader* deve utilizar as normas para diferentes números de operadores, conforme apresentado na Figura 33, escolhendo o cenário mais adequado à referência, tendo como base a cadência de produção de cada um dos cenários.

Para além aos documentos criados, foi realizado um acompanhamento intensivo ao processo de planeamento durante as primeiras semanas, para demonstrar a utilidade das ferramentas desenvolvidas e a melhor forma de conciliar a produção em linha com as referências C. Estas sessões de planeamento permitiram definir a abordagem mais eficaz para referências cujos processos produtivos não haviam sido totalmente contemplados durante o desenho de linha, como o módulo, que requerem dois dias de trabalho de um único operador. Neste caso, o operador pode ser retirado da linha, como previsto para referências do tipo AT ou, alternativamente, assumindo uma menor produtividade nas referências A e B, permitindo, assim, uma alocação mais eficiente dos recursos.

6.9 Implementação Kaizen Diário e melhorias na comunicação

Um dos principais entraves ao bom funcionamento do processo produtivo reside na forma como a comunicação é estabelecida entre as equipas. O primeiro passo para mitigar este problema foi a implementação dos sequenciadores na logística, medida que foi bem recebida pelo *mizusumashi*. No entanto, ainda permanecia em falta a implementação da outra rotina definida em 5.3. O KD desenvolvido foi considerado adequado pela gestão, tendo sido, no entanto, identificada a necessidade de criar três elementos.

Dois desses elementos surgiram dos problemas observados durante o arranque da linha e consistem em indicadores adicionais. O primeiro foca-se na monitorização das horas trabalhadas pelos operadores, como forma de sensibilizar os mesmos da situação atual de absentismo, sugerido pela administração da empresa, e o segundo no tempo necessário para realizar mudanças de referências, assegurando que as ações implementadas em conjunto com a equipa de testes tiveram o efeito esperado. O terceiro elemento adicionado foi o *layout* da linha, acompanhado de cartões com o nome dos operadores, onde o *team leader* pode comunicar de forma visual o posto de cada trabalhador para o dia em questão.

A criação da rotina diária para a realização da reunião apresentou algumas dificuldades, particularmente no cumprimento da pontualidade por parte do *team leader*, que durante as primeiras semanas assumiu responsabilidades adicionais ao projeto, levando a tempos de inatividade superiores aos esperados. Com o término das responsabilidades, a rotina foi estabelecida e as reuniões passaram a decorrer conforme planeado.

Foi feito um acompanhamento integral das reuniões, onde se verificou o cumprimento de todos os tópicos previstos: a verificação do cumprimento do plano e comunicação de quaisquer alterações aos operadores e ao *mizusumashi* o alinhamento com todos os intervenientes das trocas de referências esperadas para o dia, a análise dos cinco indicadores (produtividade, qualidade, roturas, absentismo e mudanças) e a identificação de ações para o ciclo PDCA.

A utilização do ciclo PDCA intensificou-se com o progresso das reuniões, revelando um maior envolvimento e maturidade por parte da equipa. Destas reuniões resultaram alterações físicas à linha, como ajustes ao tapete rolante, a necessidade de treinar um segundo operador capacitado para desempenhar as tarefas de *mizusumashi*, alterações ao processo de algumas referências, incluindo as modificações na impressão de etiquetas no posto 6, conforme descrito no 6.4 e a implementação de ações para combater as paragens que afetaram a linha.

Com a implementação bem-sucedida do KD, tornou-se evidente a melhoria na comunicação entre a produção e as restantes equipas, o que proporcionou uma melhor organização do trabalho e uma gestão mais eficiente das necessidades da linha.

6.10 *Dashboards* de controlo

A última etapa da implementação consistiu na criação de *dashboards* de controlo. Embora não houvesse um local dedicado para a consulta dos dados da produção, desde o arranque do projeto foi dado grande ênfase à importância de dispor informação atualizada sobre o estado da produção. Para monitorizar o progresso da linha, os dados de produção foram extraídos manualmente todas as semanas por parte da equipa de métodos, a partir de um programa conectado à impressora do posto 7. Esta extração permitiu obter valores de produtividade, tempos de produção e tempos de mudança de referência. No entanto, apesar do esforço significativo da equipa de testes, a extração manual dos dados de produção revelou-se insustentável e propensa a erros. Por essa razão, foi solicitado à equipa o desenvolvimento de uma base de dados que permitisse a consulta dos dados em tempo real.

Com a criação desta base de dados, foi possível conectá-la ao programa *Power BI* e construir *dashboards* de forma autónoma. A primeira *dashboard* indica o estado da produção em tempo real, graças à capacidade da base de dados em obter os registos de forma quase instantânea. Esta *dashboard* fornece informações sobre a quantidade de peças produzidas, tempo de ciclo da linha e distribuição do tempo de trabalho da equipa. A *dashboard* desenvolvida está apresentada na Figura 37.

