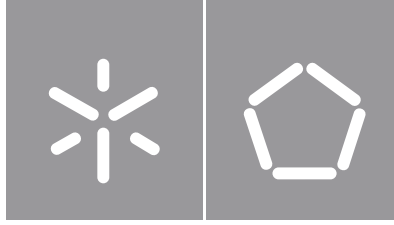




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Jorge Magalhães da Rocha
**Otimização de Células de Produção de
Artigos em Alumínio Fundido**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

António Jorge Magalhães da Rocha

**Otimização de Células de Produção de
Artigos em Alumínio Fundido**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre
em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)

Professor Doutor José Dinis Carvalho

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-NãoComercial-Compartilhalgal
CC BY-NC-SA**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

[Esta licença permite que outros remisturem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que lhe atribuam a si o devido crédito e que licenciem as novas criações ao abrigo de termos idênticos.]

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas e entidades que direta ou indiretamente contribuíram para a realização da presente dissertação. Mais que isso, estou agradecido a inúmeras pessoas que me inspiraram durante o percurso académico, que culmina com este momento.

Agradeço ao Professor Doutor Dinis Carvalho, pelo seu apoio, pertinência e paciência e também aos professores de MIEGI em geral, por me terem cativado e instruído nesta direção.

Ao Sr. João Carlos, pela oportunidade e confiança concedidas para trabalhar na Firmago S.A. e por me mostrar uma perspetiva holística da empresa. Ao Eng.º Machado e Cunha, pela integração, suporte, orientação e conhecimento. A todos os trabalhadores da Firmago que sempre foram cooperativos e criaram um ambiente de boa disposição.

Aos meus pais e à minha irmã Joana. Nunca irei agradecer o suficiente por tudo, por escrito ou de outra forma. Talvez um dia.

Aos meus amigos e a inúmeros professores incansáveis. Por todos os momentos. Guimarães, Braga, Amares, Porto, Cascais.

A todos os desafios.

Obrigado.

“All models are wrong, some are useful” (George E.P. Box)

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

RESUMO

A presente dissertação em “Otimização de Células de Produção de artigos em alumínio fundido” foi desenvolvida no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Universidade do Minho e do estágio curricular na empresa de fundição de alumínio Firmago S.A.

Inicialmente foi realizado um trabalho de análise da estrutura empresarial, do mercado associado, das instalações, dos objetivos e dificuldades da empresa e dos processos de fabrico.

Concluída a fase de reconhecimento, foi determinado um foco de ação, tendo em conta oportunidades de melhoria e a sua relação de custo-benefício para a empresa assim como relevância académica: as células de acabamentos de fundição, consideradas o *bottleneck* da unidade fabril. Pretendia-se aumentar o conhecimento do processo e a fluidez de produção nas células de acabamentos de peças fundidas em alumínio, enquanto se contribui para a aproximação da produção à filosofia *Lean*.

As soluções propostas provêm de várias áreas relacionadas com gestão industrial: gestão e planeamento de produção, investigação operacional, automatização, qualidade e ergonomia. As decisões e melhorias sugeridas e implementadas visam a otimização dos KPI's mais relevantes à luz dos desperdícios mais comuns da secção tal como os objetivos a curto, médio e longo prazo para a mesma.

No decorrer do projeto ocorreu um aumento significativo na capacidade de produção e eficiência das células, na compreensão, na normalização e na qualidade do processo. Outras melhorias, não inicialmente pretendidas, foram também conseguidas, como a automatização do processo de validação dos tempos de cada operação, em cada referência, presentes no sistema informático. Estas alterações suportam e facilitam os objetivos a médio e longo prazo da empresa, sendo, portanto, de benefício duradouro e cumulativo.

Palavras-Chave

Balanceamento, Células de Produção, Normalização, *Lean*

ABSTRACT

The present dissertation, “Optimization of Production Cells of aluminum cast products” was developed during the Integrated Master’s Degree in Industrial Management Engineering course, lectured by Minho University, in collaboration with a foundry company: Firmago S.A.

The first action taken was an overall initial analysis on company structure, market, general foundry processes, assets, goals and struggles was.

After the recognition phase, a specific point of action was defined taking in consideration the improvement opportunities and their cost-benefit relations regarding the company as well as their academic relevance.

The system of the production cells, responsible for processing the foundry products is the bottleneck of the whole factor. More process related knowledge and better production flow were required in the cell system, along with paving the way towards the Lean philosophy.

The suggested improvements come from different industrial management and engineering components: production management and planning, operational research, automation, quality and ergonomics. These suggestions aim to improvement the most relevant KPI’s and evaluate the most common wastes as well as its short, medium and long-term objectives.

