



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Margarida Pires Gonçalves

**Reconfiguração do sistema de produção
de cambotas, aplicando princípios de *Lean
Thinking*, numa empresa da indústria
metalomecânica**

outubro de 2022



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Margarida Pires Gonçalves

Reconfiguração do sistema de produção de cambotas, aplicando princípios de *Lean Thinking*, numa empresa da indústria metalomecânica

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

outubro de 2022

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

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

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar um agradecimento comum a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização e concretização positiva deste projeto de dissertação.

Agradeço à empresa J. António da Silva, Lda. (JASIL) pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto, especialmente ao Engenheiro Luís Oliveira e à Doutora Manuela Silva, por me terem aceitado no estágio curricular, por terem acreditado no meu trabalho e por toda a ajuda disponibilizada.

Agradeço aos meus orientadores Sr. Hugo Costa e Engenheira Joana Ramôa, por toda a partilha de conhecimentos e pela sua paciência.

Agradeço ainda ao Engenheiro Tiago Pereira, à Sr.^a Daniela Ferreira e a todos os colegas dos diferentes departamentos pelos ensinamentos transmitidos e pela ajuda oferecida sempre que necessitei.

Agradeço a todos os trabalhadores do chão de fábrica pela forma como me acolheram e sempre se disponibilizaram para me ajudar.

Agradeço especialmente à minha orientadora académica Professora Doutora Anabela Alves por toda a partilha de conhecimentos, pelo acompanhamento e disponibilidade oferecida e, ainda, por todas as sugestões que possibilitaram a melhoria contínua do projeto desenvolvido.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e ao meu namorado, por me terem apoiado e ajudado incondicionalmente durante os cinco anos do mestrado integrado, especialmente nesta última fase.

Por último, agradeço a todos os meus amigos pelo apoio e incentivo contínuo para a conclusão deste projeto.

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.

Reconfiguração do sistema de produção de cambotas, aplicando princípios *Lean Thinking*, numa empresa da indústria metalomecânica

RESUMO

O presente projeto de dissertação de mestrado descreve o projeto realizado na empresa J. António da Silva Lda., onde o principal objetivo foi a identificação de gargalos de produção e a reconfiguração do sistema produtivo de cambotas através da aplicação de princípios Lean Thinking.

Inicialmente, procedeu-se à pesquisa e escrita da revisão bibliográfica sobre os princípios Lean Thinking e a reconfiguração de sistemas de produção para Sistemas de Produção Orientados ao Produto, de modo a solidificar a base teórica necessária para o desenvolvimento do projeto proposto. A metodologia utilizada no projeto foi a de investigação-ação visto ter havido uma participação ativa e constante de todos os elementos do sistema através de uma abordagem de resolução de problemas.

De seguida, caracterizou-se a empresa, tendo-se apresentado as suas unidades produtivas, os mercados, os produtos e processos produtivos. Seguiu-se a descrição e análise crítica do estado atual por forma a serem identificados os problemas existentes, onde se utilizaram ferramentas como *VSM*, Diagramas Causa-Efeito, entre outras ferramentas. Foram identificadas uma grande quantidade de ordens de produção em atraso em relação à data de entrega ao cliente seguinte e em relação à data programada para execução definida pelo programa escalonador. Identificou-se ainda a falta de acompanhamento aos trabalhadores, programas de maquinagem desatualizados e necessidade de atualização dos 5S.

As sugestões de melhoria propostas contemplaram o projeto de uma célula de produção para faces de cambota, a implementação de formação e reuniões diárias nas secções produtivas, a atualização dos programas de maquinagem e a alteração do *layout* das máquinas retificadoras de bielas.

Como resultado foi possível eliminar uma operação de retrabalho do processo produtivo das faces de cambota, aumentou-se as atividades de valor acrescentado no processo da face longa, da face curta e das bielas em 73%, 67% e 76% respetivamente. Foi possível reduzir três operadores através do projeto de célula de produção de faces de cambota e a taxa de cumprimento da data de entrega pedida pelo cliente aumentou em 10%. Em termos monetários, estima-se uma poupança anual de 42 600€.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria metalomecânica, *Lean Production*, Reconfiguração do sistema produtivo

Reconfiguration of the crankshafts production system, through the application of Lean Thinking principles, in a company of the metalworking industry

ABSTRACT

This master's thesis project describes the project carried out at J. António da Silva Lda., where the main objective was the identification of production bottlenecks and the reconfiguration of the production system of crankshafts through the application of Lean Thinking principles.

Initially, a bibliographic research and review on Lean Thinking principles and reconfiguration of product-oriented production systems was carried out to solidify the theoretical basis necessary for the development of the proposed project. The methodology used in the project was action-research since there was an active and constant participation of all elements of the system through a problem-solving approach.

The company was briefly characterized, and its production units, markets, products, and production processes were presented. A critical description and analysis of the current state was made to identify the existing problems, where tools such as VSM, Cause-Effect Diagrams, among others were used. Many overdue production orders in relation to the delivery date to the next customer and in relation to the scheduled date for execution defined by the scheduling program were identified. The lack of follow-up of workers, outdated machining programs and the need to update the 5S were also identified.

The proposed improvement suggestions have commended the design of a production cell for crankshafts, the implementation of training and daily meetings in the production sections, the updating of the machining programs and the change of the layout of the grinding machines used in the connecting rods.

As a result, it was possible to eliminate a rework operation of the production process of the crankshafts, the activities of added value in the process of the crankshafts faces and the process of the connecting rods were increased by 73%, 67% and 76% respectively. It was possible to reduce three operators through the production cell project of crankshafts and the fulfillment rate of the delivery date requested by the customer increased by 10%. In monetary terms, an annual saving of €42,600 was estimated.

KEYWORDS

Lean Thinking, Metalworking industry, Reconfiguration of the production system

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiv
Índice de Equações.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia de Investigação.....	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão Bibliográfica.....	7
2.1. Produção <i>Lean</i>	7
2.1.1 <i>Toyota Production System</i>	9
2.1.2 Tipos de desperdícios.....	11
2.1.3 Princípios <i>Lean Thinking</i>	15
2.1.4 Ferramentas <i>Lean</i>	16
2.1.5 Obstáculos à implementação da Produção <i>Lean</i>	23
2.2. Sistemas de Produção.....	24
2.2.1 Reconfiguração de Sistemas de Produção Orientados ao Produto.....	25
2.2.2 Indicadores de desempenho.....	28
3. Apresentação da Empresa.....	30
3.1. JASIL – J. António da Silva, Lda.....	30
3.2. Complexo industrial.....	31
3.3. Mercado.....	32
3.4. Produtos JASIL.....	33

3.5.	Processo de fabrico	35
3.5.1	Forjamento	35
3.5.2	Torneamento	36
3.5.3	Maquinação.....	37
3.5.4	Retificação.....	37
3.5.5	Talhamento	37
3.5.6	Segundas operações.....	38
3.5.7	Montagens	38
4.	Descrição e Análise Crítica da Situação Atual.....	39
4.1.	Caracterização do artigo escolhido	39
4.1.1	Referência 6035003.....	41
4.1.2	Processo produtivo	41
4.1.3	Processo de aprovação de faces de cambota	48
4.1.4	Planeamento e controlo da produção	52
4.2.	Descrição detalhada do estado atual	53
4.2.1	Value Stream Mapping (VSM) das faces de cambota e da biela.....	53
4.2.2	Fluxo de materiais no processo produtivo de faces de cambota e de bielas.....	55
4.2.3	Análise de ordens de produção em atraso	56
4.2.4	Outros problemas identificados nas secções	64
4.2.5	Resumo dos problemas encontrados.....	66
5.	Apresentação de Propostas de Melhoria	67
5.1.	Atualização de programas de maquinagem	67
5.2.	Projeto de uma célula de produção	68
5.2.1	Seleção do produto e/ou formação de famílias de produtos	68
5.2.2	Instanciação de células concetuais.....	69
5.2.3	Instanciação de postos de trabalho	71
5.2.4	Organização intracelular e controlo de cada célula	74
5.2.5	Arranjo integrado das células para formação do SPOP.....	75
5.3.	Acompanhamento diário aos trabalhadores	76
5.4.	Criação de instrução de trabalho.....	77

5.5.	Preenchimento dos quadros Kaizen	77
5.6.	Remoção de máquina obsoleta	77
5.7.	Layout das máquinas de retificar bielas	77
6.	Análise e Discussão de Resultados	79
6.1.	Eliminação da operação Medronhar/Rebarbar.....	79
6.2.	Redução do atraso nas datas de entrega	79
6.3.	Alteração do layout das máquinas de retificação das bielas	80
6.4.	Redução de custos.....	81
6.5.	Melhoria da gestão visual e divulgação de informação	82
6.6.	Porcentagem de valor acrescentado nos processos produtivos.....	82
6.7.	Porcentagem de cambotas entregues na data pedida pelo cliente.....	83
6.8.	Sumário de resultados	83
7.	Conclusão	85
7.1.	Considerações finais	85
7.2.	Trabalho futuro	86
	Referências Bibliográficas	87
	Apêndice 1 - Fluxograma do processo produtivo de faces de cambota	92
	Apêndice 2 - Fluxograma do processo produtivo das bielas.....	93
	Apêndice 3 - VSM Cambota face longa e cambota face curta.....	94
	Apêndice 4 - VSM Biela.....	96
	Apêndice 5 - Diagrama Spaghetti Cambota face longa e Cambota face curta	97
	Apêndice 6 - Diagrama Spaghetti Bielas	98
	Apêndice 7 - Quantidade total de OPs em atraso em F2 face de cambota.....	99
	Apêndice 8 - Quantidade total de OPs em atraso em F3 face de cambota.....	100
	Apêndice 9 - Quantidade total de OPs em atraso Bielas.....	101
	Apêndice 10 - Estudo de tempos.....	103
	Apêndice 11 - Cálculos auxiliares projeto célula de cambotas	106
	Apêndice 12 - Calculo capacidade produtiva	107
	Apêndice 13 - Instrução de trabalho chapa de metal para tabuleiros de produção.....	108
	Apêndice 14 - VSM Cambota Face Longa e Face Curta após sugestões de melhoria	109
	Apêndice 15 - VSM Bielas após sugestões de Melhoria.....	111

Anexo 1 - Exemplos da simbologia utilizada em <i>VSMs</i>	112
Anexo 2 - BOM Multinível	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa TPS.....	10
Figura 2 - 3Ms.....	14
Figura 3 - Sistema Andon.....	19
Figura 4 - Exemplo de Standardized Work Sheet (a) e exemplo de Standardized Work Combination Table (b).....	21
Figura 5 - Relação entre a quantidade de produção e a variedade de artigos para a seleção de sistemas de produção	25
Figura 6 - Logótipo JASIL - J. António da Silva, Lda.....	30
Figura 7 - Instalações JASIL em Adaúfe (esquerda) e em Pitancinhos (direita).....	31
Figura 8 - Complexo 1 (esquerda) e Complexo 2 (direita).....	31
Figura 9 - Layout chão de fábrica complexo 1	32
Figura 10 - Percentagem de vendas por país em 2021.....	33
Figura 11 - Percentagem de vendas por família de produto em 2021	34
Figura 12 - Exemplo ilustrativo do processo de forjamento.....	36
Figura 13 - Exemplo ilustrativo do processo de torneamento.....	36
Figura 14 - Exemplo ilustrativo do processo de maquinação	37
Figura 15 - Exemplo ilustrativo do processo de retificação	37
Figura 16 - Motor de uma scooter (a) e Cambota inserida no motor (b)	40
Figura 17 - Volume de vendas por referência de cambota no ano de 2021	40
Figura 18 - BOM simplificada da referência 6035003.....	41
Figura 19 - Fluxograma processo produtivo da face longa de cambota.....	42
Figura 20 - Fluxograma processo produtivo das bielas.....	45
Figura 21 - Fluxograma processo de montagem do produto final	47
Figura 22 - Exemplo de PIE.....	49
Figura 23 Máquina de medição VICIVISION.....	49
Figura 24 - Sistema Andon na JASIL	50
Figura 25 - Máquina de medição EQUATOR	51
Figura 26 - Posto de Aquisição de Dados (PAD).....	53
Figura 27 - Quantidade total de OPs em atraso em F2	56

Figura 28 - Quantidade total de OPs em atraso em F3	57
Figura 29 - Quantidade total OPs em atraso fresar face	57
Figura 30 - Quantidade total de OPs em atraso 2 ^a s operações.....	57
Figura 31 - 5Whys: Elevado número de OPs em atraso na operação de 2 ^a s operações	58
Figura 32 - Quantidade total de OPs em atraso retificar espiga	58
Figura 33 - Quantidade total de OPs em atraso retificar furo	59
Figura 34 - Quantidade total de OPs em atraso montar tacos	59
Figura 35 - Diagrama Causa-Efeito relativo ao atraso da data de entrega de OPs	60
Figura 36 - 5Whys: FIFO não garantido	60
Figura 37 - 5Whys: Elevada quantidade de WIP	61
Figura 38 - 5Whys: Material não disponível	61
Figura 39 - Quantidade total de OPs em atraso bielas	62
Figura 40 - Quantidade total de OPs em atraso retificar planos cobre	62
Figura 41 - Quantidade total de OPs em atraso retificar planos tratamento térmico.....	63
Figura 42 - Quantidade total de OPs em atraso retificar olhal grande	63
Figura 43 - Quantidade total de OPs em atraso retificar olhal pequeno	63
Figura 44 - Torno avariado na secção de torneamento	64
Figura 45 - Ambiente de trabalho no PAD.....	64
Figura 46 - Criação de caixa de trabalho ao iniciar uma OP	65
Figura 47 - Chapa de identificação de caixa de trabalho	65
Figura 48 - Quadro Kaizen Centros de Maquinagem (a) e Quadro Kaizen Talhamento/Acabamentos (b)	66
Figura 49 - Ferramenta de rebarbar	68
Figura 50 - Diagrama de precedências referente ao processo produtivo de faces de cambota	70
Figura 51 - Tempo de operador em cada posto de trabalho	73
Figura 52 - Matriz de competências dos trabalhadores	73
Figura 53 - Proposta de layout sub-célula torneamento (a) e sub-célula retificação (b).....	74
Figura 54 - Implantação intercelular	75
Figura 55 - Cabeçalho ambiente de trabalho no PAD	76
Figura 56 - Layout máquinas de retificar bielas antes (a) e após (b) alteração	80
Figura 57 - Quadros Kaizen atualizados - centros de maquinagem (a) e tornos sem alimentador (b)...	82

Figura 58 - Percentagem de OPs entregues na data pedida pelo cliente final após sugestões de melhoria	83
Figura 59 - Fluxograma do processo produtivo de faces de cambota em detalhe.....	92
Figura 60 - Fluxograma do processo produtivo das bielas em detalhe	93
Figura 61 - VSM cambota face longa e cambota face curta.....	94
Figura 62 - Detalhe VSM cambota face longa e cambota face curta	95
Figura 63 - VSM Biela	96
Figura 64 - Detalhe VSM Biela.....	96
Figura 65 - Diagrama Spaghetti Cambota face longa (cor de laranja) e Cambota face curta (verde)	97
Figura 66 - Diagrama Spaghetti Bielas	98
Figura 67 - Quantidade total de OPs em atraso torneiar face	99
Figura 68 - Quantidade total de OPs em atraso torneiar espiga.....	99
Figura 69 - Quantidade total de OPs em atraso fresar escatel.....	99
Figura 70 - Quantidade total de OPs em atraso desempenar face	100
Figura 71 - Quantidade total de OPs em atraso retificar encosto	100
Figura 72 - Quantidade total de OPs em atraso retificar cone.....	100
Figura 73 - Quantidade total de OPs em atraso desempenar biela	101
Figura 74 - Quantidade total de OPs em atraso furar/broquear biela	101
Figura 75 - Quantidade total de OPs em atraso furar/medronhar biela	101
Figura 76 - Quantidade total de OPs em atraso 2 ^ª s operações biela	101
Figura 77 - Quantidade total de OPs em atraso polimento bielas	102
Figura 78 - Monitorização dos tempos de produção operação "fresar face"	104
Figura 79 - Dados auxiliares cálculo Takt Time	106
Figura 80 - Instrução de trabalho chapa de metal para tabuleiros da produção	108
Figura 81 - VSM face longa e face curta de cambota após sugestões de melhoria.....	109
Figura 82 - Detalhe VSM face longa e face curta de cambota após sugestões de melhoria	110
Figura 83 - VSM biela após sugestões de melhoria	111
Figura 84 - Detalhe VSM viela após sugestões de melhoria.....	111
Figura 85 - Exemplos da simbologia utilizada em VSMS (Rother & Shook, 1999).....	112
Figura 86 - BOM multinível e respetiva legenda	113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de desempenho	28
Tabela 2 - Principais artigos do catálogo JASIL	35
Tabela 3 - Famílias de produtos e as respectivas referências	39
Tabela 4 - Processo produtivo face de cambota - Forjamento.....	42
Tabela 5 - Processo produtivo face de cambota - Torneamento.....	43
Tabela 6 - Processo produtivo face de cambota - Retificação	44
Tabela 7 - Processo produtivo bielas - Corte e forjamento	45
Tabela 8 - Processo produtivo bielas - Torneamento e Retificação	46
Tabela 9 - Processo produtivo bielas - Polimento	46
Tabela 10 - Processo produtivo bielas - Retirar cobre.....	47
Tabela 11 - Processo de montagem do produto final	48
Tabela 12 - Resumo dos VSMS realizados para as faces de cambota e para a biela	55
Tabela 13 - Resumo dos problemas encontrados, local, consequências e tipo de desperdício	66
Tabela 14 - Plano de Ações 5W2H	67
Tabela 15 - Cálculo do número de máquinas necessárias para a célula torneamento (F2)	70
Tabela 16 - Cálculo do número de máquinas necessárias célula de retificação (F3)	70
Tabela 17 - Alocação dos postos de trabalho sub-célula torneamento	72
Tabela 18 - Alocação dos postos de trabalho sub-célula retificação	72
Tabela 19 - Cálculo da capacidade da célula projetada.....	73
Tabela 20 - Redução carga de trabalho na secção 2 ^a s operações	79
Tabela 21 - Redução da quantidade total de OPs em atraso após implantação de sugestões de melhoria	80
Tabela 22 - Redução na quantidade de OPs em atraso após alteração de layout das máquinas de retificar bielas	81
Tabela 23 - Ganho anual estimado em termos de mão de obra após implementação do projeto de célula de faces de cambota	81
Tabela 24 - Percentagem de atividades que acrescentam valor nos processos produtivos após sugestões de melhoria	82
Tabela 25 - Sumário dos resultados obtidos	83

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Takt time.....	28
Equação 2 - Taxa de produção.....	28
Equação 3 - <i>Overall Production Effectiveness</i>	28
Equação 4 - Cumprimento do prazo de entrega.....	28
Equação 5 - Cálculos de capacidade	29
Equação 6 - Número mínimo de observações.....	103
Equação 7 - Desvio padrão	104

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AGV - *Automated Guided Vehicle*

BOM - *Bill of Materials*

CPE - Cumprimento do Prazo de Entrega

C&D - *Conceção e Design*

GCD - *Genérico, Concetual, Detalhado*

JIT - *Just in Time*

LT - *Lead Time*

OEE - *Overall Equipment Effectiveness*

OP - Ordem de Produção

PAD - Posto de Aquisição de Dados

PIE - Plano de Inspeção e Ensaio

PT - Posto de trabalho

QRM - *Quick Response Manufacturing*

RC - *Rabbit Chase*

SMED - *Single Minute Exchange of Die*

SPOF - Sistemas de Produção Orientados à Função

SPOP - Sistema de Produção Orientados ao Produto

TC - Tempo de Ciclo

TO - Tempo de Operador

TPM - *Total Productive Maintenance*

TPS - *Toyota Production System*

TS - Tempo de *Setup*

TSS - *Toyota Sewing System*

TT - *Takt Time*

VSM - *Value Stream Mapping*

WB - *Working Balance*

WIP - *Work in Progress*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o enquadramento do projeto de dissertação. Seguidamente, apresenta-se os objetivos, procede-se à explicação da metodologia de investigação utilizada e, por fim, descreve-se a estrutura da dissertação seguida ao longo deste relatório.

1.1. Enquadramento

Atualmente, os mercados apresentam-se cada vez mais competitivos e exigentes e, como consequência, torna-se expectável que as organizações consigam adaptar-se de maneira ágil e rápida às constantes mudanças dos mesmos (Ciano et al., 2021). Espera-se também que se consigam adaptar ao crescimento exponencial da procura por produtos altamente personalizáveis (Schmitt et al., 2021). Assim, as organizações necessitam de criar mecanismos que consigam dar resposta a uma variedade crescente de produtos com um ciclo de vida cada vez menor. Para tal, continua a ser fundamental reduzir os tempos de produção, os tempos de *setup*, os tempos de transporte, reduzir os níveis de *stock*, entre outros, tal como recomendava há muitos anos Suzaki (1987).

Para tal, as indústrias necessitam de adotar filosofias, abordagens e ferramentas para fazerem face aos desafios que enfrentam. Uma das possíveis metodologias é a metodologia *Lean Production* (Womack et al., 1990) que está por trás de um sistema de produção considerado mais eficiente, o *Toyota Production System* (Ohno, 1988; Monden, 1998). Isto significa que cada organização deve analisar a adequabilidade do sistema produtivo existente e reconfigurá-lo, sempre que necessário, de modo a reduzir todos os desperdícios, bem como para satisfazer a procura dos mercados, pois só assim irá garantir a sua sustentabilidade (Alves et al., 2015). Porém, esta decisão nem sempre é fácil de tomar pois pode implicar investimentos que a organização não está disposta a fazer (Alves et al., 2015).

A produção *Lean* tem como ideia principal "*doing more with less*". A produção *Lean* produz produtos com maior qualidade através da utilização de menos recursos, menos inventário, um menor número de esforço humano, menos espaço, ou seja, menos de tudo (Womack et al., 1990). A produção *Lean* colmata ainda todos os tipos de desperdícios, *Muda* em japonês (Monden, 2012). Os sete principais desperdícios são, segundo (Ohno, 1988) a sobreprodução, sobreprocessamento, esperas, transportes, movimentos, *stocks* e defeitos. Um poderoso antídoto para o *Muda* é o *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996). O pensamento *Lean* é composto por cinco princípios: definir valor, mapear a cadeia de valor, criar um fluxo contínuo, usar um sistema *pull* e perseguir a perfeição.

O *Lean Production* usa ainda uma panóplia de ferramentas e técnicas como meio para as organizações conseguirem reduzir os seus desperdícios. Para Melton (2005) essas ferramentas incluem *Kanban* – sistema visual para a implementação de um sistema *pull*, *5S* – sistema visual de limpeza e arrumação do chão do *Gemba*, Controlo Visual – método de medição de desempenho no *Gemba*, *Poka-Yoke* – técnica para evitar erros e *Single Minute Exchange of Die* (SMED) – técnica de redução de tempos de *setup*. Existem ainda outras ferramentas, como o *Standard Work* – padronização do trabalho, *Jidoka* – autonomia e *Total Productive Maintenance* (TPM) – estratégia onde todos os trabalhadores participam na manutenção e não apenas a equipa de manutenção (Suzaki, 2010), entre outros.

A empresa onde foi realizado este projeto também pretende aplicar ferramentas *Lean* e melhorar o sistema de produção. Esta empresa pertence à indústria metalomecânica e designa-se de JASIL – J. António da Silva Lda.. A empresa tem já identificados alguns problemas como a elevada quantidade de *WIP* no processo, que levava a várias encomendas em atraso. Segundo dados do (Banco de Portugal, 2021) a pressão financeira sobre a indústria metalomecânica cresceu 7,19% em 2020, um aumento percentual de 0,36% face a 2019. Assim é imperial que a JASIL consiga satisfazer as suas encomendas atempadamente para aumentar o seu volume de negócios e não sofrer penalizações.

Assim, a JASIL que tem como principal atividade a produção de peças e acessórios para motos e scooters (*Site Oficial JASIL, 2022*) organizava a sua a produção em oficinas de trabalho, onde as máquinas utilizadas em cada processo estavam agrupadas numa secção específica. Este tipo de layout implicava, muitas vezes, a elevada movimentação de materiais e elevada quantidade de trabalho em curso (*WIP*), levando assim a uma reduzida taxa de produção, utilização de máquinas e produtividade.

1.2. Objetivos

O projeto de dissertação teve como principal objetivo a reconfiguração do sistema produtivo de um dos produtos principais da empresa, as cambotas, bem como implementar ações de melhoria, baseadas nos princípios *Lean Thinking* e ferramentas de produção *Lean*, de modo a reduzir a elevada quantidade de *WIP* e, por conseguinte, aumentar a produtividade das diversas secções afetas ao processo. Assim, as questões de investigação foram as seguintes:

- Como identificar gargalos de produção nas secções afetas ao processo produtivo de cambotas?
- Como reconfigurar o sistema produtivo das cambotas?

Para tal, foi essencial recolher informação junto dos operadores e máquinas, averiguando e compreendendo dificuldades, lacunas e práticas desadequadas. Para atingir o objetivo principal do projeto, foi necessário:

- Diagnosticar os principais problemas nas secções afetas ao processo de cambotas;
- Identificar as ferramentas *Lean* mais adequadas à secção, de forma a ir ao encontro dos principais objetivos do projeto;
- Reconfigurar o sistema de produção para o produto em causa em função da disponibilidade do equipamento, espaço, trabalhadores e competências técnicas e transversais destes;
- Dar formação aos trabalhadores para o desempenho das suas funções no novo sistema de produção.

No fim do projeto espera-se, numa perspetiva mais abrangente, que as medidas implementadas apresentem impacto positivo para a empresa e para o problema proposto, melhorando as seguintes medidas de desempenho:

- Redução do *WIP*;
- Redução do número de encomendas em atraso;
- Aumento da produtividade;
- Redução dos custos.

1.3. Metodologia de Investigação

Prévio à execução da metodologia de investigação foi feita uma revisão bibliográfica abrangente sobre os temas relevantes para este projeto de dissertação de modo a solidificar as bases teóricas. Para tal, foram utilizados diferentes tipos de fontes, tais como livros, artigos e revistas científicas, dissertações, entre outros. Após constituir bases teóricas sólidas seguiu-se a metodologia de investigação para atingir os objetivos definidos para o projeto.

O projeto foi desenvolvido em contexto industrial, onde foi pretendido analisar e avaliar soluções para os problemas e desafios da organização, através de uma participação dinâmica e colaborativa entre o investigador e os colaboradores da empresa.

A escolha correta da metodologia do projeto, por forma a desenvolver o mesmo com sucesso, é fulcral. Saunders et al. (2016) apresentou a *Research Onion* para ajudar os investigadores nesta escolha. Esta contém seis camadas: filosofia da pesquisa, abordagem de pesquisa, estratégia de pesquisa, escolha de pesquisa, horizonte temporal e métodos de recolha de dados.

Como o projeto incorporou diversas perspetivas, de forma prática, que ajudaram na recolha e análise de dados, assim como se teve em consideração formas distintas de observar a realidade da organização, a filosofia adotada foi o pragmatismo (Alturki, 2021). A abordagem foi dedutiva, pois pretendeu-se recolher dados e utilizá-los posteriormente para testar uma hipótese referente a uma teoria previamente desenvolvida (Gabriel, 2021).

A estratégia de investigação utilizada foi a de Investigação–Ação, pois era pretendido uma participação ativa e constante de todos os elementos do sistema, existiu uma investigação paralela à ação, houve uma sequência de eventos, e houve, ainda, uma abordagem de resolução de problemas (Coughlan & Coughlan, 2002). Ademais, pretendeu-se implementar uma “mudança” na organização que promovesse a redução dos gargalos de produção, o que ia de encontro às características da estratégia em questão.

A metodologia de Investigação-Ação foi desenvolvida por Kurt Lewin em 1964 com foco em processos de grupos participativos que abordavam conflitos dentro de organizações. Eric Trist contribuiu igualmente para esta metodologia através da resolução de problemas multi-organizacionais de grande escala. Tanto Lewin como Trist aplicaram a sua pesquisa a mudanças sistemáticas dentro e entre organizações, enfatizaram a colaboração direta entre profissionais e eram ávidos defensores de que as decisões são melhor implementadas por aqueles que ajudam a tomar as decisões (O'Brien, 1998).

Devido ao envolvimento de todas as pessoas, esta metodologia é um processo iterativo que segundo Susman & Evered (1978) subdivide-se em cinco fases: 1) diagnóstico, 2) planeamento de ações, 3) implementação de ações, 4) avaliação de resultados e 5) especificação de aprendizagem.

Assim, na fase de diagnóstico, descrita no capítulo 4 do documento, procedeu-se à descrição e análise crítica do estado atual das diversas secções inerentes ao processo produtivo dos componentes de uma cambota, em especial, as faces de cambota e a biela. Analisaram-se ainda os fluxos de materiais, de informação e de pessoas, sendo que se efetuou observação direta no *Gemba* e obteve-se informação sobre particularidades do processo através de conversas com os operadores. O diagnóstico desenvolvido tinha como objetivo identificar problemas e desperdícios ao longo da cadeia de produção, tendo-se utilizado ferramentas como o *Value Stream Mapping* para a identificação de fluxo de valor no processo e Diagramas de *Spaghetti* para a identificação de fluxos de movimentação. Por fim, utilizaram-se as ferramentas Diagrama Causa-Efeito e *5Whys* para se identificarem as causas raiz.

Na segunda fase, a de planeamento de ações (capítulo 5), procedeu-se à identificação de propostas de melhoria por forma a criar soluções para os problemas encontrados na fase anterior. Posto isto, procedeu-se à projeção de uma célula de produção para faces de cambota, através da formação de

famílias de produtos, seguido da instanciação de células conceituais e de postos de trabalho, tendo-se de seguida procedido à organização intracelular e controlo de cada célula, e por fim o arranjo integrado das células para formação de SPOP. De seguida, procedeu-se à atualização de programas de maquinaria, alterou-se o *layout* de máquinas de retificação de bielas e procedeu-se ao acompanhamento diário aos trabalhadores, para além de se ter oferecido formação aos mesmos.

Na fase de implementação de ações (capítulo 6), foram implementadas as ações descritas na etapa anterior, salvo a proposta de célula de produção de faces de cambota, uma vez que se pretendia implementar a medida aquando da mudança para as novas instalações fabris da JASIL.

Na quarta fase, a de avaliação de resultados, descrita igualmente no capítulo 6, foi feita uma comparação entre os resultados iniciais antes e após a implementação das sugestões de melhoria, recorrendo-se a indicadores de desempenho para quantificar o impacto das medidas propostas.

Na quinta e última fase, a de especificação de aprendizagem, descrita no capítulo 7, apresentam-se as considerações finais e apresentam-se sugestões para trabalho futuro.

1.4. Estrutura da dissertação

O projeto de dissertação está dividido em sete capítulos organizados sequencialmente e cada um relativo a um tema em específico.

No primeiro capítulo é feito um enquadramento do projeto, seguido dos objetivos, da metodologia de investigação utilizada e por fim é descrita a estrutura do documento da dissertação.

Já o segundo capítulo é relativo à revisão bibliográfica sobre a produção Lean e sobre a reconfiguração de sistemas de produção. Primeiramente foram abordados diferentes tipos de produção, seguido da produção Lean, os seus princípios fundamentais, desperdícios, algumas ferramentas utilizadas neste projeto e ainda alguns obstáculos à implementação da produção Lean. De seguida, abordou-se oficinas de trabalho funcionais e a sua reconfiguração e, por fim, foram mencionados alguns indicadores de desempenho considerados vitais para quantificar o impacto das medidas propostas.

No capítulo três é apresentada a empresa, descreve-se os principais produtos, clientes e complexos produtivos.

O quarto capítulo descreve detalhadamente o processo produtivo e o estado atual da situação, através de ferramentas tais como *Value Stream Mapping*, Diagramas de *Spaghetti*, Diagrama Causa-Efeito, *5Whys*,

entre outras. Sendo que também foram recolhidas informações do sistema de gestão de informação da empresa, para além de observações contínuas no chão-de-fábrica.

No capítulo cinco apresentam-se propostas de melhoria baseadas nos problemas identificados no capítulo anterior.

No capítulo seis são avaliados e apresentados resultados comparando-se valores antes e após sugestões de melhoria. Para as medidas de melhoria não implementadas durante o tempo útil do estágio curricular foi feita uma previsão para os resultados que se pressupõem obter.

No sétimo, e último capítulo, apresentam-se as considerações finais do projeto e são ainda referidas sugestões de melhoria para trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo realiza-se uma revisão bibliográfica sobre a produção *Lean*, nomeadamente sobre a origem e princípios do *Toyota Production System*, sobre a filosofia *Lean Production*, os princípios *Lean Thinking* e todas as técnicas relevantes para este projeto, relativas a esta filosofia, como: *Value Stream Mapping*, técnica 5S, *Just-in-Time*, entre outras. A revisão abrange ainda oficinas de trabalho funcionais e a sua reconfiguração e, por fim, foram mencionados alguns indicadores de desempenho considerados vitais para quantificar o impacto das medidas propostas.

2.1. Produção *Lean*

Esta secção apresenta um breve enquadramento às origens da produção *Lean*, cujos conceitos iniciais surgiram durante a primeira revolução industrial.

A revolução industrial iniciou-se no Reino Unido nos finais do XVIII. Previamente à revolução, a produção era basicamente manual, chamada de produção artesanal que se realizava em oficinas, onde o produto era totalmente personalizado para o cliente (e.g. sapateiros, alfaiates). Dado o rápido crescimento da procura de bens de consumo, em junção com a falta de mão-de-obra, os empreendedores viram-se obrigados a procurar um método de produção mais eficiente, dando assim origem à Revolução Industrial. Com a revolução obtiveram-se ganhos importantes a níveis tecnológicos, como a fição mecanizada de algodão, a máquina a vapor, o fabrico de ferro e a invenção de máquinas-ferramentas. Estas máquinas eram aglomeradas num só local, dando assim origem às primeiras fábricas (Roberts, 1997).

A produção artesanal, em particular na indústria automóvel, era caracterizada por organizações extremamente descentralizadas. A maioria das peças e grande parte do *design* eram desenvolvidos em pequenas oficinas, compostas por trabalhadores altamente qualificados e altamente especializados num ofício. A produção artesanal era ainda caracterizada por um baixo volume de produção, a um custo muito elevado, bem como uma elevada variabilidade entre os produtos (Womack et al., 1990).

A produção em massa nasceu devido a novas técnicas de manufatura desenvolvidas por Henry Ford, com o objetivo de mitigar os problemas da produção artesanal. O *Model T*, lançado em 1908 por Ford, era produzido em massa, em linhas de montagem, através do conceito de permutabilidade das peças e a simplicidade com que era possível uni-las, conceito este originalmente popularizado por Eli Withney em 1798 (Womack et al., 1990; Woodbury, 1960).

As ideias de Henry Ford difundiram-se por quase todas as atividades industriais na América do Norte, e mais tarde na Europa, nos anos 50, oferecendo à população elevados volumes de produção a baixos custos, porém com pouca variedade.

O conceito de produção *Lean*, também conhecido como manufatura “magra”, foi desenvolvido por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, ambos da *Toyota Motor Company*, no Japão após a II Guerra Mundial, quando se aperceberam que a empresa não tinha condições financeiras para suportar a reconstrução das suas instalações (Bhamu & Sangwan, 2014).

Nesta altura, o mercado japonês era muito restrito e caracterizado por um baixo volume de produção e uma enorme procura de variedade de produtos. Ademais, no Japão não existiam emigrantes dispostos a aceitar qualquer tipo de condições laborais, tal como acontecia na América, constituindo assim um entrave à adoção do método de produção em massa no país. Os grandes produtores estrangeiros ansiavam expandir os seus mercados até ao Japão e estavam prontos para os defender em relação a exportações japonesas.

Tendo o governo japonês encarado esta vontade como uma afronta, proibiu o investimento estrangeiro na indústria automóvel japonesa, tendo mais tarde criado um plano para converter as 12 fábricas de automóveis japonesas em duas ou três grandes fabricas para competirem com as fábricas americanas. Contudo, a Toyota, a Nissan e as outras empresas desafiaram este plano, e Taiichi Ohno percebeu rapidamente que a estratégia de produção americana não era a indicada para o tipo de produção que ele pretendia alcançar (Womack et al., 1990).

Aliado ao facto de existir a necessidade de reduzir os custos, a Toyota redesenhou o sistema de produção em massa para o *Toyota Production System* (TPS), que colocou o Japão no mapa como tendo uma das grandes indústrias automóveis mundiais (Black & Hunter, 2003).

A designação *Lean Production* foi apresentada pela primeira vez em 1988 por John Krafcik no artigo *Triumph of the Lean Production System* que fala sobre o TPS (Krafcik, 1988). Mais tarde, em 1990, Womack, Jones e Roos popularizaram o conceito *Lean* através do livro *The Machine that Changed the World*. Os autores definem a produção *Lean* como um tipo de produção que usa metade de tudo quando comparada com a produção em massa. Usa metade do esforço humano, metade do espaço de fabrico, metade do investimento em ferramentas e metade das horas para desenvolver novos produtos. Ademais, este tipo de produção requer um *stock* muito menor, resultando em menos defeitos, numa produção crescente e numa grande variedade de produtos (Womack et al., 1990).

Estes autores frisam ainda que a principal diferença entre a produção em massa e a produção *Lean* é o objetivo final a que se propõe. Assim, os produtores em massa definem o seu objetivo como “suficientemente bom”, ou seja, um número aceitável de produtos defeituosos, um nível máximo de inventario e uma gama restrita de produtos. Argumentam, ainda que, para conseguirem fazer melhor, o custo seria muito elevado ou excederia as capacidades humanas. Por outro lado, na produção *Lean* é pretendido alcançar a perfeição, isto é, diminuir os custos continuamente, conseguir zero defeitos, alcançar inventários nulos e ainda oferecer uma variedade infinita de produtos aos clientes (Womack et al., 1990).