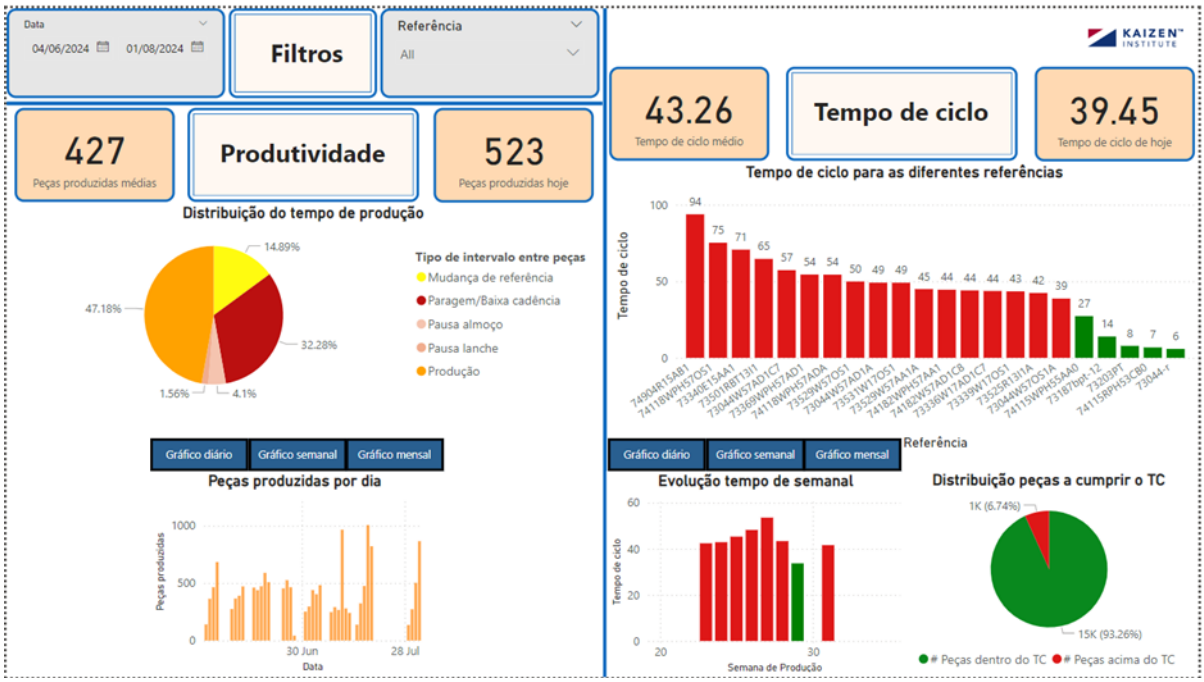
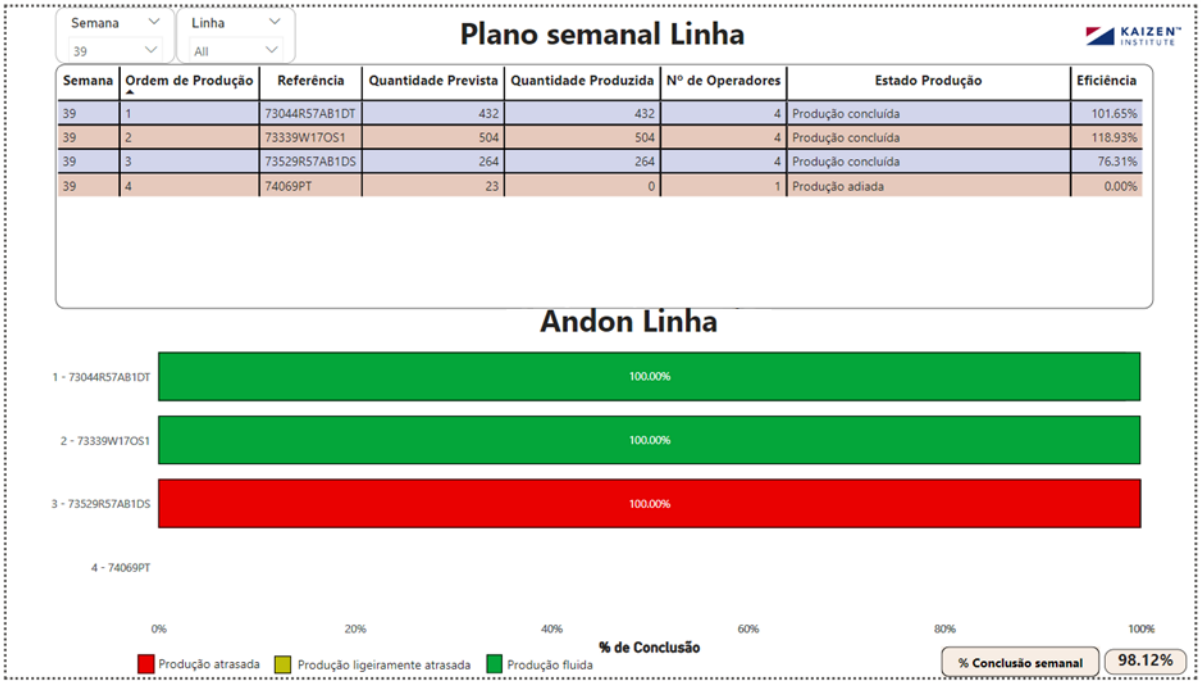


Figura 37 - *Dashboard* do processo produtivo

Além da dashboard de indicadores, foi também criada uma dashbboard onde é apresentado o progresso efetuado para a conclusão de uma OF, o ritmo da linha de acordo com o tempo entre peças e com o tempo esperado, sendo a barra de progresso verde se a produção tiver valores de eficiência (de acordo com os tempos teóricos) iguais ou superiores a 95%, amarela se a produção estiver ligeiramente atrasada com valores de eficiência entre 90% e 95% e vermelha caso contrário, simbolizando que a produção está atrasada. Esta segunda dashboard está apresentada na Figura 38.



Semana	Ordem de Produção	Referência	Quantidade Prevista	Quantidade Produzida	Nº de Operadores	Estado Produção	Eficiência
39	1	73044R57AB1DT	432	432	4	Produção concluída	101.65%
39	2	73339W17OS1	504	504	4	Produção concluída	118.93%
39	3	73529R57AB1DS	264	264	4	Produção concluída	76.31%
39	4	74069PT	23	0	1	Produção adiada	0.00%

Figura 38 - *Dashboard* progresso produção

7 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O projeto desenvolvido alinhado à implementação da nova linha representou um investimento significativo da empresa X, focado na melhoria contínua dos processos produtivos. Além de otimizar a eficiência e qualidade, foi criado um modelo operacional replicável para os restantes clientes, estabelecendo um padrão que promova a inovação e a excelência em toda a organização.

7.1 Espaço ocupado e distância percorrida

A alteração do *layout* foi fundamental para a libertação de um espaço considerável no chão de fábrica, ao concentrar o processo produtivo em apenas 32,04 m². Além da linha de produção, devem ser considerados os 3,52 m² ocupados pela interface logística, totalizando uma ocupação de 35,56 m². Antes desta mudança, o *layout* funcional ocupava cerca de 120 m², o que significa que esta alteração resultou numa redução de 70% do espaço utilizado, ou seja, menos 84,44 m² de ocupação. Ao otimizar o *layout*, a empresa conseguiu acomodar um novo projeto sem a necessidade de expandir a área do chão de fábrica, evitando assim custos adicionais associados a uma possível expansão. A comparação entre o cenário anterior ao projeto e o atual encontra-se ilustrada na Figura 39.

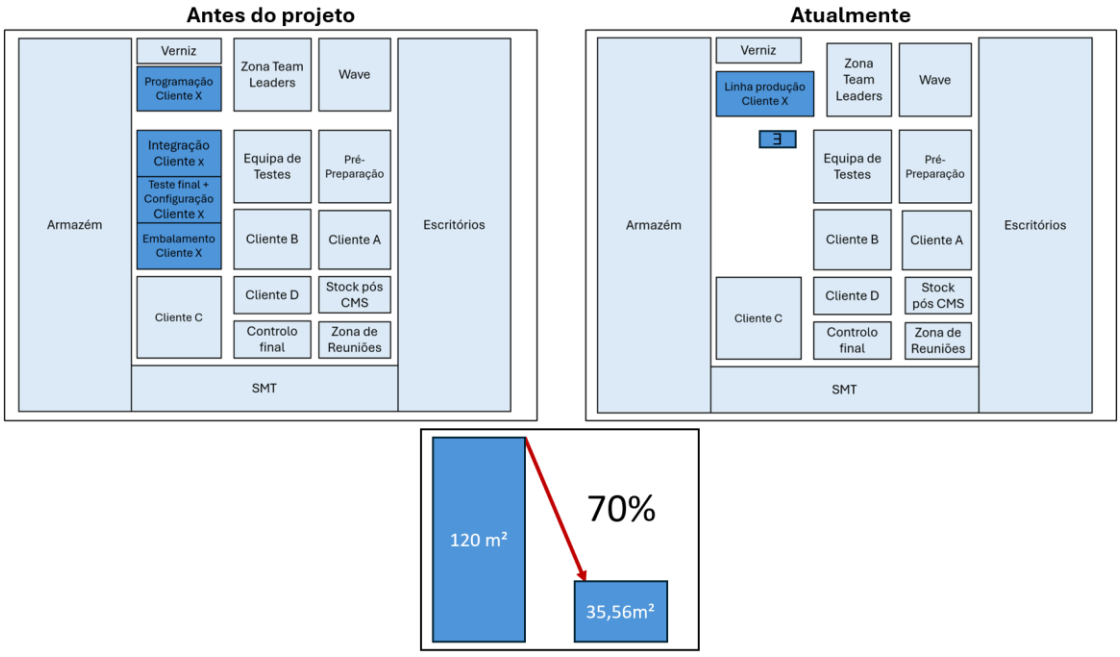


Figura 39 - Comparação *layout* e área ocupada

As alterações ao *layout* não só impactam o espaço ocupado, mas também a distância que os operadores percorrem durante o processo.