A significant increase in max production capacity and cell efficiency was achieved, along with deeper understanding, standardization and process quality as well as other non-expected improvements like the automation of the production data validation for each product. These changes are in line with the company’s goals, providing cumulative and lasting benefits.

Keywords

Lean; Standardization, Production Cells, Work balance

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do projeto	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia	2
2 Enquadramento teórico.....	4
2.1 <i>Lean Thinking</i>	4
2.1.1 Princípios Inerentes	8
2.1.2 Formas de desperdício: Muda, Mura e Muri	13
2.1.3 Estrutura: a “Casa TPS”	22
2.1.4 Implementação do Lean	48
2.2 Células de produção.....	52
2.2.1 Sistemas de produção orientados à função e sistemas orientados ao produto.....	53
2.2.2 Modos operatórios.....	55
2.3 Tempos de operação.....	62
2.3.1 Medição e Registo	62
2.3.2 Análise	63
2.4 Não conformidades comuns em artigos em alumínio fundido.....	64
2.5 Princípio de Pareto	66
3 Análise e diagnóstico	68
3.1 A empresa	68

3.2	Processo de fabrico	74
3.2.1	Processos de Fundição e Acabamento	75
3.2.2	Processos de Maquinação	77
3.2.3	<i>Layout</i> e Transporte	78
3.2.4	Gama operatória.....	83
3.2.5	O <i>bottleneck</i> do sistema de produção	87
3.3	Sistema de Informação na Produção	88
3.4	Gestão de Encomendas.....	89
3.5	Normalização.....	90
3.6	Ergonomia	90
3.7	Resumo do diagnóstico	91
3.7.1	Objetivos específicos.....	95
3.7.2	Síntese do plano de trabalho.....	96
4	Desenvolvimento e implementação de ações de melhoria.....	99
4.1	Registos de operação	99
4.1.1	Dados a recolher	99
4.1.2	Bases de Dados	100
4.1.3	Artigos a analisar (Princípio de Pareto)	104
4.1.4	Validação dos tempos de operação no sistema informático	106
4.1.5	Automatização da validação dos tempos de operação no sistema informático.....	107
4.2	Definição de KPI's.....	108
4.2.1	<i>Lead time</i>	109
4.2.2	Tempo de Ciclo	117
4.2.3	<i>Takt Time</i>	122
4.3	Balanceamento das células	124
4.3.1	Análise das operações e tempos	124
4.3.2	Desperdícios <i>Lean: Muda</i>	125
4.3.3	Classificação das atividades: <i>muda</i> tipo 1 e tipo 2.....	131
4.3.4	Condições iniciais.....	132
4.3.5	Redução do tempo de ciclo e balanceamento: implementação de PT's.....	133

4.3.6	<i>Rabbit Chase</i>	136
4.3.7	Reatribuição temporária de tarefas de manutenção	136
4.4	Normalização	137
4.4.1	Operação de grenalhagem	137
4.4.2	5S: Definição e marcação de zonas para WIP e armazenamento dos ganchos	140
4.4.3	Ajudas Visuais	140
4.4.4	Definição do fluxo de material	143
4.5	Melhoria do processo	146
4.6	Ergonomia	147
5	Análise de resultados	148
5.1	Cumprimento de objetivos.....	148
5.1.1	Registos de operação.....	148
5.1.2	Definição de KPI's;	148
5.1.3	Balanceamento das células	149
5.1.4	Normalização	150
5.1.5	Melhoria do processo	152
5.1.6	Ergonomia.....	152
5.1.7	Aproximação da produção à filosofia <i>Lean</i>	152
5.2	Resultados espectados e obtidos	154
5.3	Trabalhos futuros	155
6	Conclusão	156
7	Referências.....	157
	Anexo I - Glossário	163
	Anexo II- Peças Analisadas.....	164
	Anexo III – Análise ao <i>layout</i> das zonas de fabrico: CORELAP	167
	Anexo IV – Diagramas BPMN	170
A.	Processos de fundição e acabamento.....	170
B.	Processo de encomenda	171
C.	Processo de Fabrico.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação simplificada da filosofia Lean (Ohno; Bodek, 1998).	8
Figura 2 - Os 5 princípios envolvidos numa implementação Lean (Lean Enterprise Institute, 2016)	8
Figura 3 - Ilustração Mura, Muri, Muda	13
Figura 4 - Casa TPS original de Liker (2004)	23
Figura 5 - Kaizen como filosofia de gestão (adaptado de Imai, 1989, p.40).....	28
Figura 6 - Princípios fundamentais do Kaizen: comparação de perspectivas (Imai,1989).	28
Figura 7 - Ciclo PDCA e SDCA (Imai, 1997).....	30
Figura 8 - Principais ícones utilizados na construção de um VSM.....	32
Figura 9 - Mapeamento de um fluxo de valor.....	34
Figura 10 - Metodologia de normalização (adaptado de Ungan, 2006)	35
Figura 11 – Exemplo de Nivelamento de Produção (Heijunka) (Liker, Jeffrey, Meier, 2006).....	37
Figura 12 - Separação entre homem e máquina (Ghinato, 2000).....	38
Figura 13 - Representação geral do sistema JIT (H.Hirano, 2009)	44
Figura 14 - Passos para estabelecer um sistema JIT (H.Hirano, 2009).	45
Figura 15 - Transformação de um fluxo não contínuo num fluxo contínuo (Rother & Shook, 1999)	47
Figura 16 - Fases de implementação de um sistema SMED.....	48
Figura 17 - Sistemas orientados à função e sistemas orientados ao produto.	53
Figura 18 - Tipos de sistemas de produção por quantidade e variedade (adaptado de Alves 2007).....	54
Figura 19 - Representação do Working Balance (Alves, 2007).	55
Figura 20 - Modo Working balance com 3 e 4 operadores (Oliveira & Alves, 2009).	56
Figura 21 - Rabbit Chase linear (a) e em U (b) (Alves, 2007).	57
Figura 22 - Movimento com e sem produto no modo Rabbit Chase (Alves, 2009)	57
Figura 23 - TSS em "U" (a) e linear (b) (Alves, 2007)	58
Figura 24 - Baton-touch em "U" (a) e linear (b) (Alves,2007)	59
Figura 25 - Baton-touch (Baudin, 2013).	60
Figura 26 - Bucket Brigades.....	60
Figura 27 - Bucket-Brigades geral (a), em "U" (b) e linear (c) (Alves, 2007)	61
Figura 28 - Defeito por gás.....	65
Figura 29 - Defeito por encolhimento (Rechupe).....	65