2.1.1 *Toyota Production System*

Atendendo que a produção *Lean* teve origem no *Toyota Production System*, torna-se fundamental abordar este sistema. O TPS foi desenvolvido e promovido pela *Toyota Motor Corporation* e foi adotado por várias empresas japonesas após a crise petrolífera em 1973. O objetivo principal do sistema é eliminar todos os tipos de desperdícios escondidos nas organizações a partir de sucessivas atividades de melhoria. Mesmo durante períodos de pouco crescimento, a Toyota conseguiu obter lucros por meio da redução de custos, através de um sistema de produção que eliminou completamente inventário excessivo, bem como força de trabalho desnecessária, afetando os operadores em zonas onde eram mais necessários (Monden, 2012).

O sistema TPS identifica princípios de gestão que podem ser considerados como uma fundação geral para a produção *Lean*. Estes princípios estão organizados em forma de casa (ver Figura 1), que dá ênfase ao processo, pessoas e ferramentas/tecnologia. A representação em casa é representativa do sistema Toyota, onde todas as peças encaixam e apoiam-se mutuamente. Quando uma peça é retirada, o sistema desmorona-se, tal como acontece numa casa, pois o sistema é tão forte quanto a sua parte mais frágil (Liker & Morgan, 2006). Deste modo, todas as partes do sistema interligam-se para criar um sistema como um todo. As empresas tentam implementar todos os conceitos do TPS, em especial, os pilares *Just-In-Time* (JIT) e *Jidoka*, assim como as fundações *Standard Work* e *Heijunka*.

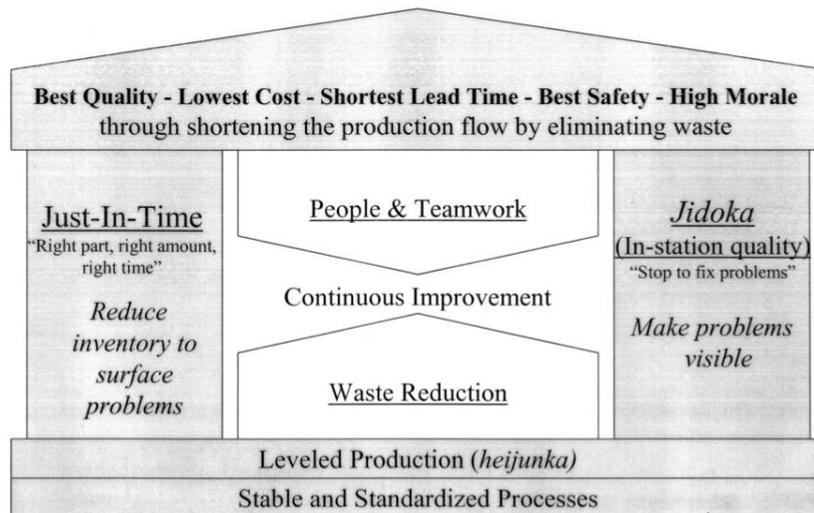


Figura 1 - Casa TPS
(Liker & Morgan, 2006)

Os processos de *Standard Work* e *Heijunka* proporcionam a estabilidade necessária para que seja possível construir um sistema *JIT*, com a particularidade de ser constantemente ajustado e parado para corrigir os problemas que vão surgindo (*Jidoka*). A fundação *Heijunka* tem como objetivo criar um fluxo nivelado, ou seja, criar um equilíbrio do número de encomendas e da carga do trabalho. Havendo este nivelamento, torna-se possível uniformizar os processos (*Standard Work*) e ter uma noção da quantidade de inventário necessária para satisfazer a produção, tornando possível a produção *JIT* (Liker & Morgan, 2006).

O pilar *JIT* concentra-se no fluxo de materiais, onde a parte certa, deve estar no processo certo, no momento certo, de forma a se produzirem apenas os produtos necessários, na quantidade mínima necessária e no momento necessário. Por outro lado, o pilar *Jidoka* diz respeito à capacidade que o sistema tem de parar para retificar problemas, de forma autónoma, sem qualquer intervenção humana, sempre que é detetado um erro ou um defeito (Ohno, 1988). O *Jidoka* não só elimina as atividades de valor não acrescentado, mas melhora, também, a qualidade dos produtos em junção com o *Jidoka* (Jastia & Kodali, 2015), pois permite que unidades defeituosas do processo anterior não prossigam no fluxo e perturbem o processo subsequente.

No centro da casa *TPS*, estão as pessoas, o trabalho em equipa e a redução de desperdícios. O objetivo conjunto destes elementos é conseguir a melhoria contínua, ou seja, o *Kaizen*. Através do *Kaizen*, pretende-se uma melhoria contínua e incremental das atividades de um processo, com o objetivo de criar mais valor e eliminar os desperdícios. O *Kaizen* pode, ainda, ser entendido como uma maneira sistemática de reduzir custos, contudo, este não é o seu principal objetivo (Štefanić et al., 2012).

No que toca às pessoas, o TPS tem como conceitos chave o desenvolvimento de competências que lhes permitam a resolução rápida de problemas, o envolvimento das pessoas, o trabalho em equipa e o respeito pelas pessoas. Deste modo o TPS introduziu e fomentou princípios de envolvimento e contribuição das pessoas, pois as máquinas podem parar sozinhas, mas o sistema necessita de pessoas que sejam capazes de responder rapidamente a todos os problemas que surjam (Chiarini et al., 2018).

Por fim, o telhado da casa TPS representa os seus objetivos primordiais, ou seja, a melhor qualidade possível, com menor custo, menor tempo, maior segurança e maior moral. Estes objetivos são alcançados por meio da redução do fluxo de produção através da eliminação dos desperdícios ao longo dos processos.

2.1.2 Tipos de desperdícios

Como mencionado anteriormente, os desperdícios, *Muda* em japonês, são uma parte central da casa TPS. Assim, torna-se essencial abordar este tema de modo a se perceber o que são realmente os desperdícios no sistema produtivo. Para Hines et al. (2002), o desperdício pode ser descrito como algo que não acrescenta valor ao cliente. Contudo, por vezes, o desperdício é necessário, pois faz parte do processo e acrescenta valor à organização, como é o caso de controlos financeiros ou alguma atividade inerente ao processo que não pode mesmo ser eliminada (Melton, 2005). Deste modo, é possível identificar dois tipos distintos de *Muda* segundo Womack & Jones (1996):

- *Muda* Tipo I – Ações que não criam valor, mas que são indispensáveis para o correto funcionamento do processo produtivo, logo não podem ser eliminadas. Estas ações devem ser reduzidas através da simplificação dos processos;
- *Muda* Tipo II – Ações que não acrescentam valor e que não são necessárias ao processo produtivo, logo deve ser uma prioridade eliminar estas ações.

Assim, torna-se fundamental reduzir os *Muda* Tipo II, sendo que Taiichi Ohno (1988) identificou, como parte do TPS, sete desperdícios distintos a serem eliminados (Hines et al., 2002). Os mesmos são apresentados de seguida:

- 1. Sobreprodução** acontece quando existe produção de itens quando não existe procura para os mesmos. Para Ohno (1988), a sobreprodução é o mais grave de todos os desperdícios por ser a causa raiz de uma panóplia de problemas, criando um *lead time* mais longo e originando também maiores movimentações, ou seja, mais desperdícios (Bicheno, 2008).

- 2. Defeitos** são caracterizados como erros efetuados durante o processo produtivo, que requerem retrabalho ou algum tipo de trabalho adicional (Melton, 2005). Os defeitos têm um custo associado tanto a curto, como a longo prazo. Em termos de qualidade, os defeitos podem ser internos como sucata, retrabalho ou atrasos, ou podem ser externos como falhas durante a garantia. É de notar que os custos associados aos defeitos tendem a aumentar quanto mais tempo os defeitos permanecerem sem serem detetados. Para a Toyota os defeitos devem ser encarados como um desafio e uma oportunidade para melhorar (Bicheno, 2008; Hines & Rich, 1997).
- 3. Inventário** é caracterizado pelo armazenamento de produtos finais, trabalho em curso (*WIP*), matérias-primas, etc. Este tipo de armazenamento resulta em mais quantidades do que as necessárias para produzir bens e serviços, aumentando de igual modo transportes, esperas e custos associados (Hines et al., 2002).
- 4. Subprocessamento ou Processamento Incorreto** reflete-se em atividades extra efetuadas no processo que não acrescentam valor adicional ao produto final, ou por vezes, adicionam mais valor do que o necessário. Para Liker (2004), o processamento incorreto acontece devido a um *design* do produto mal concebido e utilização de ferramentas pouco adequadas ou incorretas para o processo, culminando, inevitavelmente, em movimentos desnecessário e aumento de oportunidades de defeito.
- 5. Transportes** dizem respeito à deslocação de matérias-primas, trabalho em curso (*WIP*) e produtos desde o seu local de armazenamento até ao local de processamento ou outra localização específica (Liker, 2004). Enquanto os produtos estão em movimento, os mesmos não estão a ser processados e, por conseguinte, não se acrescenta valor ao cliente, constituindo assim um desperdício (Melton, 2005). Para Bicheno (2008), os transportes são um tipo de desperdício que nunca será totalmente eliminado, mas deve ser reduzido ao máximo. O autor especifica ainda que o número de transportes e manuseamento de material é diretamente proporcional à probabilidade de danos e deterioração.
- 6. Esperas** derivam da utilização ineficaz do tempo. Para Hines e Rich (1997), num ambiente fabril, as esperas ocorrem sempre que os bens não se movem ou estão a ser trabalhados. Segundo os mesmos, este tipo de desperdício é inerente tanto aos bens como aos trabalhadores, sendo que o estado ideal devia ser zero esperas e conseqüentemente um fluxo mais rápido dos bens. Idealmente o tempo de espera dos trabalhadores pode ser utilizado para formação,

manutenção ou atividades *Kaizen*, sendo que o aproveitamento do tempo de espera nunca deve resultar em sobreprodução.

7. Movimentações desnecessárias acontecem, para Bicheno (2008), tanto ao nível humano como a nível do *layout*. As movimentações humanas estão diretamente relacionadas com a consciência ergonômica do local de trabalho, onde os trabalhadores por vezes têm de se esticar, dobrar e recolher, quando estas ações deveriam ser evitadas, pois resultam num cansaço excessivo para os trabalhadores e podem culminar em produção deficiente, problemas de qualidade e lesões músculo-esqueléticas (Hines & Rich, 1997). No que toca ao *layout*, as movimentações desnecessárias, derivam de uma má disposição do local de trabalho, que leva a micro desperdícios de movimento, sendo que os mesmos são repetidos constantemente ao longo do dia de trabalho (Bicheno, 2008).

Mais tarde, em 2004, Liker (2004) refere um oitavo desperdício, nomeadamente o não aproveitamento do **Potencial Humano** que é caracterizado pelo não aproveitamento das ideias e competências de todos os trabalhadores, pelo não envolvimento dos mesmos e, ainda, o não reconhecimento das ideias e oportunidades de melhoria que eles possam proporcionar.

Segundo Liker e Meier (2007), os líderes da Toyota desenvolvem o talento pessoal de cada colaborador que apresenta vontade de crescer a um nível pessoal, ao invés de procurar talentos natos devido à sua raridade. Posteriormente, em 2008, Bicheno (2008) apresentou mais desperdícios relacionados com serviços e manufatura, nomeadamente o desperdício de energia e água, o desperdício de recursos naturais, os sete desperdícios dos serviços ao cliente e os 14 desperdícios no escritório (Lean Office).

Para além do *Muda*, existem ainda outros tipos de atividades que geram desperdícios, nomeadamente o *Muri* e o *Mura*, constituindo os 3M (Figura 2) (Liker, 2004).

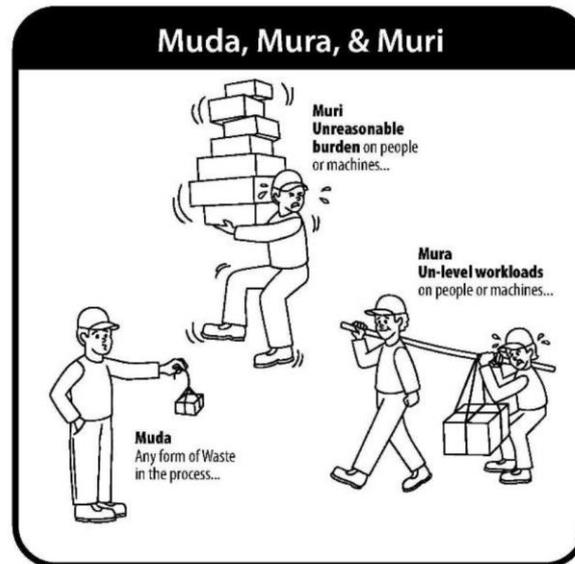


Figura 2 - 3Ms
 ("GEMBA KAIZEN versus MUDA, MURA, MURI," 2012)

O *Muri* representa a sobrecarga, tanto dos operadores como do equipamento, sendo o extremo oposto do *Muda*. Quando existe o *Muri*, tanto os operadores como o equipamento excedem os seus limites naturais, levando a consequências para os operadores em termos ergonómicos e de segurança, para o produto devido a problemas de qualidade e para o equipamento devido a avarias excessivas (Liker, 2004).

Já o *Mura* está relacionado com a variação, ou seja, as situações onde existe excesso ou falta de trabalho. Este tipo de variação é o culminar do *Muda* e do *Muri*, e deve-se a um sistema de produção irregular ou volumes de produção flutuantes que derivam de tempos inativos, falta de peças ou defeitos. A existência do *Mura* contrasta diretamente com um dos pilares da casa TPS, nomeadamente o *Heijunka*, i.e., o nivelamento dos processos (Liker, 2004).

Assim, de modo a ser possível eliminar os problemas derivados dos 3Ms, torna-se necessário segundo Suzuki (1987) desenvolver um sistema que identifique os defeitos ou as condições que os produzem, de modo que qualquer pessoa possa tomar medidas corretivas de forma imediata. Quando não existe este sistema quaisquer outras medidas em termos de economia de tempo são irrelevantes.

Suzuki (1987) refere ainda os esforços insuficientes para encontrar os desperdícios e eliminá-los, mencionando que através de um esforço mais consistente, todos os elementos do sistema tornam-se capazes de encontrar e eliminar os mais diversos desperdícios, pois segundo o autor, 90% das melhorias advêm do bom senso dos colaboradores, dado que a maior parte das melhorias é muito básica.

2.1.3 Princípios *Lean Thinking*

De modo a colmatar os desperdícios existe um poderoso antídoto, nomeadamente o *Lean Thinking* (Womack & Jones, 2003). Conforme apresentado no livro “*Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*” escrito por Womack e Jones (1996), o pensamento *Lean* tem por base cinco princípios: definir valor, mapear a cadeia de valor, criar um fluxo contínuo, usar um sistema *pull* e perseguir a perfeição. Para os autores, a aplicação destes princípios culmina numa forma de produção onde se torna possível fazer cada vez mais com cada vez menos, i.e., menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço, tornando também possível fornecer aos clientes exatamente o que eles desejam. Para os autores, o pensamento *Lean* proporciona ainda um trabalho mais satisfatório, pois fornece de maneira imediata *feedback* sobre os esforços direcionados a converter *Muda* em valor.

O primeiro princípio consiste em **definir o valor**. O valor só pode ser definido pelo cliente final e é expresso em termos de um produto específico como um bem ou um serviço. Já a criação de valor é feita pelo fabricante do produto ou fornecedor do serviço. Deste modo, o pensamento *Lean* deve tentar de maneira contínua e consciente definir precisamente o valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos por meio de um diálogo com clientes específicos. Especificar o valor com precisão é crucial, pois fornecer um bem ou serviço errado, mesmo que executado de uma maneira correta, é considerado *Muda* (Womack & Jones, 1996).

O **mapeamento da cadeia de valor** tem como principal objetivo identificar todas as atividades imprescindíveis para produzir um produto em específico, seguido da melhoria de todo o processo do ponto de vista do cliente final. O ponto de vista do cliente é crucial pois permite identificar quais as atividades que inequivocamente agregam valor ao produto final (Emiliani, 1998). Contudo, o mapeamento da cadeia de valor vai indicar quais as atividades que acrescentam valor ao produto final, quais as atividades que não criam valor mas são inevitáveis ao processo dadas as tecnologias atuais (*Muda* Tipo I) e quais as atividades que não acrescentam valor e que devem ser eliminadas de imediato (*Muda* Tipo II) (Womack & Jones, 1996).

Após se definir o valor, mapear a cadeia de valor e eliminar todas as atividades desnecessárias, torna-se necessário criar um **fluxo contínuo** para as restantes atividades. O produto a ser produzido deve ser o foco do processo e o fluxo de material para a produção deve ser contínuo e sem desvios desnecessários, desde o seu início até o seu fim. Um fluxo contínuo ideal é o de uma peça, i.e., o *one-piece-flow*, onde o produto passa de estação a montante para a estação a jusante imediatamente após o seu

processamento. Dada a dificuldade em implementar este tipo de fluxo, deve-se sempre criar tamanhos de lotes com o menor número de peças possível (Womack & Jones, 1996)

O quarto princípio especifica que o tipo de sistema de produção deve ser um sistema **pull**, ou seja, um sistema de produção puxado pelo cliente. As organizações só devem produzir o que os seus clientes pedem quando pedem, ao invés de produzirem para *stock* e empurrarem os produtos para os clientes. Ao produzir segundo este paradigma as organizações seguem um dos pilares da casa TPS, nomeadamente a produção JIT (secção 2.1.1). Através de um sistema produtivo puxado torna-se possível fornecer ao cliente exatamente aquilo que ele deseja, obtendo-se a criação de valor e redução de desperdícios (Womack & Jones, 1996).

Por fim, o último princípio do pensamento *Lean* aborda a **busca pela perfeição**. Quando uma organização executa bem os quatro primeiros princípios, todas as atividades tornam-se transparentes, permitindo que todos os elementos da organização identifiquem e eliminem mais facilmente os desperdícios, e se concentrem na melhoria das atividades que criam valor. Assim, os quatro princípios iniciais são um ciclo contínuo que possibilita a perseguição pela perfeição, ou seja, proporciona oportunidades infinitas de melhoria.

Os princípios do *Lean Thinking* são considerados passos a seguir para uma correta implementação do pensamento *Lean* nas mais diversas organizações. O sucesso da sua aplicação deve-se sobretudo à sua capacidade de adaptabilidade e ao facto de as empresas que escolhem implementar esta filosofia procurarem sempre a melhoria contínua, ou seja, um dos seus pilares (Alves et al., 2012).

2.1.4 Ferramentas *Lean*

Associado à metodologia *Lean* existe uma panóplia de ferramentas distintas e a sua aplicação visa a redução de desperdícios e o aumento da eficiência por parte das organizações. Algumas dessas ferramentas são o *Value Stream Mapping* (VSM), a Técnica 5S, Gestão Visual, *Standard Work*, Sistemas *Poka-Yoke* e *Just-in-Time* que são descritas de seguida.

2.1.4.1 *Value Stream Mapping*

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta que ajuda a ver e compreender o fluxo do material e da informação de um produto durante todo o seu processo produtivo. Através do VSM desenha-se uma representação visual da cadeia de valor de um produto, desde a matéria-prima até o mesmo chegar ao cliente final, de modo a se ter percepção de onde existe e não existe valor no fluxo (Rother & Shook, 1999).

Ainda segundo (Rother & Shook, 1999) de modo a se criar um VSM é necessário seguir quatro etapas:

- 1. Identificar família de produtos** – identificar um grupo de produtos que no seu fluxo atravessam equipamentos comuns e sofrem processamentos semelhantes. Esta identificação deve ainda ter em conta a perspetiva do cliente, isto é, quais as famílias de produtos que lhe acrescentam valor;
- 2. Definir VSM do estado atual** – esclarecer a situação atual da família de produtos em questão por forma a ser possível identificar as fontes de desperdícios;
- 3. Construir VSM do estado futuro** – construir um VSM que ilustre como a organização deseja que o processo esteja a trabalhar num futuro próximo. O objetivo passa por obter um processo onde cada etapa do processo está ligada ao seu cliente através de um fluxo contínuo ou um sistema *pull*;
- 4. Criação de plano de ações para atingir o estado futuro** – o plano deve ser um documento compacto que inclui o estado futuro, informações detalhadas sobre etapas do processo ou *layouts* (caso sejam necessárias) e um plano anual do fluxo de valor.

Para se construir um VSM deve-se utilizar simbologia própria, sendo que alguns exemplos da mesma podem ser encontrados no Anexo 1.

Contudo, para alguns autores o desenvolvimento de um VSM apresenta algumas limitações, como a sua falta de eficácia quando se lida com fluxos de valor não lineares ou quando os dados relativos ao fluxo de valor são variáveis (Andreadis et al., 2017). Ainda, devido à necessidade de se efetuar VSMS do estado atual e do estado futuro, a criação dos mesmos pode ser considerada como uma atividade morosa ou até mesmo considerada um desperdício, a menos que os VSMS levem a um plano concreto de ações (Bicheno & Holweg, 2009).

2.1.4.2 Técnica 5S

A técnica 5S foi desenvolvida no Japão por Osada em 1989 (Gapp et al., 2008) e consiste num método de gestão do espaço de trabalho baseado na aplicação da cultura Kaizen (Jiménez et al., 2015). Inicialmente, a técnica 5S foi utilizada para desenvolver um sistema de manutenção integrado, o *Total Productive Maintenance* (Bamber et al., 2000), contudo, no ocidente esta técnica é normalmente utilizada nas atividades de manutenção (Jiménez et al., 2015).

Para Suzuki (1987), a organização e arrumação são as medidas iniciais a serem tomadas de modo a melhorar as operações numa organização. Através dos hábitos de arrumação torna-se possível avaliar a atitude da empresa face a ações de melhoria, refletindo ainda a postura da administração em relação ao

trabalho. O autor refere ainda que a arrumação está intrinsecamente ligada à moral dos trabalhadores, ao relacionamento entre a administração e os trabalhadores e ainda à qualidade das ações de melhoria implementadas.

A técnica 5S é uma ferramenta de limpeza que incentiva, de maneira sistemática, uma produção mais limpa. A limpeza não se aplica somente ao Gemba, mas também ao processo produtivo em si, eliminando os desperdícios inerentes ao mesmo. Através do planeamento, gestão e regulação do processo, a técnica 5S dá origem a um processo mais simples, com menos espaço operacional, menos despesa, em menor tempo e produtos com melhor qualidade. A técnica 5S permite ainda estabelecer um ambiente operacional disciplinado, limpo e organizado (Chapman, 2005). O acrónimo 5S advém das iniciais dos cinco conceitos desta técnica (Osada, 1991):

1. **Seiri** – Separar: o primeiro S consiste em separar os itens necessários dos desnecessários, pois no local de trabalho só devem constar os itens indispensáveis ao desempenho do mesmo. Ademais, não se deve apenas eliminar itens físicos, mas também tarefas desnecessárias inerentes ao processo. O *Seiri* apresenta um grande impacto visual no local de trabalho através da libertação de espaço físico, e ajuda ainda na diminuição de acidentes, reutilização de recursos, entre outros.
2. **Seiton** – Organizar: após a separação dos itens necessários, é imperioso definir um espaço físico e sistemático para a organização dos mesmos no local de trabalho. Assim, os recursos devem ser dispostos de maneira eficaz e eficiente para facilitar todos os fluxos relacionados com o processo produtivo, reduzindo o desperdício do tempo e aumentando-se a produtividade.
3. **Seiso** – Limpar: o terceiro S consiste em manter o ambiente de trabalho limpo bem como todos os itens referentes ao mesmo. O principal objetivo do *Seiso* é mitigar danos, falhas nos equipamentos e defeitos no produto. A limpeza deve ser diária e consiste em três níveis:
 - Macro – limpeza de todas as áreas e resolução da causa raiz da sujidade;
 - Individual - limpeza de equipamentos e áreas específicas;
 - Micro – limpeza de partes e ferramentas específicas dos equipamentos.
4. **Seiketsu** – Padronizar: após implementar os primeiros 3S para um local em específico torna-se necessário criar um *standard* para todos os outros locais/áreas da organização. Deve-se ainda estabelecer métricas comuns aos diferentes espaços e equipas de modo a garantir um trabalho em equipa em prol de um fim e não de maneira individual.
5. **Shitsuke** – Autodisciplina: tendo-se definido e implementado os 4S é necessário garantir a aplicação contínua dos mesmos. O *Shitsuke* é o S mais difícil de ser implementado pois carece

de uma mudança de comportamento por parte das pessoas. Assim, é fundamental formar e instruir todos os elementos da organização para estes perceberem a importância da manutenção das medidas aplicadas através dos 4S anteriores.

2.1.4.3 Gestão Visual

A utilização de ferramentas de gestão visual permite que todos os elementos do processo comuniquem entre si, isto pois todas as pessoas envolvidas no processo devem ser capazes de visualizar e compreender, em qualquer momento, o estado do processo e os diferentes aspetos do mesmo. Através de ferramentas de gestão visual o processo torna-se mais transparente, possibilita o feedback instantâneo e permite fazer ajustes imediatos onde estes são necessários (Parry & Turner, 2006).

Algumas das ferramentas de gestão visual são gráficos e folhas de *Standard Work*, quadros de medidas de desempenho, amostras, protótipos, sistemas *Andon*, entre outros (Tezel et al., 2016).

Os sistemas *Andon* têm a sua origem no TPS e são largamente utilizados na indústria Japonesa e Americana de forma a melhorar rapidamente a qualidade dos produtos (Liker, 2004). Este tipo de sistema tem como objetivo reportar rapidamente um problema, aos responsáveis, com o qual se deparam no seu posto de trabalho. A sinalização é feita através de um cordão *Andon*, o qual os operadores puxam, desencadeando assim uma luz que sinaliza que necessitam de ajuda no seu posto de trabalho (Figura 3) (Jingshan Li & Blumenfeld, 2005).

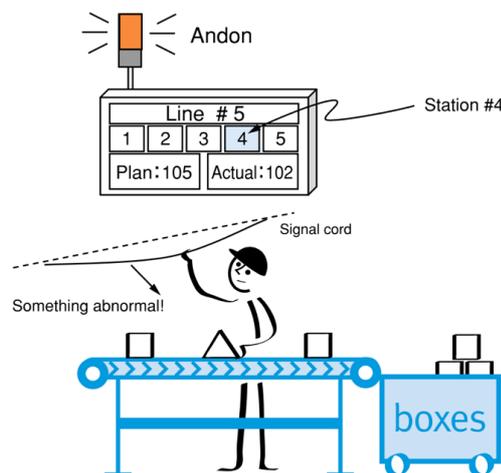


Figura 3 - Sistema Andon
(Lean Enterprise Institute, 2022)

2.1.4.4 Standard Work

O *Standard Work*, ou trabalho normalizado, é uma ferramenta *Lean* e representa uma das fundações da casa TPS, tal como indicado na secção 2.1.1. Através do *Standard Work* torna-se possível reduzir a variabilidade dentro dos processos, e como conseguinte, obtém-se a redução de desperdícios e uma

capacidade de produção mais consistente com *lead-times* mais coerentes e ainda produtos com melhor qualidade (Kosuge et al., 2010).

Quando um processo está normalizado o aumento e passagem de conhecimento entre os pares é facilitado e torna-se ainda possível descobrir anomalias e tempos ineficientes no processo (Imai, 1986). O *Standard Work* é ainda essencial para a melhoria contínua pois possibilita a evolução de um padrão normalizado para outro sem se voltar aos “velhos costumes” (Bicheno, 2008).

Assim, o trabalho normalizado consiste num conjunto de procedimentos de trabalho que estabelecem os melhores e mais fiáveis métodos e também as melhores sequências para cada processo e cada operador (Monden, 2012). Deste modo é necessário especificar, com rigor, os métodos e as sequências padronizadas das operações de cada processo, de modo a se obter um *lead-time* constante em todas as secções de trabalho, não descurando que as especificações devem ser de fácil entendimento e interpretação por parte de qualquer trabalhador (Ohno, 1988).

Contudo, o trabalho normalizado pode ser difícil de implementar sendo que os trabalhadores têm uma maneira própria de efetuar as operações mesmo quando se trata da mesma operação, logo é fundamental incluir todas as partes para que elas consigam entender que o *Standard Work* é um esforço colaborativo para se atingir uma meta comum e não algo imposto pelas chefias (Ribeiro et al., 2013).

Segundo Ohno (1988), o Standard Work é composto por três elementos-chave:

1. Tempo de ciclo normalizado – o tempo, em minutos e segundos, que leva a produzir uma unidade;
2. Sequência de trabalho normalizado – combinação de tarefas necessárias à execução do trabalho;
3. Inventário WIP normalizado – representa a quantidade mínima de stock necessário para garantir o fluxo do processo em curso.

Para Liker e Meier (2005), existem três documentos principais a serem usados no desenvolvimento de trabalho normalizado, sendo eles:

1. **Standardized Work Chart** – gráfico utilizado inicialmente para identificar e eliminar desperdícios. Após se implementarem as melhorias, o gráfico torna-se a base para a melhoria contínua. Este gráfico mostra o movimento do operador e a localização do material em relação ao equipamento e ao *layout* geral do processo (Figura 4).

2. Standardized Work Combination Table – tabela que mostra a combinação dos tempos de trabalho manual, tempo das distâncias percorridas e o tempo de processamento dos equipamentos, caso sejam utilizados. A tabela completa demonstra a interação entre operadores e equipamentos, e permite recalcular a carga de trabalho do operador à medida que o *takt time* aumenta ou diminui (Figura 4).

3. Production Capacity Sheet – gráfico que indica a capacidade das máquinas no processo, considerando ainda o tempo de ciclo dos equipamentos, os tempos de paragem e os tempos de *setup*.

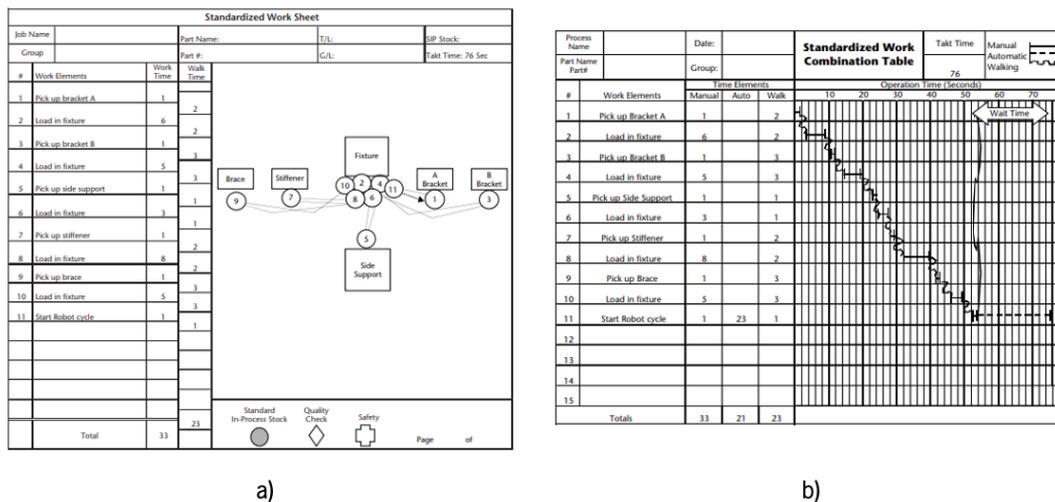


Figura 4 - Exemplo de Standardized Work Sheet (a) e exemplo de Standardized Work Combination Table (b) (Liker & Meier, 2005)

2.1.4.5 Mecanismos Poka-Yoke

Poka-Yoke é uma expressão japonesa que significa “à prova de erros”, onde *Poka* significa “erros inadvertidos” e *Yoka* significa “evitar” (Grout & Toussaint, 2010). Os mecanismos *Poka-Yoke* foram desenvolvidos por Shingo durante o seu trabalho no *Toyota Production System* com o intuito de atingir o “*Zero Defect Production*” (Shingo, 1986).

Segundo Shingo (1986), este tipo de mecanismos tem como objetivo detetar defeitos e/ou erros, através de uma inspeção a 100% de todas as peças, de maneira independente da atenção do operador. Assim, com este tipo de sistemas almeja-se detetar erros cometidos e/ou evitar os mesmos, permitindo ainda que peças defeituosas não continuem no fluxo. Segundo (Shingo, 1986) existem duas abordagens distintas de mecanismos *Poka-Yoke*:

1. Sistemas de controlo – consistem na interrupção da linha ou processo quando um problema é detetado, seguindo-se a aplicação de ações corretivas necessárias de modo a evitar defeitos em cadeia;

2. Sistemas de advertência – consistem na emissão de sinais luminosos e/ou ruidosos quando é detetada uma tendência crescente de desvio dos valores padrão.

Os sistemas de controlo podem ainda ser divididos em três métodos distintos (Shingo, 1986):

1. **Contacto** – deteta qualquer desvio na forma ou característica da peça através de mecanismos que atuam em contacto direto com a peça;
2. **Conjunto** – deteta parâmetros críticos das operações repetitivas de um processo, tais como número de movimentos ou duração de movimentos, através de contadores automáticos ou dispositivos óticos de controlo;
3. **Etapas** – evita que o operador realize tarefas que não fazem parte das tarefas padronizadas do processo.

Independentemente dos mecanismos *Poka-Yoke* implementados numa organização estes devem ser simples e baratos. Devem ainda fazer parte do processo e garantir uma inspeção a 100%, e devem ainda ser colocados perto do local onde ocorrem os erros, ou seja, na linha/célula, de modo ao operador receber *feedback* imediato e conseguir implementar ações corretivas imediatas (Grout & Toussaint, 2010).

2.1.4.6 Produção *Just-in-Time*

A produção *Just-in-Time* (JIT) é um dos pilares da casa TPS e representa um estado de simplicidade na eficiência da produção (Fullerton & McWatters, 2001). A produção JIT é normalmente utilizada como um sistema de fabrico que pretende alcançar a excelência através de melhorias contínuas na produtividade e ainda através da eliminação de resíduos. Para Fullerton e McWatters (2001) alguns dos benefícios da aplicação da filosofia JIT são a redução dos níveis de *stock* e a redução do *lead-time*.

Segundo Sugimori (1977) a filosofia de produção JIT surgiu para fazer face a problemas relacionados com o desnivelamento de *stocks* e equipamentos e trabalhadores em excesso, ou seja, uma filosofia que conseguisse colmatar os problemas que advinham da variabilidade dentro das organizações relativas a flutuações na procura nos mercados. Para o autor, de modo a se conseguir implementar um sistema de produção que siga a filosofia JIT torna-se necessário seguir quatro critérios distintos:

1. **Sistema de produção pull** onde todos os elementos do sistema devem produzir as peças necessárias quando estas são necessárias, ou seja, é necessário existir um sistema de produção *pull*, que se refletirá na redução de desperdícios críticos como a sobreprodução e *stock*;
2. **One-Piece-Flow** onde todos os processos devem produzir apenas uma peça e o *stock* entre processos e equipamentos deve também ser de uma peça. Assim é possível obter uma redução

dos lotes de produção e, por conseguinte, leva à redução dos tempos de *setup* e melhorias dos métodos de produção através da eliminação do WIP;

3. **Heijunka**, ou seja, o nivelamento da produção, é necessário, de modo a evitar que os processos dentro da organização e os seus subcontratados trabalhem constantemente com *stocks* excessivos, nivelar a produção tendo por base a linha/processo final pois este é o posto de trabalho que dá as instruções de produção para os processos a montante. Através do nivelamento da produção é possível produzir com um número de trabalhadores mais estável e uma menor capacidade dos equipamentos;
4. **Eliminação da sobreprodução** pois este é o pior desperdício que existe e pode elevar o custo de produção. Este desperdício esconde ainda outros tipos de desperdícios que causam desnivelamento entre os trabalhadores e entre os processos, excesso de trabalhadores, capacidade excessiva dos equipamentos e manutenção preventiva insuficiente. Tal latência de desperdício faz com que os trabalhadores não consigam demonstrar a sua capacidade, sendo também um obstáculo para a melhoria contínua das organizações.

2.1.5 Obstáculos à implementação da Produção Lean

As mais diversas organizações adotam a metodologia *Lean Production*, uma vez que esta proporciona um amplo leque de vantagens, especialmente a redução de desperdícios tipo *Muda*, refletindo-se na redução de custos para as organizações, além de benefícios para a sustentabilidade (Amaro et al., 2019). Assim, só as organizações que procuram perseguir a perfeição através da implementação dos princípios *Lean Thinking* (secção 2.1.3) conseguem prosperar num mercado cada vez mais competitivo e cada vez mais regulado (Melton, 2005; Womack et al., 1990).

Para Melton (2005) alguns dos benefícios desta metodologia são a redução dos custos operacionais, obtenção de processos mais robustos que levam a menos erros, equipas polivalentes e uma maior compreensão das necessidades dos clientes da organização e de toda a cadeia de abastecimento.

Contudo, a implementação da metodologia *Lean Production* não é tarefa fácil (Amaro et al., 2021). Para se introduzir a mesma é necessário mudar a cultura organizacional e a maneira de pensar das organizações, e esta situação pode constituir um obstáculo à implementação da metodologia. Para contornar este problema, as organizações têm de adotar uma cultura de comunicação e formação adequadas de modo a todos os trabalhadores perceberem quais as vantagens que advém da mudança e como eles podem ajudar a implementar a mudança. A falta de compromisso e apoio da gestão de

topo, a compreensão errada dos conceitos da metodologia e as pessoas são os principais entraves à implementação com sucesso da produção *Lean* (Gupta & Jain, 2013). Ainda a falta de recursos financeiros, recursos qualificados, falta de tempo e uma grande variedade de produtos cria entraves à implementação em pequenas empresas (Achanga et al., 2006).

2.2. Sistemas de Produção

Os sistemas de produção podem ser divididos em dois grupos distintos: Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) e Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP).