A implementação do trabalho em linha remove a necessidade dos operadores se deslocarem visto que os postos se encontram bastante próximos. Inicialmente, para uma OF, eram percorridos 195 metros

pelos operadores para recolher material das diferentes secções, atualmente, com a implementação de um operador logístico, os operadores da produção não se deslocam para recolher material, diminuindo totalmente o tempo de deslocações de WIP, como apresentado na Figura 40.

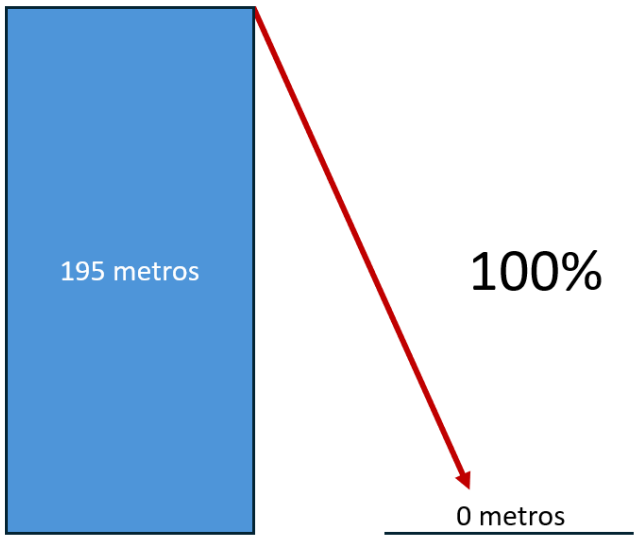


Figura 40 - Comparação distância percorrida pelos operadores

7.2 Número de operadores

O principal objetivo do projeto para a empresa era a redução do número de operadores associados ao cliente Y, para acompanhar a diminuição da procura. Com sucesso, a reestruturação do processo produtivo permitiu a redução do número de FTE de 15 para 8, sete operadores da linha e o operador logístico. Considerando uma remuneração bruta mensal de 820 €, o que corresponde a um salário anual de 11.480 € (com 12 meses de salários e 2 subsídios), e incluindo os encargos sociais de 23,75%, o custo total anual por FTE é de 14.204,50 €. Assim, ao reduzir o número de FTE em 7, a empresa alcança uma economia anual de 99.431,50 € na produção do cliente Y. Esta poupança permite à empresa alocar os recursos liberados a outros projetos, estando o benefício descrito representado na Figura 41.

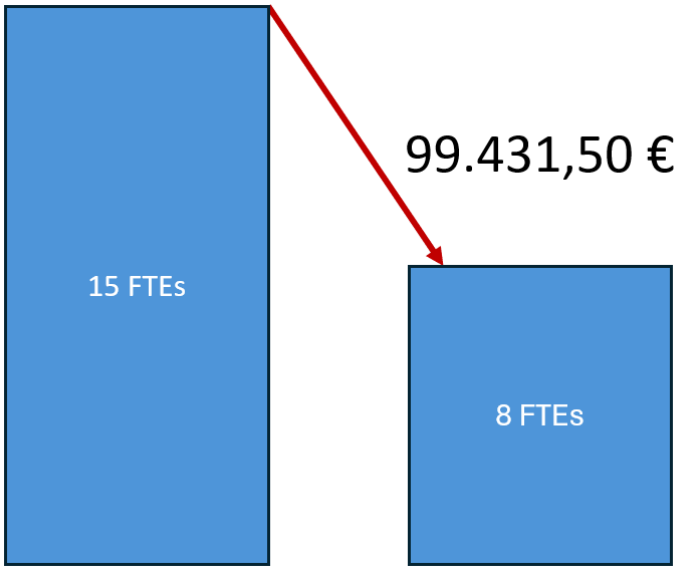


Figura 41 - Comparação FTE associados ao cliente Y

7.3 Produtividade da linha

Para representar a evolução do indicador de produtividade, cujo objetivo era atingir de forma consistente 12 peças/hora-homem, foi elaborado um gráfico com os valores da produtividade da linha durante seis semanas, apresentado na Figura 42.

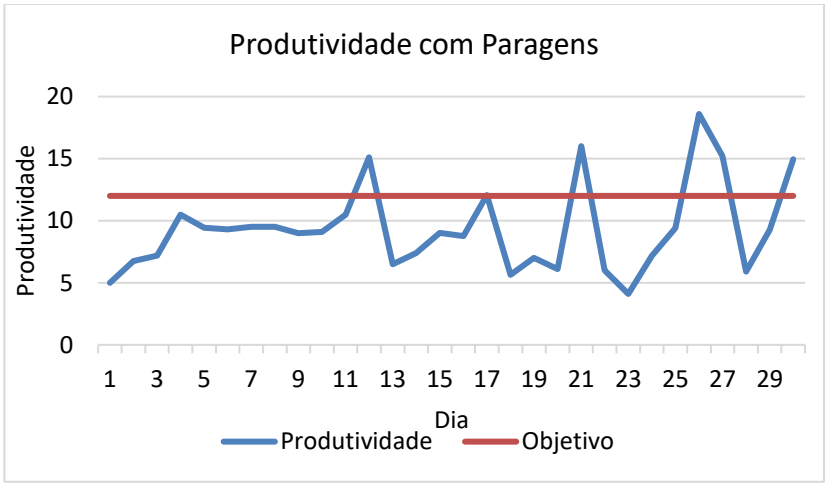


Figura 42 - Produtividade da linha com paragens

Este gráfico oferece uma visão geral da linha, mas não retrata com precisão a situação real do processo. O registo está enviesado devido às diversas paragens que afetaram a linha no início do projeto, não refletindo fielmente o desempenho do novo processo. Em vez disso, evidencia a necessidade de abordar as paragens causadas pelas trocas de referências e mau planeamento.

Para uma análise mais detalhada, foi criado um gráfico da produtividade onde foram excluídos os períodos de inatividade, definidos como aqueles em que a cadência entre peças excedia 3 minutos. Esse gráfico está representado na Figura 43.