Figura 30 - Defeito do material de moldação (Rebarbas).....	65
Figura 31 - Defeito de vazamento.....	66
Figura 32 - Defeito de metalurgia (rasgo)	66
Figura 33 - História da empresa.....	69
Figura 34 - Localização dos clientes da empresa.....	69
Figura 35 - Indústrias a que se destinam os produtos.....	70
Figura 36 - Volume de negócios desde 2006.....	70
Figura 37 - Hierarquia dos departamentos e secções atribuídas aos mesmos	71
Figura 38 - Colaboradores por departamento	72
Figura 39 - Distribuição de cargos pelos operadores.....	73
Figura 40 - Operadores por departamento.....	73
Figura 41 - Colaboradores e funções por departamento.....	73
Figura 42 - Processo geral de fabrico da Firmago.....	74
Figura 43 - Temperatura da areia, vida útil e resistência à flexão (Auxiliar Industrial S.A., 2007).....	75
Figura 44 - Exemplo de macho	75
Figura 45 - Exemplos de diferentes níveis de gola no vazamento.	76
Figura 46 - Máquina de corte (serra fita).	77
Figura 47 - Máquina e cesto de tratamento térmico.....	77
Figura 48 - Maquinação CNC.....	78
Figura 49 - Fluxo do material pelas zonas de fabrico.	78
Figura 50 - Fluxo de fusão e distribuição do alumínio.	80
Figura 51 - Células de produção (1 a 7) e acessos na seção de Acabamentos de Fundição	81
Figura 52 - Célula completa	81
Figura 53 - Área de estacionamento dos ganchos da grenalhagem	82
Figura 54 - Zonas de acumulação de WIP na seção de Acabamentos de Fundição.....	82
Figura 55 - Gama operatória geral.....	84
Figura 56 - Gamas operatórias mais frequentes na seção de acabamentos de fundição	85
Figura 57 - Fluxo não contínuo, Buffers significativos	85
Figura 58 - Tamanho médio do lote, por linha de moldação originária	86
Figura 59 - Quantidade de artigos e peso em alumínio produzidos por linha	87
Figura 60 - Cumprimento atual e ação futura sobre os componentes Lean da casa TPS.	95
Figura 61 - Excerto da base de dados BD71.....	102