Os SPOF são normalmente *Job Shops*, oficinas de trabalho em português, e têm como principal característica a capacidade de produzirem uma grande variedade de produtos, sendo normal produzirem um produto totalmente diferente quando um outro produto é concluído (Black & Hunter, 2003).

Devido aos SPOF terem um *layout* onde os equipamentos são agrupados de acordo com o tipo de função que executam, cada artigo/componente requer uma sequência própria de operações o que causa dificuldades no controlo do fluxo de materiais e leva à ineficiência dos sistemas, muitas vezes devido à existência de fluxos inversos (Alves, 2007). Ademais, tendo em conta a diversidade de produtos em curso ao mesmo tempo que partilham os diferentes recursos, é inevitável que os tempos de produção sejam longos e imprevisíveis, que por sua vez dificultam o cumprimento de datas de entrega ao cliente, afetando negativamente os níveis de serviço das organizações (Black & Hunter, 2003).

Por outro lado, os SPOP são sistemas de produção onde o fluxo de materiais é contínuo. Normalmente, os SPOP são sistemas mais eficientes, mas menos flexíveis, devido a serem sistemas que produzem um menor número de produtos com menos WIP (Black & Hunter, 2003). A organização da produção neste tipo de sistemas é de tal forma que os produtos semelhantes, i.e., produtos que requerem do mesmo processo de transformação (ou de um processo similar), são produzidos em conjunto. Deste modo, existe uma redução no fluxo de materiais o que facilita o controlo dos mesmos e torna os sistemas mais eficientes. As células e/ou linhas de produção são exemplos de SPOP (Alves, 2007).

Assim, dependendo da quantidade de artigos a serem produzidos é possível identificar qual o sistema produtivo mais vantajoso para uma organização. Pela Figura 5 é possível verificar que uma implementação em linha adequa-se para uma grande quantidade de produção com baixa variedade de artigos. Já os SPOF adequam-se a uma produção de grande variedade de artigos, mas de pequena quantidade produzida. Por fim, as células de produção têm capacidade para produzir quantidades e variedades médias de produtos, encontrando-se assim entre as linhas e as oficinas.

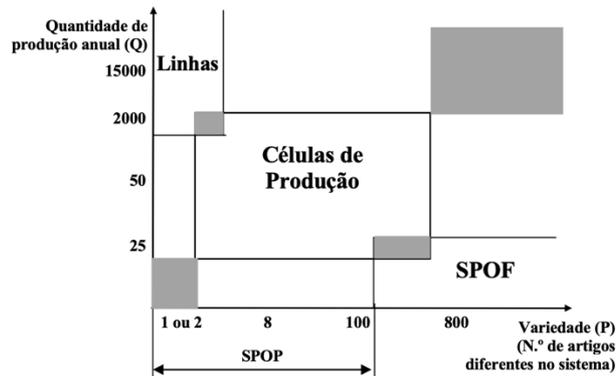


Figura 5 - Relação entre a quantidade de produção e a variedade de artigos para a seleção de sistemas de produção

(Alves, 2007)

Uma célula de produção resulta da integração e interação de um conjunto de subsistemas, com elevado grau de autonomia e independência, onde cada um deles é constituído por um conjunto de equipamentos ou postos de trabalho complementares que executam as diferentes etapas do processo produtivo de um produto e/ou vários produtos similares. Os fluxos de trabalho entre postos, tanto simples como combinados, caracterizam as células, sendo que quando o fluxo é direto no processo produtivo a célula é uma linha pura de produção (Alves, 2007).

No que toca às linhas de produção, segundo Becker e Scholl (2006) as linhas de produção são classificadas segundo a sequência de artigos produzidos bem como a sua variedade. Assim, estas podem ser de três tipos distintos, nomeadamente de modelo único, de modelos misturados ou de multimodelos.

Já para os diferentes tipos de células operacionais, quando estas não se configuram como uma linha de produção, existem várias configurações para as mesmas, que de forma simples ou combinada formam SPOP (Alves, 2007). Uma célula de resposta rápida é um exemplo de uma célula operacional, onde o principal objetivo é minimizar o tempo de percurso de fabrico das ordens de produção. Este tipo de célula tem por base a filosofia *Quick Response Manufacturing* (QRM), que se fundamenta no tempo e não no custo, permitindo assim uma entrega de produtos ou serviços mais rápidos que os concorrentes (Suri, 1998). Este tipo de célula tem como características a produção de famílias de produtos semelhantes, a interligação de várias células dedicadas ao fabrico dos componentes de um produto final, a implantação dos postos de trabalho numa sequência que reflete a sequência das operações, equipas polivalentes e responsáveis pelo funcionamento e operação da célula, entre outras (Alves, 2007)

2.2.1 Reconfiguração de Sistemas de Produção Orientados ao Produto

Como mencionado anteriormente, os mercados atuais exigem produtos personalizados que satisfaçam todas as necessidades dos seus clientes, levando a que as organizações adotem conjuntos de estratégias

de modo a alcançar estas expectativas de forma eficiente e eficaz. Ainda, os clientes requerem, para além da personalização, que os seus produtos sejam entregues o mais rápido possível e que sejam de alta qualidade, fiabilidade e de baixo custo (Simões et al., 2015).

Muitas vezes este conjunto de estratégias passa pela reconfiguração dos sistemas produtivos das organizações (Alves et al., 2015; Alves et al., 2015). Segundo Alves (2007) a metodologia Genérica, Concetual e Detalhada (Metodologia GCD), para projeto e reconfiguração de Sistemas de Produção Orientados ao Produto segue três fases: 1) Projeto Genérico; 2) Projeto Concetual; 3) Projeto Detalhado. Assim, com estas três fases, torna-se possível acompanhar este tipo de projetos bastante complexos através de diferentes níveis hierárquicos a nível estratégico, tático e operacional.

O **Projeto Genérico** pretende definir a estratégia de produção a ser adotada e, para tal, é necessário compreender a previsão da procura, os tipos de recursos disponíveis, a posição da empresa em relação aos mercados, a variedade de produtos, entre outros (Alves, 2007).

A segunda fase, o **Projeto Concetual**, tem como objetivo identificar as configurações concetuais necessárias, tanto das células como dos postos de trabalho, tendo em conta a procura e especificações dos produtos a serem produzidos (Alves, 2007).

Por fim, no **Projeto Detalhado**, trata-se em detalhe de todo o processo e funcionamento da célula (Alves, 2007a). Uma vez que as etapas desta fase estão interligadas, (Silva & Alves, 2002) definiram uma série de cinco passos, interligados e dependentes, a seguir para a correta implementação de células, sendo eles:

1. Seleção do produto e/ou formação de famílias de produtos;
2. Instanciação de células concetuais;
3. Instanciação de postos de trabalho;
4. Organização intracelular e controlo de cada célula;
5. Arranjo integrado das células para formação do SPOP.

A **formação de famílias** de produtos tem como objetivo identificar e seleccionar produtos e/ou famílias de produtos, que podem e devem ser produzidos na mesma célula de produção. Assim, numa variedade de produtos, deve-se ter em consideração a similaridade entre os mesmos desde a matéria-prima utilizada, configurações físicas e geométricas, processo de fabrico e especificações de cliente (Alves, 2007a; Silva & Alves, 2002).

A **instanciação de células conceituais** requer um conhecimento mais profundo sobre o processo produtivo, ou seja, é necessária informação concreta sobre os produtos e a sua quantidade, sobre os tempos de produção e sobre a utilização dos equipamentos, por forma a se selecionar a configuração operacional mais adequada para a célula. Este conhecimento prévio ajuda no desenvolvimento bem-sucedido das quatro etapas necessárias para a instanciação da célula conceitual, i.e.: 1) cálculo de máquinas e afetação destas às famílias; 2) identificação de fluxos intercelulares; 3) definição dos fluxos; 4) selecionar a melhor configuração operacional (Alves, 2007).

No que toca à **instanciação de postos de trabalho** pretende-se definir as unidades necessárias de equipamentos de produção e ainda determinar a quantidade e competências de trabalhadores, tendo por base as informações obtidas nas duas fases anteriores. Para (Alves, 2007), nesta fase é necessário calcular o número de operadores para cada célula, fazer o balanceamento das mesmas e ainda selecionar e afetar os operadores aos postos de trabalho.

A quarta etapa, que diz respeito à **organização intracelular e controlo de cada célula**, tem como objetivo organizar a célula, de modo a se encontrar o arranjo mais adequado para o equipamento e coordenar os operadores segundo o modo operatório, visando a produção dos produtos requeridos na quantidade e qualidade certa, tendo sempre em conta o mínimo de movimentações e a redução dos custos. Para o bom sucesso desta atividade é necessário seguir três passos: 1) definir a implantação intracelular; 2) escolher o modo operatório; 3) definir a sequenciação e lançamento dos produtos de forma individual ou em lote (Alves, 2007).

Abordando especialmente os modos operatórios, Alves (2007) evidência que vários autores referem que o arranjo físico em U é o mais aconselhável para a maior das células de produção e é amplamente adotado pela indústria devido à facilidade operatória e flexibilidade do uso da mão-de-obra, aspetos estes que são cruciais aos modos operatórios.

Contudo, os modos operatórios existentes são vários, sendo alguns deles o *working balance* (WB), o *rabbit-chase* (RC) ou o *Toyota sewing system* (TSS). O WB caracteriza-se pela distribuição uniforme da carga de trabalho pelos diferentes operadores e a alocação de cada um a um dado número de postos de trabalho onde os somatórios dos tempos de processamento acumulado são aproximadamente iguais. No RC um operador executa, de forma ordenada e do início ao fim, todas as tarefas do processo produtivo de uma célula, de operação em operação, sem ultrapassar outros operadores e controlando todas as atividades de transformação. Por fim no TSS, uma célula é composta por três a cinco operadores que

trabalham de pé e são responsáveis por dez a quinze máquinas. Neste caso os operadores são polivalentes e passam o trabalho uns aos outros (Alves, 2007).

Por fim, a última etapa diz respeito ao **arranjo integrado do SPOP**, e é pretendida a definição da implantação intercelular de células e a integração e coordenação do SPOP global. Para o primeiro é necessário encontrar um arranjo e um sistema de manuseamento entre as células com o objetivo de minimizar, ou até mesmo eliminar, as movimentações e os transportes. Para a integração e coordenação do SPOP global é necessário selecionar um sistema de controlo da atividade de produção e do fluxo de materiais que explore os diferentes paradigmas de controlo de produção (*push*, *pull* ou o paradigma híbrido *push-pull*) (Alves, 2007).

Contudo, apesar da metodologia clara por etapas para uma implementação de sucesso de células de produção é necessário não descurar a ergonomia e a flexibilidade das mesmas, e é ainda fundamental envolver os trabalhadores na sua construção e desenvolvimento (Black & Hunter, 2003).

2.2.2 Indicadores de desempenho

De seguida são apresentados, na Tabela 1, indicadores de desempenho relevantes para a avaliação e monitorização do comportamento dos sistemas de produção ao longo do tempo (Hopp & Spearman, 2001; Nakajima, 1988):

Tabela 1 - Indicadores de desempenho

Indicadores de Desempenho	
Takt Time (TT) – Ritmo produtivo necessário para satisfazer a procura do mercado.	$Takt\ time = \frac{Tempo\ operativo\ planeado\ diário}{Procura\ diária} (min/uni)$ <p>Equação 1 - Takt time</p>
Taxa de produção - Velocidade de processamento com que uma máquina, posto de trabalho ou sistema fornece produtos.	$Taxa\ de\ produção = \frac{Produção\ diária}{Tempo\ diário\ disponível} \left(\frac{uni}{h}\right)$ <p>Equação 2 - Taxa de produção</p>
Overall Production Effectiveness (OEE) – Percentagem de tempo em que os equipamentos são produtivos.	$OPE = \frac{Total\ de\ horas\ de\ ocupação\ da\ máquina}{Tempo\ total\ disponível\ na\ máquina} * 100\ (%)$ <p>Equação 3 - Overall Production Effectiveness</p>
Cumprimento do prazo de entrega (CPE) - Monitoriza a percentagem de produtos entregues após a data de entrega confirmada ao cliente.	$CPE = 1 - \frac{\sum produtos\ entregues\ na\ data\ acordada}{\sum Produtos\ faturados/mês} x 100(\%)$ <p>Equação 4 - Cumprimento do prazo de entrega</p>

<p>Capacidade - Disponibilidade do equipamento de produção.</p>	<p>Capacidade disponível = Tempo de turno x nº de turnos (seg)</p> <p>Capacidade efetiva = Capacidade disponível – Paragens planeadas (seg)</p> <p>Capacidade esperada = Tempo de ciclo x Produção diária (seg)</p> <p>Capacidade real = Capacidade efetiva – Paragens não planeadas (seg)</p> <p>Equação 5 - Cálculos de capacidade</p>
--	--

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O presente projeto de dissertação foi desenvolvido na empresa JASIL – J. António da Silva Lda., no âmbito de um estágio curricular decorrido entre fevereiro de 2022 e agosto de 2022. No presente capítulo é apresentada informação relativa à história da empresa, as suas instalações fabris, quais os seus principais produtos e o mercado onde se insere.

3.1. JASIL – J. António da Silva, Lda.

A JASIL – J. António da Silva, Lda é uma empresa da área da metalomecânica de precisão e tem como principal atividade a produção de peças e acessórios para motos e scooters. A filosofia da empresa assentava no foco no cliente e na melhoria contínua, sendo que a empresa procurava sempre manter-se atualizada dentro dos paradigmas da nova era da Indústria 4.0 e explorar novos mercados e clientes. Algumas das operações nos processos produtivos eram robotizadas e existia ainda a interligação de dados sobre toda a produção e documentos comuns através da intranet.

Apesar da atividade principal da empresa ser relativa a peças e acessórios para motos e scooters, existia uma vontade constante de explorar novos mercados. A JASIL era capaz de garantir a produção e qualidade de componentes para o ramo automóvel, karts, para-motores, bicicletas elétricas, componentes desenvolvidos pelos clientes, entre outros. O logótipo da empresa está apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Logótipo JASIL - J. António da Silva, Lda.

A empresa foi fundada há mais de 70 anos, em 1948, por José António da Silva, e era uma empresa familiar gerida atualmente pela terceira geração. Inicialmente, a empresa era denominada de Micromecânica e dedicava-se à fabricação de alfabetos e numerários para marcar por punção e ferramentas de precisão. Nos anos 70, a denominação da empresa alterou-se para J. António da Silva, Lda., deu-se início à produção de bielas e componentes para motores e, o filho do fundador, Francisco Ferreira da Silva, entrou para a empresa. Na década de 80 a empresa tornou-se fornecedora de uma linha de montagem da Zundapp em Portugal e começou ainda a fabricar cambotas. Nos anos 90 deu-se início aos projetos de exportação e criou-se a marca própria da empresa – *Top Racing* (atualmente marca

JASIL). Na década de 2000 deu-se a verdadeira revolução na empresa, com a mudança para a unidade fabril atual em Adaúfe, Braga, a entrada de Manuela Silva, neta do fundador, como sócia-gerente e a implementação de um Software Global de Gestão e um Software de Gestão da Qualidade. Em 2011, o sistema de Gestão de Qualidade foi certificado pela norma *NP EN ISO 9001* e, em 2017, a JASIL foi reconhecida pelo *Kaizen Institute* com o prémio *PME KAIZEN LEAN – Excelência na Produtividade* como reconhecimento do seu trabalho.

3.2. Complexo industrial

A JASIL estava instalada no parque industrial de Adaúfe e no parque industrial de Pitancinhos e dividia a sua atividade em três pavilhões distintos com uma área total de 5800 m² (Figura 7).



Figura 7 - Instalações JASIL em Adaúfe (esquerda) e em Pitancinhos (direita)

No complexo 1 estavam concentradas a maioria das secções produtivas e ainda a parte técnica e administrativa, numa área de cerca de 3000 m². Já o complexo 2 tinha cerca de 2000 m² e era onde se efetuava todo o trabalho de montagem, embalagem e armazenagem. Por fim, nas instalações de Pitancinhos, com cerca de 800 m² (Figura 8), existiam células de produção para produtos de clientes.



Figura 8 - Complexo 1 (esquerda) e Complexo 2 (direita)

O *layout* produtivo da empresa estava organizado por função, logo existia um agrupamento de equipamento similar. A planta do complexo 1 estava dividido em sete secções produtivas e três secções de apoio à produção. Na Figura 9 encontra-se o *layout* do chão de fábrica.



Figura 9 - Layout chão de fábrica complexo 1

3.3. Mercado

A JASIL exportava mais de 94% da sua produção para um total de 21 países. Pela Figura 10 é possível observar que a maior percentagem de vendas era relativa a clientes franceses, representando estes perto de 39% da faturação anual da empresa. A Alemanha era o segundo maior mercado da JASIL, com pouco mais de 15% das vendas totais, seguida da Itália com 10,31% das vendas totais referentes ao ano de 2021. Em quarto lugar encontrava-se a Espanha, com 9,52% e no último lugar do *top* cinco encontra-se a Holanda com 7,28% das vendas totais. O mercado interno português representava 5,85% das vendas totais. A JASIL contava ainda com um cliente na Argélia que representava uma fatia considerável de 5,46% das percentagens de vendas. Por fim, a empresa tinha outros clientes um pouco por todo o mundo que representavam, em conjunto, 7,52% de todas as vendas. Assim, era possível concluir que os mais diversos clientes pelo mundo fora reconheciam a qualidade do produto JASIL.

% de vendas por país

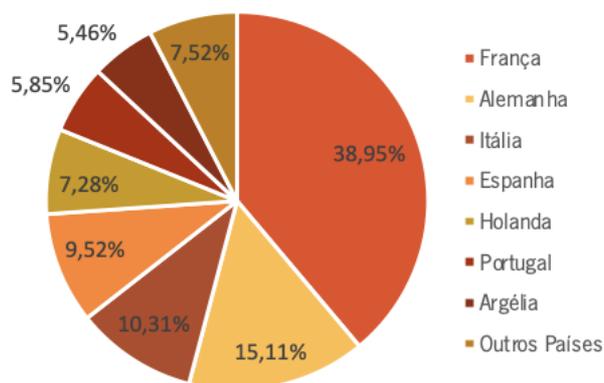


Figura 10 - Percentagem de vendas por país em 2021

3.4. Produtos JASIL

A JASIL dispunha de um catálogo de produtos de marca própria de referência na indústria de motos e *scooters*. Este era composto por cambotas, bielas, caixas de velocidades, variadores de velocidade, embraiagens e roletes. Além destes produtos, a empresa fabricava ainda produtos de clientes, ou seja, produtos com especificações dos clientes e ainda prestava serviços de subcontratação também a pedido dos seus clientes.

A empresa contava com um departamento de Conceção e *Design* que trabalhava no desenvolvimento de novos produtos de marca própria e ajudava ainda em todos os aspetos relacionados com o desenvolvimento de um novo produto a pedido de um cliente, desde a conceção de desenhos técnicos, orçamentos, protótipos, entre outros.

Pela Figura 11 é possível verificar que as cambotas representaram mais de 45% das vendas totais em 2021, tendo deste modo o maior peso na faturação desse mesmo ano. Tendo em conta as cambotas e todos os outros produtos descritos na Figura 11, que não eram produtos de clientes, a percentagem de artigos produzidos que diziam respeito ao ramo das motos e *scooters* perfazia um total de 59,43% das vendas totais no ano de 2021, consolidando deste modo o forte posicionamento da JASIL neste segmento de mercado. Relativamente aos produtos de clientes, estes representavam cerca de 40% das vendas totais da empresa e representavam vários segmentos de mercado, incluindo o ramo das motos e *scooters*. De todas as cambotas produzidas na empresa, cerca de metade eram cambotas específicas de clientes. Um produto do cliente, na JASIL, podia ser um artigo que era produzido de início ao fim

dentro da empresa, ou podia ser um artigo que sofria um processo de subcontratação, ou seja, a empresa intervinha apenas numa parte do seu processo produtivo.

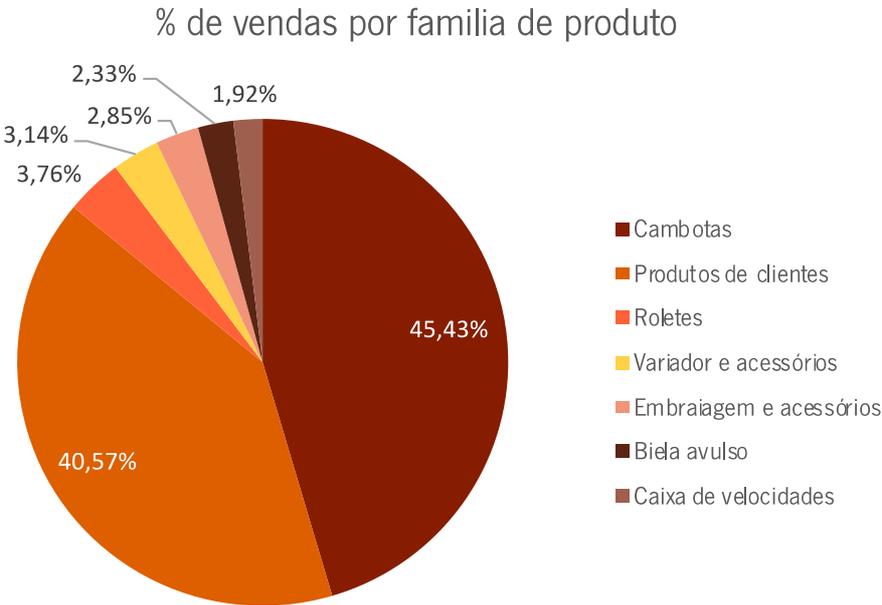


Figura 11 - Percentagem de vendas por familia de produto em 2021

Na Tabela 2 apresenta-se um resumo dos principais artigos do catálogo JASIL, bem como uma imagem dos mesmos.

Tabela 2 - Principais artigos do catálogo JASIL

Produto	Descrição	Imagem
Cambotas	Uma cambota é uma peça composta, normalmente, por duas faces, uma longa e uma curta, uma biela, uma cavilha, dois anilhos e, na maioria das vezes, tacos inseridos nas faces.	
Bielas	As bielas eram o principal componente das cambotas, sendo que alguns modelos podiam ainda ser vendidos avulso, representando 2% das vendas totais da empresa. Uma biela vendida a vulso é composta pela própria, dois rolamentos, dois anilhos e uma cavilha.	
Caixas de Velocidades	Uma caixa de velocidades é composta por várias engrenagens e por dois veios, um principal e um secundário. Tanto as engrenagens como os veios podiam ser vendidos individualmente.	
Variadores de Velocidades	Os <i>kits</i> de variadores de velocidades são compostos por um variador, uma semipolia, uma rampa, roletes, uma cavilha e podem ainda levar ou não uma mola de contraste e anilhos, dependendo do modelo.	
Embraiagens	As embraiagens são compostas pela roda de embraiagem, disco de embraiagem, molas de embraiagem e ainda uma polia.	
Roletes	Os roletes são o componente mais simples produzido pela JASIL. Os mesmos são torneados na empresa e posteriormente revestidos. A sua produção é na ordem dos milhares e podem ser vendidos em jogos de diversas quantidades, agrupados por tamanho e gramagem.	

3.5. Processo de fabrico

Como mencionado anteriormente, o *gamba* estava dividido em sete secções produtivas por função, ou seja, os equipamentos semelhantes e com funcionalidades idênticas encontravam-se agrupados na mesma área. Assim, cada secção da fábrica incluía processos semelhantes e específicos.

3.5.1 Forjamento

A operação de forjamento era um processo de fabrico que consistia na formação de metais através de forças de compressão localizadas. Na JASIL, o processo de forjamento era realizado através do método de recalque, i.e., eram utilizadas ferramentas aos pares de forma a dar o acabamento pretendido à peça. O processo começava com o corte da matéria-prima, os pedaços da mesma eram aquecidos até à

temperatura ideal e de seguida eram recalcados entre o par de ferramentas, como é possível observar no exemplo da Figura 12. Caso fosse necessário, efetuava-se ainda uma operação para aparar o excesso de material, através de uma prensa mecânica.

Esta secção contava com 16 máquinas entre recaladoras, balancés, prensas, máquinas de indução e serrotes de corte.

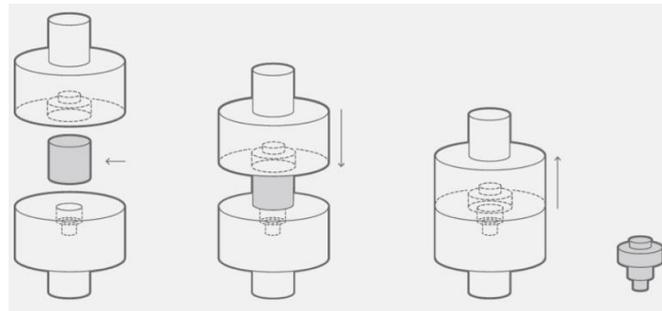


Figura 12 - Exemplo ilustrativo do processo de forjamento
(Site Oficial JASIL, 2022)

3.5.2 Torneamento

O processo de torneamento era composto por três movimentos distintos: a rotação da peça – permitia que o material fosse cortado; o avanço da ferramenta – permitia o deslocamento da ferramenta e o movimento de penetração – determinava a profundidade do corte. Na Figura 13 está representado um exemplo ilustrativo do processo de torneamento que podia ser usado para efetuar tarefas como o torneamento de superfícies internas e externas, roscar, mandrilar, sangrar, fresar ou furar.

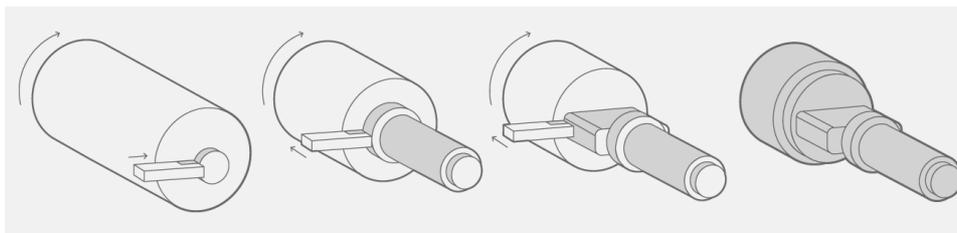


Figura 13 - Exemplo ilustrativo do processo de torneamento
(Site Oficial JASIL, 2022)

Na empresa, os tornos estavam divididos em duas secções distintas: tornos sem alimentador e tornos com alimentador. Nos tornos sem alimentador, quatro dos nove tornos encontravam-se a funcionar com braços robóticos automatizados o que permitia uma maior eficiência no abastecimento peça a peça à máquina. Já os tornos com alimentador contavam com 12 máquinas que consumiam barras de matéria-prima, efetuavam o corte e torneavam a peça no formato pretendido. Devido à utilização de tornos de última geração, a JASIL conseguia produzir peças de elevada complexidade e precisão, com um baixo custo de mão-de-obra.

3.5.3 Maquinação

O processo de maquinação (Figura 14) era semelhante ao torneamento, mas nos centros de maquinação era possível trabalhar com vários eixos o que fazia com que diferentes ferramentas pudessem ser acionadas automaticamente consoante a complexidade da peça a ser maquinada. Geralmente, a peça estava estática enquanto a ferramenta utilizada no momento tinha um movimento giratório.

Os centros de maquinação ofereciam uma grande versatilidade de produção, desde peças básicas às bastante complexas, que contavam com a utilização de máquinas até cinco eixos com 21 ferramentas diferentes. A JASIL possuía 10 centros de maquinação.

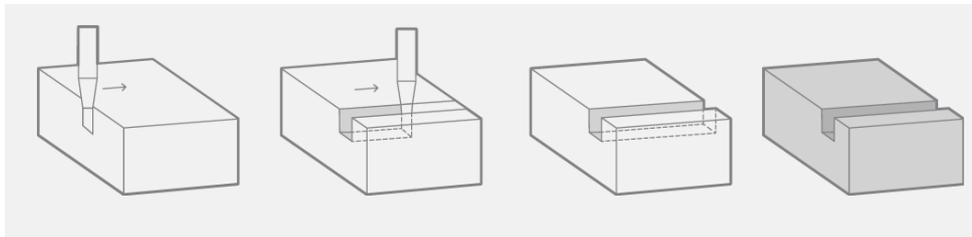


Figura 14 - Exemplo ilustrativo do processo de maquinação
(Site Oficial JASIL, 2022)

3.5.4 Retificação

Na secção de retificação era dado o último acabamento às peças segundo as medidas e especificações finais pretendidas. Apesar das 14 máquinas que estavam afetas a esta secção conseguirem retificar uma grande variedade de peças, as mesmas retificavam sobretudo faces de cambotas, bielas e cavilhas. As máquinas disponíveis efetuavam retificações cilíndricas, cónicas, de furos internos e planas. Na Figura 15 está representado um esquema ilustrativo dos diferentes processos de retificação.



Figura 15 - Exemplo ilustrativo do processo de retificação
(Site Oficial JASIL, 2022)

3.5.5 Talhamento

As operações de talhamento na JASIL diziam respeito à remoção de material através de fresas estáticas de movimento rotativo lento, enquanto a peça era movimentada rotativamente ao longo de um percurso predefinido. A empresa contava com 13 máquinas disponíveis para efetuar este processo.

3.5.6 Segundas operações

A secção de segundas operações era caracterizada por trabalho exclusivamente manual, que consistia em acabamentos ou pequenas operações, como a remoção de rebarbas, lixar ou executar pequenos orifícios nas peças. Esta secção contava com cinco máquinas.

3.5.7 Montagens

Quando os produtos concluíam o seu processo produtivo, os mesmos eram transportados do complexo 1 para o complexo 2 (Figura 8), onde se efetuavam as lavagens e montagens, caso o produto assim o necessitasse. Alguns dos artigos a serem montados eram as cambotas, bielas, diferentes tipos de variadores, jogos fixos, caixas de velocidades, embraiagens, entre outros. Algumas destas montagens necessitavam de equipamento específico, estando cinco máquinas distintas disponíveis para tal, enquanto outras eram montagens manuais. Na secção de montagem, efetuava-se a marcação a laser da marca do cliente em questão e do número da ordem de produção. Após todas as lavagens, marcações a laser e montagens dava-se o embalamento de todos os artigos, a etiquetagem e o despacho dos mesmos para os respetivos clientes.

Um pouco por toda a fábrica existiam ainda equipamentos específicos que efetuavam a medição de dureza, rugosidade e espessura de revestimento dos artigos, bem como micrómetros e máquinas de medição tridimensional para verificação de medidas.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

O presente capítulo caracteriza, inicialmente, o artigo escolhido para análise no âmbito do projeto, uma cambota, seguido da descrição do processo produtivo das faces da mesma e das bielas, nas secções de torneamento e retificação. De seguida, após conhecidas e compreendidas as condições atuais, foram identificados os principais problemas através de análises de fluxo de valor, análises de fluxo de materiais, manipulação de dados e ainda ferramentas como Diagrama Causa-Efeito e *5Whys*.

4.1. Caracterização do artigo escolhido

A JASIL produzia tanto artigos do seu próprio catálogo como artigos de clientes, como mencionado previamente na secção 3.4. Na Tabela 3 encontram-se apresentadas as famílias de produtos principais da empresa com o respetivo código, onde o algarismo **6** representava que o artigo era um produto final concluído na empresa, e os três algarismos seguintes representavam a família do produto. Assim, um artigo com código **6001xxx** representava uma referência de uma biela que era um produto final da JASIL. Contudo, existiam ainda várias centenas de referências extra de produtos que não se inseriam em nenhuma das famílias apresentadas.

Tabela 3 - Famílias de produtos e as respetivas referências

Código	Família de Produtos
6001 - 6004	Bielas
6010 - 6014	Kits de peças
6030 - 6038	Cambotas
6040 - 6042	Variadores
6043	Componentes carro s/carta
6044	Artigos variadores
6046	Jogos móveis
6047	Jogos fixos
6061 - 6079	Jogo de roletes
6080 - 6102	Embraiagens e componentes
6110	Rolamentos de agulhas
6150	Artigos karting
6170 - 6184	Veios
6362	Acessórios para scooters
6363	Acessórios para bicicletas
6554 - 6730	Artigos de clientes

Uma vez que o produto com maior peso na faturação da empresa eram as cambotas, o âmbito do projeto de dissertação consistiu em analisar o processo produtivo das mesmas de modo a se identificar possíveis gargalos de produção no fluxo produtivo.

A composição das cambotas podia variar de referência para referência, porém, em termos genéricos, uma cambota era composta por duas faces, uma longa e uma curta, uma biela, uma cavilha, dois anilhas e, na maioria das vezes, tacos inseridos nas faces. Todos os componentes de uma cambota final eram

produzidos internamente, salvo alguns componentes referentes à embalagem do produto. A cambota (Figura 16) era uma peça que fazia parte de um motor de combustão ou explosão. O mecanismo de manivela convertia o movimento do pistão vertical num movimento rotativo, sendo que era a biela que conectava a cambota e o pistão no motor.

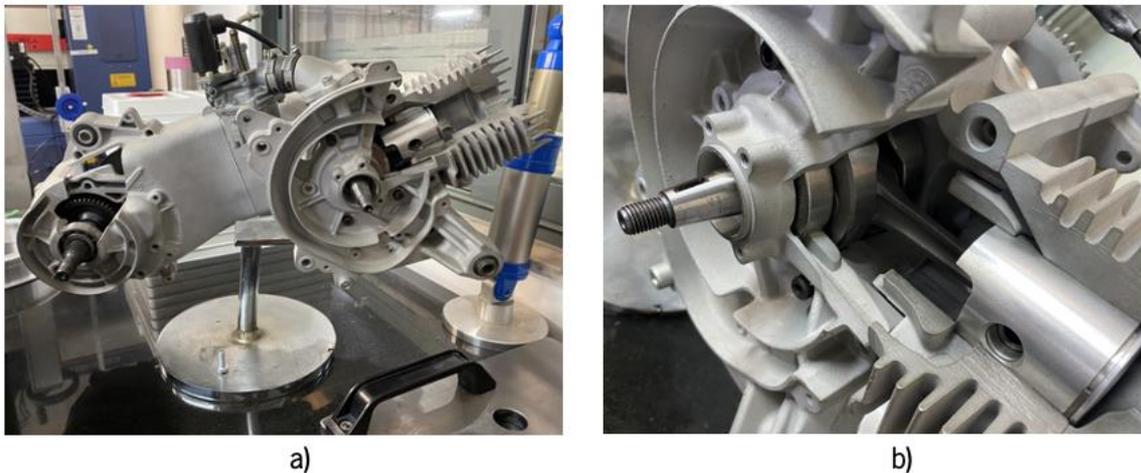


Figura 16 - Motor de uma scooter (a) e Cambota inserida no motor (b)

Visto que a JASIL produzia várias centenas de referências distintas de cambotas, tornou-se necessário identificar um único modelo de cambota, bem como os seus componentes, a analisar no âmbito do projeto. A maioria das cambotas, e os seus componentes, tinham um processo de fabrico bastante semelhante.

Inicialmente foi feito um estudo sobre quais as referências de cambota com maior volume de vendas no ano transato (2021), tendo-se chegado aos resultados apresentados na Figura 17. Com base nos resultados obtidos, a referência escolhida para análise foi a 6035003. Esta referência foi a sexta mais vendida em 2021, com um total de vendas de 1325 unidades.

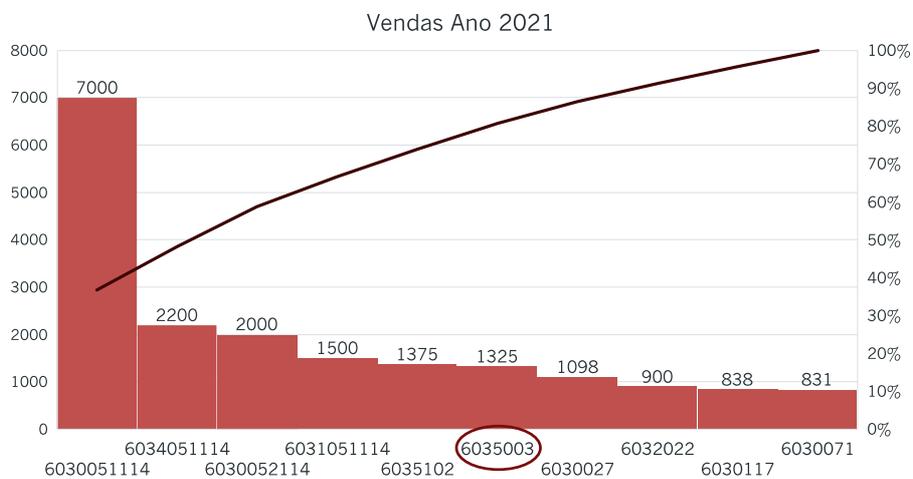


Figura 17 - Volume de vendas por referência de cambota no ano de 2021

A escolha da sexta referência mais vendida como base de análise foi feita tendo em conta dois fatores. Primeiramente, esta referência teve a maior rotação em 2021, ou seja, foi a referência mais vezes encomendada, facilitando assim o acompanhamento do seu processo produtivo, visto que entrava em produção em média quatro vezes por ano em lotes de cerca de 350 unidades. Esta referência contrastava com as outras cinco mais vendidas, uma vez, que por norma, estas entravam em produção apenas uma a duas vezes por ano. Por outro lado, a referência 6035003 representava a margem de lucro mais alta em relação a todos os modelos de cambotas produzidos, sendo esta na ordem dos 41%. Este modelo era ainda a referência mais vendida para o cliente de maior dimensão da JASIL, a *CGN – Centre Grossiste Nantais*.

4.1.1 Referência 6035003

A referência de cambota 6035003 dizia respeito ao modelo **Endurance Aprilia RS 5 Velocidades**. A BOM simplificada desta referência encontra-se apresentada na Figura 18. Assim, os componentes principais deste modelo eram: uma face curta de cambota (F3CFC185), uma face longa de cambota (F3CFL187), dois tacos azuis (F2TAC001), uma biela (F4BIE202) e uma cavilha (F3CAV026). A BOM multinível pode ser consultada no Anexo 2.