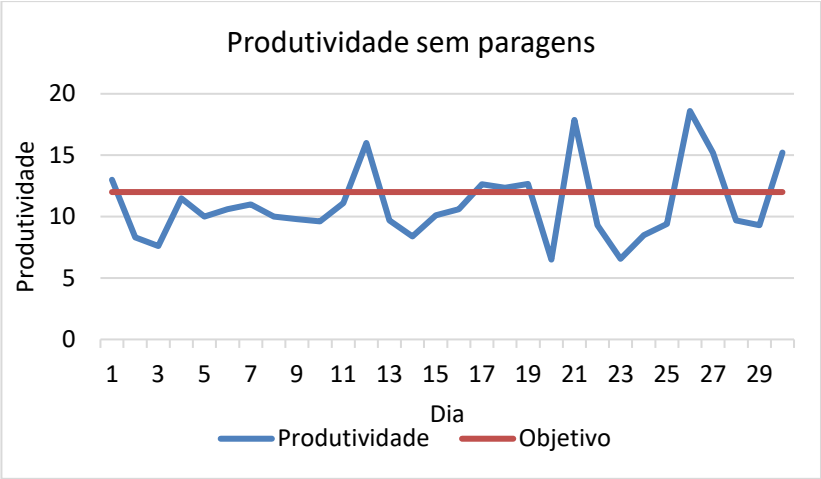


Figura 43 - Produtividade da linha sem paragens

Com a remoção das paragens, a produtividade revela-se muito mais estável mantendo-se quase sempre acima das 10 peças/hora-homem. Observa-se também que, com exceção dos primeiros 10 registos, todos os picos de baixa produtividade são seguidos por picos mais altos nos dias subsequentes. Isto resulta da gestão e planeamento realizados pelo *team leader,* que aloca operadores às referências C, o que reduz temporariamente a produtividade da linha. No entanto, essa redução é compensada nos dias seguintes com o registo do trabalho efetuado no posto C.

É, também, evidente o aumento da produtividade ao longo das semanas, como ilustrado na Figura 44, com o alcance de uma produtividade de 13,6 peças/hora-homem na semana 6. Esse incremento é atribuído à maior maturidade dos trabalhadores, à assimilação dos conceitos associados ao trabalho em linha e às melhorias no planeamento e alinhamento da equipa por parte das reuniões KD.

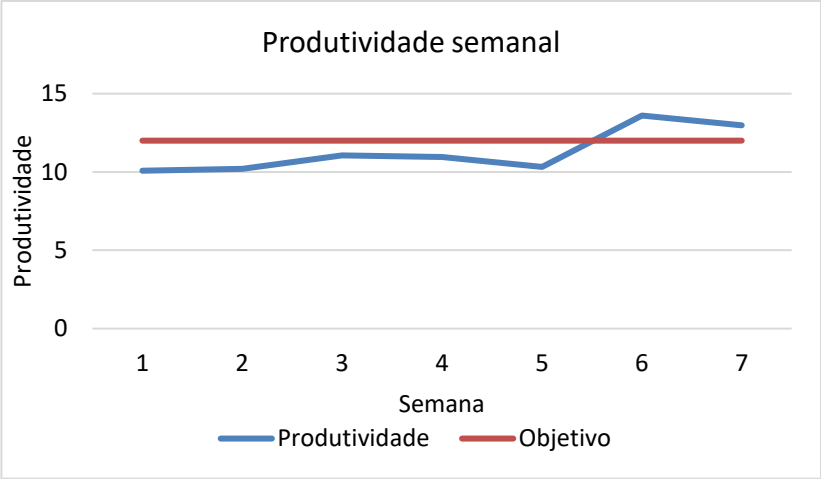


Figura 44 - Produtividade semanal da linha

A evolução constante do indicador de produtividade demonstra que as estratégias implementadas têm se tornado cada vez mais eficazes.

A produtividade média semanal atingida durante o projeto foi de 11,03 peças/hora-homem, revelando-se superior à de 5,9 peças/hora-homem apresentada no início do projeto, registando-se um aumento de

87%. É, no entanto, de extrema importância que as paragens que afetam a linha sejam trabalhadas com o objetivo de reduzir a sua frequência de ocorrência. Embora os indicadores apresentados não contabilizem essas paragens, por não serem consideradas relevantes para avaliar o desempenho do novo processo produtivo, é imperativo que sejam tratadas como uma prioridade máxima pela empresa. Desta forma, será possível garantir um elevado nível de eficiência e um excelente nível de serviço.

A comparação entre o início e o fim do projeto encontra-se apresentada na Figura 45.

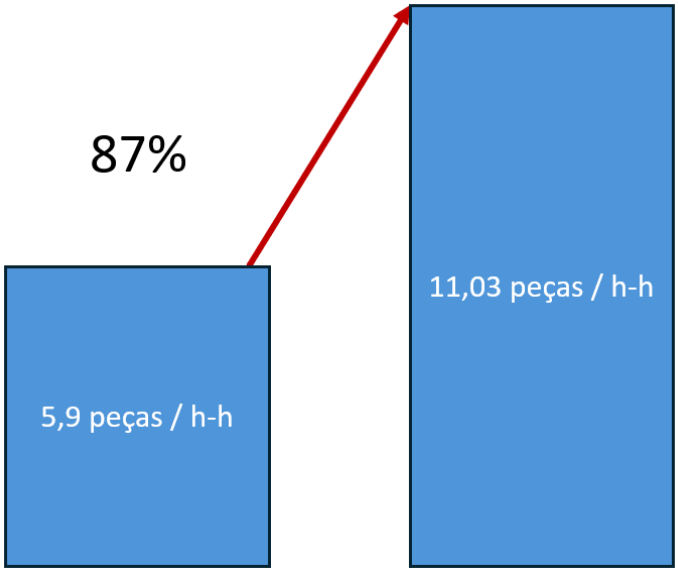


Figura 45 - Comparação de produtividade da linha

Apesar do objetivo de produtividade não ter sido atingido, é de esperar que com a continuidade da melhoria do processo e o desenvolvimento dos trabalhadores, o objetivo de produtividade seja alcançado de forma regular, consolidando num desempenho consistente e elevado ao longo do tempo.

7.4 Estabilização da qualidade

Com alteração do método de trabalho, a empresa demonstrou preocupação em monitorizar todos os produtos da linha através da verificação total no controlo final, substituindo a inspeção por amostragem até que o processo se normalizasse. Essa abordagem resultou no registo de todas as não conformidades, como evidenciado no gráfico apresentado na Figura 46.