Figura 62 - Excerto da base de dados BD1617.....	102
Figura 63 - Excerto da base de dados BDTEMPOS	103
Figura 64 - Gráfico de Pareto para seleção das referências a analisar	105
Figura 65 - Lista de referências validadas.....	107
Figura 66 - Quantidade e percentagem de registos em O.F.s e em artigos (BD71)	109
Figura 67 - Gráfico de dispersão do Lead Time pela quantidade de artigos na O.F.	110
Figura 68 - Lead Time estimado pelo Departamento de Produção	110
Figura 69 - Lead Time de firmação da O.F. após criação (média aritmética e ponderada).	111
Figura 70 - Lead Time médio por trimestre, por média simples e por quantidade ponderada	113
Figura 71 - Encomendas concluídas antecipadamente, após o prazo e no dia estipulado	114
Figura 72 - Boxplot de valores de Lead Time	115
Figura 73 - Gráfico, equação e ajuste da regressão linear do Lead Time	116
Figura 74 - Exemplo das condições envolvidas na função generalizada geradora das quantidades....	118
Figura 75 - Total de artigos produzidos de cada referência, em cada célula e posto de trabalho	119
Figura 76 - Tempo de produção total por referência, em cada célula e posto de trabalho	120
Figura 77 - Tempo de ciclo por referência, em cada célula e posto de trabalho.....	120
Figura 78 - Tempo de Ciclo por posto de trabalho	121
Figura 79 - Tempo de Ciclo por operação.....	121
Figura 80 - Tempo de ciclo por operação nas células completas (2 e 3)	122
Figura 81 - Distribuição do tempo por atividade nas células.....	124
Figura 82 - Sobreprodução quanto a O.F.s, quantidade de artigos e peso em alumínio (BD71).	125
Figura 83 - Análise quantitativa e percentual à sobreprodução (BD1617).....	126
Figura 84 - Sobreprodução por linha, em quantidade de artigos e em peso	126
Figura 85 - Quantidade média em buffer em cada PT das células 2 e 3.....	127
Figura 86 - Stock intermédio e final excessivos.....	128
Figura 87 - Percentagem do tempo disponível gasto em cada tipo de movimento	129
Figura 88 - Distribuição do tempo gasto em movimento, por tipo e célula	129
Figura 89 - Tipos de movimento por PT, na célula 2	129
Figura 90 - Taxa interna de não-conformidade de artigos.....	130
Figura 91 - Distribuição do tempo: produtivo e tipos de muda	131
Figura 92 - Layout inicial do sistema de células.....	132
Figura 93 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação	132

Figura 94 - Tempo de atravessamento de um lote médio de 31 artigos nos P.T.'s das células 2 e 3	133
Figura 95 - Layout do sistema após implementação do corte na célula 1	133
Figura 96 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação, após implementação do PT adicional de acabamento	134
Figura 97 - Layout do sistema após implementação do acabamento na célula 1	135
Figura 98 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação, após implementação dos postos adicionais de acabamento e de corte	135
Figura 99 - Tabela de Ganchos de Grenalhagem	138
Figura 100 - Tabela "Registo de Grenalhagem" (excerto)	139
Figura 101 - Instrução de Grenalhagem (exemplo)	139
Figura 102 - WIP antes da implementação dos 5S (1ª e 2ª figuras) e após (3ª figura)	140
Figura 103 - Armazenamento de ganchos.	140
Figura 104 - Exemplo de One Point Lesson	142
Figura 105 - Ordenação por múltiplos critérios e coluna de percentagem de artigos e acumulada...	143
Figura 106 - Fluxo descontínuo e fluxo descontínuo nas células (elevados buffers)	146
Figura 107 - Fluxo de elevado muda removidos (à esquerda) e fluxos após a implementação dos PT's (à direita)	149
Figura 108 - Cumprimento atual e ação futura sobre os conceitos Lean representados sobre a Casa do TPS adaptada de Liker.	153
Figura 109 - Diagrama de Muther da fábrica	167
Figura 110 - Ilustração do resultado da aplicação do CORELAP	169
Figura 111 - BPMN do processo de fundição.	170
Figura 112 - BPMN do processamento de encomendas.	171
Figura 113 - BPMN do processo de fabrico.	172

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese: Muda, causas, consequências e medidas	20
Tabela 2 - Comparação dos modos operatórios.....	62
Tabela 3 - Departamentos e funções dos colaboradores	72
Tabela 4 - Síntese do plano de trabalho.	96
Tabela 5 - Tabela de referências resultante do princípio de Pareto (excerto)	105
Tabela 6 - Excerto da lista resultante de Pareto: 80% da quantidade produzida	106
Tabela 7 - Excerto da lista resultante de Pareto: 20% das referências produzidas	106
Tabela 8 - Excerto da lista resultante de Pareto: Seleção da amostra inicial a analisar.....	106
Tabela 9 - Lead Time de início de produção após firmação da O.F.....	112
Tabela 10 - Formulas para o Lead Time resultantes de diversas regressões e o seu grau de ajuste. .	115
Tabela 11 - Margens e coeficientes, taxa de cumprimento de prazos de O.F.s e aumento do nível de serviço	116
Tabela 12 - Margens e coeficientes, taxa de cumprimento de prazos de artigos e aumento do nível de serviço	117
Tabela 13 - Atividades classificadas em muda tipo 1 e muda tipo 2.....	131
Tabela 14 - Benefícios dos novos PT's no tempo de ciclo e taxa máxima de produção do sistema de células	149
Tabela 15 - Análise dos resultados obtidos face aos objetivos definidos.	154
Tabela 16 - Peças analisadas.....	164
Tabela 17 - Escala VGR.....	167
Tabela 18 - Tabela de TCR e área por seção	168