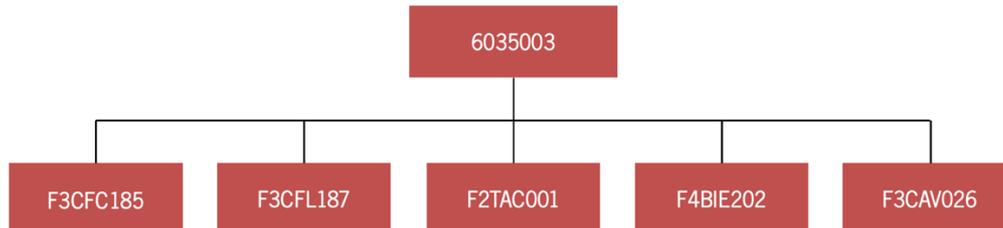


Figura 18 - BOM simplificada da referência 6035003

Todos os componentes começados por código F representavam um produto semiacabado que sofria a maior parte das operações na empresa, sendo que para algumas das etapas do processo era necessário recorrer à subcontratação de serviços. Os códigos F podiam ser de três tipos distintos: F1 – Forjamento; F2 – Torneamento/Maquinação e F3 – Retificação.

4.1.2 Processo produtivo

O processo produtivo dos componentes da cambota era composto por várias operações. Segue-se uma simples descrição de cada etapa do processo de fabrico das faces de cambota e da biela. O processo produtivo dos tacos e cavilhas não é contemplado no âmbito deste projeto devido à sua simplicidade de operações, na sua maioria apenas uma operação de tornear seguida de tratamento térmico.

4.1.2.1 Face de Cambota

O processo produtivo da face curta e da face longa da cambota era praticamente igual, diferindo apenas numa operação. A face longa sofria a retificação do cone, algo que não acontecia com a face curta. O fluxograma do processo produtivo da face longa de cambota pode ser visto na Figura 19. O fluxograma pode ser consultado com maior detalhe no Apêndice 1.

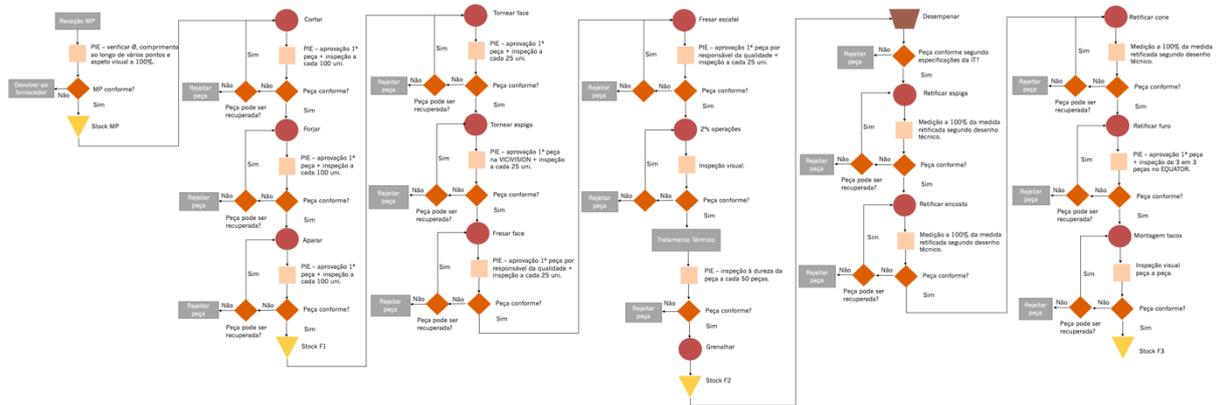


Figura 19 - Fluxograma processo produtivo da face longa de cambota

Assim, atendendo que as duas faces eram praticamente iguais, foram descritas apenas as operações relativas ao processo de fabrico da face longa. Nas Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 apresenta-se respetivamente a gama operatória do forjamento, do torneamento e da retificação.

Tabela 4 - Processo produtivo face de cambota - Forjamento

Fase	Operação	Descrição	Tempo da Ciclo	Imagem	Máquina
Forjamento (F1)	Cortar	O processo iniciava-se com o corte de barras de aço numa medida específica com ajuda de um serrote mecânico. Este tipo de serrote tem capacidade de cortar várias barras em simultâneo, sendo que a quantidade depende do diâmetro da barra e do material em questão.	0,50 min		
	Forjar	Após o corte, cada barra era recalçada numa máquina, através do aquecimento e do avanço da barra, numa espécie de bola na ponta. Esta máquina encontrava-se ao lado da prensa, que confere a forma desejada à parte da barra previamente aquecida, através da utilização de um molde específico do modelo em questão. Após o forjamento, as cambotas necessitavam de arrefecer lentamente durante 12h numa estufa própria.	1,50 min		
	Aparar	Depois de a peça estar totalmente arrefecida era necessário retirar o excesso de material da borda da cambota, através de uma prensa vertical. Após esta operação as peças podiam ser armazenadas como <i>stock</i> ou serem utilizadas de imediato.	0,33 min		

Tabela 5 - Processo produtivo face de cambota - Torneamento

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Torneamento (F2)	Tornear Face	A operação de tornear face dá início à segunda fase (F2) do processo de fabrico de cambotas. Esta operação era efetuada num torno mecânico que contava com um <i>robot</i> que alimentava e retirava as peças da máquina de maneira autónoma. Esta operação consistia na remoção de material da face da cambota, segundo as especificações do desenho técnico da referência em questão.	2,23 min		
	Tornear Espiga	O torneamento da espiga consistia na remoção de material suficiente para formar a espiga e a rosca no topo da mesma. Tal como na operação anterior era utilizado um torno mecânico e um <i>robot</i> para esta operação. Nesta operação a primeira peça necessitava de ser aprovada	2,71 min		
	Fresar Face	A operação de fresar face consistia em furar a face da cambota (foto à esquerda) e ainda dar a forma desejada à parte inferior da mesma (foto à direita). Esta operação era feita num centro de maquinagem.	1,50 min		
	Abrir Escatel	A operação de abrir escatel consistia na abertura de um escatel, i.e. uma ranhura, na parte superior da espiga.	0,67 min		
	Medronhar/Rebarbar	A operação de medronhar/rebarbar consistia na remoção de rebarbas que poderiam advir das operações anteriores. Esta operação era de valor não acrescentado mas crucial, pois uma pequena rebarba pode ser suficiente para estragar um motor onde a cambota será inserida.	0,17 min		
	Tratamento Térmico	O tratamento térmico teve como objetivo conferir as propriedades físicas e mecânicas desejadas à peça. Esta operação consistiu no recozimento do material, sendo que o mesmo permanecia nessa temperatura por um período definido e era posteriormente arrefecido de forma lenta.	3 dias		Subcontratação em Ovar
	Grenalhar	A operação de grenalhar limpou as peças através da utilização de granalha (partículas) de aço, numa máquina com um tambor giratório, onde eram inseridas as faces de cambota. Esta operação não acrescentava valor, contudo era necessária, pois através desta limpeza tornava-se possível remover material solto em superfícies metálicas.	0,20 min		

Tabela 6 - Processo produtivo face de cambota - Retificação

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Retificação (F3)	Desempenar	Esta operação consistia em desempenar a espiga, pois esta podia sofrer um pequeno empeno durante o tratamento térmico. O desempenar da espiga era necessário para garantir o paralelismo entre a espiga e a base da cambota. O empeno da espiga era primeiro verificado com ajuda de um comparador (máq. da direita) e em caso de empeno, a espiga era desempenada através da aplicação de pequenas pancadas em pontos específicos (máq. da esquerda).	0,27 min	Operação invisível a olho nu.	
	Retificar cone		0,67 min		
	Retificar Espiga	As operações de retificação do cone, encosto e espiga não tinham precedências entre si. Estas operações eram desenvolvidas em retificadoras e consistiam em pequenas remoções de material de forma a garantir as medidas específicas da referência em questão.	1,58 min		
	Retificar Encosto		0,58 min		
	Retificar furo	A etapa de retificação de furo central (incluir foto) consistia de igual modo na remoção de material de forma a garantir as especificações do modelo. Esta operação era crítica, pois, um furo central mal retificado podia resultar na impossibilidade de montagem da cambota.	1,00 min		
	Montar taco	A última operação do semiacabado em F3 consistia na montagem de tacos nos furos na face da cambota.	0,50 min		

4.1.2.2 Biela

O processo produtivo da biela era caracterizado por várias operações (Figura 20), sendo que muitas delas eram subcontratadas. O fluxograma do processo produtivo das bielas, em detalhe, pode ser consultado no Apêndice 2. As diferentes fases do processo produtivo das bielas encontram-se descritas nas Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10.

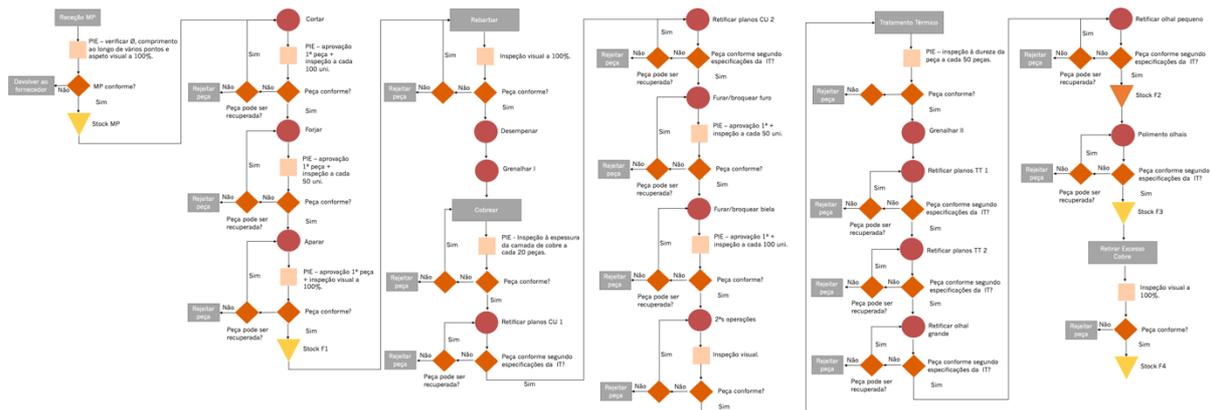


Figura 20 - Fluxograma processo produtivo das bielas

Tabela 7 - Processo produtivo bielas - Corte e forjamento

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Forjamento (F1)	Cortar	Tal como nas faces de cambota, a primeira operação do processo produtivo das bielas consistia no corte de várias barras de material, em simultâneo, numa medida específica com ajuda de um serrote mecânico.	0,30 min		
	Forjar	Na operação de forjamento da biela o pedaço de metal era introduzido numa máquina de indução de forma a este aquecer uniformemente. De seguida, a peça era introduzida entre dois moldes numa prensa e sofria uma pancada de modo ao material se espalhar no molde, obtendo-se assim a forma desejada. As bielas forjadas necessitavam ainda de arrefecer numa estufa própria pelo período mínimo de 12 horas.	1,35 min		
	Aparar	Tal como nas faces de cambota era necessário aparar a biela por forma a remover o material em excesso à volta da peça	0,33 min		
	Rebarbar	Após as bielas serem aparadas, estas necessitavam de ser rebarbadas. Esta operação consistia em rebarbar o excesso de material, à volta da biela, que não foi possível retirar na operação anterior.	1 dia		Subcontratação em Braga
	Desempenar	A operação de desempenar era necessária para garantir o paralelismo entre os othais da biela.	0,25 min	Operação invisível a olho nu.	
	Grenalhar I	Tal como nas faces de cambota, as bielas passavam pela operação de grenalhar que consistia numa limpeza para remoção de material solto na superfície da biela, através da utilização de granalha de aço, numa máquina com tambor que ia girando durante um período definido.	0,07 min		
	Cobrear	A operação de cobrear consistia em prevenir a corrosão do material.	1 dia		Subcontratação em Braga

Tabela 8 - Processo produtivo bielas - Torneamento e Retificação

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Torneamento e Retificação (F2)	Desempenar e retificar planos	As operações de desempenar e retificar os planos da biela eram efetuados no mesmo posto de trabalho com ajuda de uma única máquina de retificação mecânica. A operação de desempenar consistia em garantir o paralelismo dos olhais da biela, enquanto a operação de retificação de planos consistia em retificar o topo do olhal de modo a garantir as especificações de medida do modelo.	0,42 min		
	Furar/broquear	A operação de furar/broquear consistia em abrir os olhais da biela. Esta operação era efetuada com recurso a um centro de maquinagem.	0,67 min		
	Furar/medronhar	Nesta operação era adicionado um chanfro nos dois olhais em ambos os lados e era também adicionado um rasgo nas laterais do olhal grande.	1,00 min		
	2ªs operações	As 2ªs operações tratavam de remover a limalha e as pequenas rebarbas de forma manual que advinham do processo anterior. Esta operação não acrescentava valor, porém necessária.	1,00 min		
	Tratamento térmico	O tratamento térmico das bielas consistia no recozimento da peça, onde o material era aquecido, permanecendo a uma dada temperatura por um determinado período, sendo por fim arrefecido de forma lenta.	3 dias		Subcontratação em Ovar
	Granelhar II	Esta operação era igual à operação de granelhar I, ou seja, consistia na limpeza das peças através da utilização de granelha de aço.	0,07 min		
	Retificar planos I + II	Novamente, era necessário retificar a biela de modo a garantir o paralelismo dos olhais, e ainda as especificações necessárias em termos de dimensão.	1,33 min	Operação invisível a olho nu.	
	Retificar olhal I + II	A operação de retificar olhal consistia em retificar ambos os olhais da biela de modo a conferir as especificações necessária no que toca à dimensão dos mesmos.	2,00 min	Operação invisível a olho nu.	

Tabela 9 - Processo produtivo bielas - Polimento

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Polimento (F3)	Polimento	A operação de polimento tinha como objetivo diminuir a rugosidade do material da biela e ainda conferir um acabamento mais brilhante e apelativo à mesma.	1,00 min		

Tabela 10 - Processo produtivo bielas - Retirar cobre

Fase	Operação	Descrição	Imagem	Máquina
Retirar cobre (F4)	Retirar cobre	Esta operação consistia em retirar uma parte do cobre da biela pois o cliente em questão não desejava que a biela tivesse um acabamento em cobre. Contudo, o cobre não era retirado a 100%, pois o mesmo era necessário para garantir que a peça não sofresse corrosão. Porém, em termos estéticos, a biela aparentava não estar cobreada		Subcontratação em Braga

4.1.2.3 Montagem da cambota

Apesar de a secção de montagem de cambota não fazer parte do âmbito de projeto, apresenta-se na Figura 21 o fluxograma do processo de montagem da cambota e na Tabela 11 a descrição do mesmo.

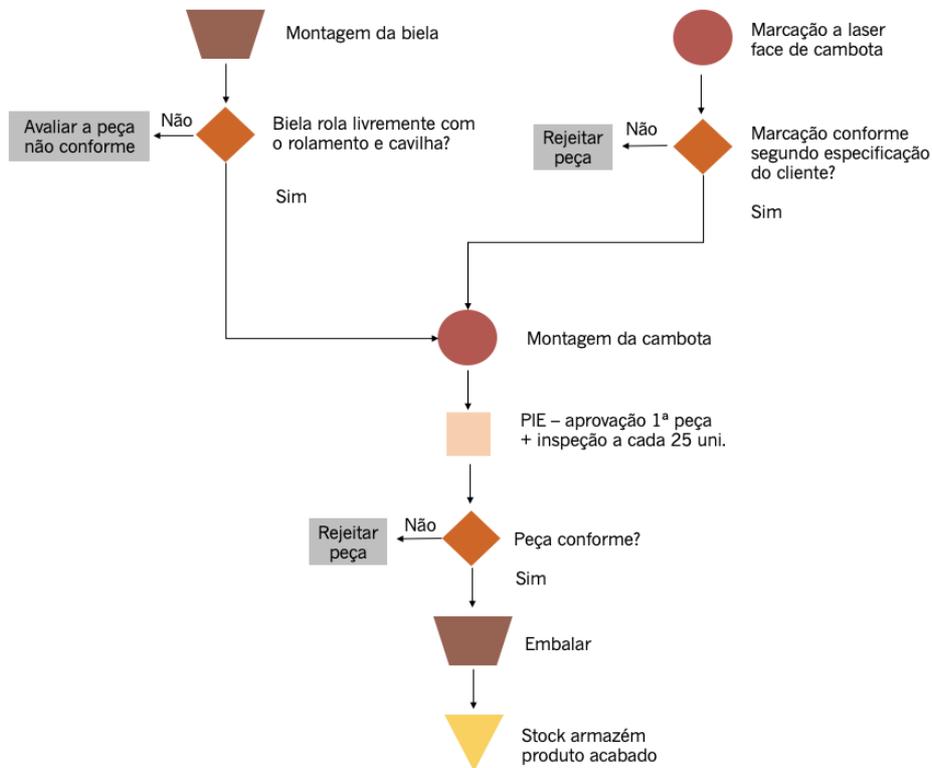


Figura 21 - Fluxograma processo de montagem do produto final

Tabela 11 - Processo de montagem do produto final

Fase	Operação	Descrição	Tempo de Ciclo	Imagem	Máquina
Montagem cambota	Montagem da biela	A etapa de montagem da biela consistia em inserir uma cavilha dentro de um rolamento de agulhas dentro do olhal grande da biela. Estes três componentes estavam apenas inseridos uns nos outros e não fixos, era necessário um manuseamento cuidado após a montagem de modo ao conjunto não se separar.	0,46 min		Operação manual sem recurso a máquina.
	Marcação a laser	Marcação a laser da face longa com a marca e o número da ordem de produção. A marcação deste último tinha como objetivo identificar qual a ordem de produção que dava origem à cambota final, de modo a ser possível rastrear o processo produtivo na eventualidade de haver problemas com o produto final no cliente.	0,58 min	Devido a acordos de confidencialidade com o cliente não é possível divulgar a marcação a laser.	
	Montagem da cambota	União da biela montada com as duas faces da cambota. Esta operação era feita com recurso a uma máquina, onde uma das faces da cambota era posicionada através da espiga num molde. De seguida, era colocado um anillo no furo destinado à cavilha e, posteriormente era inserido o conjunto da biela com a cavilha cuidadosamente. Por fim, posicionava-se um outro anillo no orifício destinado à cavilha na outra face de cambota, e através da aplicação de pressão por parte da máquina, a cavilha ficava presa entre as duas faces, sendo que a biela tinha de rodar livremente entre as faces.	1,39 min		
	Embalar	Por fim, era apenas necessário olear a cambota, meter a mesma dentro de um saco de plástico e embalar o produto final segundo as especificações do cliente. Neste caso, a caixa era propriedade do cliente e continha a cambota, uma folha com instruções de montagem e ainda um autocolante da marca.	0,93 min	Devido a acordos de confidencialidade com o cliente não é possível divulgar a caixa do cliente.	

4.1.3 Processo de aprovação de faces de cambota

Sendo a qualidade de grande importância para a JASIL a empresa desenvolveu mecanismos de ajuda à aprovação de peças. Para cada referência de cambota, e muitos outros produtos, foram desenvolvidos Planos de Inspeção e Ensaio (PIE) onde constam quais as cotas que devem ser controladas em cada peça e quais as suas tolerâncias. Cada PIE estava disponível para cada Ordem de Produção (OP), ou seja, encontrava-se disponível para cada operador que efetuasse essa mesma OP (Figura 22).

Testes de Qualidade F2CFC055TE/00

(Aprovação 1ª Peça)

PROGRAMA VICI: Jasil Cambotas / Tornoamento Espiga / F2CFC055

PEÇA PODE SER APROVADA PELO OPERADOR DE MONTAGEM

VERIFICAR EMPENO DA CAMBOTA

Cota	Método	Instância	Calib/Verif	Valor	Lim. Inf	Lim. Sup.
01 - Cota para subespessura	MICRÔMETRO					
02 - Cota para subespessura	MICRÔMETRO					
03	ANEL ROSCADO - M					
A - ISENTA DE REBARBAS	MÉTODO VISUAL					
B - BOM ACABAMENTO	MÉTODO VISUAL					
C - PROFUNDIDADE DO FURTO	MÉTODO VISUAL					
VERIFIQUEI EMPENO DA PEÇA	COMPARADOR					

Figura 22 - Exemplo de PIE

A empresa efetuou ainda investimentos avultados em várias VICIVISION (Figura 23), i.e., máquinas que através de medição com raios laser, determinavam se a peça se encontrava dentro das especificações do PIE.



Figura 23 Máquina de medição VICIVISION

No que toca ao processo produtivo das cambotas, inicialmente, qualquer matéria-prima que chegava à empresa era controlada por forma a garantir que a mesma cumpria com o diâmetro e comprimento estipulos na encomenda. Era ainda efetuado um controlo visual do aspeto geral das barras de matéria-prima.

De seguida, nas operações do forjamento, era necessário efetuar a medição da primeira peça, e consoante as medidas da mesma, aprovar ou não a mesma. Nesta fase do forjamento, o operador tinha total autonomia para aprovar a 1ª peça. Após esta aprovação eram verificadas as medidas de 50 em 50

peças com recurso a um paquímetro. De salientar que todos os equipamentos de medição utilizados na JASIL eram controlados e calibrados a cada seis meses.

Já no torneamento, na operação de torneiar face, a primeira operação desta fase, a 1ª peça poderia ser aprovada pelo operador caso esta estivesse conforme segundo o PIE, mas no caso deste não existir, um colaborador do Departamento de Qualidade tinha forçosamente de aprovar a 1ª peça. De modo a facilitar a comunicação entre os operadores e o Departamento de Qualidade, cada máquina na secção de tornos sem alimentador possuía um sistema *Andon* (Figura 24), onde os operadores podiam chamar o Departamento de Qualidade para pedir a medição de peças, informar que a máquina estava em montagem ou a produzir e, ainda, avisar o Departamento de Manutenção que a máquina estava com uma avaria num dado momento.



Figura 24 - Sistema Andon na JASIL

No que toca ao torneiar espiga, o operador tinha autonomia para aprovar a 1ª peça após verificar as medidas da mesma na VICIVISION. Caso a máquina comprovasse que todas as medidas estavam de acordo com o PIE, a 1ª peça podia ser aprovada e a produção podia prosseguir, caso contrário, o operador efetuava as alterações necessárias no programa de maquinação e confirmava novamente as medidas da peça na VICIVISION. Ainda nesta operação existia um sistema *poka-yoke* que visava garantir a conformidade da rosca no topo da espiga. Este controlo era efetuado através de uma peça que tinha obrigatoriamente de enroscar na rosca da espiga para comprovar que a mesma tinha sido torneada corretamente, e ainda uma outra peça que obrigatoriamente não podia entrar na rosca, pois caso entrasse significava que a rosca estava abaixo da medida pretendida.

Nas operações de fresar face e abrir escatel, a 1ª peça tinha obrigatoriamente de ser aprovada por um membro do Departamento de Qualidade devido a uma complexidade acrescida de estas operações face

às anteriores. Para todas as operações na fase de torneamento, após a 1ª peça estar aprovada, era necessário confirmar as medidas de 25 em 25 peças com a ajuda de um paquímetro ou, em caso de dúvidas nas dimensões da espiga, medir a peça na VICIVISION.

Por fim, nesta fase, existia um último controlo de qualidade, nomeadamente à dureza das peças que chegavam do tratamento térmico. Atendendo que as peças necessitavam de uma dureza específica para garantir que as mesmas não sofriam problemas no cliente final, após a chegada das mesmas, era verificada a dureza de uma em cada 25 peças.

Na última fase, a de retificação, existia um controlo peça a peça por forma a garantir que todas as peças tinham as medidas definidas pelo cliente. Assim, na operação de desempenar face, todas as peças eram verificadas de forma manual, com a ajuda de um comparador, para se perceber quais faces tinham a espiga empenada. Já na retificação do cone e espiga, todas as peças eram verificadas com o auxílio de um micrómetro. Na retificação do encosto, não existia controlo de medidas visto que o objetivo principal desta operação era remover uma espessura mínima de modo à peça ficar brilhante.

Contudo, a medida final da altura da base da cambota era verificada na operação de retificação do furo. Nesta operação, a 1ª peça tinha de ser aprovada com a ajuda de uma máquina de medição EQUATOR (Figura 25), que mostrava se a peça estava ou não conforme segundo as especificações do PIE. Após a aprovação da 1ª peça, efetuava-se um controlo de três em três peças na mesma máquina, sendo que a espessura da base da cambota de todas as peças era medida com a ajuda de um micrómetro após estas saírem da máquina. Por fim, na montagem de tacos, o controlo de qualidade era efetuado de forma visual, onde o objetivo era garantir que os tacos eram inseridos de maneira a ficarem ao mesmo nível da base da cambota, i.e., não ficarem mais altos ou baixos, de ambos os lados, do que a altura do orifício onde eram inseridos.



Figura 25 - Máquina de medição EQUATOR

4.1.4 Planeamento e controlo da produção

De modo a satisfazer a procura dos clientes é necessário planear e controlar as atividades de produção na empresa. O planeamento e controlo de produção na JASIL encontra-se dividido no longo, no médio e no curto prazo, tendo-se respetivamente, o Plano Estratégico, o Plano Operacional e o Plano Tático.

O departamento de Conceção & Design (C&D) e Orçamentos tinha a seu cargo o Plano Estratégico. Este departamento era responsável pela criação e desenvolvimento de novos produtos, em conjunto com os clientes, por forma a identificar os seus requisitos e necessidades, sendo que determinavam ainda se a empresa tinha capacidade para acolher um novo projeto em termos de espaço e equipamentos. Ainda inserido no Plano Estratégico, o departamento era responsável por garantir a capacidade competitiva da organização e ainda assegurar que todos os recursos eram utilizados da maneira mais eficaz.

O Plano Operacional estava a cargo do departamento de Planeamento & Produção e do departamento Comercial. Em conjunto, era efetuado um plano para o horizonte temporal de um ano, sendo que o mesmo era revisto numa base diária, de modo a acomodar eventuais alterações de encomendas por parte dos clientes. Assim, a produção era planeada inicialmente tendo em conta as encomendas em carteira para o próximo ano, seguidas das encomendas relativas a previsões de vendas e ainda encomendas físicas que iam sendo pedidas ao longo dos meses por parte de alguns clientes.

Por fim, o Plano Tático era realizado primeiramente numa base semanal. A JASIL utilizava um escalonador de produção que todos os domingos atualizava quais as OPs que deviam ser efetuadas na semana de trabalho que se ia iniciar, tendo por base as datas confirmadas ao cliente por parte do Departamento Comercial. Em cada secção de trabalho existia um Posto de Aquisição de Dados (PAD) (Figura 26), onde o trabalhador tinha acesso às OPs a serem produzidas numa dada semana de trabalho, e ainda, qual o material que tinha à sua disposição para dar início a uma OP. Posteriormente, tendo em conta os imprevistos que podiam acontecer, como por exemplo falta de material, problemas de qualidade ou ainda prioridades excecionais, o plano de trabalho definido pelo escalonador de produção podia sofrer alterações diárias, sendo o departamento de Planeamento & Produção responsável por as efetuar.



Figura 26 - Posto de Aquisição de Dados (PAD)

4.2. Descrição detalhada do estado atual

Após a caracterização do produto escolhido e o seu processo produtivo, segue-se a análise crítica ao estado atual da área de torneamento e área de retificação de modo a serem identificados problemas existentes para, em seguida, se apresentarem sugestões de melhoria. Inicialmente foram desenvolvidos *VSMs* para se avaliar o fluxo de valor no processo produtivo. De seguida desenvolveram-se Diagramas de *Spaghetti* para se identificar o fluxo de movimentações no processo. Foram ainda analisadas as quantidades de OPs em atraso em relação à data de entrega ao cliente seguinte e em relação à data do programa escalonador através da manipulação de dados disponíveis no sistema informático da empresa. Recorreu-se ainda ao Diagrama Causa-Efeito para englobar as potenciais causas dos atrasos nas datas supramencionadas e, de seguida, o *5Whys* para apurar as causas raiz.

4.2.1 Value Stream Mapping (VSM) das faces de cambota e da biela

Inicialmente foi desenvolvido um VSM com o objetivo de recolher o máximo de informação possível relativa ao processo produtivo dos diferentes elementos que compõem uma cambota. Para tal, o processo produtivo da face longa e curta da cambota, bem como o processo da biela, da cambota escolhida no âmbito deste projeto, foram acompanhados durante a sua produção e foram ainda consultados dados das OPs anteriormente executadas de forma a ser possível ter uma maior noção dos

tempos de espera entre operações. Contudo, o processo produtivo da cavilha e dos tacos não foram acompanhados devido à sua simplicidade.

Dado os diferentes tipos de informação disponível foi necessário definir à priori quais os indicadores a incluir no mapeamento do processo, sendo eles:

- **Tempo de Ciclo (TC):** Tempo, em minutos, que demorava a produzir uma peça. Sendo que todos os tempos de ciclo do processo desta referência de cambota tinham sido revistos recentemente, o TC apresentado em cada operação era o tempo registado no sistema informático;
- **Tempo de Setup (TS):** Tempo, em minutos, desde o momento em que o operador iniciava a montagem da máquina para uma nova OP até registar a primeira peça.
- **Overall Production Effectiveness (OPE):** Na JASIL, o OPE de produção era caracterizado pela razão do total das horas de ocupação da máquina pelo tempo disponível para produção da máquina.

$$OPE = \frac{\text{Total de horas de ocupação da máquina}}{\text{Tempo total disponível da máquina}} * 100$$

- **Disponibilidade por dia (Disp/dia):** Tempo, em minutos, disponível por dia para realização de uma dada operação;
 $Disp/dia = n^{\circ} \text{ de horas de trabalho alocadas a uma máquina} * 60 \text{ min (minutos)}$
- **Trabalho em curso (WIP):** quantidade total de peças em processo produtivo às quais não se estava a acrescentar valor.

Após a identificação dos indicadores a utilizar procedeu-se ao desenvolvimento dos *VSMs* relativos à face longa de cambota, face curta de cambota e biela, que se encontram no Apêndice 3 e Apêndice 4. Na Tabela 12 apresentam-se as principais conclusões retiradas do mapeamento de fluxo de valor aos processos produtivos. É de notar a baixa percentagem de atividades que acrescentam valor durante o processo produtivo, e ainda o tempo de espera excessivo da matéria-prima e dos componentes após a sua última operação, i.e., o tempo de espera até serem montados e transformados em produto final.

Tabela 12 - Resumo dos *VSMS* realizados para as faces de cambota e para a biela

Produto	Valor Acrescentado (VA)	Tempo de Ciclo	% Atividades Acrescentam Valor (%AAV)	Tempo MP em stock	Tempo em espera antes montagem produto final	Operações a destacar
Face Longa Cambota	4334,01 min	33,16 dias = 47750,40 min	9,08%	64 dias	98 dias	5 dias à espera para fresar face; 7 dias à espera para medronhar; 4 dias à espera para montar tacos.
Face Curta Cambota	4334,71 min	28,40 dias = 40896,00 min	10,60%	12 dias	98 dias	6 dias à espera para fresar face; 5 dias à espera para medronhar; 4 dias à espera para montar tacos.
Biela	11529,68 min	108,48 dias = 156211,20 min	7,38%	5 dias	53 dias	12 dias à espera para forjar; 10 dias à espera para rebarbar; 7 dias para retificar planos cobre; 6 dias para retificar planos tratamento térmico; 25 dias à espera para polimento; 37 dias à espera para retirar cobre.

Algumas das operações a destacar nas faces de cambota são as operações de fresar face e montar tacos, e a operação de rebarbar. Esta operação, como mencionado anteriormente, é uma operação manual de valor não acrescentado, porém necessária, pois a operação de fresar face não garante a remoção total de rebarbas e limalhas das peças. Ainda em relação às faces de cambota, as mesmas esperaram cinco dias, em stock, entre o fim do processo de forjamento (F1) e o início do processo de torneamento (F2).

No que toca às bielas, as operações de forjar e rebarbar destacavam-se, mas não tanto quanto as operações de retificar planos após cobrear e após tratamento térmico, o polimento dos olhais e retirar cobre. Contudo, atendendo que a biela analisada podia ser utilizada noutros modelos de cambota após o polimento dos olhais, optava-se na maior parte das vezes por produzir uma quantidade de bielas que satisfizesse tanto os modelos de cambota com a biela após polimento dos olhais, como os modelos que utilizavam a biela após retirar cobre, originando esta escolha em tempos elevados de espera entre as duas operações.

4.2.2 Fluxo de materiais no processo produtivo de faces de cambota e de bielas

Atendendo que o layout implementado na empresa era por função, a quantidade de movimentações dos materiais era extensa e os fluxos de produção eram complexos e confusos. Assim, foram desenvolvidos Diagramas de Spaghetti com o intuito de demonstrar e quantificar o fluxo de materiais no processo produtivo.

Pela Figura 65 no Apêndice 5 é possível verificar o percurso extenso que as faces de cambota percorriam durante o seu processo produtivo. O percurso total de cada um destes componentes totalizava aproximadamente 600 metros, sendo o percurso mais longo o trajeto entre a fábrica e o armazém (350m). No que toca às bielas (Figura 66 do Apêndice 6), a distância total percorrida durante o processo produtivo era de aproximadamente 1000 metros, muito devido à quantidade de operações

subcontratadas que exigiam a constante movimentação das peças para a zona de expedição e receção de processos subcontratados.

4.2.3 Análise de ordens de produção em atraso

Após a identificação do fluxo de valor e fluxo de materiais era crucial quantificar as OPs em atraso ao longo do processo produtivo. A análise que se segue contempla apenas os processos internos da JASIL, excluindo assim as operações realizadas em subcontratados. Assim, nesta fase foram avaliados os atrasos em relação à data de entrega ao cliente seguinte e ainda o atraso em relação ao escalonador de produção. Tal como referido na secção 4.1.4, o escalonador de produção era atualizado todos os domingos, e assim, as OPs não realizadas numa dada semana, seriam escalonadas para uma nova data a cada atualização.

4.2.3.1 Faces de cambota

Através de dados compilados ao longo de oito semanas, através de dados retirados do sistema todas as sextas-feiras antes da atualização realizada cada domingo, foi possível analisar quais as operações com um maior número de OPs em atraso e ainda priorizar a intervenção sobre as mesmas. Pela Figura 27 e Figura 28 visualiza-se o cumulativo de OPs em atraso do processo em F2 e do processo em F3 respetivamente. Para ambos os processos, era notório o atraso tanto em relação à data de entrega ao cliente seguinte, bem como o atraso em relação à data do programa escalonador.

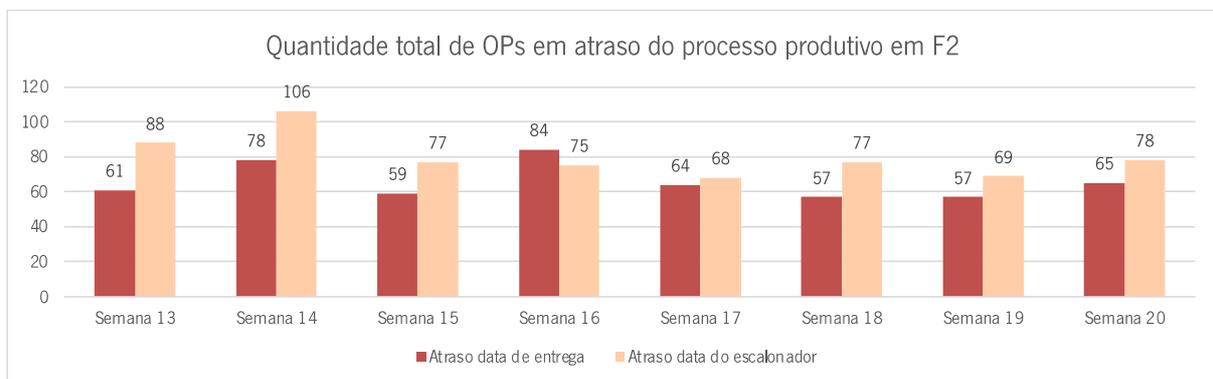


Figura 27 - Quantidade total de OPs em atraso em F2

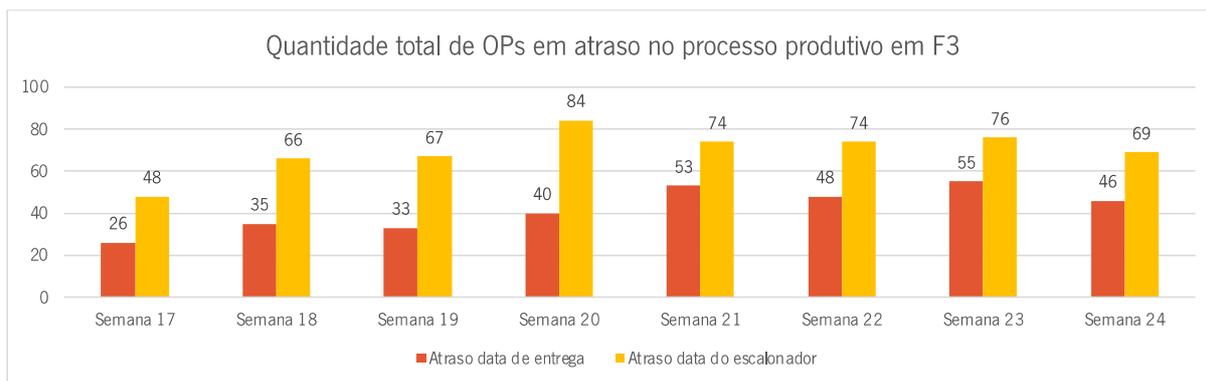


Figura 28 - Quantidade total de OPs em atraso em F3

Analisando detalhadamente cada operação do processo produtivo em F2, foi possível observar situações previamente expostas pelo VSM apresentado na secção 4.2.1. Apesar de todas as operações terem um número considerável de OPs em atraso, tanto em relação ao cliente seguinte, como em relação à data do programa escalonador (Apêndice 7), a operação de fresar face e 2^{as} operações destacavam-se nitidamente pela negativa. A primeira, (Figura 29) apresentava o valor total mais alto de OPs atrasadas em relação à data do programa escalonador, no total de 154 OPs, o que significa que ao longo das oito semanas de análise esta totalidade de OPs não foram realizadas na semana estipulada.