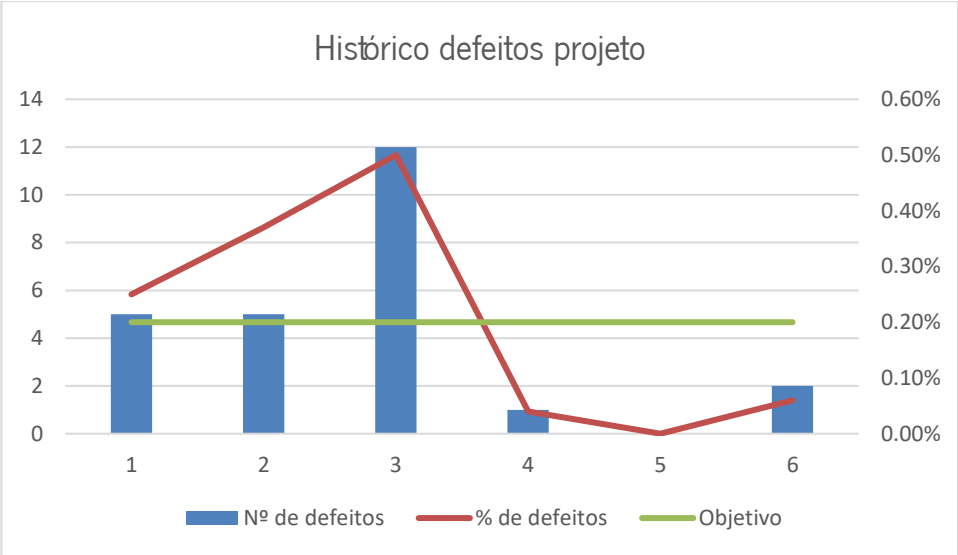


Figura 46 - Evolução do número e percentagem de defeitos do projeto

A análise do gráfico revela que as primeiras três semanas do projeto foram responsáveis por 22 defeitos, traduzindo-se no incumprimento do objetivo de qualidade, 0,2% de defeitos. A terceira semana do projeto, em particular, destacou-se por um número preocupante de 12 defeitos, correspondendo a 0,5% das peças, o que gerou grande preocupação na empresa.

A eficácia das medidas implementadas no processo a partir da semana 3, descrito no capítulo 6.7, é evidente pela redução dos defeitos nas semanas seguintes, conseguindo concentrar a percentagem de defeitos dentro dos limites estabelecidos pela empresa. Embora os resultados sejam promissores, é crucial assegurar a normalização do processo nas semanas seguintes para eliminar a necessidade de verificar 100% das peças, possibilitando assim a redistribuição de recursos no chão de fábrica e melhorando a operação global da linha, ao evitar a necessidade de retrabalho.

Comparando com os valores de qualidade iniciais, registou-se um incremento de 400% na taxa de defeitos semanal média, sendo o principal defeito a falta de porcas na base como demonstrado na Figura *34*. Esta discrepância resulta principalmente da transição no método de trabalho dos operadores e na redução dos inúmeros pontos de controlo do processo. Embora se note uma clara melhoria nos indicadores de qualidade nas últimas semanas do projeto. Além disso, a pequena dimensão da amostra torna-a mais suscetível à influência de *outliers,* como o que foi identificado na terceira semana. A comparação entre os resultados do início e do fim do projeto está apresentada na Figura 47.

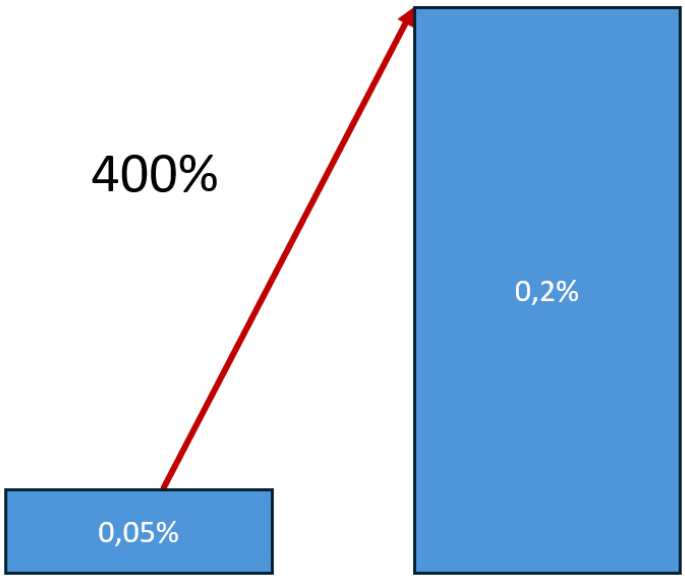


Figura 47 - Comparação percentagem média de defeitos da linha

Ao final das seis semanas de projeto, o indicador de qualidade médio era 0,2%, cumprindo com o limite estabelecido pela empresa, sendo este valor bastante elevado devido às primeiras três semanas do projeto, revelando-se uma melhoria nas últimas três semanas registando consistentemente valores consideravelmente inferiores ao objetivo, sugerindo que o indicador de qualidade tenderá a estabilizar dentro dos parâmetros pretendidos pela empresa.

7.5 *Work-in-process* na linha

A adoção da produção em fluxo provocou uma redução drástica na quantidade de WIP no chão de fábrica. O máximo de peças que podem circular em linha simultaneamente são 218 placas simultaneamente (4 no posto 1, 200 no bordo de linha do posto 2, 10 no posto 3, 2 no posto 4 e 1 peça para cada um dos restantes postos, o posto 6 e o posto 7) onde, com a produção em lote estavam presentes 1000 placas distribuídas pelo chão de fábrica. Relativamente a peças intermédias, registou-se uma redução de 2000 peças para 4 peças, uma vez que o processo anterior implicava a preparação de todos os saquinhos, caixas e bases, enquanto em linha apenas são preparados quando requisitados. A comparação destes indicadores entre o início e o fim do projeto está apresentado na Figura 48.

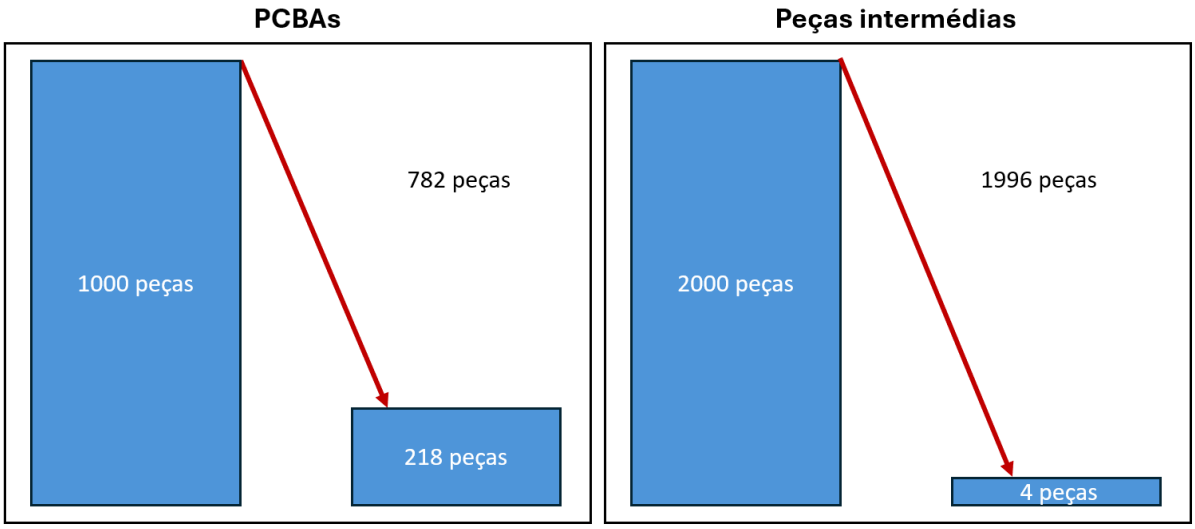


Figura 48 - Comparação número de WIP na linha

A criação de fluxo na produção e abandono da produção em lote permitiu reduzir a quantidade de WIP, um dos principais objetivos delineados para o projeto, reduzindo o risco de ocorrência de defeitos e o tempo de atravessamento do sistema.