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

Cap. - Capítulo

JIT - *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicators*

LT – *Lead Time*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PT – Posto de trabalho

SMED – *Single-Minute Exchange of Die*

TC – Tempo de Ciclo

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

TQM – *Total Quality Management*

TT – *Takt Time*

VSM – *Value Stream Mapping*

WIP – *Work-In-Progress*

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação resulta de um estágio, viabilizado por uma parceria entre a Universidade do Minho e a empresa, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. Permitiu experienciar o funcionamento em organização, a tomada de decisões em ambiente real e a aplicação estruturada e criativa de conceitos académicos. Este capítulo apresenta o enquadramento do projeto, os objetivos, a metodologia envolvida e a estrutura do documento.

1.1 Enquadramento do projeto

A presente dissertação enquadra-se na perseguição persistente da visão de uma organização *Lean* por parte da empresa. O trabalho desenvolvido baseia-se fortemente nestes princípios (introduzidos inicialmente décadas atrás como *Toyota Production System*) assim como nas ferramentas resultantes que foram estudados, desenvolvidos e aplicados internacionalmente por se terem revelado metodologias proveitosas nos mais variados sectores.

A fundição de alumínio, indústria em que se insere o projeto, traduz-se em elevado consumo de matéria-prima e utilização de mão-de-obra, e contém frequentemente inúmeros tipos de desperdícios não congruentes com os princípios *Lean*. Consequentemente, existe uma infinidade de restrições e soluções possíveis para os mesmos. Empresas têm necessidade, em qualquer mercado, de melhorar continuamente *-Kaizen-* de forma a viabilizar e potencializar a sua presença e competitividade no mercado.

As decisões e melhorias propostas terão em vista a redução dos desperdícios e incongruências *Lean* para uma ótima alocação de recursos, tendo em conta a secção de células, o sistema de produção geral e os objetivos da organização. Alinhar os objetivos a curto prazo com a visão a longo prazo da empresa será conseguido por as diversas ações consistirem em mudanças de *layout* ou de processo e resultarem em otimização do *bottleneck*, conferindo benefício imediato sobre o mesmo, assim como em recolha e validação passivas, automáticas e contínuas de informação que não era previamente conhecida ou aproveitada. Esta informação permite, por sua vez, melhorar a normalização, o planeamento de produção e analisar mais detalhadamente o sistema em qualquer assunto relevante no futuro, potencializando assim um ciclo de melhoria contínua e a implementação de conceitos adicionais. As soluções endereçam planeamento, controlo e otimização da produção e do processo, controlo de qualidade, normalização, automatização, formação e previsão de *lead time*.

1.2 Objetivos

A instituição tem como meta, a médio prazo, que a unidade fabril funcione com base num sistema *Pull*. Para isso, é necessário garantir o cumprimento de variados requisitos, como o conhecimento dos KPI's mais relevantes, o balanceamento da carga de trabalho, fluxo contínuo, normalização, entre outros. Este trabalho pretende estabelecer uma sólida fundação, que permitirá a eventual implementação integral de outros conceitos *Lean*. Os objetivos constituem os componentes atualmente mais fundamentais para a implementação integral do *Lean* desejada. Por consequência, as melhorias implementadas trarão benefícios duradouros e frequentes e suportarão eventuais medidas futuras.

A curto prazo, a empresa pretende entender, definir, quantificar, viabilizar e normalizar parâmetros e processos existentes no sistema para que possam ser delineadas soluções imediatas sempre que possível. Os objetivos detalhados para o projeto foram definidos conjuntamente pelo investigador e pelos cargos de chefia, após a investigação inicial referida (cap.3). Foi determinado que os objetivos do projeto serão relativos a, simultaneamente, aumentar a fluidez de produção, obter informação sobre a mesma e normalizar a secção que se revela atualmente o *bottleneck* da empresa. A secção em causa é um sistema de células de produção que realizam acabamentos em peças fundidas em alumínio. Uma outra questão importante para a empresa, que será abordada, é a determinação do *Lead Time* de artigos fundidos e acabados em alumínio.