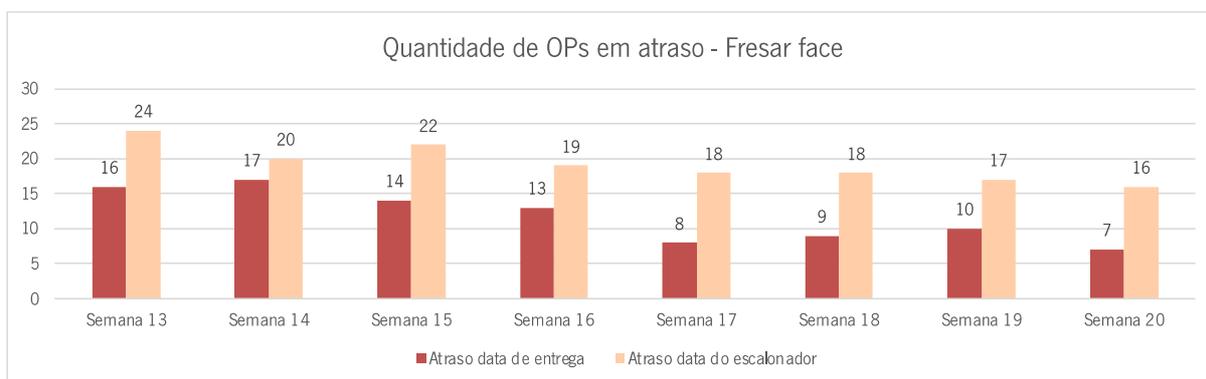


Figura 29 - Quantidade total OPs em atraso fresar face

Já a segunda, as 2^{as} operações (Figura 30), totalizava a quantidade em atraso mais alta em relação à data de entrega ao cliente seguinte, perfazendo 217 OPs.

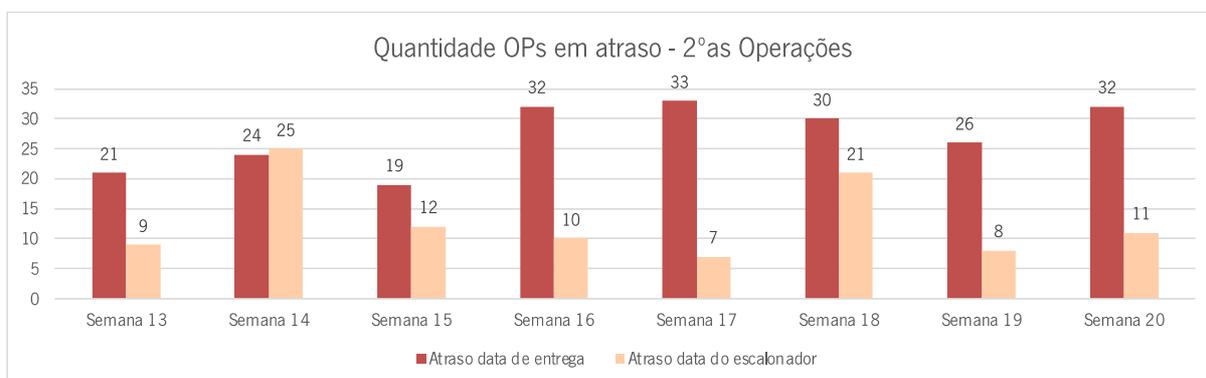


Figura 30 - Quantidade total de OPs em atraso 2^{as} operações

Para se identificar a causa raiz dos atrasos nesta operação específica, optou-se pela utilização da ferramenta *5Whys* apresentada na Figura 31.

<p>Why (1): Porque é que existiam tantas OPs em atraso em relação ao cliente seguinte nas 2^{as} operações? A secção de acabamentos encontrava-se sobrecarregada.</p> <p>Why (2): Porque é que a secção de acabamentos se encontrava sobrecarregada? Devido à necessidade de retirar rebarbas e limalhas de vários tipos de produtos que não só cambotas.</p> <p>Why (3): Porque é que existia a necessidade de retirar rebarbas e limalhas de vários tipos de produtos? Devido a muitos dos programas de maquinação não estarem otimizados.</p>
--

Figura 31 - *5Whys*: Elevado número de OPs em atraso na operação de 2^{as} operações

Como resultado dos *5Whys* pode constatar-se que devido a muitos dos programas de maquinação não estarem otimizados, o fluxo de materiais nas 2^{as} operações aumentava, originando uma sobrecarga de trabalho na secção. Visto estas operações serem de retrabalho era crucial eliminar as mesmas.

Na secção de retificação (F3), todas as operações destacavam-se pela negativa em relação a ambas as datas em análise (Apêndice 8) destacava-se a operação de retificar espiga, onde a principal causa dos atrasos se dever ao facto de a fábrica estar dividida por função, o que significava que a secção de retificação retificava todo o tipo de peças que necessitasse de retificação cilíndrica. Assim, caso fosse necessário retificar uma grande quantidade de veios numa dada semana, a retificação de cambotas diminuía drasticamente pois as máquinas disponíveis eram alocadas a outras peças.

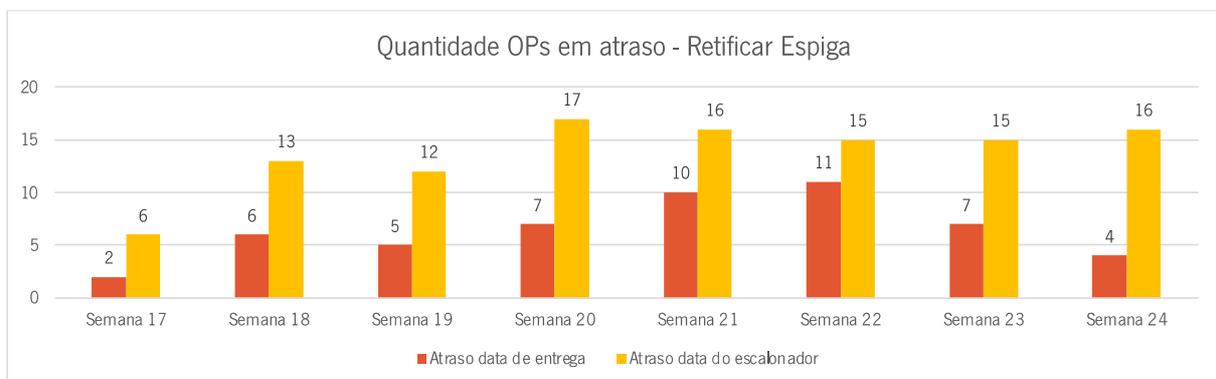


Figura 32 - Quantidade total de OPs em atraso retificar espiga

A operação de retificar o furo (Figura 33), destacava-se com a totalidade mais alta de OPs em atraso tanto em relação ao cliente seguinte, como à data do programa escalonador. Esta operação em específico estava escalonada a três turnos, mas atendendo que o turno da noite era incerto, a capacidade real não correspondia à capacidade projetada no programa escalonador.

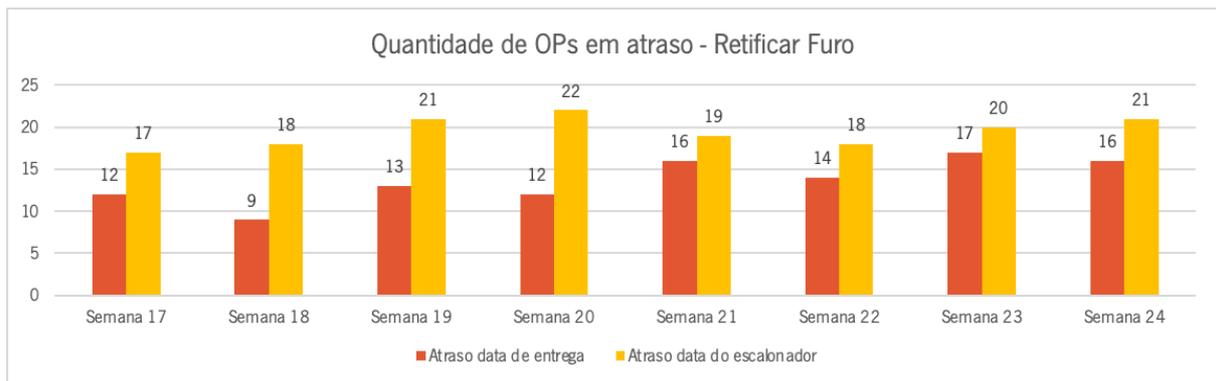


Figura 33 - Quantidade total de OPs em atraso retificar furo

Para a operação de montagem de tacos (Figura 34), o número de OPs acumuladas era significativo devido a não existir um operador afeto apenas à esta operação. Dado que o operador que desempenhava a operação montagem de tacos, era também responsável por desempenhar faces de cambota, quando a carga de trabalho era elevada nas duas operações, era inevitável a acumulação de OPs em ambas. Por outras palavras, o programa escalonador alocava a capacidade de um turno, e conseqüentemente um operador, à operação de montagem de tacos, o que não correspondia à realidade. O tempo de espera elevado para a execução desta operação foi inicialmente evidenciado no VSM apresentado na secção 4.2.1.

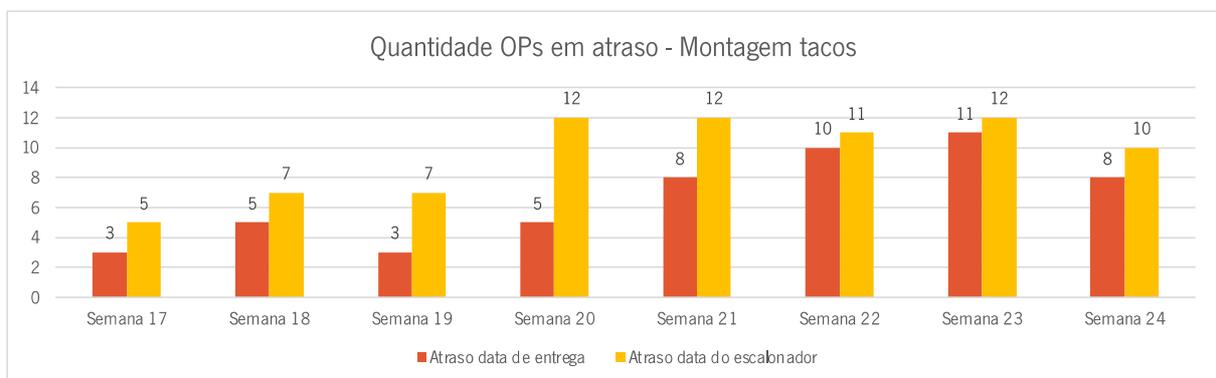


Figura 34 - Quantidade total de OPs em atraso montar tacos

Tendo em consideração os atrasos apresentados em todas as operações de cada uma das secções analisadas em cada um dos processos produtivos, utilizou-se a ferramenta Diagrama de Causa-Efeito (Figura 35) com a categorização 6M (Método, Meio Ambiente, Mão-De-Obra, Máquina, Matéria e Medição), com o intuito de descobrir possíveis causas raiz comuns a todas as operações.

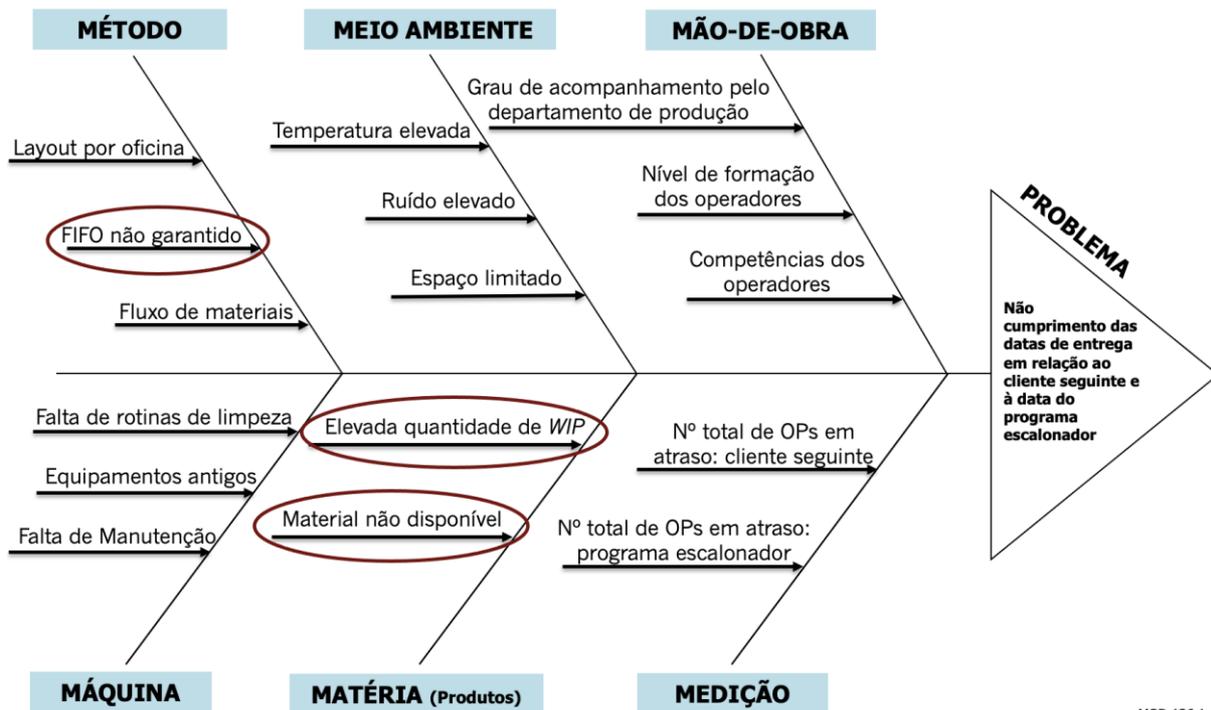


Figura 35 - Diagrama Causa-Efeito relativo ao atraso da data de entrega de OPs

Após a realização do Diagrama Causa-Efeito, analisaram-se as causas raiz com incidência consecutiva no processo produtivo. As restantes causas, apesar de contribuírem de forma individual e negativa para o problema identificado, optou-se por não as desenvolver uma vez que as três causas sinalizadas careciam de atuação imediata. Procedeu-se assim à análise aprofundada das causas verificadas, através da ferramenta *5Whys*.

Causa 1: FIFO não garantido

Como resultado dos *5Whys* (Figura 36) destaca-se a falta de acompanhamento às diversas secções por parte do departamento de planeamento e produção. Desta forma, o acompanhamento contínuo dos operadores e das secções surge como ação.

- Why (1): Porque é que o FIFO não era garantido?
Os trabalhadores utilizavam o critério errado para decidir qual a OP a efetuar.
- Why (2): Porque é que os trabalhadores utilizavam o critério errado para decidir qual a OP a efetuar?
Devido a não lhes ter sido comunicado individualmente qual o critério correto a seguir.
- Why (3): Porque é que não foi comunicado aos trabalhadores qual o critério correto a seguir?
Não houve o correto acompanhamento às diversas secções por parte do departamento de planeamento e produção.

Figura 36 - *5Whys*: FIFO não garantido

Causa 2: Elevada quantidade de *WIP*

No que toca à elevada quantidade de *WIP*, como resultado dos *5Whys* (Figura 37) verificou-se o pedido constante aos operadores, por parte do Departamento de Planeamento e Produção, para efetuarem OPs que não estavam planeadas para uma dada semana. Apesar de o objetivo ser não atrasar ainda mais certas encomendas do cliente, o resultado era OPs consequentemente atrasadas.

Why (1):	Porque é que existia uma elevada quantidade de <i>WIP</i> ? Devido a uma grande parte das encomendas à produção serem feitas com base em previsões de vendas dos últimos 12 meses.
Why (2):	Porque é que uma grande parte das encomendas à produção era feita com base as previsões de vendas dos últimos 12 meses? Devido à empresa querer satisfazer o mais rápido possível o cliente na eventualidade de este fazer uma encomenda?
Why (3):	Porque é que a empresa queria satisfazer o cliente mais rapidamente? Devido ao grande número de encomendas em atraso e por conseguinte uma estimativa de data de entrega muito prolongada no tempo.
Why (4):	Porque é que existia um grande número de encomendas em atraso? Devido aos operadores terem dificuldades em seguir o plano de trabalho semanal.
Why (5):	Porque é que os operadores tinham dificuldades em seguir o plano de trabalho semanal? Devido a lhes ser pedido consequentemente para fazerem OPs que não estavam planeadas numa dada semana de modo a satisfazer encomendas muito atrasadas.

Figura 37 - *5Whys*: Elevada quantidade de *WIP*

Causa 3: Material não disponível

Por fim, através do *5Whys* (Figura 38) foi possível identificar que a causa raiz do material não se encontrar disponível era devido ao acompanhamento faltoso às diversas secções por parte do departamento de planeamento e produção, que levou a que os operadores não soubessem qual era o critério correto a ser utilizado para decidir qual a OP a efetuar.

Why (1):	Porque é que o material não se encontrava disponível? Devido às OPs não serem produzidas na data estipulada para tal.
Why (2):	Porque é que as Ops não eram produzidas na data definida? Os trabalhadores utilizavam o critério errado para decidir qual a OP a efetuar.
Why (3):	Porque é que não foi comunicado aos trabalhadores qual o critério correto a seguir? Não houve o correto acompanhamento às diversas secções por parte do departamento de planeamento e produção.

Figura 38 - *5Whys*: Material não disponível

4.2.3.2 Bielas

No processo produtivo das bielas analisaram-se igualmente dados compilados durante oito semanas e constatou-se a mesma situação que com as faces de cambota, isto é, um grande número de OPs atrasadas em relação ao cliente seguinte e em relação à data do programa escalonador (Apêndice 9). Na Figura 39 torna-se visível a quantidade total de OPs em atraso em relação às duas datas que o estudo contempla. Novamente, foram apenas contempladas as operações efetuadas internamente na JASIL. Neste processo destacavam-se as operações de retificação de planos após cobre e após tratamento térmico e ainda a retificação do olhal grande e olhal pequeno.

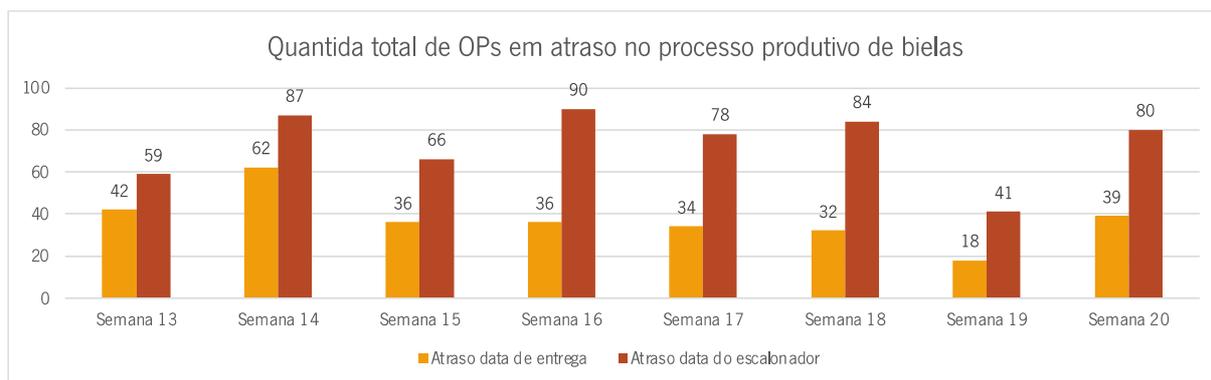


Figura 39 - Quantidade total de OPs em atraso bielas

Na primeira operação, destacava-se a elevada quantidade tanto em relação à data de entrega como em relação à data do programa escalonador. Tanto a operação “retificar planos cobre” (Figura 40) como a operação “retificar planos tratamento térmico” (Figura 41), eram desempenhadas pelo mesmo operador. Sendo que a primeira operação era desempenhada numa máquina e a segunda operação numa outra máquina, e visto que estas se encontravam de costas uma para a outra, o operador tinha bastantes dificuldades em operar as duas máquinas em simultâneo, mesmo que o tempo de ciclo de cada uma das operações o permitisse. Esta situação traduziu-se em atrasos, em ambas as operações, nas datas em estudo.

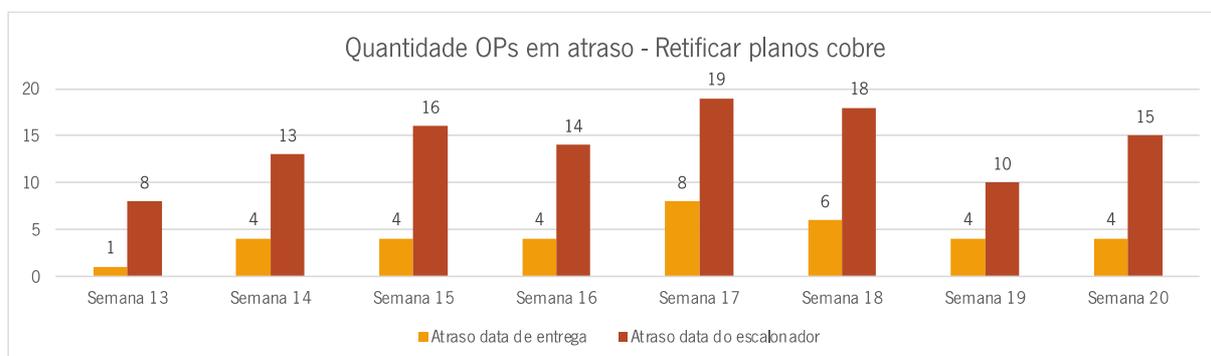


Figura 40 - Quantidade total de OPs em atraso retificar planos cobre

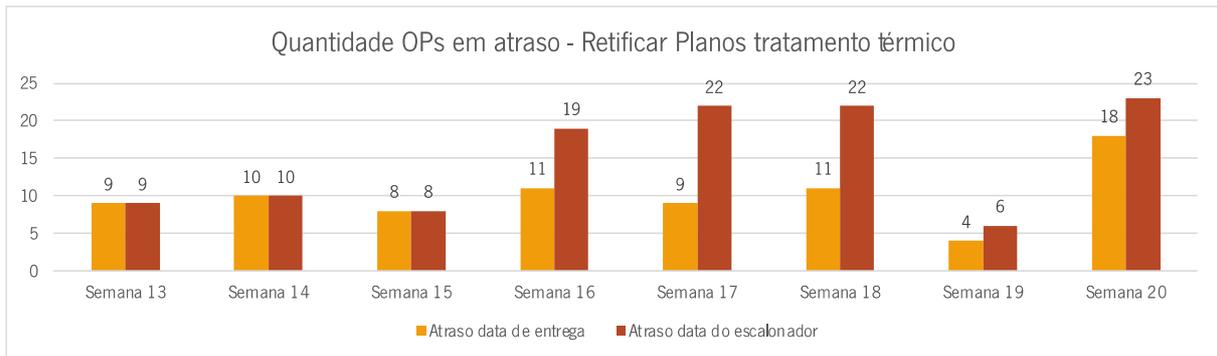


Figura 41 - Quantidade total de OPs em atraso retificar planos tratamento térmico

Por outro lado, as operações de “retificar olhal grande” (Figura 42) e “retificar olhal pequeno” (Figura 42) destacavam-se igualmente pela negativa em relação a ambas as datas. Para os atrasos nestas operações salienta-se a baixa médica prolongada do operador do turno da noite, não tendo sido possível preencher o seu lugar com os recursos disponíveis da empresa.

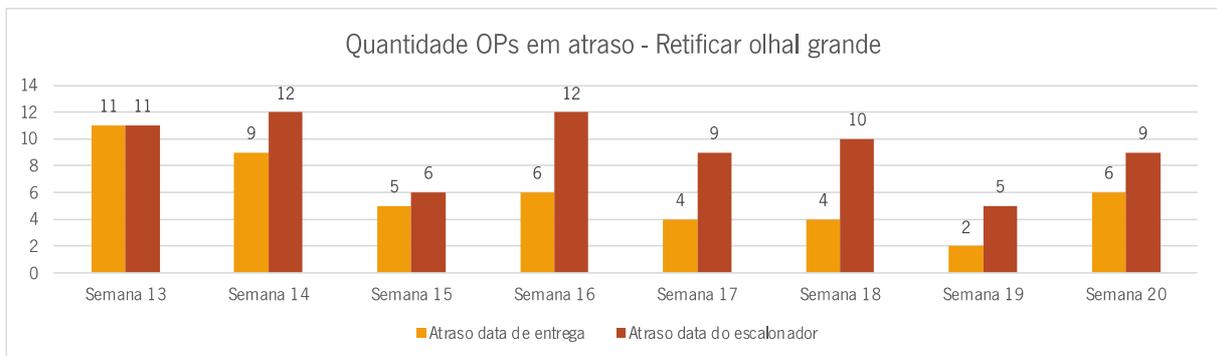


Figura 42 - Quantidade total de OPs em atraso retificar olhal grande

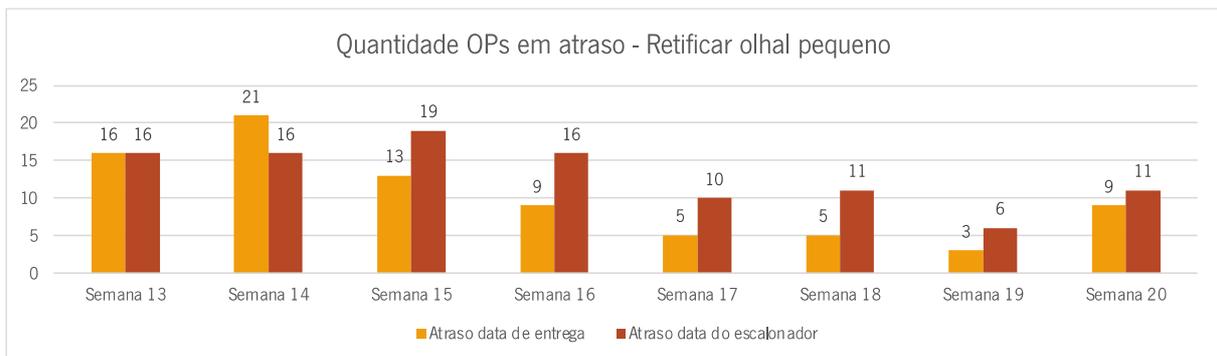


Figura 43 - Quantidade total de OPs em atraso retificar olhal pequeno

Tendo em consideração os atrasos nas restantes operações do processo produtivo da biela destaca-se novamente o Diagrama Causa-Efeito, previamente apresentado na Figura 35, e a análise aprofundada, previamente desenvolvida, às causas verificadas no diagrama.

4.2.4 Outros problemas identificados nas secções

Após a identificação de problemas nas áreas de torneamento e retificação, foi possível observar dentro das mesmas outros problemas e desperdícios. Segue-se uma breve descrição das situações encontradas.

4.2.4.1 Existência de máquinas não utilizadas

A máquina apresentada na Figura 44 encontrava-se avariada sem possibilidade de reparação, estando a ocupar uma área útil produtiva de 6m². Deste modo, era necessário remover a mesma por forma a tornar o espaço numa área produtiva com retorno monetário.



Figura 44 - Torno avariado na secção de torneamento

4.2.4.2 Falta de identificação de tabuleiros de trabalho

Tal como referido na secção 4.1.4, cada secção de trabalho era composta por um ou vários Postos de Aquisição de Dados (PAD). Nestes PADs, os operadores abriam o respetivo plano de trabalho alocado a cada secção e podiam escolher a OP a ser realizada, dar início ao *setup* da mesma, dar início à operação, registar peças (conformes ou rejeitadas) na OP, entre outros (Figura 45).

OP	Operação	Nome	Dt.Inicio	Dt.Fim	Prev.	Tempo Total	Realiz.	Falta	Tempo Ciclo	Tempo Operador	Hr. Inicio	
2202057	F3CF0541	Prep TV300	F3 Cambota Face Curta Puch 2/3 V TR ESPECIAL RIUMOTOR	2022-06-28	2022-06-28	207		207		1,800.00	15:50	
2202057	F3CF0541	Fresar TV300	F3 Cambota Face Curta Puch 2/3 V TR ESPECIAL RIUMOTOR	2022-06-28	2022-06-28	207	2.30	207	39.966	39.966	15:50	
2203860	F2CFL187	Prep TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS Endurance Doppler Ø20mm	2022-06-29	2022-06-29	315		315		1,800.00	09:15	
2203860	F2CFL187	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS Endurance Doppler Ø20mm	2022-06-29	2022-06-29	315	3.50	315	39.966	39.966	09:15	
2204181	F2CFC443	Prep TV300	F2 Cambota Face Curta Malagufl F10 Competição STAGE 6	2022-06-29	2022-06-30	210		210		1,800.00	19:57	
2204181	F2CFC443	Fresar TV300	F2 Cambota Face Curta Malagufl F10 Competição STAGE 6	2022-06-29	2022-06-30	210	3.22	210	55.206	55.206	19:57	
2204583	F2CFC246	Prep TV300	F2 Cambota Evolução High-Tech Face Curta Malagufl F10(Malagufl F10 (ø12) JASIL	2022-06-30	2022-06-30	160		160		1,800.00	07:30	
2204583	F2CFC246	Fresar TV300	F2 Cambota Evolução High-Tech Face Curta Malagufl F10(Malagufl F10 (ø12) JASIL	2022-06-30	2022-06-30	160	1.78	160	39.966	39.966	07:30	
2203461	F2CFL110	Prep TV300	F2 Cambota Face Longa Vespa Ciao Competição/Super	2022-06-30	2022-06-30	270		270		3,600.00	09:46	
2203461	F2CFL110	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Vespa Ciao Competição/Super	2022-06-30	2022-06-30	270	3.00	270	39.966	39.966	09:46	
2203461	F2CFL110	Fresar 2 TV300	F2 Cambota Face Longa Vespa Ciao Competição/Super	2022-06-30	2022-06-30	270	3.00	270	39.966	39.966	14:25	
2204599	F2CFL037	Prep TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø17mm - Cavilha 18	2022-06-30	2022-06-30	200		200		1,800.00	17:24	
2204599	F2CFL037	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø17mm - Cavilha 18	2022-06-30	2022-06-30	200	2.22	200	39.966	39.966	17:24	
2204597	F2CFC036	Prep TV300	F2 Cambota Face Curta Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø20mm - Cavilha 18	2022-06-30	2022-07-01	170		170		1,800.00	20:47	
2204597	F2CFC036	Fresar TV300	F2 Cambota Face Curta Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø20mm - Cavilha 18	2022-06-30	2022-07-01	170	2.83	170	60.006	90.006	20:47	
2204598	F2CFL035	Prep TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø20mm - Cavilha 18	2022-07-01	2022-07-01	170		170		1,800.00	07:57	
2204598	F2CFL035	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. N.G. Ø20mm - Cavilha 18	2022-07-01	2022-07-01	170	1.89	170	39.966	39.966	07:57	
2203636	F2CFL125	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Zundapp 4 Vel. Original	2022-07-01	2022-07-01	190	2.11	85	125	39.966	39.966	10:20
2203636	F2CFL125	Fora TV300	F2 Cambota Face Longa Zundapp 4 Vel. Original	2022-07-01	2022-07-01	190	2.36	65	125	45.00	10:08	13:36
2203859	F2CFL034	Prep TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. Competição Ø17mm	2022-07-04	2022-07-04	150		150		1,800.00	06:37	
2203859	F2CFL034	Fresar TV300	F2 Cambota Face Longa Aprila RS 5 Vel. Competição Ø17mm	2022-07-04	2022-07-04	150	1.67	150	39.966	39.966	06:37	
2203857	F2CFC033	Prep TV300	F2 Cambota Face Curta Aprila RS 5 Vel. Competição Ø17mm	2022-07-04	2022-07-04	150		150		1,800.00	08:46	

Figura 45 - Ambiente de trabalho no PAD

Quando um operador decidia iniciar uma OP, aparecia no ecrã uma janela para o operador criar uma caixa de trabalho (Figura 46). O objetivo da criação da mesma, era saber-se a qualquer momento qual o tabuleiro de trabalho alocado a cada OP e ainda garantir sempre a identificação do material em curso.

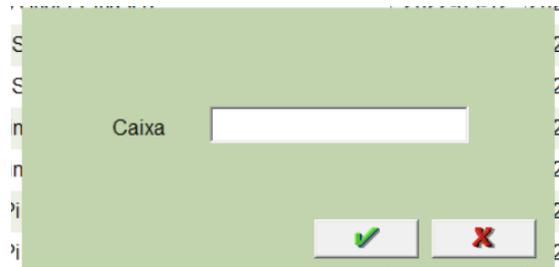


Figura 46 - Criação de caixa de trabalho ao iniciar uma OP

De modo ao operador saber qual o número de caixa a inserir, todos os tabuleiros onde se inseriam peças deveriam estar identificados com uma chapa (Figura 47). Assim, o operador quando iniciava uma nova OP e lhe era pedido para abrir caixa, iria inserir por exemplo “JASIL5467”, alocando essa mesma caixa à OP que estava a efetuar num dado momento.



Figura 47 - Chapa de identificação de caixa de trabalho

Contudo, verificou-se que uma grande maioria das caixas utilizadas na produção não continham chapa de identificação, ficando assim os quatro dígitos a inserir na abertura da caixa à escolha do operador. Esta situação representava problemas de quantificação de recursos alocados à produção, nomeadamente quantos tabuleiros a empresa tinha ou não disponíveis num dado momento. Sem a informação de quantos tabuleiros estavam efetivamente disponíveis para serem utilizados, não havia maneira de garantir uma quantidade adequada de tabuleiros disponíveis aos operadores, sendo que uma grande queixa dos mesmos era a constante falta de tabuleiros para colocarem as peças após realizarem uma OP.

4.2.4.3 Falta de atualização e padronização de quadros Kaizen

Ao longo do *Gemba* existiam quadros *Kaizen*, um para cada secção, onde o objetivo era publicar mensalmente qual a situação atual de uma dada secção. Cada quadro deveria conter dados sobre os membros da equipa de cada secção, informações gerais e ainda indicadores relativos à produção, à

qualidade e outros que se achassem pertinentes para cada secção em específico. Contudo, os quadros não se encontravam nem atualizados nem padronizados, impossibilitando assim, os operadores de terem conhecimento da situação atual do seu setor.

Pela Figura 48 é possível verificar que o quadro *Kaizen* da secção de maquinagem se encontrava mais completo que o quadro *Kaizen* da secção de talhamento/acabamentos, por exemplo.



Figura 48 - Quadro *Kaizen* Centros de Maquinagem (a) e Quadro *Kaizen* Talhamento/Acabamentos (b)

4.2.5 Resumo dos problemas encontrados

Após a identificação dos diversos problemas encontrados, apresenta-se na Tabela 13 uma síntese dos mesmos, incluindo-se ainda o seu local de incidência, as suas consequências e o seu tipo de desperdício.

Tabela 13 - Resumo dos problemas encontrados, local, consequências e tipo de desperdício

Problema	Local	Consequências	Tipo de desperdício
Elevada quantidade de <i>WIP</i>	Todas as secções da fábrica	Aumento do tempo improdutivo; Elevado fluxo de materiais.	<i>Stock</i> ; Sobreprodução; Esperas; Movimentações; Transportes.
Material não disponível		Elevada quantidade de OPs em atraso.	
Falta de acompanhamento		Desmotivação dos operadores;	
Layout inadequado das máquinas de retificar bielas	Secção de retificação	Movimentações desnecessárias por parte do operador; Elevada quantidade de <i>WIP</i> ; Aumento do fluxo de materiais.	Esperas; Movimentações; Transporte.
Programas de maquinaria desatualizados	Secção de torneamento	Retrabalho; Aumento do fluxo de materiais; Aumento de <i>WIP</i> ;	Defeitos; Inventário; Esperas; Transportes; Sobreprocessamento.
Ocupação ineficiente do espaço produtivo		Mau aproveitamento da área útil produtiva.	Movimentações; Transportes.
Necessidade de atualização e padronização dos 5S	Todas as secções da fábrica	Falta de identificação de tabuleiros; Operadores desconheciam evolução do seu setor.	Movimentações; Esperas.

5. APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

O presente capítulo trata as propostas de melhoria realizadas com o objetivo de resolver os problemas identificados no capítulo anterior. Através da ferramenta *5W2H* apresenta-se um sumário do plano de ações executado (Tabela 14).