8 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões do projeto de dissertação. Adicionalmente, são sugeridas propostas de projetos futuros à empresa para que esta possa melhorar as suas operações transversalmente.

8.1 Considerações finais

O presente projeto teve origem na sequência de uma queda significativa na procura dos produtos de um dos principais clientes da empresa X, o cliente Y. Esta diminuição de procura deveu-se aos produtos atingirem o seu fim de vida. Este acontecimento levou a empresa a contratar o *Kaizen Institute* para conduzir um projeto com o objetivo de reestruturar o sistema produtivo da empresa e racionalizar os recursos.

Iniciou-se com uma análise detalhada do sistema de produção, que permitiu identificar diversos problemas, nomeadamente, o sobredimensionamento da força de trabalho, a baixa produtividade dos operadores, o *layout* desadequado que implicava movimentações excessivas, grandes quantidades de WIP no chão de fábrica, dificuldades em produzir consistentemente produtos sem defeitos, e uma fraca sinergia entre as equipas.

Seguiu-se uma fase de conceção das soluções, que foram posteriormente apresentadas e ajustadas com base nas opiniões e experiências dos trabalhadores. A reestruturação do sistema produtivo, passando de um *layout* funcional para um *layout* em fluxo, impulsionada pela redução na procura, permitiu reduzir o número de FTE em 7, passando de 15 para 8, o que resultou numa poupança anual de 99.431,50 € para a empresa. As alterações físicas ao espaço, com a introdução da nova linha, libertaram 84,44 m^2, consolidando o processo produtivo da empresa em apenas 35,56 m^2, resultando numa redução de 70%.

A implementação de uma interface logística, bordos de linha e um *mizusumashi,* responsável por absorver todo o desperdício associado a movimentações, resultou na eliminação das deslocações efetuadas pelos operadores para recolher WIP, que contabilizavam cerca de 195 metros por OF. Além disso, foi criado um quadro de KD de modo a melhorar a sinergia das equipas, o que, aliado à remoção das deslocações, às alterações no processo e à sua consolidação num espaço mais compacto, permitiu um aumento da produtividade em 87%, de 5,9 peças/hora-homem para 11 peças/hora-homem, ficando ligeiramente aquém do objetivo de 12 peças/hora-homem definido.

A implementação do *One-piece Flow* reduziu drasticamente a quantidade de WIP no chão de fábrica, de 1000 para 218 placas e de 2000 para 4 peças intermédias. Relativamente à qualidade, apesar da

introdução de uma matriz de auto qualidade, a transição da produção em lote para *One-piece Flow* revelou-se bastante desafiante para os operadores no início do projeto, não havendo melhorias imediatas. Espera-se, no entanto, que com o amadurecimento dos operadores, seja possível alcançar a consistência desejada pela organização.

Em suma, é essencial destacar os avanços significativos obtidos com o projeto, nomeadamente a redução do espaço ocupado, do número de FTE e do WIP, que demonstram melhorias substanciais na eficiência e na gestão dos recursos. Contudo, apesar dos progressos alcançados, é imprescindível um esforço contínuo e diligente por parte da equipa para alcançar uma produtividade consistente e manter elevados padrões de qualidade. Assim, embora os resultados sejam promissores, a empresa deve continuar a focar-se na melhoria contínua dos processos, de forma a garantir a excelência a longo prazo.

8.2 Trabalho Futuro

Apesar dos benefícios alcançados, ainda há trabalho a ser realizado pela empresa para assegurar a continuidade das ações implementadas.

Assim, sugere-se a redução dos tempos de troca de referência e um melhor alinhamento entre as secções que abastecem a linha de produção (SMT, *Wave* e Verniz), de modo a minimizar as paragens da linha e reduzir o impacto destas na produtividade.

Recomenda-se também a realização de auditorias regulares aos elementos introduzidos no processo produtivo, com o objetivo de garantir o seu bom funcionamento e assegurar que vícios anteriores não voltem a surgir.

Ao longo do projeto, identificou-se que o absentismo representa um problema recorrente na empresa. Para abordar esta questão, propõe-se a realização de um *Gallup Employee Engagement Survey,* com o intuito de medir a satisfação dos trabalhadores e analisar se o absentismo está relacionado com a cultura organizacional da empresa. Esta abordagem proporcionará uma compreensão mais profunda das dinâmicas de trabalho e da motivação dos operadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albertos, P. (1989). Low Cost Automation Issues. *IFAC Proceedings Volumes*, *22*(18), 1–5. https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)52813-X

Albertos, P. (1998). Trends in Low Cost Automation. *IFAC Proceedings Volumes*, *31*(25), 1–8. https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36353-X

Azzemou, R., & Noureddine, M. (2018). Continuous improvement for the firm's competitiveness: implementation of a new management model. *Management Science Letters*, 19–32. https://doi.org/10.5267/j.msl.2017.11.003

Balé, M. (2016). *Lean Institute Brasil*. https://www.lean.org.br/artigos/445/stp-ou-toyota-way.aspx

Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, *183*(2), 674–693. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.010

Carvalho, D. J., & Sousa, R. M. (2021). *Melhoria Contínua nas Organizações*. Lidel - Edições Técnicas, Lda.

Coimbra, E. (2009). *Total Management Flow: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.

Coimbra, E. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. McGraw-Hill Education.

Emde, S., & Boysen, N. (2012). Optimally locating in-house logistics areas to facilitate JIT-supply of mixed-model assembly lines. *International Journal of Production Economics*, *135*(1), 393–402. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.022

Feld, W. (2001). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How To Use Them.* . St. Lucie Press.

Ferradás, P. G., & Salonitis, K. (2013). Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells. *Procedia CIRP*, *7*, 598–603. https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.039

Gil Vilda, F., Yagüe-Fabra, J. A., & Sunyer Torrents, A. (2020). An in-plant milk-run design method for improving surface occupation and optimizing mizusumashi work time. *CIRP Annals*, *69*(1), 405–408. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.03.012

González-R, P. L., Framinan, J. M., & Pierreval, H. (2012). Token-based pull production control systems: an introductory overview. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *23*(1), 5–22. https://doi.org/10.1007/s10845-011-0534-4

Habib, M. A., Rizvan, R., & Ahmed, S. (2023). Implementing lean manufacturing for improvement of operational performance in a labeling and packaging plant: A case study in Bangladesh. *Results in Engineering*, *17*, 100818. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100818

Hill, A. V. (2012). *The Encyclopedia of Operations Management: A Field Manual and Glossary of Operations Management Terms and Concepts*. FT Press.

Hirano, H. (1995). *5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workplace*. Productivity Press.

Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*. McGraw-Hill.

Jin, W., He, Z., & Peng, T. (2021). A JIT part supply scheduling strategy with electric transport device between central receiving store and supermarkets in the automobile industry considering energy. *ETransportation*, *9*, 100126. https://doi.org/10.1016/j.etran.2021.100126

Kaizen Institute. (2019). *Material Interno*.