Esses objetivos foram, por fim, sintetizados nos seguintes itens:

- Registos de operação;
 - Definição de KPI's;
 - Balanceamento das células;
 - Normalização
- Melhoria do processo;
- Melhorias ergonómicas;

1.3 Metodologia

A metodologia aplicada é designada por investigação-ação, caracterizando-se tanto por um envolvimento e colaboração contínuos do investigador com a empresa como também por um ciclo repetitivo que alterna entre realizar a investigação necessária à compreensão e resolução de uma questão e realmente implementar uma solução, como parte de um projeto de maior amplitude. Esta metodologia baseia-se em diagnosticar, planear ações, agir, e avaliar resultados. Tanto o projeto como a dissertação foram estruturados de acordo com os cinco passos atribuídos à metodologia investigação-ação.

Foi realizado um enquadramento teórico, técnico e conceptual contínuo (cap. 2) que acompanhou cada uma das fases.

O sistema de produção foi analisado e diagnosticado a diversos níveis (cap. 3). Foi conferido um elevado grau de liberdade na identificação do tema a investigar, dentro do domínio da produção, o que proporcionou um leque de oportunidades e responsabilidade. Originou também algumas decisões interessantes a nível de experiência profissional. Nesta situação, para alocar mais proveitosamente os recursos, nomeadamente tempo, mão-de-obra e financiamento, foi importante a identificação e perceção do impacto de cada problema e dos benefícios da sua resolução. Isto resultou numa análise inicial de variadas vertentes da unidade fabril por forma a potencializar bons resultados, tanto académicos como industriais. No final desta análise embrionária, teve lugar uma reflexão crítica sobre as vantagens de focar o desenvolvimento de melhorias em cada uma das áreas analisadas. Esta reflexão, em conjunto com os pareceres do departamento de produção, culminou na definição dos objetivos específicos para esta dissertação e, por último, de uma projeção do plano de trabalho, em que se tenta antecipar todos os passos e informações e ações necessárias ao cumprimento de todos os objetivos definidos.

Detendo um conhecimento holístico da situação atual da empresa e do rumo exato a tomar, tornou-se claro que seria imprescindível a recolha, filtragem e exportação de dados do sistema informático e, em outros casos, o registo de elevadas quantidades de informações de produção (com recurso a vídeos e folhas de cálculo). Estes dados acabaram por constituir diversas bases de dados, viabilizando o desenvolvimento de diversas ações de melhoria (cap. 4) para os pontos de interesse salientados durante o diagnóstico inicial, mais concretamente as que se referem à aplicação do Princípio de Pareto (4.1), a cálculo de índices (cap. 4.2), a balanceamento das células de produção (cap. 4.3), a normalização (cap. 4.4) e à otimização do processo (cap. 4.5). Face aos milhares de diferentes referências de artigos produzidos nos últimos anos, foi aplicado frequentemente o Princípio de Pareto (cap. 2.5), como forma de focar pertinentemente a análise e agilizar o processo de identificação e desenvolvimento de melhorias. Serão implementadas, sempre que possível e vantajoso, as melhorias planeadas e serão avaliados os resultados da sua aplicação (cap. 5). Por fim, salientam-se alguns projetos futuros proveitosos, em sequência ou complemento do trabalho desenvolvido. A metodologia termina com reflexões finais (cap. 6).

Ferramentas utilizadas: Mendeley, VISIO, MS Word, MS Excel, Paint, Bsplayer, VLC, Camunda Modeler, Lightroom, SIMIO, Adobe Reader, Google Drive, Adobe Illustrator, PDF Creator.

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo servirá para investigar, rever e explicitar os termos, conceitos e ferramentas envolvidos na produção *Lean*, com maior foco nos que serão mais relevantes para o trabalho desenvolvido.

Será apresentada, de uma perspetiva holística, a filosofia *Lean* e detalhados os termos e conceitos específicos envolvidos na mesma. Algumas métricas e indicadores de produção importantes serão, posteriormente, sintetizados e exemplificados. Posto isto, seguir-se-á uma análise individual das ferramentas *Lean* mais relevantes. Será dedicada uma seção à revisão de literatura sobre células de produção que, apesar de serem também uma ferramenta *Lean*, é de interesse para a presente dissertação que sejam exploradas mais a fundo. As últimas seções deste capítulo referem métodos de recolha e estudo de tempos de operação, nos erros mais comuns resultantes do processo de vazamento de alumínio e no Princípio de Pareto.