Tabela 14 - Plano de Ações 5W2H

O quê?		Porquê	Como	Quem	Quando	Onde	Quanto Custa
Problema	Ação						
Elevada quantidade de WIP	Projeto de uma célula de produção.	Baixo fluxo de valor acrescentado no processo; Elevado fluxo de materiais; Elevado número de encomendas em atraso.	Seleção do produto; Instanciação da célula; Instanciação dos PT; Organização e implantação intracelular; Arranjo integrado das células para formação de SPOP; Cálculos de capacidade.	Eng. Tiago Pereira; Margarida;	2022	Secção de torneamento; Secção de retificação.	20 000 €
Material não disponível		Para ser possível cumprir com as OPs programadas pelo programa escalonador.					
Falta de acompanhamento	Reunião diária com os chefes de secção e operadores das secções.	Operadores desmotivados e com sentimento de desvalorização do seu trabalho; Operadores com dúvidas recorrentes de quais OPs a executar.	Reuniões diárias ao início da manhã nas diversas secções; Formação sobre o funcionamento do programa escalonador.	Eng. Joana Ramôa; Margarida.	2022	Todas as secções da fábrica.	Não aplicável.
Layout inadequado das máquinas de retificar bielas	A alteração do <i>layout</i> das máquinas de retificar bielas	Para ser possível cumprir com as OPs programadas pelo programa escalonador.	Movimentação das duas máquinas retificadoras de modo a ficarem paralelas uma à outra.	Eng. Tiago Pereira; Margarida;	2022	Secção de retificação.	Não aplicável.
Programas de maquinação desatualizados	Atualização de programas de maquinação.	Necessidade de operação de retrabalho (medronhar); Aumento da quantidade de WIP; Aumento do fluxo de materiais.	Identificação de quais modelos vão entrar em produção; Atualização dos programas de maquinação dos mesmos.	Diogo Lopes; Margarida.	2022	Secção de torneamento.	Não aplicável.
Ocupação ineficiente do espaço produtivo	Remoção de máquina obsoleta.	Necessidade de área útil produtiva livre.	Movimentação da máquina para a sucata.	Eng. Tiago Pereira; Margarida;	2022	Secção de torneamento.	200 €
Necessidade de atualização e padronização dos 5S	Criação de instrução de trabalho; Definição de responsáveis por preenchimento dos quadros <i>Kaizen</i> .	Garantir trabalho conforme e a correta formação dos operadores; Melhorar a gestão visual.	Observação das tarefas e documentação do processo.	Margarida.	2022	Todas as secções da fábrica.	Não aplicável.

5.1. Atualização de programas de maquinação

Na secção 4.2.3 foi identificada a causa raiz “programas de maquinação desatualizados” para a elevada quantidade de OPs em atraso na operação “2^as operações – medronhar/rebarbar”, tanto em relação à data de entrega ao cliente seguinte, como em relação à data programada pelo escalonador. Nesse seguimento, abordou-se o Departamento de Desenvolvimento e Conceção, i.e., o departamento responsável pela criação e atualização de programas de maquinação, com o intuito de se delinear qual a solução melhor e mais eficaz, e ainda se perceber quais as vantagens que adviriam da atualização dos mesmos.

Após várias reuniões com o departamento, foi possível concluir que através da atualização do programa de maquinação referente à operação “Fresar face”, seria possível melhorá-lo de modo às peças saírem da máquina totalmente sem rebarba. Para tal, seria necessário acrescentar poucas linhas de código aos programas e, ainda, utilizar uma ferramenta específica, já utilizada por outras máquinas na empresa (Figura 49).



Figura 49 - Ferramenta de rebarbar

Uma vez que a operação de “Fresar face” foi alterada, procedeu-se ao estudo de tempos da mesma, tendo-se obtido um novo TC de 1,75min. As medições de tempo e os cálculos efetuados podem ser consultados no Apêndice 10.

5.2. Projeto de uma célula de produção

Uma vez que a empresa se encontrava organizada com um *layout* por função produtiva, o fluxo de produção era complexo e confuso e o número de movimentações era bastante elevado, como se viu na secção 4.2.2. A quantidade de *WIP* observado era igualmente alta. Dado o grande porte das máquinas utilizadas na maioria das operações do processo produtivo, a movimentação das mesmas para uma eventual alteração do *layout* produtivo resultaria numa paragem longa e praticamente total de um dos principais artigos da empresa. Porém, dado os planos de expansão da empresa para uma nova unidade fabril num horizonte de 2 anos, foi decidido projetar uma célula de produção com o objetivo de diminuir e eliminar alguns dos problemas identificados na secção 4.2.

De seguida, nas próximas secções, apresenta-se o projeto de célula de produção através dos passos descritos na secção 2.2.1, sendo eles: seleção do produto e/ou formação de famílias de produtos; instanciação de células concetuais; instanciação de postos de trabalho; organização intracelular e controlo de cada célula e arranjo integrado das células para formação de SPOP.

5.2.1 Seleção do produto e/ou formação de famílias de produtos

Como previamente mencionado, as cambotas eram o produto imagem de marca da JASIL e tinham um peso significativo na faturação anual da empresa. Assim, qualquer melhoria possível no processo produtivo era de grande interesse para a empresa. Sendo os elementos principais e mais complexos de

uma cambota as suas faces e a sua biela, foi decidido que numa fase inicial o projeto de configuração da célula de produção abordaria as faces de cambota. Numa fase posterior, era de grande interesse desenvolver o mesmo estudo para as bielias.

Assim sendo, a família de produtos escolhida para o projeto de configuração era a família de faces de cambota. Como evidenciado ao longo do capítulo 4, existia uma diferença entre o processo produtivo da face longa de cambota e da face curta, que consistia na operação de retificação de cone que era apenas efetuada no processo da face longa. Contudo, não fazia sentido projetar uma célula de produção de faces de cambota para cada face e ainda somente para a cambota alvo de estudo ao longo deste projeto, logo os dados relativos à mesma foram a base utilizada para o projeto de conceção, pois no global, o processo de fabrico das faces de cambota era semelhante para a maioria das cambotas fabricadas na empresa.

Assim, a célula projetada, contemplava ambas as faces de cambota e encontrava-se afeta somente às secções de torneamento (F2) e retificação (F3), pois não foi possível incluir a secção de forjamento (F1), uma vez que devido ao grande porte das máquinas, ao seu ruído e à sua vibração, aquando da mudança para as novas instalações fabris, estas necessitavam de ficar num local próprio e adequado às suas limitações. Ademais, a célula projetada encontrava-se dividida em duas unidades organizacionais, i.e., duas sub-células, devido à tecnologia de grupo já utilizada na empresa, nomeadamente o agrupamento de máquinas complementares que utilizavam o mesmo método de fabrico para produzir uma família de produtos. Deste modo uma sub-célula correspondia ao processo de torneamento (F2) e as respetivas máquinas e a outra correspondia ao processo de retificação (F3) e as respetivas máquinas.

5.2.2 Instanciação de células concetuais

Na fase de instanciação de células concetuais era pretendido calcular o número de máquinas necessárias, identificar os processos intercelulares, definir os mesmos e selecionar a melhor configuração possível, tendo por base um conhecimento profundo sobre o processo produtivo.

Considerando que o projeto de célula de produção seria implementado na nova unidade fabril, foi decidido ter em consideração um crescimento na ordem dos 15%, por forma à empresa ter capacidade de resposta ao crescimento que espera vir a ter. Nesse seguimento, foram elaboradas as Tabela 15 e Tabela 16, que compilam toda a informação necessária para o cálculo do número de máquinas necessárias. Os cálculos auxiliares podem ser consultados no Apêndice 11. Ressalva-se que o TC – Tempo de Ciclo dizia respeito ao tempo total que uma peça estava a ser processada por uma máquina, enquanto o TO – Tempo de operador refletia o tempo que um operador estava de facto afeto à máquina

ou a manusear as peças. Ainda, devido à eliminação da operação de “medronhar/rebarbar” faces de cambotas, descrita na secção 5.1, a operação não foi tida em conta no projeto da célula.

Tabela 15 - Cálculo do número de máquinas necessárias para a célula torneamento (F2)

Operação	TC (min)	TO (min)	TS (min)	Nº Setups /ano	Nº turnos	Tempo disponível (min/ano)	Tempo necessário c/ incremento 15% (min/ano)	Nº máquinas
Tornear face	2,23	0,25	35	550	3	301860	368022	2
Tornear espiga	2,71	0,25	50	550	3	301860	451344	2
Fresar face	1,75	0,43	60	550	3	301860	306700	2
Fresar escatrel	0,67	0,67	30	550	3	301860	121288	1
Somatório	7,36	1,6					1247354	

Tabela 16 - Cálculo do número de máquinas necessárias célula de retificação (F3)

Operação	TC (min)	TO (min)	TS (min)	Nº Setups	Nº turnos	Tempo disponível (min/ano)	Tempo necessário c/ incremento 15% (min)	Nº máquinas
Desempenar face	0,27	0,27	0	0	3	301860	42228	1
Retificar espiga	1,58	0,33	15	550	3	301860	255362	1
Retificar cone	0,67	0,67	15	550	3	301860	113038	1
Retificar encosto	0,58	0,58	15	550	3	301860	98962	1
Retificar furo	1,00	1,00	45	550	3	301860	181150	1
Montar tacos	0,50	0,50	0	0	3	301860	78200	1
Somatório	4,6	3,35					768940	

Através dos resultados obtidos nas tabelas acima apresentadas, verifica-se que a JASIL dispõe atualmente das máquinas necessárias para a criação de uma célula que tem em vista o crescimento esperado por parte da empresa.

No que toca à definição do fluxo do material, evidencia-se o diagrama de precedências apresentado na Figura 50, destacando-se apenas as operações de retificar espiga (6), retificar cone (7) e retificar encosto (8) que não tinham precedências entre si. Assim, o projeto da célula de cambotas, continha uma sub-célula básica de fluxo direto, referente às operações de torneamento, e uma sub-célula básica de fluxo inverso, referente às operações de retificação, devido à inexistência de restrições nas três operações supramencionadas.

Operação	Precedência
1 - Tornear face	-
2 - Tornear espiga	1
3 - Fresar face	2
4 - Fresar escatrel	3
5 - Desempenar face	4
6 - Retificar espiga	5
7 - Retificar cone	5
8 - Retificar encosto	5
9 - Retificar furo	6,7,8
10 - Montar tacos	9

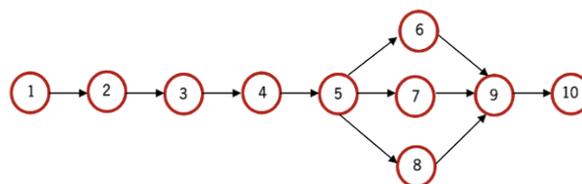


Figura 50 - Diagrama de precedências referente ao processo produtivo de faces de cambota

Por fim, destaca-se a configuração operacional da célula, onde o objetivo era projetar uma célula de resposta rápida com a intenção de minimizar o tempo de percurso das peças.

5.2.3 Instanciação de postos de trabalho

De seguida, no projeto de conceção de uma célula de produção segue-se a identificação dos postos de trabalho necessários e a sua alocação. Inicialmente foi calculado o *Takt Time*, através da fórmula descrita na secção 2.2.2.. Neste cálculo foi novamente considerado o crescimento esperado de 15% face ao ano transato, tendo-se calculado um *Takt Time* na ordem dos 1,93 min (Apêndice 11).

De seguida, calcularam-se o número teórico de postos de trabalho tendo-se obtido respetivamente quatro postos de trabalho para a sub-célula de torneamento e três postos de trabalho para a sub-célula de retificação. Contudo, para a sub-célula de torneamento, os 4PT são efetivamente teóricos, pois não correspondem à realidade da produção.

Para o cálculo do número teórico dos postos de trabalho, foi tido em consideração o tempo de processamento total referente às operações de cada sub-célula, contudo, na empresa existiam dois tipos de tempo a ter em consideração nas operações, nomeadamente o tempo de operador e o tempo de ciclo da operação. O primeiro dizia respeito ao tempo que o operador se encontrava efetivamente a manusear as peças, enquanto o segundo representava o tempo de trabalho autónomo da máquina e tinha em si integrado o tempo de operador.

Uma vez que no processo de torneamento da face e da espiga eram utilizados braços robóticos que inseriam e retiravam as peças das máquinas autonomamente, o operador necessitava apenas de abastecer o tapete rolante que alimentava o *robot* com peças, tornando deste modo as máquinas praticamente autónomas. Posto isto, decidiu-se incluir os braços robóticos no projeto da célula de cambotas, o que significou que o tempo que o operador estava efetivamente alocado a uma dada máquina era apenas o tempo de operador referente ao abastecimento do tapete rolante.

Na operação de fresar face verificava-se igualmente, um grande desfasamento entre o tempo de ciclo da máquina e o tempo de operador. Contudo, na operação de fresar escatel, apesar de a operação ser automática, o tempo de ciclo da máquina era igual ao tempo de operador, pois o operador necessitava de despender um maior tempo a observar as peças, pelo que esta observação era efetuada durante o tempo de ciclo da máquina, o que significava que o operador tinha de estar alocado somente a esta máquina.

Posto isto, decidiu-se calcular o número de postos de trabalho tendo em conta o somatório do tempo de operador e não o tempo de processamento, pois isso levaria a que os operadores estivessem parados a olhar para as suas máquinas. Tal como demonstrado no Apêndice 11, o número real de postos de trabalho necessários foi de apenas dois.

Calculado o número de postos de trabalho necessários, alocaram-se os mesmos às máquinas, previamente identificadas, para a sub-célula do processo de torneamento. Nesta alocação, considerou-se que os operadores iriam fazer a mesma referência em simultâneo nas operações onde existia mais do que uma máquina para desempenhar a função em causa, diminuindo deste modo o tempo de ciclo total do processo para o *batch* efetuado. Assim, o 1º posto de trabalho dizia respeito ao abastecimento dos tapetes rolantes das máquinas de tornear face e tornear espiga, e ainda tirar e retirar peças da máquina de fresar face. O 2º posto de trabalho era referente à máquina de fresar escatel (Tabela 17). Ressalva-se que o somatório do tempo de operador das operações de abastecer os tapetes rolantes às diversas máquinas é inferior ao tempo de ciclo da máquina de fresar face.

Tabela 17 - Alocação dos postos de trabalho sub-célula torneamento

Operação	Máquina	Tipo de operação	TC (min)	TO (min)	PT
Tornear face	791	Automática	1,12	0,25	PT1
Tornear face	791	Automática	1,12	0,25	
Tornear espiga	79	Automática	0,90	0,25	
Tornear espiga	799	Automática	0,90	0,25	
Fresar face	38	Automática	1,75	0,43	
Fresar escatel	40	Automática	0,67	0,67	PT2
Total			6,46	2,10	

Por outro lado, a sub-célula de retificação era composta por operações manuais e operações automáticas. No caso das operações manuais, o tempo de ciclo da operação era exatamente igual ao tempo de operador. Para esta sub-célula, o número teórico de três postos de trabalho já era adequado devido às restrições tecnológicas das máquinas utilizadas. Assim, o 3º posto de trabalho era referente as operações manuais, i.e., desempenhar face e montar tacos, o 4º posto de trabalho dizia respeito às operações de retificar espiga, cone e encosto e o 5º posto de trabalho dizia respeito à retificação do furo onde o operador tinha de estar alocado à máquina a tempo inteiro (Tabela 18).

Tabela 18 - Alocação dos postos de trabalho sub-célula retificação

Operação	Máquina	Tipo de operação	TC (min)	TO (min)	PT
Desempenhar face	136	Manual	0,27	0,27	PT3
Retificar espiga	82	Automática	1,58	0,33	PT4
Retificar cone	84	Automática	0,67	0,67	
Retificar encosto	85	Automática	0,58	0,58	
Retificar furo	45	Automática	1,00	1,00	PT5
Montar tacos	134	Manual	0,50	0,50	PT3
Total			4,60	3,35	

Desenvolveu-se posteriormente o gráfico apresentado na Figura 51, por forma a avaliar o balanceamento de cada posto de trabalho em relação ao *Takt Time* de 1,93 min. Através do gráfico é possível verificar que existem perdas acentuadas entre os diferentes postos de trabalho, contudo, devido às restrições tecnológicas não foi possível efetuar um balanceamento total.

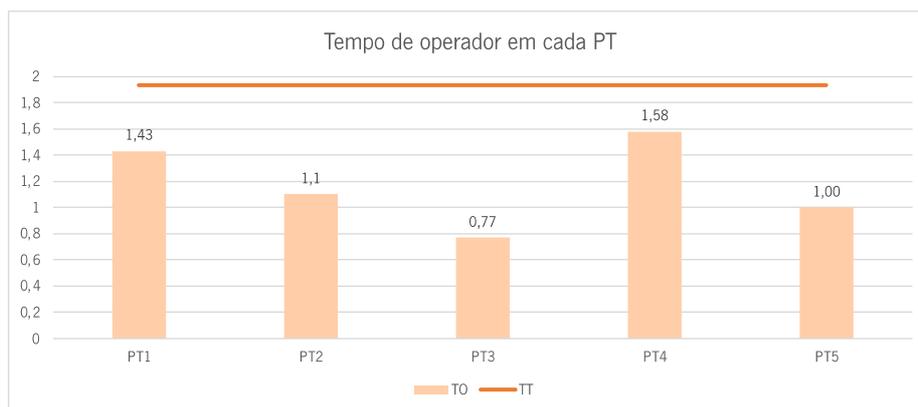


Figura 51 - Tempo de operador em cada posto de trabalho

Estimou-se ainda a capacidade e taxa de utilização da célula de produção com o propósito de analisar a capacidade esperada diariamente e ainda estimar a taxa de utilização. Na Tabela 19 apresentam-se os resultados calculados através dos cálculos intermédios que se encontram no Apêndice 12. Pelos valores calculados pode constatar-se que a capacidade esperada era um pouco inferior à capacidade que se esperava realizar, o que representava aproximadamente uma hora e meia a mais de produção do que seria efetivamente necessário.

Tabela 19 - Cálculo da capacidade da célula projetada

Capacidade disponível	Capacidade efetiva	Capacidade realizada	Capacidade esperada	Taxa de utilização
1440 min	1260 min	1260 min	1172,50 min	93,06%

Por fim, identificou-se uma das possíveis equipas para a célula, tendo por base os seguintes critérios: experiência, nível de especialização, polivalência e capacidade de comunicação. Com a ajuda do chefe de produção Eng. Tiago Pereira, identificou-se na matriz de competências (Figura 52) os possíveis operadores e a sua capacidade de desempenho das funções, tendo-se utilizado uma escala de *Likert* de 1 a 5, onde 1 – sem experiência no desempenho da função; 2 – pouca experiência no desempenho da função; 3 – alguma experiência no desempenho da função; 4 – bastante experiência no desempenho da função e 5 – especializado no desempenho da função. Dadas as diferenças entre as máquinas utilizadas ao longo do processo produtivo era compreensível um trabalhador ser especialista numa dada função e totalmente inexperiente noutra.

Operação Trabalhador	Tornear face	Tornear espiga	Fresar face	Fresar escatel	Desempenar	Retificar espiga	Retificar cone	Retificar encosto	Retificar furo	Montar tacos
Operador 1	5	5	4	4	1	1	1	1	3	3
Operador 2	4	4	5	5	1	1	1	3	3	3
Operador 3	1	1	1	1	5	2	2	3	1	5
Operador 4	1	1	1	1	5	5	5	5	1	5
Operador 5	1	1	4	4	2	3	3	5	5	5

Figura 52 - Matriz de competências dos trabalhadores

5.2.4 Organização intracelular e controlo de cada célula

Uma vez definidas as máquinas e postos de trabalho necessários, definiu-se inicialmente a implantação intracelular, seguida da escolha do modo operatório e por fim, a definição da sequenciação e lançamento dos produtos na célula de produção.

Tal como mencionado previamente, o projeto de célula de cambotas seria dividido em duas sub-células e essa divisão coincidia com a saída e entrada de peças da subcontratação de tratamento térmico. Assim, procedeu-se ao posicionamento das máquinas, de acordo com as precedências identificadas na Figura 50, tendo-se adotado uma configuração em U devido a este tipo de implantação ser caracterizado pela boa visualização dos postos de trabalho e fácil mobilidade dos operadores.

O modo operatório escolhido e a ser implementado nas sub-células era o *working balance*, que se caracterizava pela distribuição equilibrada da carga manual pelos operadores e a cada operador era ainda atribuída a sua zona de trabalho e responsabilidade pela mesma, evitando assim misturar-se com o seu vizinho de trabalho. Visto que os operadores escolhidos para operar a célula tinham níveis de conhecimento específicos em relação às suas operações, este era o modo operatório que mais fazia sentido implementar, pois deste modo cada operador ficava responsável pelo posto de trabalho para o qual era mais apto.

Posto isto, na Figura 53 apresenta-se a implantação intracelular pensada para o projeto. O lançamento das faces de cambota a serem produzidas em cada sub-célula era definido pelo programa escalonador utilizado pela JASIL, sendo que a produção era por lotes.

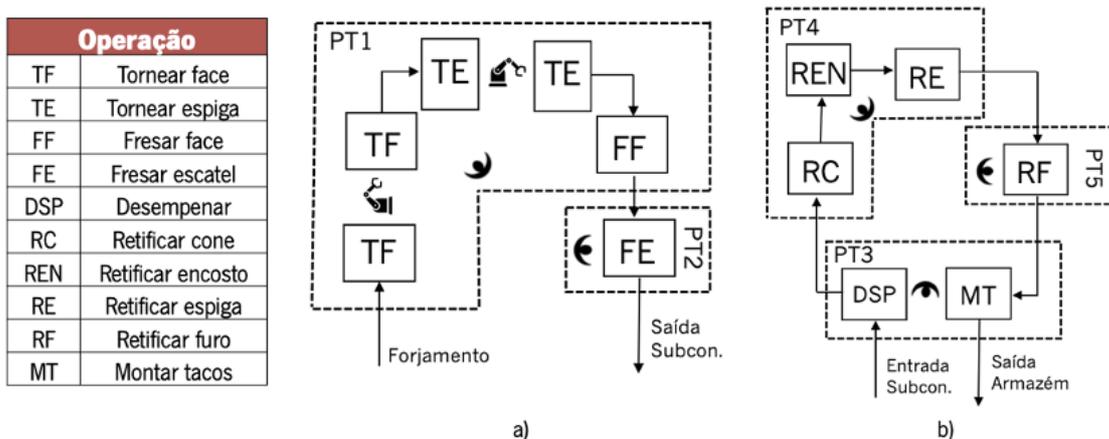


Figura 53 - Proposta de layout sub-célula torneamento (a) e sub-célula retificação (b)

5.2.5 Arranjo integrado das células para formação do SPOP

Por fim, no projeto de conceção de uma célula de produção, definiu-se o local onde a mesma seria inserida dentro da nova unidade fabril.

Apesar de a nova unidade fabril ainda estar a ser construída, a alocação das secções de forjamento, expedição e receção de subcontratação, receção de matéria-prima e o armazém, já foram definidas, pelo que se tornou possível definir qual o melhor espaço para implementar a célula de produção de faces de cambota.

A implantação intercelular encontra-se apresentada na Figura 54. Prevê-se implantar a célula perto da secção de forjamento, expedição/receção subcontratação e ainda do armazém de modo a minimizar o máximo possível as movimentações desnecessárias. Na imagem de cada sub-célula identificou-se ainda a direção da movimentação dos trabalhadores.

Após a implementação da célula, a sub-célula do torneamento deve produzir segundo as datas definidas pelo programa escalonador, de modo a cumprir com a data de entrega ao cliente seguinte, pois o início das ordens de produção da sub-célula de retificação será calculado tendo por base essa mesma data.

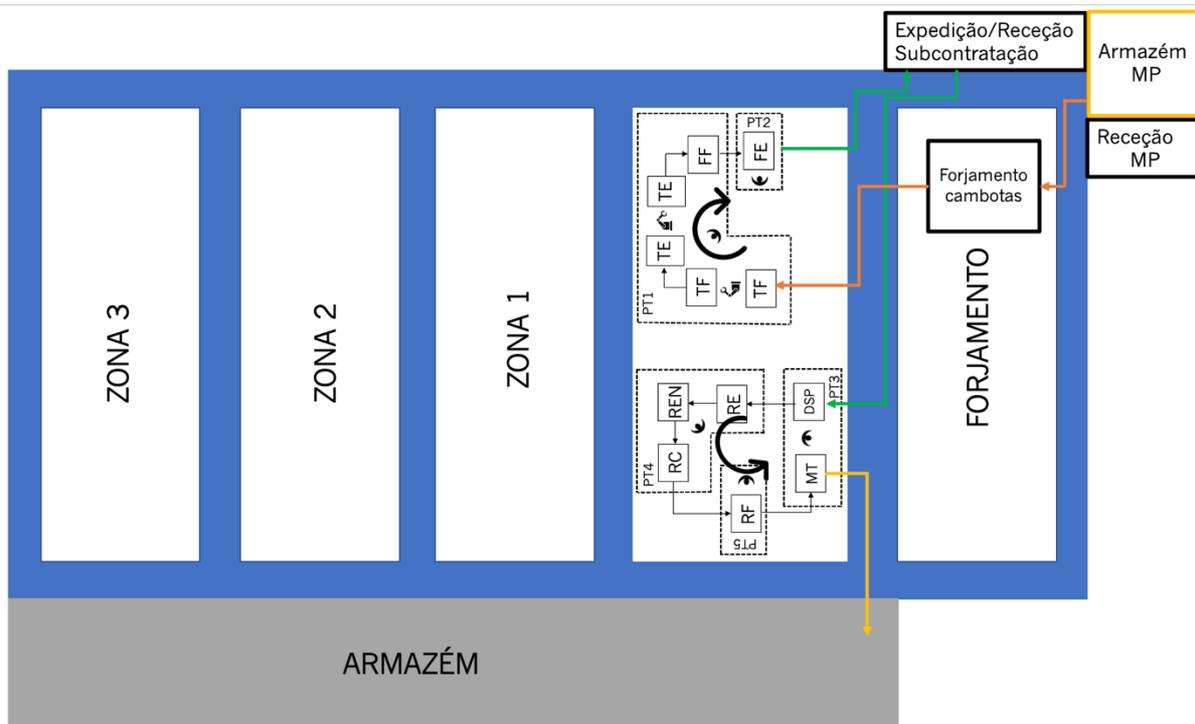
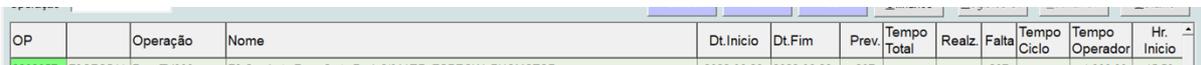


Figura 54 - Implantação intercelular

5.3. Acompanhamento diário aos trabalhadores

Visto não ser possível implementar o projeto da célula de produção de faces de cambota num futuro próximo, decidiu-se priorizar ações que mitigassem as dificuldades apresentadas pelos trabalhadores. Uma vez que os operadores demonstraram estar desmotivados, pois sentiam que o seu trabalho não estava a ser efetuado corretamente dado a grande quantidade de ordens de produção em atraso, foi decidido inicialmente dar uma formação a todos os trabalhadores de todas as secções.

Esta formação contemplou primeiramente o funcionamento do programa escalonador e qual o seu objetivo primário, ou seja, delinear numa base semanal qual o trabalho que devia ser efetuado em cada máquina de cada secção. De seguida, foi explicado o que significava cada coluna que aparecia no cabeçalho ambiente de trabalho do PAD (Figura 55). Era expectável que a grande maioria das OPs com data de início para uma dada semana fossem efetivamente realizadas e, associado a cada OP, estava ainda definido um tempo total para a realização da quantidade prevista da mesma, o tempo de ciclo por peça e o tempo de operador, i.e., tempo que o operador manuseava efetivamente a peça. Existiam ainda os campos da quantidade realizada de uma dada OP e um campo que mostrava a quantidade total em falta. Seguidamente, durante a formação foi dada a palavra aos trabalhadores de modo a eles exporem quais as dúvidas.



OP	Operação	Nome	Dt.Inicio	Dt.Fim	Prev.	Tempo Total	Realiz.	Falta	Tempo Ciclo	Tempo Operador	Hr. Início
000001	FACECAMA	Face Cambota	2023-08-28	2023-09-03	207					1.000.00	15.00

Figura 55 - Cabeçalho ambiente de trabalho no PAD

Posteriormente foram delineadas reuniões diárias, ao início da manhã durante 10 minutos nas diferentes secções, por forma a dar *feedback* aos chefes de secção e aos operadores sobre como o dia anterior tinha corrido, e ainda, dar palavra aos operadores para que os mesmos expusessem o que tinha corrido bem e menos bem no dia transato. Estas reuniões revelavam ainda pequenos problemas que poderiam vir a condicionar o dia de trabalho, sendo eles resolvidos prontamente pelos elementos do Departamento de Planeamento e Produção quando possível. Caso não fosse possível, reformulava-se o dia de trabalho tendo em conta as situações apresentadas.

O objetivo principal da ação de acompanhamento diário aos trabalhadores no *Gemba* foi sempre demonstrar um maior apoio a todos os colaboradores, de modo a estes se sentirem valorizados e sentirem o seu trabalho reconhecido.

5.4. Criação de instrução de trabalho

Após se ter identificado a necessidade de adquirir novos tabuleiros, a maioria dos mesmos não era identificado o que levava a problemas de quantificação de tabuleiros que se encontravam em utilização na produção, tal como explicado na secção 4.2.4.

Visto não existir uma instrução de trabalho sobre como proceder quando se identificava a necessidade de adquirir novos tabuleiros, procedeu-se ao desenvolvimento da mesma, de modo a não restarem dúvidas de qual devia ser o processo a seguir após a sua aquisição. A instrução de trabalho desenvolvida pode ser consultada no Apêndice 13.

5.5. Preenchimento dos quadros Kaizen

Face ao problema mencionado na secção 4.2.4, nomeadamente a falta de preenchimento dos quadros *Kaizen*, surgiu a necessidade de designar um responsável para garantir que os responsáveis de cada departamento preenchiem efetivamente os seus indicadores nos quadros de cada secção produtiva até ao quinto dia útil de cada mês. Apesar de a medida parecer simples, acreditava-se que havendo um responsável para lembrar a necessidade de preenchimento dos quadros, seria suficiente, pois o responsável de cada departamento preenchia os indicadores mensalmente no sistema informático, mas devido à azafama do dia a dia de trabalho, a atualização dos indicadores dos quadros no chão de fábrica era esquecida.

5.6. Remoção de máquina obsoleta

Após se verificar que a avaria da máquina na secção de torneamento não tinha reparação possível, decidiu-se sucatar a mesma. Contudo, dada a dimensão e o peso da máquina, a sua movimentação requer um transporte especializado e, até à data ainda não foi possível agilizar o mesmo. Quando for possível tratar do mesmo, será libertada uma área de 6 m². Sucatar a máquina apresentava um ganho residual pois o valor de sucata da máquina era cerca de 250€, mas o transporte especializado para a sucata tinha um custo na ordem dos 200€. Contudo, o ganho da área podia representar oportunidades que a empresa não pode aproveitar.

5.7. Layout das máquinas de retificar bielás

Durante a análise do número de OPs em atraso no processo produtivo das bielás identificou-se que o *layout* das duas máquinas de retificação de planos não era o mais favorável pois estas encontravam-se

de costas uma para a outra, dificultando o trabalho em simultâneo das duas máquinas por parte do operador, que tinha de se movimentar desnecessariamente entre as duas máquinas, tal como mencionado na se secção 4.2.3.2.

Neste seguimento, foi proposto alterar o *layout* das máquinas de retificar bielas, de modo as mesmas fiquem paralelas uma à outra, por forma a diminuir as movimentações do operador e de modo a ser possível operar as duas em simultâneo.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O presente capítulo aborda a análise, a discussão e a quantificação dos resultados obtidos e esperados após as implementações das propostas de melhoria previamente apresentadas. Em vista disso, calcularam-se e compararam-se indicadores previamente utilizados da situação antes e depois, tendo-se também calculado os ganhos monetários que resultaram das propostas implementadas e ainda estimado os ganhos monetários das propostas de melhoria que não foram implementadas.

6.1. Eliminação da operação Medronhar/Rebarbar

Através da melhoria dos programas de maquinagem relativos à operação “Fresar face” foi possível eliminar totalmente a rebarba das peças e, por conseguinte, eliminar do processo produtivo a operação de “Medronhar/rebarbar”. Como mencionado na secção 4.1.2, esta operação era uma operação manual e de retrabalho, porém, a remoção de limalhas e rebarba das faces de cambota era crucial pois qualquer pedaço das mesmas, por mais pequeno que fosse, poderia pôr em causa o bom funcionamento da cambota num motor.

Através da eliminação desta operação foi possível libertar a carga de trabalho dos operadores da secção de “2^{as} operações” em 32% e por conseguinte reduzir o WIP da secção (Tabela 20).

Tabela 20 - Redução carga de trabalho na secção 2^{as} operações

	Qtd OPs medronhar Antes proposta	Qtd OPs medronhar Após proposta	Qtd média OPs "2 ^{as} Operações"	Redução
2 ^{as} operações	68	0	211	32%

Foi ainda possível reduzir significativamente o *Lead Time* das faces de cambota (Apêndice 14), pois tal como explicado na secção 4.2.1, o tempo de espera das peças até se efetuar a operação “Medronhar/rebarbar” era de sete dias.

6.2. Redução do atraso nas datas de entrega

Através da formação dada aos trabalhadores sobre o programa escalonador e das reuniões diárias em cada secção foi possível ajudar os trabalhadores a esclarecer as suas dúvidas e formá-los na tomada de decisão correta sobre quais as OPs a efetuar durante uma dada semana de trabalho. Através destas ações foi possível verificar uma redução da quantidade de OPs em atrasado tanto em relação à data de entrega ao cliente seguinte como em relação à data do programa escalonador.

De forma geral foram conseguidas reduções significativas em relações a ambas as datas alvo do estudo (Tabela 21), contudo, nas faces de cambota, as OPs em atraso relativo à data do cliente seguinte em F2 – Torneamento, destacaram-se de forma evidente muito devido à eliminação da operação de “Medronhar/Rebarbar”. Ainda devido à redução do atraso nas datas de entrega foi possível reduzir o WIP, uma vez que os operadores estavam mais conscientes de quando e quais as OPs que deveriam efetivamente realizar num dado momento.

Tabela 21 - Redução da quantidade total de OPs em atraso após implantação de sugestões de melhoria

			Antes	Depois	Ganho	Redução %
Fases de cambota	F2 - Torneamento	OPs atraso data cliente seguinte	525	89	436	83%
		OPs atraso data do programa escalonador	638	359	279	44%
	F3 - Retificação	OPs atraso data cliente seguinte	336	238	98	29%
		OPs atraso data do programa escalonador	558	364	194	35%
Bielas	F2 - Torneamento / Retificação	OPs atraso data cliente seguinte	299	149	150	50%
		OPs atraso data do programa escalonador	585	307	278	48%
	F3 - Polimento	OPs atraso data cliente seguinte	32	18	14	44%
		OPs atraso data do programa escalonador	61	27	34	56%

6.3. Alteração do layout das máquinas de retificação das bielas

Após a proposta de alteração de layout das máquinas de retificação das bielas, procedeu-se à mudança das mesmas sendo que se tentou colocá-las próximas e viradas uma para a outra. Contudo, devido às restrições de espaço na secção de retificação, causadas pelas outras máquinas da secção, não foi possível posicionar as máquinas na posição considerada ideal, i.e., paralelas uma à outra (Figura 56).



Figura 56 - Layout máquinas de retificar bielas antes (a) e após (b) alteração

Após a mudança do layout das máquinas avaliou-se o impacto que a mesma teve no cumprimento de datas relativas ao cliente seguinte e ao programa escalonador. Através da Tabela 22 é possível verificar a diminuição em termos percentuais dos atrasos em relação à data de entrega ao cliente seguinte e em relação à data do programa escalonador para ambas as operações desempenhadas nas máquinas em questão.

Tabela 22 - Redução na quantidade de OPs em atraso após alteração de layout das máquinas de retificar bielas

		Antes	Depois	Redução %
Retificação de planos cobre	OPs atraso data cliente seguinte	35	12	66%
	OPs atraso data do programa escalonador	113	54	52%
Retificação de planos tratamento térmico	OPs atraso data cliente seguinte	80	27	66%
	OPs atraso data do programa escalonador	119	63	47%

Verifica-se ainda que a medida implementada da alteração do *layout* das máquinas retificadoras de bielas contribuiu de forma significativa para os objetivos de redução do WIP e redução do número de encomendas em atraso. No Apêndice 15 apresenta-se o novo VSM após a alteração do *layout* das máquinas de retificar bielas.

6.4. Redução de custos

Apesar de a célula de produção ter sido projetada para a nova unidade fabril foi possível concluir que o número de operadores necessários seria menor que o total dos operadores atuais utilizados no processo produtivo das faces de cambota.

Assim, tendo em conta que cada operador custa anualmente à JASIL cerca de 14200€, a redução de três operadores traduzia-se numa redução de custos em 42600 € anuais (Tabela 23).

Tabela 23 - Ganho anual estimado em termos de mão de obra após implementação do projeto de célula de faces de cambota

		Antes da proposta	Após proposta	Ganho	Redução
Secção de torneamento	Nrº total de operadores	3	2	1	33%
Secção de retificação	Nrº total de operadores	5	3	2	40%
	Custo anual (€)	113 600	71 000	42 600	38%

Contudo, o despedimento dos trabalhadores não faz parte da cultura da JASIL, pelo que as pessoas seriam encaminhadas para outras secções produtivas que necessitassem de mão de obra adicional.

Assim, a poupança incidia no centro de custo referente à secção de torneamento e no centro de custo referente à secção de retificação.

6.5. Melhoria da gestão visual e divulgação de informação

A atribuição da responsabilidade, ao autor deste projeto, de garantir o preenchimento dos quadros *Kaizen* de cada secção produtiva da empresa, teve o resultado esperado, ou seja, todos os indicadores presentes nos quadros foram efetivamente preenchidos até ao quinto dia útil de cada mês (Figura 57).

Esta ação básica fomentou o interesse dos operadores em quererem saber o porquê de a sua secção estar menos bem, tendo promovido de igual modo uma sensação de orgulho quando a secção apresentava resultados acima do objetivo esperado.



Figura 57 - Quadros *Kaizen* atualizados - centros de maquinagem (a) e tornos sem alimentador (b)

6.6. Percentagem de valor acrescentado nos processos produtivos

De modo a se comparar o impacto das sugestões de melhoria implementadas tanto no processo produtivo das faces de cambota como no processo produtivo das bielas, compilou-se na Tabela 24 os indicadores utilizados nos *VSMs* desenvolvidos no projeto antes e após as melhorias.