Katayama, H. (2017). Legend and Future Horizon of Lean Concept and Technology. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1093–1101. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.227

Kaur, S. P., Kumar, J., & Kumar, R. (2017). The Relationship Between Flexibility of Manufacturing System Components, Competitiveness of SMEs and Business Performance: A Study of Manufacturing SMEs in Northern India. *Global Journal of Flexible Systems Management*, *18*(2), 123–137. https://doi.org/10.1007/s40171-016-0149-x

Kok Lim, K., Ahmed, P. K., & Zairi, M. (1999). Managing waste and looking beyond: the IMI approach. *The TQM Magazine*, *11*(5), 304–310. https://doi.org/10.1108/09544789910282354

Konrad, K., Sommer, M., & Shareef, I. (2023). Crate consolidation and standardization using lean manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, *35*, 1264–1275. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.105

Kumar, R., Mohan, R., & Gobinath, N. (2021). Improvement in production line efficiency of hemming unit using line balancing techniques. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 1459–1463. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.020

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*, 437–442. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.089

Li, S. G., & Rong, Y. L. (2009). The reliable design of one-piece flow production system using fuzzy ant colony optimization. *Computers & Operations Research*, *36*(5), 1656–1663. https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.03.010

Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, *20*(2), 5–20. https://doi.org/10.5465/amp.2006.20591002

Mehdizadeh, M. (2020). Integrating ABC analysis and rough set theory to control the inventories of distributor in the supply chain of auto spare parts. *Computers & Industrial Engineering*, *139*, 105673. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.047

Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research and Design*, *83*(6), 662–673. https://doi.org/10.1205/cherd.04351

Miltenburg, J. (2001). U-shaped production lines: A review of theory and practice. *International Journal of Production Economics*, *70*(3), 201–214. https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00064-5

Monden, Y. (1993). *Toyota Production System*. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9714-8

Mor, R. S., Bhardwaj, A., Singh, S., & Sachdeva, A. (2019). Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *30*(6), 899–919. https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2017-0151

Nakade, K., & Nishiwaki, R. (2008). Optimal allocation of heterogeneous workers in a U-shaped production line. *Computers & Industrial Engineering*, *54*(3), 432–440. https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.08.007

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.

Rodrigues, I., & Alves, W. (2024). Integrating Lean Thinking into Project Management: A Conceptual Model for the IT Sector. *Procedia Computer Science*, *239*, 1604–1611. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.336

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Campilho, R. (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1034–1042. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.110

Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press.

Sly, D. (2018). Integrating 3D Product Models with Assembly Line Balancing Via Process Consumption. *Procedia Manufacturing*, *17*, 183–189. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.034

Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. In *Quarterly* (Vol. 23, Issue 4).

Tellini, T., Silva, F. J. G., Pereira, T., Morgado, L., Campilho, R. D. S. G., & Ferreira, L. P. (2019). Improving In-Plant Logistics Flow by Physical and Digital Pathways. *Procedia Manufacturing*, *38*, 965–974. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.180

Welo, T., & Ringen, G. (2016). Beyond Waste Elimination: Assessing Lean Practices in Product Development. *Procedia CIRP*, *50*, 179–185. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.093

Williams, J. A., Zafar, H., & Gupta, S. (2024). Fortifying healthcare: An action research approach to developing an effective SETA program. *Computers & Security*, *138*, 103655. https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103655

Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production* (1st edition). HarperCollins.

Zhou, B. (2016). Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). *Annals of Operations Research*, *241*(1–2), 457–474. https://doi.org/10.1007/s10479-012-1177-3

APÊNDICES

Apêndice 1 – Tabela classificação dos componentes

Componente	Ref	Caixa	Quantidade max	Junjo/Kanban	Posto
 Laterais / Guias	111351	Média	160	kanban	2
Tampa		Fornecerdor	100	Junjo	2
 Antenas		Pequena	150	Junjo	2
 Bornier pequeno	113955	Pequena	1350	kanban	3
 Bornier grande	113956	Pequena	450	kanban	4
 Saquinhos	106987	Pequena	300	kanban	5
 Resistências	105595/95663317	Pequena	1000	kanban	5
 Condensador	114530	Pequena	1000	kanban	5
 Parafuso	113125/112387	Pequena	1000	kanban	5
 Chave	112391	Pequena	500	kanban	5
 Instrução	x	Média	200	Junjo	5
Caixa	x	Média	100	Junjo	5
 Porcas	111135	Pequena	2000	kanban	6
Base	x	Média	34	Junjo	6
 Sacos	x	Média	1000	Junjo	7

Figura 49 - Grelha *Kanban/Junjo*

Apêndice 2 – Estudo do ciclo do *mizusumashi*

Takt Time		40	segundos					
Tempo de Ciclo do Mizusumashi		900	segundos	15	minutos			
						Dimensões caixa		
Componente	Tipologia	Qtd/caixa	Fator de incorporação	Autonomia (seg.)	# Caixas BoL	Comprimento	Largura	Profundidade ocupada
PCBAs	-	200	1	8000	2	60	40	80
Guias	kanban	160	1	6400	2	30	20	40
Tampa	junjo	100	1	4000	2	60	40	80
Antena	junjo	150	1	6000	2	18	10	36
Bornier pequeno	kanban	1 350	1	54000	2	18	10	36
Bornier grande	kanban	450	1	18000	2	18	10	36
Saquinhos	kanban	300	1	12000	2	18	10	36
Resistência 1	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Resistência 2	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Condensador	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Parafuso	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Chave	kanban	500	1	20000	2	18	10	36
Instrução de trabalho	junjo	200	1	8000	2	30	20	40
Caixa	kanban	100	1	4000	2	30	20	40
Porcas	kanban	2 000	2	40000	2	18	10	36
Base	junjo	34	1	1360	3	30	20	60
Sacos	kanban	1 000	1	40000	2	30	20	40

(a)

Takt Time		40	segundos					
Tempo de Ciclo do Mizusumashi		1800	segundos	30	minutos			
						Dimensões caixa		
Componente	Tipologia	Qtd/caixa	Fator de incorporação	Autonomia (seg.)	# Caixas BoL	Comprimento	Largura	Profundidade ocupada
PCBAs	-	200	1	8000	2	60	40	80
Guias	kanban	160	1	6400	2	30	20	40
Tampa	junjo	100	1	4000	2	60	40	80
Antena	junjo	150	1	6000	2	18	10	36
Bornier pequeno	kanban	1 350	1	54000	2	18	10	36
Bornier grande	kanban	450	1	18000	2	18	10	36
Saquinhos	kanban	300	1	12000	2	18	10	36
Resistência 1	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Resistência 2	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Condensador	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Parafuso	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Chave	kanban	500	1	20000	2	18	10	36
Instrução de trabalho	junjo	200	1	8000	2	30	20	40
Caixa	kanban	100	1	4000	2	30	20	40
Porcas	kanban	2 000	2	40000	2	18	10	36
Base	junjo	34	1	1360	4	30	20	80
Sacos	kanban	1 000	1	40000	2	30	20	40

(b)