2.1 *Lean Thinking*

A filosofia de produção *Lean* propõe um conjunto de conceitos, métodos e sistemas específicos e especializados em controlar ou otimizar os aspetos que considera importantes como, por exemplo, o *lead time*, a qualidade, utilização de recursos, níveis de *stock* intermédio e condições de trabalho. Implica, a nível humano, uma dedicação pró ativa e constante de cada colaborador à melhoria em todos os géneros (Liker, 2004). O *Lean* não é, no entanto, apenas um conjunto de entidades distintas. É um sistema integrado multidimensional (Ward, Shah, & Ward, 2002). Quando aplicados em conjunto, estes conceitos, métodos e ferramentas têm o potencial de estabelecer uma empresa competitiva (Warnecke, H.J., Huser, 1995).

Baseia-se fortemente na redução de todos os tipos de desperdício que define e recorre a conceitos lógicos (como JIT, automação e flexibilidade dos colaboradores) assim como a ferramentas (como o *kanban* e *Value Stream Mapping*), para maximizar a agregação de valor ao produto. Talvez mais importante e característico, é o seu foco no cliente. O cliente define o que é necessário e quando produzir, qual é o sistema de produção mais adequado, os recursos que devem ser alocados e, por fim e apenas aí, o valor do produto. A empresa deve ser capaz de se adaptar continuamente às variações do mercado para que isto seja possível e é prejudicial para o seu futuro considerar que uma relação inversa é, de todo possível (Womack, James 1990). As empresas devem ser flexíveis, ágeis e eficientes, tal como o seu sistema de produção.

A produção *Lean* permite que esta adaptação constante às necessidades reais do cliente seja possível, enquanto elimina continuamente qualquer tipo de desperdício (Ribeiro, Alves, Moreira, & Ferreira, 2013) ou alocação não otimizada de recursos.

História do Lean

O conceito de *Lean* derivou do *Toyota Production System*, formulado inicial e maioritariamente por Taiichi Ohno, Eiji Toyoda e Shingeo Shingo na Toyota entre 1948 e 1975 (após a segunda guerra mundial). As conjunturas globais e industriais da época exigiram, tal como agora, um aumento holístico da eficiência das organizações (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990). Em retrospectiva, o mercado pós primeira grande guerra progrediu para a produção em massa, explorada inicialmente por Henry Ford e que passou a ser o padrão durante aproximadamente 75 anos (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990).

Na mesma época, a Toyota encontrava-se em grandes dificuldades. Eiji Toyoda visitou e estudou várias plantas fabris nos E.U.A, mais especificamente a Rouge: a maior e mais eficiente unidade fabril automotora da altura. Em termo de comparação, até 1950 a Toyota tinha produzido apenas 2685 veículos enquanto a Rouge produzia 7000 num único dia. Quando Toyoda se encontrou com Ohno, concluíram que o modelo de produção em massa nunca funcionaria no Japão (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990). Algumas das razões para tal prendiam-se com o pequeno mercado doméstico que exigia alta versatilidade de produtos, a população local que, ao contrário do que acontecia nos E.U.A., não pretendia trabalho temporário ou em empresas com elevada rotatividade, a circunstância pós-guerra que esgotou a economia e disponibilidade financeira japonesa aliada a uma forte concorrência de empresas já estabelecidas.

O TPS ambicionava adaptar a produção ao revolucionário conceito de valor do produto na perspetiva dos clientes conseguindo, simultaneamente, diminuir os desperdícios associados à produção. Viabiliza uma grande variedade de produtos em pequenas quantidades, característica que era de elevada importância para a Toyota, inserindo-se num pequeno e doméstico mercado de necessidades diversificadas (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990). Para tal, o TPS propõe filosofias e princípios formulados pelos seus criadores e que serão explicitados e estudados neste capítulo e no anexo I. É importante salientar que o sistema desenvolvido foi fortemente baseado nos pressupostos da situação da Toyota não pretendendo ser um modelo generalizado. Desta forma, poderia não ser integral e linearmente implementável ou até benéfico em outras organizações, dependendo das suas características.

O conceito *Lean Production* foi utilizado pela primeira vez em 1988 por *John F Krafcik*, um investigador do Massachusetts Institute of Technology (MIT), para descrever o TPS por este pretender uma produção “limpa” e “reduzida”, no sentido em que ambiciona a necessidade de menores recursos e de produzir

“mais com menos” em relação ao sistema de produção em massa de elevadas quantidades, em voga na altura (Krafcik, 1988).

Reconhecimento internacional

A eficiência do *Lean* e o seu impacto na indústria automóvel foram analisados por Womack no livro “The machine that changed the world” e reconhecidos em 1990 (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990). Este sistema provou ser, sem margem de dúvidas, altamente eficaz pelos padrões organizacionais contemporâneos e permitiu à indústria automóvel japonesa usufruir de um crescimento acentuado, sustentado e reconhecido como um exemplo mundial, sendo até considerada pela maioria dos observadores como o fabricante de automóveis mais eficiente e com maior qualidade do mundo (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990). Continua, atualmente, a ser estudado e implementado com sucesso em grande escala a nível mundial, sendo reiteradamente validado como um modelo com inúmeros benefícios para as empresas (Melton, 2005) (Ward et al., 2002)(Liker & Morgan, 2006).