Tabela 24 - Percentagem de atividades que acrescentam valor nos processos produtivos após sugestões de melhoria

Produto	Valor Acrescentado antes	Valor Acrescentado depois	Lead Time antes	Lead Time depois	% Atividades Acrescentam Valor antes	% Atividades Acrescentam Valor depois	Ganho %
Face Longa Cambota	4334,01 min	4334,09 min	33,16 dias = 47750,40 min	8,79 dias = 12657,60 min	9%	34%	73%
Face Curta Cambota	4334,71 min	4334,72 min	28,40 dias = 40896,00 min	9,36 dias = 13478,40 min	11%	32%	66%
Bielas	11529,68 min	11529,68 min	108,48 dias = 156211,20 min	26,33 dias = 37915,20 min	7%	30%	76%

As sugestões de melhoria apresentadas surtiram efeito na diminuição do *Lead Time* do processo produtivo das faces de cambota e no processo produtivo das bielas, o que representou um aumento significativo na percentagem de atividades que acrescentam valor no processo produtivo.

6.7. Percentagem de cambotas entregues na data pedida pelo cliente

Por fim, comparou-se a percentagem de cambotas, como produto final, entregues aos clientes antes e após a implementação das propostas de melhoria. Os valores obtidos foram retirados do sistema de gestão de dados utilizado na JASIL. Foi possível verificar um aumento de 10 pontos percentuais no cumprimento da data de entrega do produto final ao cliente (Figura 58).

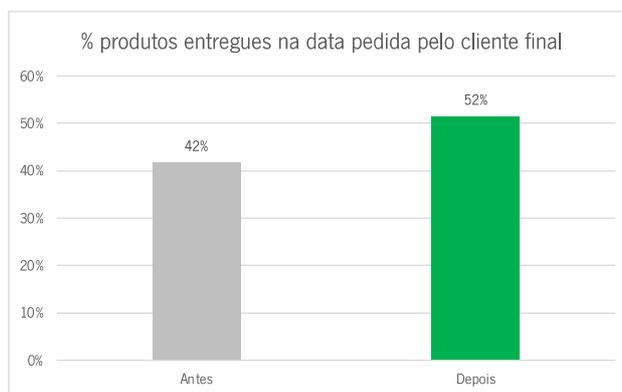


Figura 58 - Percentagem de OPs entregues na data pedida pelo cliente final após sugestões de melhoria

6.8. Sumário de resultados

Nesta secção apresenta-se um sumário dos resultados obtidos e previstos após as sugestões de melhoria (Tabela 25).

Tabela 25 - Sumário dos resultados obtidos

Proposta	Local	Resultado	Ganho
Propostas implementadas			
Atualização dos programas de maquinagem	Secção de torneamento	Eliminação de operação de retrabalho; Diminuição da carga de trabalho na secção de "2 ^{as} Operações".	Não definido
Acompanhamento diário aos trabalhadores	Todas as secções da fábrica	Redução do <i>Lead Time</i> no processo produtivo de faces de cambota e no processo produtivo de bielas.	Não definido
Alteração do layout das máquinas de retificar bielas	Secção de retificação	Redução do <i>Lead Time</i> no processo produtivo de bielas.	Não definido
Criação de IT	Todas as secções da fábrica	Menor variabilidade no processo de identificação de tabuleiros de produção.	Não definido
Atualização quadros Kaizen	Todas as secções da fábrica	Melhor gestão visual; Preservação do potencial humano dos operadores.	Não definido
Propostas previstas			
Projeto de célula de produção de faces de cambota	Secção de torneamento; Secção de retificação.	Poupança de 3 operadores	42 600 €
Remoção de máquina obsoleta	Secção de torneamento	Aumento da área útil produtiva em 6m ²	50 €
Poupança anual total €			42 600 €

O ganho anual correspondente à redução do número total de operadores é um ganho relativo aos centros de custo da secção de torneamento e da secção de retificação, uma vez que estes operadores serão transferidos para outras secções da empresa.

7. CONCLUSÃO

No presente capítulo apresentam-se as considerações finais do projeto desenvolvido e propostas de trabalho futuro.

7.1. Considerações finais

O projeto de dissertação foi desenvolvido na empresa JASIL, uma metalomecânica de precisão, cuja o principal produto eram cambotas para *scooters*. O projeto incidiu em duas das secções de produção utilizadas ao longo do processo produtivo dos componentes das mesmas, nomeadamente a secção de torneamento e a secção de retificação. Inicialmente, foi feita uma análise do estado atual do processo produtivo com o objetivo de compreender o mesmo e, posteriormente, identificar oportunidades de melhoria.

Deste modo, através da aplicação de conceitos *Lean Thinking*, foi possível atuar nos problemas encontrados, particularmente na quantidade de OPs em atraso em relação à data de entrega ao cliente seguinte, na quantidade de OPs em atraso em relação à data programada para execução definida pelo programa escalonador, falta de acompanhamento aos trabalhadores, programas de maquinagem desatualizados, falta de identificação de tabuleiros utilizados na produção e ainda na necessidade de atualização dos quadros *Kaizen*.

Na fase de diagnóstico descreveu-se a situação atual e os problemas supramencionados, tendo-se de seguida procedido à sugestão de propostas de melhoria que contemplaram o projeto de uma célula de produção para faces de cambota com base na previsão do aumento de vendas do produto final em 15%, que permitiria uma poupança de 42 600€/ano através da redução de três operadores.

Para além disso, com a implementação de formação e reuniões diárias em cada secção da empresa e com a atualização dos programas de maquinagem foi possível aumentar a percentagem de atividades que acrescentavam valor ao longo do processo produtivo da face longa e da face curta de cambota em 73% e 67%, respetivamente, graças ao efeito que as medidas surtiram na diminuição do *Lead Time*.

A eliminação da operação de retrabalho “Medronhar/rebarbar”, do processo produtivo de faces de cambota, conseguida através da atualização dos programas de maquinagem, contribuiu igualmente para a diminuição do *Lead Time*. No que toca às bielas, o acompanhamento diário dos trabalhadores em conjunto com a alteração do *layout* das máquinas retificadoras, contribuíram para a redução do *Lead Time* das mesmas, o que representou um aumento das atividades que acrescentavam valor na ordem

dos 76%. Destaca-se ainda o aumento de aproximadamente 10 pontos percentuais no cumprimento da data de entrega pedida pelo cliente para a entrega do produto final, a cambota.

Por último, a nível pessoal, o projeto desenvolvido permitiu consolidar o conhecimento adquirido na universidade, através da aplicação de conceitos *Lean Thinking*. O projeto tornou ainda possível desenvolver capacidades de gestão de recursos humanos e de interação interpessoal, e adaptação a novas situações.

7.2. Trabalho futuro

Como trabalho futuro na JASIL destaca-se a finalização da proposta de célula de produção de faces de cambota com a implementação física da mesma aquando da mudança para as novas instalações fabris, pois acredita-se que será possível continuar a diminuir a quantidade total de OPs em atraso em relação à data de entrega ao cliente seguinte e em relação à data de execução definida pelo programa escalonador.

Recomenda-se ainda a continuação do acompanhamento diário às diversas secções de modo a esclarecer os trabalhadores e as suas dúvidas de forma expedita, para além da continuação da projeção de novas células de produção para diversos componentes e/ou produtos fabricados na empresa, para além do estudo aprofundado do programa escalonador de modo a se identificarem possíveis causas raiz alternativas que condicionem o cumprimento das datas de execução definidas pelo mesmo.

Aconselha-se ainda a implementação contínua de braços robóticos e *robots*, de modo a estes inserirem as peças nas máquinas, de maneira a tornar o trabalho mais automatizado e menos pesado para os operadores. Por fim, recomenda-se um estudo sobre a viabilidade da utilização de um *Automated Guided Vehicle* (AGV) nas novas instalações fabris, dado a grande dimensão das mesmas e ainda por forma a diminuir os transportes manuais por parte dos operadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(4), 460–471. <https://doi.org/10.1108/17410380610662889>
- Alturki, R. (2021). Research Onion for Smart IoT-Enabled Mobile Applications. *Scientific Programming*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/4270998>
- Alves, A. C. (2007). *Projeto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto* [Tese de Doutoramento em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Minho]. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7606/1/TESE%20DE%20ANABELA%20ALVES.pdf>
- Alves, A. C., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, R. M. (2012). Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility. *The Learning Organization*, 19(3), 219–237. <https://doi.org/10.1108/09696471211219930>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., & Dinis-Carvalho, J. (2015). Redesign of the production system: A hard decision-making process. *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1128–1132. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385824>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., Dinis-Carvalho, J., & Moreira, F. (2015). Production systems redesign in a lean context: A matter of sustainability. *FME Transactions*, 43(4), 344–352. <https://doi.org/10.5937/fmet1504344A>
- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2019). Lean Thinking: A Transversal and Global Management Philosophy to Achieve Sustainability Benefits. In *Lean Engineering for Global Development* (pp. 1–31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_1
- Amaro, P., Carvalho, A., & Sousa, R. (2021). Lean Thinking as an Organizational Culture: A Systematic Literature Review. *Organizational Cultures: An International Journal*, 21(2), 63–102. <https://doi.org/10.18848/2327-8013/CGP/v21i02/63-102>
- Andreadis, E., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2017). Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors. *International Journal of Production Research*, 55(23), 7073–7095. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1347302>
- Bamber, C. J., Sharp, J. M., & Hides, M. T. (2000). Developing management systems towards integrated manufacturing: a case study perspective. *Integrated Manufacturing Systems*, 11(7), 454–461. <https://doi.org/10.1108/09576060010349758>

- Banco de Portugal. (2021, November 10). *Análise setorial da indústria metalomecânica*. Bpstat.Bportugal.Pt/Conteudos/Publicacoes/1313.
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, *168*(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, *34*(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Bicheno, J. (2008). *The Lean Toolbox for Service Systems*. PICSIE Books.
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The lean toolbox: The essential guide to lean transformation* (4th ed.). Picsie Books.
- Black, J. Temple., & Hunter, S. L. (2003). *Lean manufacturing systems and cell design*. Society of Manufacturing Engineers.
- Chapman, C. D. (2005). Clean House With Lean 5S. *Quality Progress*, *38*(6), 27–32.
- Chiarini, A., Baccarani, C., & Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *TQM Journal*, *30*(4), 425–438. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2017-0178>
- Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International Journal of Production Research*, *59*(5), 1386–1410. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, *22*(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Emiliani, M. L. (1998). Lean behaviors. *Management Decision*, *36*(9), 615–631. <https://doi.org/10.1108/00251749810239504>
- Fullerton, R. R., & McWatters, C. S. (2001). The production performance benefits from JIT implementation. *Journal of Operations Management*, *19*(1), 81–96.
- Gabriel, S. (2021). *Capítulo 4 - Compreendendo filosofias e abordagens de investigação*. Elearning UMinho - Métodos de Investigação Em Engenharia e Gestão Industrial e de Sistemas.
- Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision*, *46*(4), 565–579. <https://doi.org/10.1108/00251740810865067>

- GEMBA KAIZEN versus MUDA, MURA, MURI. (2012). *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, 27(4), 5–7. <https://doi.org/10.1080/21563306.2012.10554218>
- Gomes da Costa, L. F. T., & Arezes, P. M. F. M. (2016). *Introdução ao Estudo do Trabalho* (No. v11).
- Grout, J. R., & Toussaint, J. S. (2010). Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start. *Business Horizons*, 53(2), 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2009.10.007>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241–249. <https://doi.org/10.1080/17509653.2013.825074>
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. In *International Journal of Operations and Production Management* (Vol. 17, Issue 1, pp. 46–64). <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Hines, P., Silvi, R., & Bartolini, M. (2002). *Lean Profit Potential* (1st ed.). Lean Enterprise Research Centre.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2001). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management* (2nd ed.). Irwin McGraw-Hill.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill Education.
- Jastia, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M., & Espinosa, M. del M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. *Safety Science*, 78, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.022>
- Jingshan Li, & Blumenfeld, D. E. (2005). Analysis of Andon Type Transfer Production Lines: A Quantitative Approach. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 278–283. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570132>
- Kosuge, R., Modig, N., & Åhlström, P. (2010). Standardization in lean service: Exploring the contradiction. *Proceedings of the 17th International Annual EurOMA Conference*.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Massachusetts Institute of Technology*, 30(1).
- Lean Enterprise Institute. (2022). *Andon - What is it?* <https://www.lean.org/Lexicon-Terms/Andon/>.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

- Liker, J. K., & Meier, D. (2005). *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps* (1st ed.). McGraw-Hill Companies.
- Liker, J. K., & Meier, D. P. (2007). *Toyota Talent: Developing Your People the Toyota Way*. McGraw Hill.
<https://doi.org/10.1036/0071477454>
- 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>
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662–673.
<https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System - An Integrated Approach to Just-In-Time* (4th ed.). Taylor & Francis Group.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance* (11th ed.). Productivity Pr.
- O'Brien, R. (1998). An Overview of the Methodological Approach of Action Research. *American Institute for Research*, 2(4), 1–14.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press.
- Osada, T. (1991). *The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment* (2nd ed.). Asian Productivity Organization .
- Parry, G. C., & Turner, C. E. (2006). Application of lean visual process management tools. *Production Planning & Control*, 17(1), 77–86. <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>
- Ribeiro, L., Alves, A. C., Moreira, J. F. P., & Ferreira, M. (2013). Applying Standard Work in a Paint Shop of Wood Furniture Plant: A Case Study. *22 International Conference on Production Research* .
- Roberts, J. M. (1997). *A Short History of the World*. Oxford University Press.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. The Lean Enterprise Institute.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods for Business Students* (7th ed.). Pearson Education Limited.
- Schmitt, T., Wolf, C., Lennerfors, T. T., & Okwir, S. (2021). Beyond “Leanear” production: A multi-level approach for achieving circularity in a lean manufacturing context. *Journal of Cleaner Production*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128531>
- Shingo, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. CRC Press.

- Silva, S. C., & Alves, A. (2002). Design of Product Oriented Manufacturing Systems. In *Knowledge and Technology Integration in Production and Services* (pp. 359–366). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35613-6_40
- Simões, T., Alves, A. C., & Carneiro, P. (2015). From fixed to mixed: Rethinking production systems design for increased efficiency . *Industrial Engineer- Engineering and Management Solutions At Work, 47*(3), 43–48.
- Site oficial JASIL. (2022). <https://www.jasil.com>.
- Štefanić, N., Tošanović, N., & Hegedić, M. (2012). Kaizen Workshop as an Important Element of Continuous Improvement Process. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJEM), 3*(2), 93–98. http://www.iim.ftn.uns.ac.rs/ijiem_journal.php
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research, 15*(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Suri, R. (1998). *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. CRC Press.
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly, 23*(4), 582–603. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- Suzaki, K. (1987). *New Manufacturing Challenge: Techniques for Continuous Improvement* (Free Press & Macmillan Company, Eds.). Simon and Schuster.
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações LEAN* (1st ed.). LeanOp. <https://bibliografia.bnportugal.gov.pt/bnp/bnp.exe/registo?1816989>
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management, 27*(6), 766–799. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* . Free Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Rawson Associates.
- Woodbury, R. S. (1960). The Legend of Eli Whitney and Interchangeable Parts. *Technology and Culture, 1*(2), 235–253.

APÊNDICE 1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DE FACES DE CAMBOTA

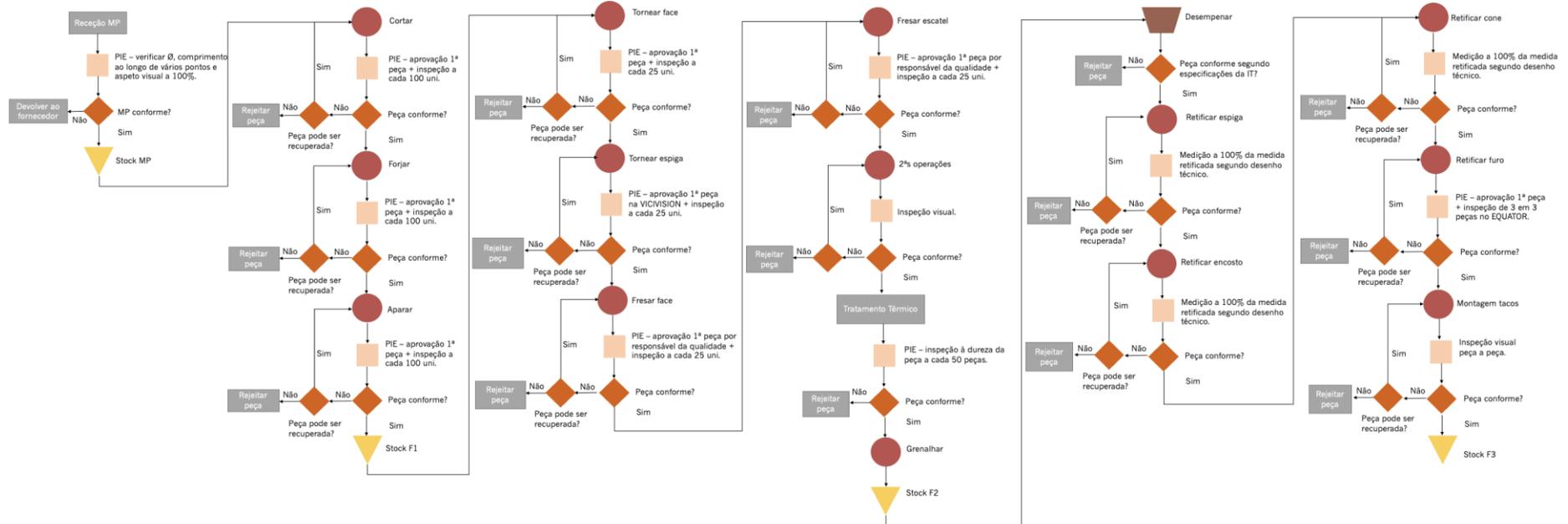


Figura 59 - Fluxograma do processo produtivo de faces de cambota em detalhe

APÊNDICE 2 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DAS BIELAS

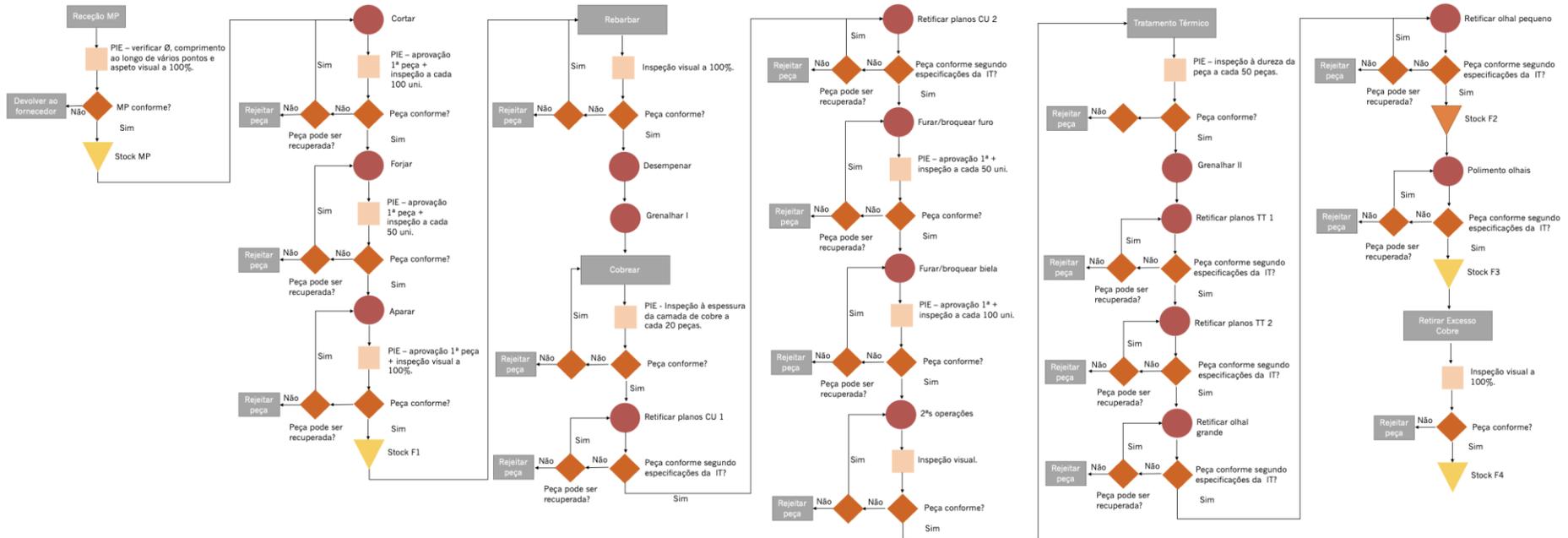


Figura 60 - Fluxograma do processo produtivo das bielas em detalhe

APÊNDICE 3 - VSM CAMBOTA FACE LONGA E CAMBOTA FACE CURTA

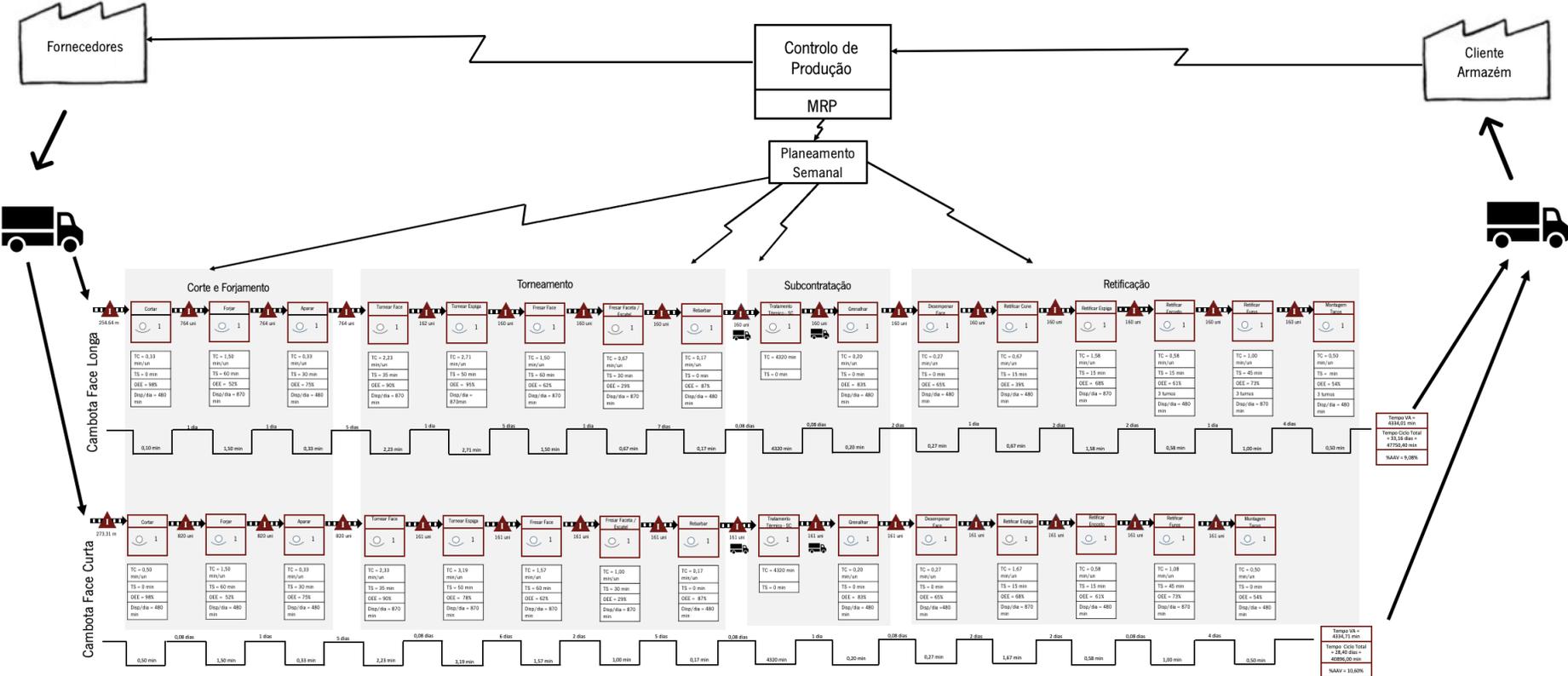


Figura 61 - VSM cambota face longa e cambota face curta

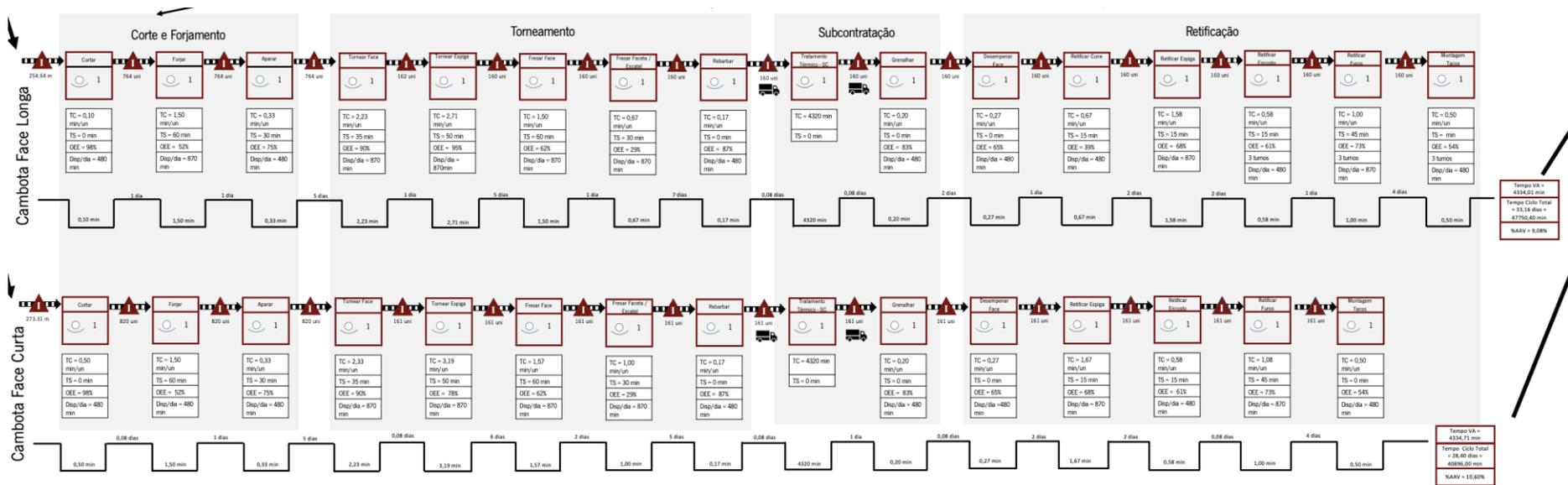


Figura 62 - Detalhe VSM cambota face longa e cambota face curta

APÊNDICE 5 - DIAGRAMA SPAGHETTI CAMBOTA FACE LONGA E CAMBOTA FACE CURTA

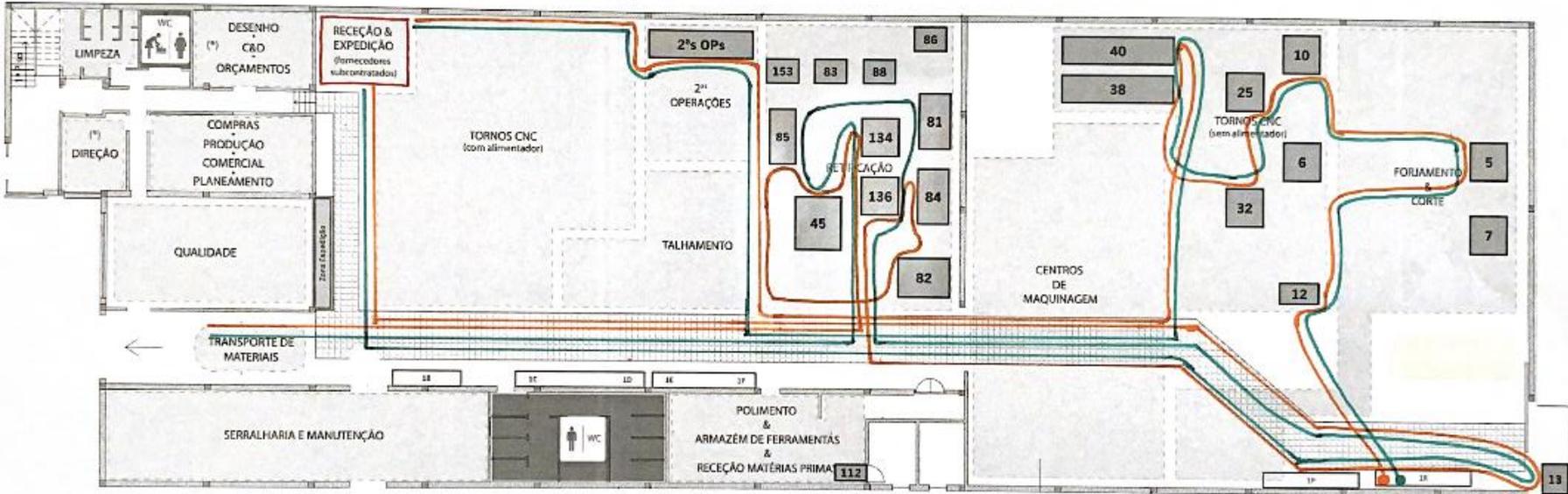


Figura 65 - Diagrama Spaghetti Cambota face longa (cor de laranja) e Cambota face curta (verde)