Takt Time		40	segundos					
Tempo de Ciclo do Mizusumashi		2700	segundos	45	minutos			
						Dimensões caixa		
Componente	Tipologia	Qtd/caixa	Fator de incorporação	Autonomia (seg.)	# Caixas BoL	Comprimento	Largura	Profundidade ocupada
PCBAs	-	200	1	8000	2	60	40	80
Guias	kanban	160	1	6400	2	30	20	40
Tampa	junjo	100	1	4000	3	60	40	120
Antena	junjo	150	1	6000	2	18	10	36
Bornier pequeno	kanban	1 350	1	54000	2	18	10	36
Bornier grande	kanban	450	1	18000	2	18	10	36
Saquinhos	kanban	300	1	12000	2	18	10	36
Resistência 1	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Resistência 2	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Condensador	kanban	1 000	1	40000	2	18	10	36
Parafuso	kanban	1 000	2	20000	2	18	10	36
Chave	kanban	500	1	20000	2	18	10	36
Instrução de trabalho	junjo	200	1	8000	2	30	20	40
Caixa	kanban	100	1	4000	3	30	20	60
Porcas	kanban	2 000	2	40000	2	18	10	36
Base	junjo	34	1	1360	5	30	20	100
Sacos	kanban	1 000	1	40000	2	30	20	40

(c)

Figura 50 - Estudo do ciclo do *mizusumashi* para 15 minutos(a), estudo do ciclo do *mizusumashi* para 30 minutos(b) e estudo do ciclo do *mizusumashi* para 45 minutos (c)

Apêndice 3 – *Standard Work* do *Mizusumashi*

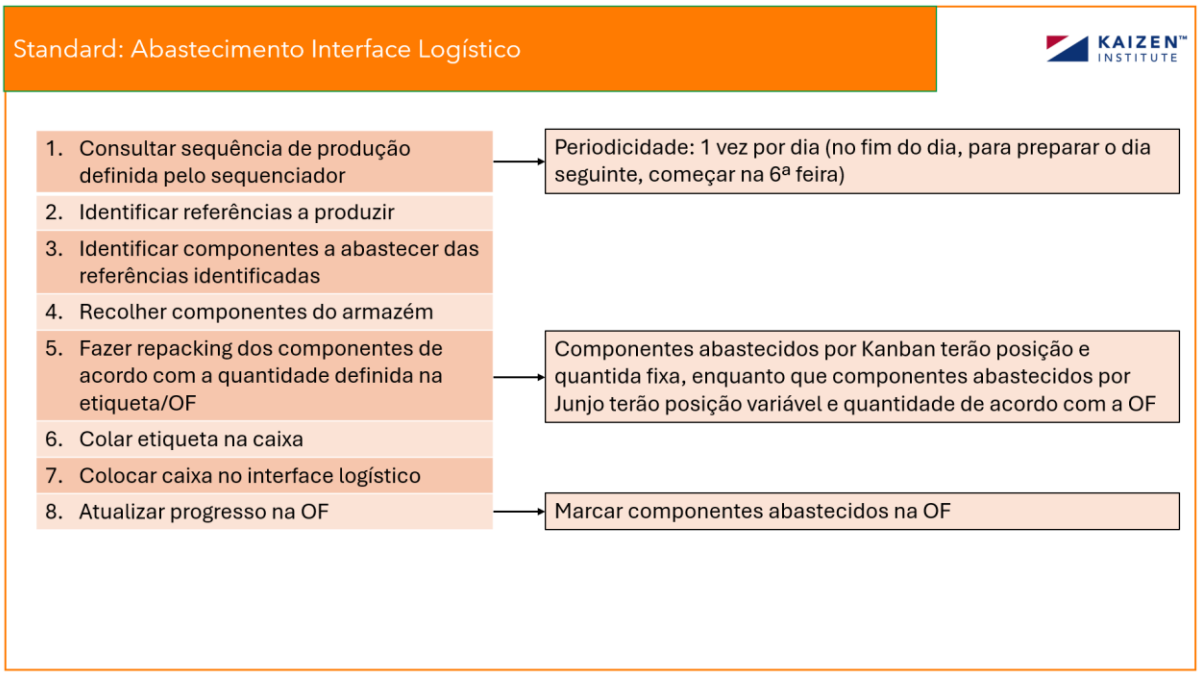


Figura 51- *Standard Work* do *mizusumashi*

Apêndice 4 – *Standard Work* troca de referências

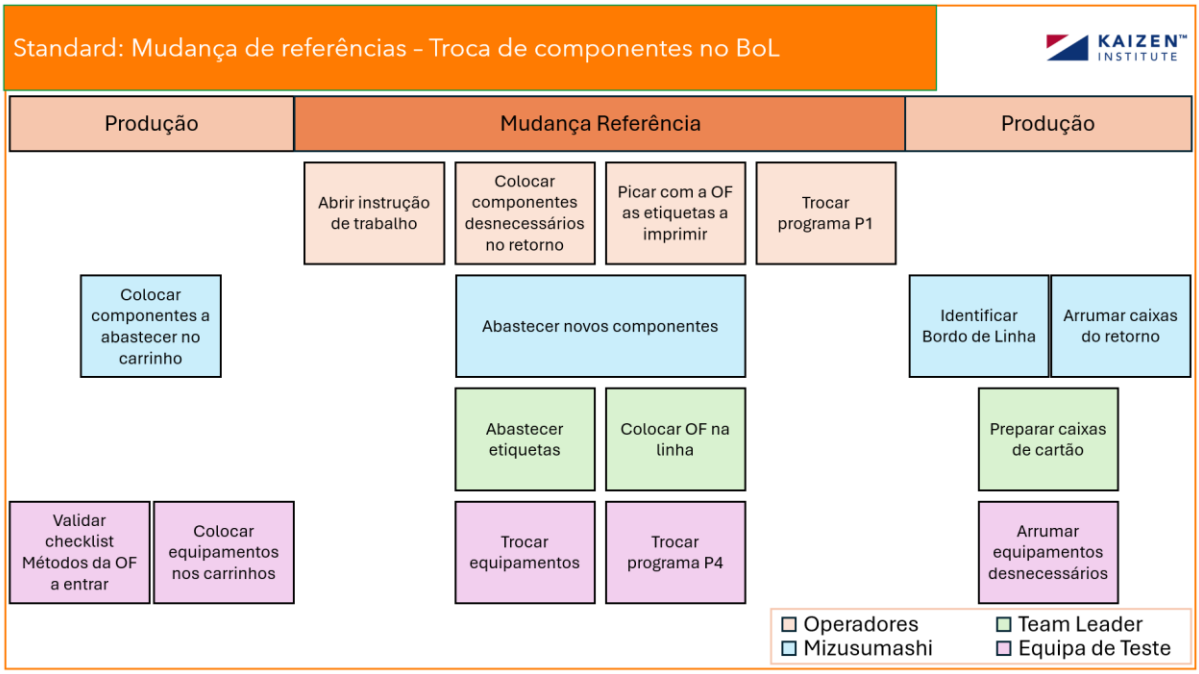


Figura 52 - *Standard Work* trocas de referências