APÊNDICE 6 - DIAGRAMA SPAGHETTI BIELAS

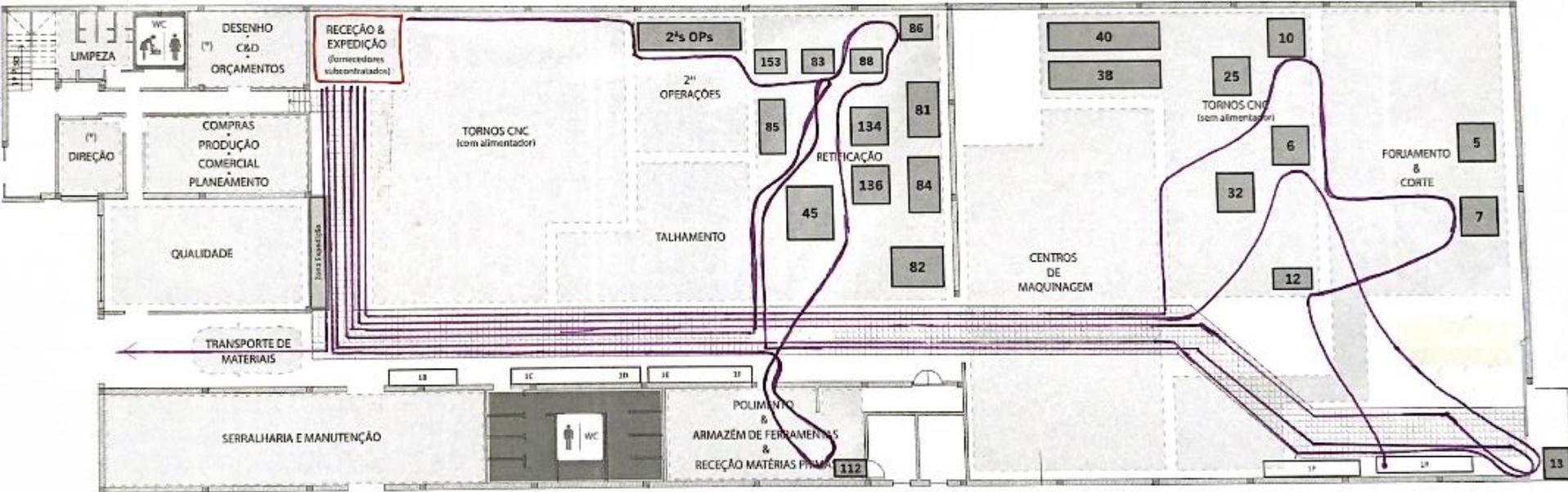


Figura 66 - Diagrama Spaghetti Bielas

APÊNDICE 7 - QUANTIDADE TOTAL DE OPs EM ATRASO EM F2 FACE DE CAMBOTA

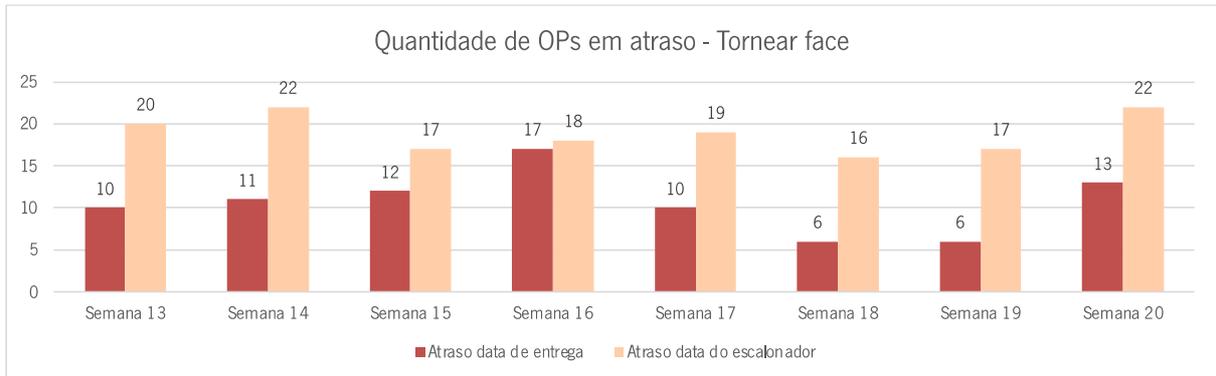


Figura 67 - Quantidade total de OPs em atraso tornear face

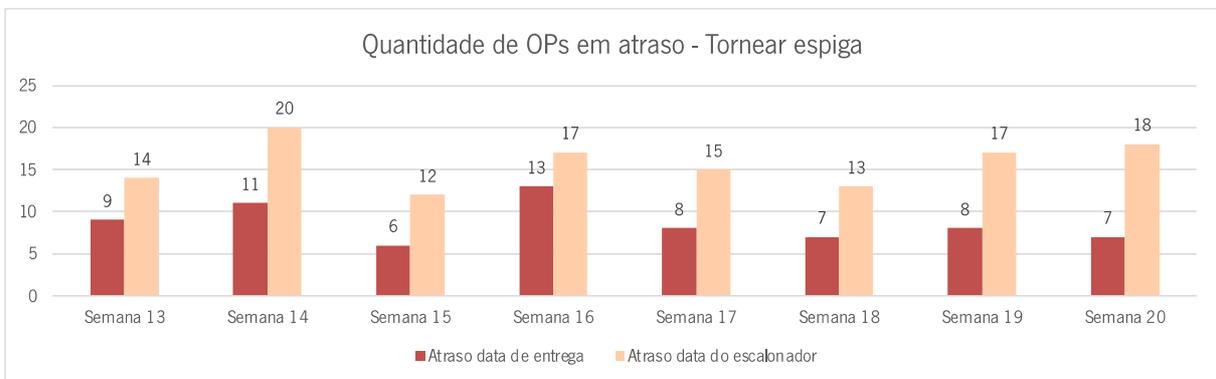


Figura 68 - Quantidade total de OPs em atraso tornear espiga

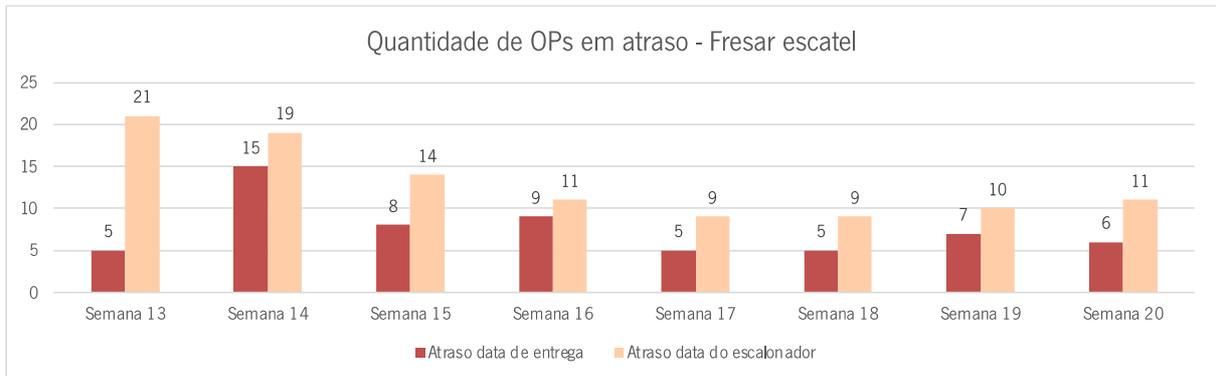


Figura 69 - Quantidade total de OPs em atraso fresar escatel

APÊNDICE 8 - QUANTIDADE TOTAL DE OPs EM ATRASO EM F3 FACE DE CAMBOTA

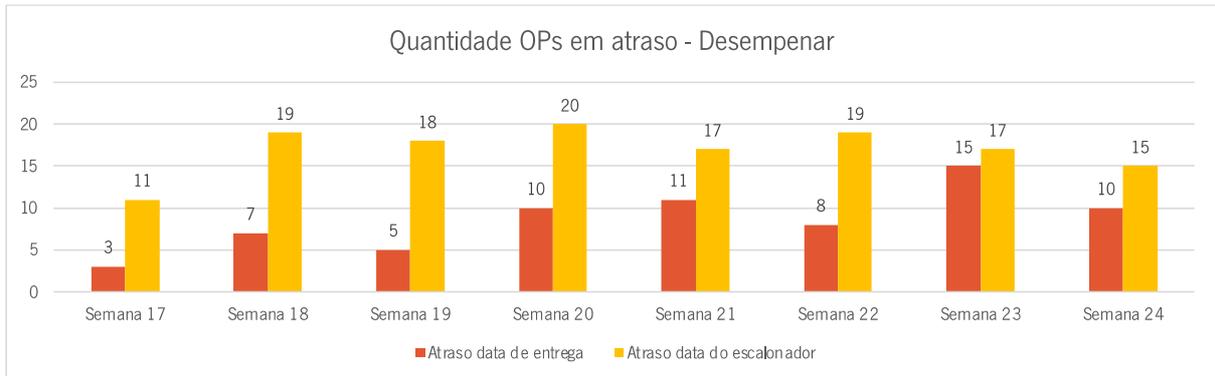


Figura 70 - Quantidade total de OPs em atraso desempenar face

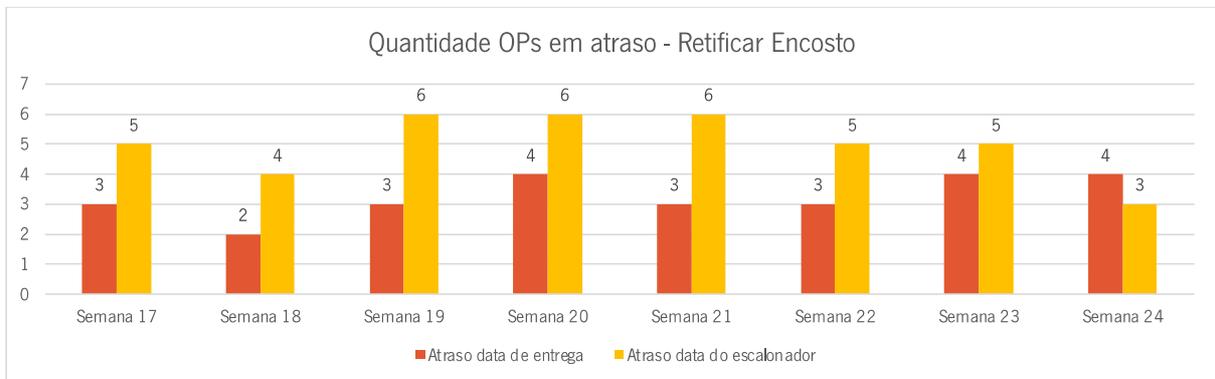


Figura 71 - Quantidade total de OPs em atraso retificar encosto

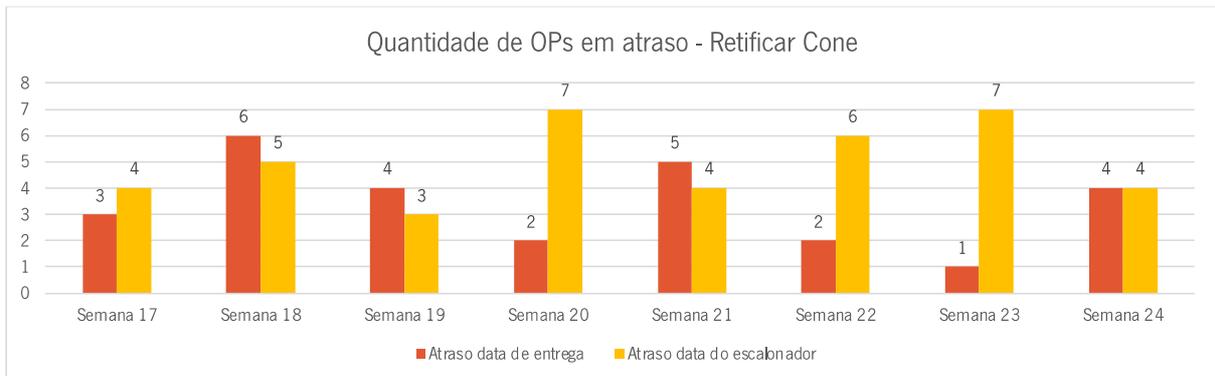


Figura 72 - Quantidade total de OPs em atraso retificar cone

APÊNDICE 9 - QUANTIDADE TOTAL DE OPs EM ATRASO BIELAS

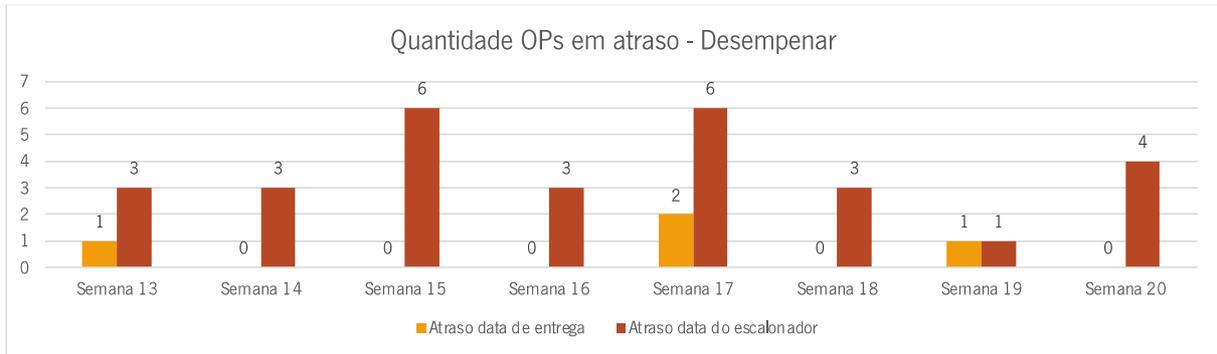


Figura 73 - Quantidade total de OPs em atraso desempenar biela

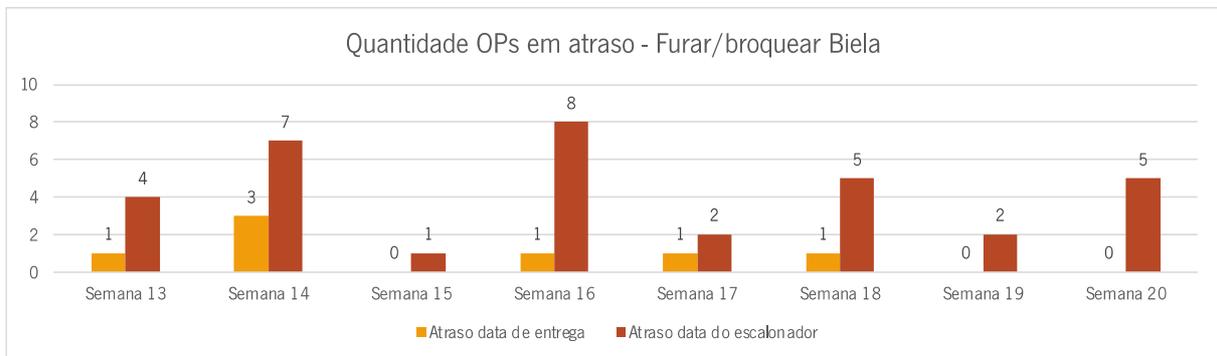


Figura 74 - Quantidade total de OPs em atraso furar/broquear biela

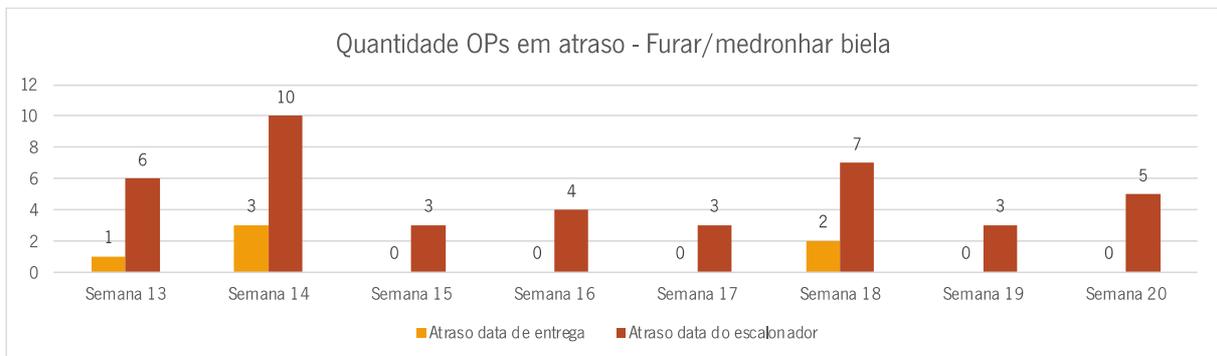


Figura 75 - Quantidade total de OPs em atraso furar/medronhar biela

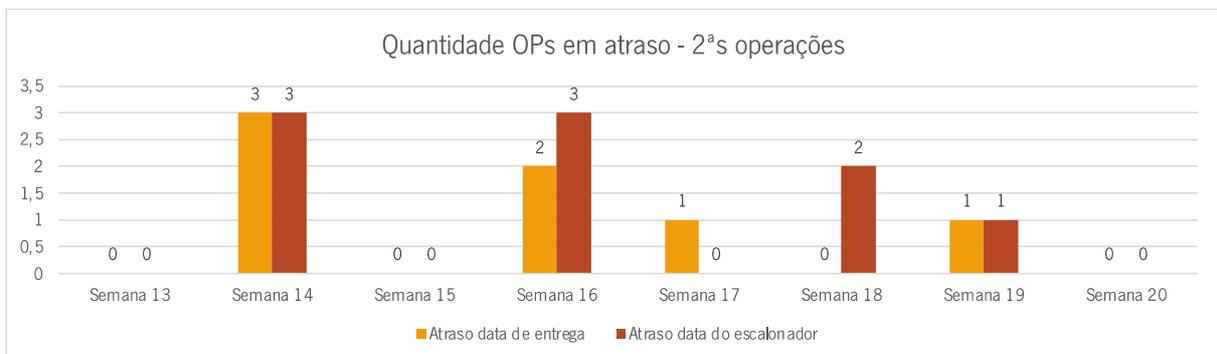


Figura 76 - Quantidade total de OPs em atraso 2^{as} operações biela

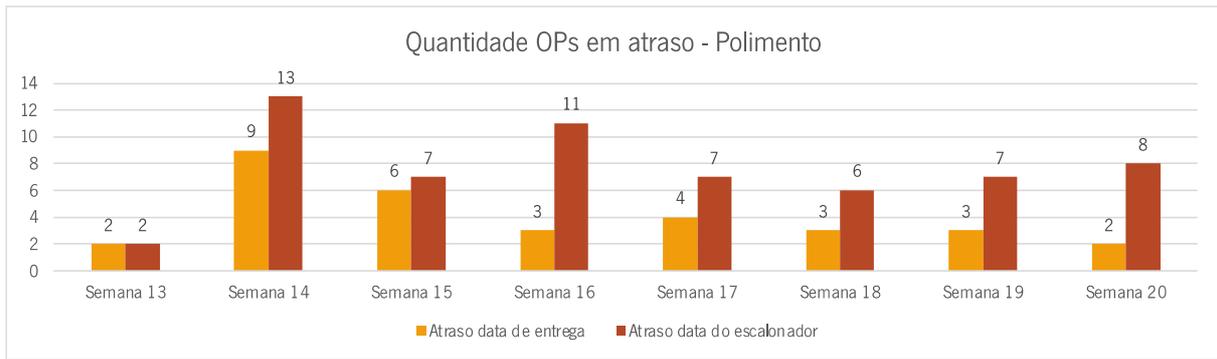


Figura 77 - Quantidade total de OPs em atraso polimento bielias

APÊNDICE 10 - ESTUDO DE TEMPOS

A medida do trabalho é um dos componentes do estudo do trabalho, e tem como objetivo determinar o tempo padrão para a realização de uma tarefa, por parte de um trabalhador qualificado (Gomes da Costa & Arezes, 2016). Através do tempo padrão torna-se possível identificar as necessidades de mão-de-obra e de equipamentos, sendo também um elemento crucial para a definição de prazos de entrega de encomendas.

Dependendo do tipo de trabalho a medir a técnica de medição pode variar, sendo que, para tarefas semiautomáticas de ciclos curtos e repetitivos a técnica mais adequada é a de estudo dos tempos através da observação direta, ou seja, a cronometragem, onde a medição do tempo é feita com recurso a cronómetros (Gomes da Costa & Arezes, 2016).

Durante a realização do estudo de tempos existem sempre diferenças nos tempos medidos para a mesma operação, mesmo que o trabalhador tente cumprir um ritmo constante. Estas diferenças derivam, por exemplo, dos próprios movimentos e ritmo do operador, da posição das ferramentas e utensílios utilizados e da posição e condição das peças trabalhadas. A utilização de cronómetros é ainda suscetível a erros cumulativos de manipulação e possíveis erros de leitura (Gomes da Costa & Arezes, 2016).

Para aumentar a fiabilidade das medições efetuadas deve-se colmatar a variabilidade que possa existir no estudo dos tempos, pelo que se deve obter uma amostra representativa da tarefa em análise através da determinação do número mínimo de observações que devem ser efetuadas. Este número mínimo de observações pode ser calculado através da Equação 6 (Gomes da Costa & Arezes, 2016).

$$N' = \left(\frac{Z*s}{\varepsilon*m} \right)$$

Equação 6 - Número mínimo de observações

N' representa o número mínimo de observações que é preciso efetuar para satisfazer o nível de confiança desejado; Z representa o valor tabelado para um dado intervalo de confiança; s representa o desvio padrão da distribuição das médias; ε representa a precisão; e m representa a média da amostra dos tempos.

Para o cálculo do desvio padrão utiliza-se a Equação 7 que se aplica para pequenas amostras de $N \leq 30$.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}} \text{ para } N \leq 30$$

Equação 7 - Desvio padrão

Com o objetivo de calcular o novo TC da operação “fresar face” após a alteração efetuada no código de maquinagem cujo deixava as peças sem rebarbas, foram feitas 10 medições de tempos desta operação. Uma vez que esta operação era composta por um TC da máquina, que era sempre o mesmo, e um tempo de operador (TO), que podia variar, decidiu-se calcular o número de observações mínimo tendo em conta o tempo de operador.

A tabela da Figura 78 contém os registos dos tempos de máquina e tempos de manuseamento, i.e., os tempos de operador.



Monitorização dos Tempos de Produção					
Peça	F2 Cambota Face Longa Aprilia RS Endurance Doppler Ø20mm			Processo	Fresar Face
Código Peça	F2CFL187	OP	2202277	Máquina/s	38
Operador	Daniel Gonçalves	Controlado por:	Margarida	Dia	16.05.2022

ATENÇÃO: Preencher os tempos na tabela em MINUTOS!

	Tempo de Máquina	Tempo de Máquina (Standby)	Tempo Manuseamento	Tempo Limpeza Peça	Tempo Limpeza Bucha/Mesa	Outros Tempos	Tempo Ciclo
1	1.75		0.40				1.67
2	1.75	0.12	0.43				1.68
3	1.75		0.40				1.67
4	1.75		0.46				1.66
5	1.75		0.42				1.68
6	1.75		0.40				1.67
7	1.75	0.15	0.44				1.68
8	1.75		0.47				1.65
9	1.75		0.42				1.64
10	1.75		0.46				1.66

ATENÇÃO: AO NÚMERO DE PEÇAS FEITAS POR CICLO

Nº Peças/ciclo	1						Tempo Ciclo (min)
Média dos Tempos	1.32	0.14	0.35				
Tempo médio/peça (min)	1.32	0.14	0.43				1.75

Desenho/Foto da Peça: 021545

Figura 78 - Monitorização dos tempos de produção operação "fresar face"

Atendendo a um nível de confiança de 95% e uma precisão de $\pm 5\%$, tem-se $Z = 1,96$ e $\varepsilon = 0,05$. Através das equações acima descritas obteve-se um valor de $s = 0,0267$ e $N' = 2,43 < N = 10$, pelo que se pode concluir que o N' obtido garante o nível de confiança pretendido. Ressalva-se nos cálculos utilizou-se um valor de $m = 0,43$. Este valor representa a média do tempo de operador vezes um incremento de 25%, definido pela empresa, de modo a ter em conta a variabilidade de tempo de operador dos diversos operadores que podem executar esta operação.

APÊNDICE 11 - CÁLCULOS AUXILIARES PROJETO CÉLULA DE CAMBOTAS

Dados auxiliares	
Tempo disponível/turno (min)	430
Dias úteis ano (uni)	234
Procura ano cambotas (uni)	68000
Procura ano cambotas + 15% (uni)	78200
Procura ano faces de cambota (uni)	136000
Procura ano faces de cambota + 15%(uni)	156400

Figura 79 - Dados auxiliares cálculo Takt Time

$$\text{Tempo disp/turno} = (8h \times 60\text{min}) - (10 + 10 \text{ minutos de intervalo}) - (30 \text{ min almoço}) = 430\text{min}$$

$$\text{Procura ano cambotas} + 15\% = \text{Procura ano cambotas} \times 1,15 = 68000 \text{ uni} \times 1,15 = 78200 \text{ uni}$$

$$\text{Procura ano faces de cambota} = 68000 \text{ uni} \times 2 \text{ faces de cambota} = 136000 \text{ uni}$$

$$\text{Procura ano faces de cambota} + 15\% = 78200 \text{ uni} \times 2 \text{ faces de cambota} = 156400 \text{ uni}$$

$$\text{Tempo disponível} = \text{tempo disp/turno} \times 3 \text{ turnos} \times \text{dias úteis ano}$$

$$\overline{N^{\circ} \text{ setups}} = \frac{\text{Procura ano faces de cambota}}{\text{Quantidade peças/OP}} = \frac{136000}{250} \approx 550 \text{ setups}^1$$

$$\text{Tempo necessário c/incremento 15\%} = (156400 \text{ uni} \times TC \text{ da operação}) + (TS + N^{\circ} \text{ setups})$$

$$N^{\circ} \text{ de máquinas} = \frac{\text{Tempo necessário c/incremento}}{\text{Tempo disponível}}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo disponível para produção/ano}}{\text{Procura ano}} = \frac{301860 \text{ min}}{156400 \text{ faces de cambota}} = 1,93 \text{ min/face de cambota}$$

$$N^{\circ} \text{ Teórico PT (Torneamento)} = \frac{\Sigma T_{\text{Processamento}}}{\text{Takt time}} = \frac{7,36 \text{ min}}{1,93} \approx 4 \text{ PT}$$

$$N^{\circ} \text{ Teórico PT (Retificação)} = \frac{\Sigma T_{\text{Processamento}}}{\text{Takt time}} = \frac{4,60 \text{ min}}{1,93} \approx 3 \text{ PT}$$

$$N^{\circ} \text{ Real PT (Torneamento)} = \frac{\Sigma \text{Tempo Operador}}{\text{Takt time}} = \frac{2,1 \text{ min}}{1,93} \approx 2 \text{ PT}$$

¹ Tendo em consideração o incremento de 15% da procura de cambotas, o n° de *setups* não se altera, aumentando-se assim a quantidade de peças realizadas por cada OP. A quantidade aumenta de, em média, 250 unidades para, em média, 285 unidades.

APÊNDICE 12 - CALCULO CAPACIDADE PRODUTIVA

Através das seguintes formulas estimou-se a capacidade para a célula de produção projetada:

$$\mathbf{Capacidade\ disponível} = \mathbf{Tempo\ de\ turno} * \mathbf{N^{\circ}\ de\ turnos} = (8h * 60)min * 3turnos = 1440min$$

$$\mathbf{Capacidade\ efetiva} = \mathbf{Capacidade\ disponível} - \mathbf{Paragens\ planeadas} = 1440min - (60min * 3) = 1260min$$

As paragens planeadas dizem respeito a um intervalo de 10min durante a primeira parte do turno, 30 minutos para almoço/jantar, 10min de intervalo durante a segunda parte do turno e 10min para a passagem de trabalho entre turnos.

$$\mathbf{Capacidade\ realizada} = \mathbf{capacidade\ efetiva} * \mathbf{OEE\ de\ Produção} = 1260min * 1 = 1260min$$

Na JASIL considerava-se um OEE a 100% no programa escalonador, ou seja, o objetivo máximo era uma taxa de utilização a 100% de todos os recursos disponíveis, mesmo sabendo-se que isto era uma utopia.

$$\mathbf{Procura\ diária} = \frac{\mathbf{Procura\ anual\ com\ incremento\ 15\%}}{\mathbf{Total\ dias\ úteis/ano}} = \frac{156400}{234\ dias} \approx 670\ unidades/dia$$

$$\mathbf{Capacidade\ esperada} = \mathbf{Tempo\ de\ ciclo} * \mathbf{procura\ diária} = 1,75 * 670unidades = 1172,50min$$

O tempo de ciclo considerado era o da operação com o tempo de ciclo mais alto, i.e., a operação de fresar face.

$$\mathbf{Utilização\ estimada\ da\ célula} = \frac{\mathbf{Capacidade\ esperada}}{\mathbf{Capacidade\ realizada}} * 100 = \frac{1172,50min}{1260min} = 93,06\%$$

APÊNDICE 13 - INSTRUÇÃO DE TRABALHO CHAPA DE METAL PARA TABULEIROS DE PRODUÇÃO

	Instrução de Trabalho IT.3.030 – Chapa Código de Barras para tabuleiros da produção Pág. 1/1
---	--

1 - Objectivo e Âmbito

Descrição da metodologia utilizada na operação de criação de chapa com código de barras para tabuleiros da produção.

2 – Terminologia

CCSO – Responsável de Compras e Subcontratação

SI – Sistema informático

RDPL – Responsável do Departamento de Planeamento

OCF – Operador corte e forjamento

OCNC – Operador CNC

OLAC – Operador armazém logística, compras

OM – Operador Montagem

OMT – Operador Manutenção

3 - Instrução

3.1 – Descrição Instrução

Acção	Resp	Doc
<ul style="list-style-type: none"> Efetuar compra de tabuleiro de produção 9EMBDIVERSO2 segundo IT.2.011 – Compra. 	CCSO	SI
<ul style="list-style-type: none"> Identificar a quantidade necessária de chapa de Alumínio AW6063-T6/T651 a comprar, segundo o cálculo $((60 \times 15) \text{mm}^2) \times (\text{quantidade total de tabuleiros adquiridos})$. 		
<ul style="list-style-type: none"> Lançar OP referente ao processo de marcação a laser das chapas. 	RDPL	SI
<ul style="list-style-type: none"> Selecionar OP e proceder ao corte da chapa, segundo a especificação do desenho alocado à OP. Em caso de dúvidas consultar IT.2.004 – Corte. 	OCF	SI
<ul style="list-style-type: none"> Selecionar OP e furar cada chapa, segundo a especificação do desenho alocado à OP. Em caso de dúvidas consultar IT.2.006 – Centro Maquinagem e Torno. 	OCNC	SI
<ul style="list-style-type: none"> Selecionar OP e enviar chapas furadas para anodizar a preto. Utilizar subcontratado mais adequado. 	OLAC	SI
<ul style="list-style-type: none"> Selecionar OP e rececionar peças após chegada do subcontratado e coloca-las na zona de expedição para o armazém. 		
<ul style="list-style-type: none"> Selecionar OP e efetuar marcação a laser nas chapas. Utilizar ficheiro <i>SERIE.las</i> que se encontra na pasta <code>\\servjasil2\Departamentos\Produção\Laser\Programas LASER\Caixas\</code>. Gravar o ficheiro com o último número utilizado para gravar a chapa. Em caso de dúvidas consultar IT.2.012 – Marcar. <p>ATENÇÃO: O número sequencial que consta no ficheiro foi o último utilizado. Alterar o número sequencial do código de barras a cada marcação.</p>	OM	SI
<ul style="list-style-type: none"> Colocar chapas gravadas na zona de expedição para a fabrica. 		
<ul style="list-style-type: none"> Cravar chapa na caixa utilizando rebites de metal. 	OMT	SI

Figura 80 - Instrução de trabalho chapa de metal para tabuleiros da produção

APÊNDICE 14 - VSM CAMBOTA FACE LONGA E FACE CURTA APÓS SUGESTÕES DE MELHORIA

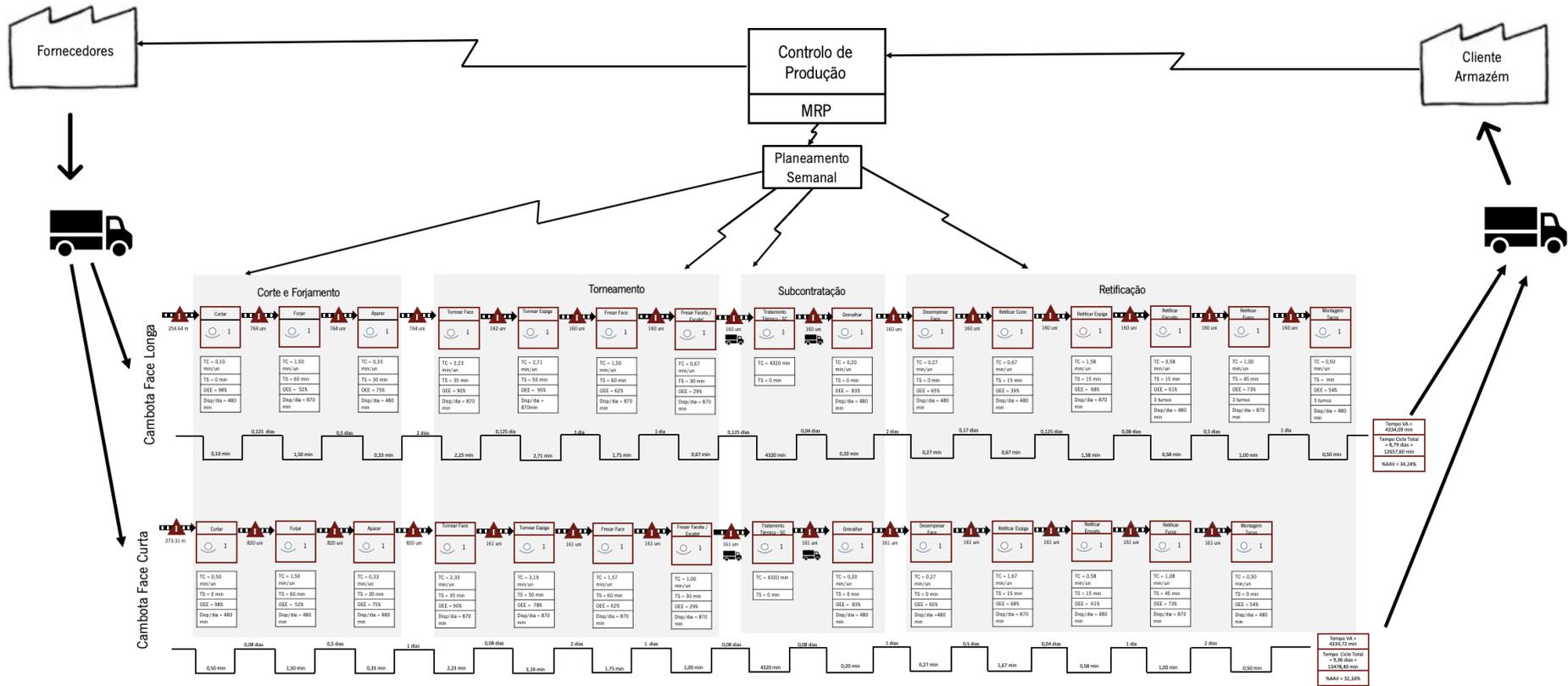


Figura 81 - VSM face longa e face curta de cambota após sugestões de melhoria

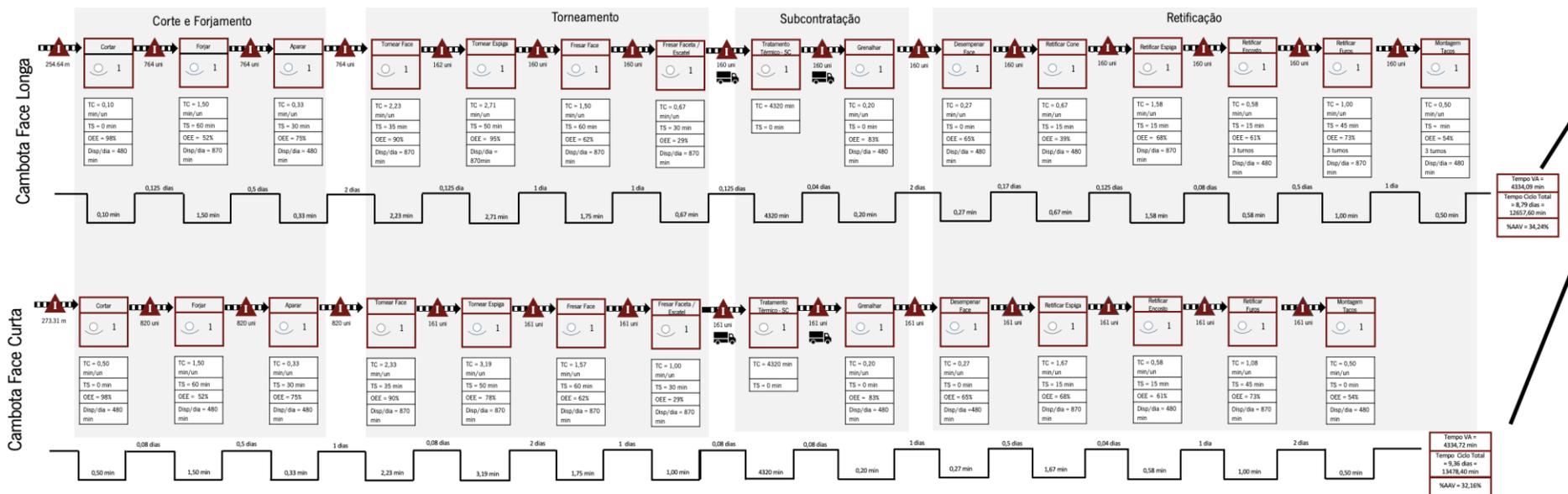


Figura 82 - Detalhe VSM face longa e face curta de cambota após sugestões de melhoria

APÊNDICE 15 - VSM BIELAS APÓS SUGESTÕES DE MELHORIA

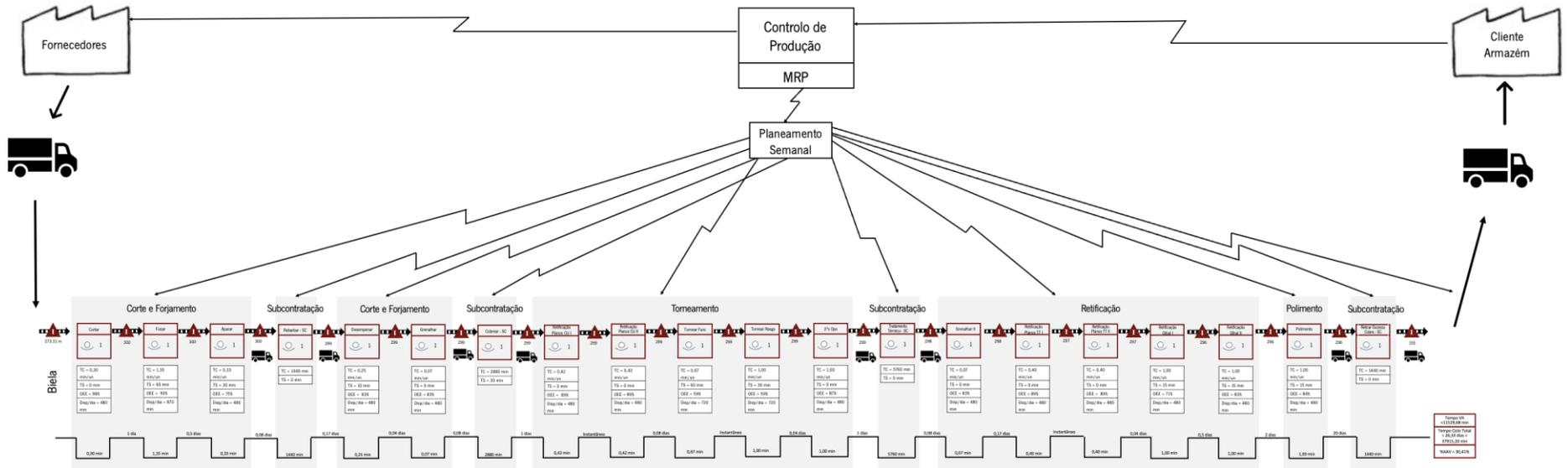


Figura 83 - VSM biela após sugestões de melhoria

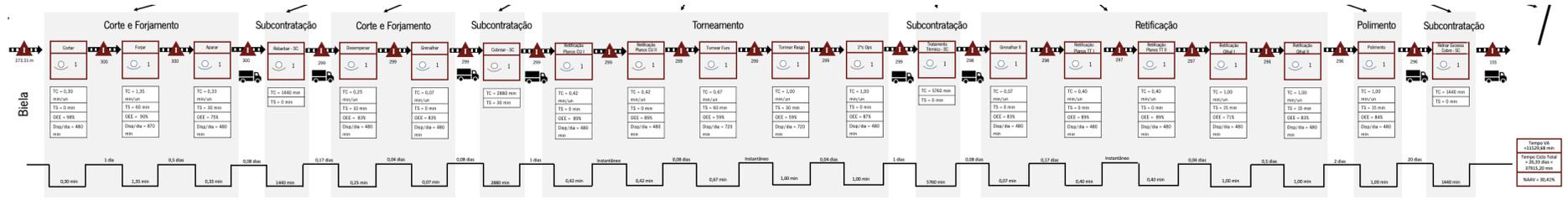


Figura 84 - Detalhe VSM biela após sugestões de melhoria

ANEXO 1 - EXEMPLOS DA SIMBOLOGIA UTILIZADA EM *VSMs*

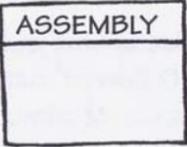
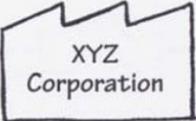
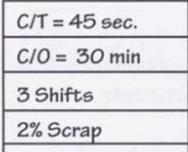
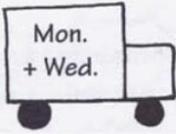
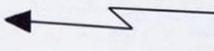
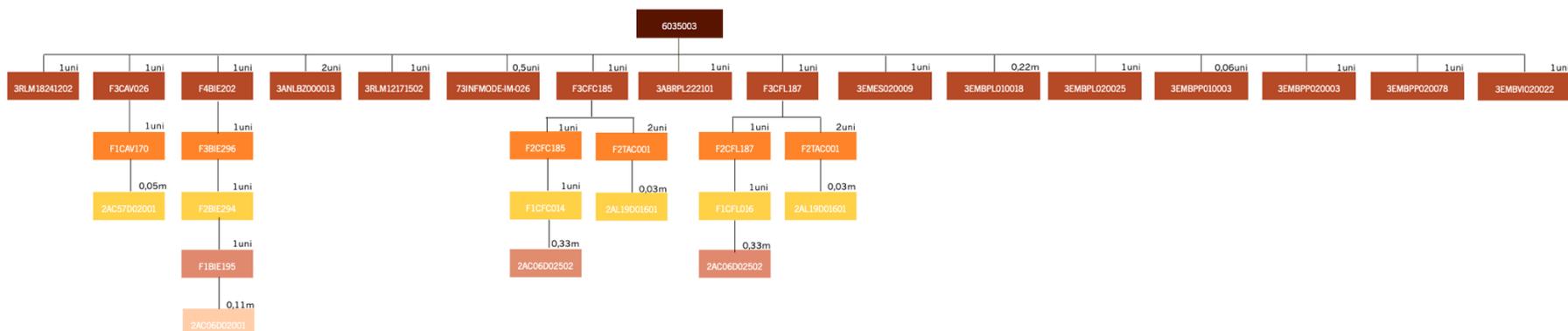
Simbologia VSM			
			
Processo	Cliente/Fornecedor	Caixa de dados	Inventário
			
Transporte por caminhão	Produção <i>Push</i>	Produção <i>Pull</i>	Supermercado
			
<i>Stock</i> de segurança	Evento <i>Kaizen</i>	Fluxo de informação informático	Fluxo de informação manual

Figura 85 - Exemplos da simbologia utilizada em *VSMs* (Rother & Shook, 1999)

ANEXO 2 - BOM MULTINÍVEL



Legenda dos códigos

Nível 1	Código	Descrição	Código	Descrição
	3RLM18241202	Rolamento de agulhas F96003	3EMBES020009	Cepo esfervite cambota IV
	F3CAV026	F3 Cavilha ø18x41 Aprilia RS5	3EMBPL010018	Fita autocolante 50mm Jasil
	F4BIE202	F4 Biela RS5 furo ø24/ø17	3EMBPL020025	Saco plástico 20x30 cambotas
	3ANLBZ000013	Anelinho para bielas ø31,5 x ø18 x 1mm	3EMBPP010003	Caixa 51x29x39
	3RLM12171502	Rolamento de agulhas KV	3EMBPP020003	Caixa cambota Doppler tamanho S
	F3CFC185	F3 Cambota face curta Aprilia RS5	3EMBPP020078	Etiqueta térmica 60x40mm
	F3CFL187	F3 Cambota face longa Aprilia RS5	3EMBVIO20022	Autocolante Doppler em vinil 11x03mm
	3ABRPL222101	Abraçadeira Plástico		

Nível 2	Código	Descrição
	F1CAV170	F1 Cavilha ø18x41 Aprilia RS5
	F3BIE296	F3 Biela N.G. Aprilia RS5 furo ø24/ø17
	F2CFC185	F2 Cambota face curta Aprilia RS5
	F2CFL187	F2 Cambota face longa Aprilia RS5
	F2TAC001	F2 Taco Aprilia RS/Minarelli 6Vel. Endurance ø16x12.70mm Azul

Nível 3	Código	Descrição
	2AC57D02001	Aço 14NiCrMo13 ø20
	2AL19D01601	Alumínio EM AW 6082 ø16
	F2BIE291	F2 Biela N.G. Aprilia RS5 furo ø24/ø17
	F1CFC016	F1 Cambota face curta Competição Aprilia RS5/Yamaha DT50MX N.G.
	F1CFL018	F1 Cambota face longa Competição Aprilia RS5/N.G.

Nível 4	Código	Descrição
	2AC06D02502	Aço 18CrMo4 25mm
	F1BIE195	F1 Biela N.G. Aprilia RS5 furo ø24/ø17

Nível 5	Código	Descrição
	2AC57D02001	Aço 14NiCrMo13 ø20

Figura 86 - BOM multinível e respetiva legenda