A produção Lean aumentou o seu alcance e tornou-se uma filosofia de pensamento, o *Lean Thinking* (Womack, James; Jones, 1996).

Lean na actualidade

No ano corrente, pretende-se aplicar os conceitos inicialmente formulados numa perspetiva mais ampla, envolvendo todos os aspetos da organização em questão, assim como as restantes organizações envolvidas na criação, desenvolvimento, distribuição, comercialização ou responsáveis por qualquer outra etapa necessária à entrega efetiva do produto ao cliente final e não apenas à gestão da produção. Desta forma seria possível analisar verdadeiramente todo o fluxo de valor do produto (Womack, James; Jones, 1996).

Os princípios formulados inicialmente por Ohno (Ohno, Taiichi; Bodek, 1988) adequam-se perfeitamente a esta perspetiva ampliada. No que toca à classificação de desperdícios, segundo Womack (Womack, James; Jones, 1996), a adição de um oitavo tipo de desperdícios (“*muda*”), a má utilização do potencial humano, complementa os tipos supramencionados. Ainda nenhuma indústria ou organização conseguiu realmente implementar este sistema holístico designado pelo autor como *Lean Enterprise*. Já outros autores, como Liker, defendem a inclusão de outras categorias de desperdícios.

Um outro conceito interessante derivado do *Lean* é o *Lean Startup*, que auxiliou empresas emergentes a prevalecerem no mercado sem serem consecutivamente adquiridas por empresas maiores, e permitiu também que as mesmas mantivessem o seu contributo criativo e científico para as respetivas indústrias.

Produção em massa vs. Lean

Estas duas filosofias de produção diferem no seu foco e, mais acentuadamente, na consideração do cliente e dos seus desejos como parte integrante do sistema de produção. Diferem também, fortemente, no tipo de objetivos e métricas principais. Na verdade, são bastante distintas.

A produção em massa caracteriza-se pela produção de elevadas quantidades de uma menor variedade de produtos, por recorrer a maquinaria de elevadíssima complexidade, cadência e capacidade e por avaliar a produção consoante essa mesma maquinaria. Resulta na produção de lotes de grandes quantidades, elevado tempo de *setup*, *lead time*, WIP, *stock*, fluxo descontínuo e camuflagem ou compensação de vários tipos de erros que não existem, ou se tornam claramente visíveis, num funcionamento *Lean*. Um bom exemplo desta relação de camuflagem é fornecido por Liker: “Na produção em massa, quando uma máquina avaria, não existe sentimento de urgência: o departamento de produção agenda a reparação e o inventário mantém as operações em funcionamento. Por contraste, na produção *Lean*, quando um operador está a reparar uma máquina, todos os outros processos param. Sendo assim, existe um sentimento de urgência na produção para resolver os problemas em conjunto e recolocar a máquina em atividade. Consequentemente, rapidamente haverá maior interesse em resolver o problema, especialmente se for recorrente. Claro que isto também requer um processo suficientemente estável para não parar constantemente e que as pessoas recebam formação” (Liker, 2004). Na verdade, a própria existência de inventário excedentário no exemplo constitui, por si só, uma enorme quantidade de desperdício para a empresa. Ironicamente, para garantir estabilidade sem a utilização de *stock* e permitindo interromper a produção é necessário criar alguma instabilidade nos colaboradores (Liker, 2004).

O *Lean* foca-se na produção de pequenas quantidades, ou no *One-Piece-Flow*, com verificação de qualidade embutida no sistema (permitindo até produção com zero defeitos nos artigos finais), elevada flexibilidade do sistema e da própria mão de obra às *mudanças* no mercado, menores custos de operação envolvidos, menor WIP e menor esforço de planeamento de produção assim que estabelecido (Melton, 2005). Atinge isto com recursos a técnicas que têm como essência a redução de desperdício na cadeia de valor e, conseqüentemente, dos custos, enquanto criam cargos de trabalho, em detrimento da destituição de mão-de-obra humana (Womack, James; Jones, 1996).

Os desperdícios definidos pela TPS serão enunciados e explicitados neste capítulo.

2.1.1 Princípios Inerentes

Ohno resumiu a ação consoante a filosofia *Lean* da seguinte forma:

“O que estamos a fazer é apenas olhar para a linha temporal desde que o cliente nos coloca uma encomenda até que coletamos o dinheiro. E estamos a reduzir essa linha temporal removendo os desperdícios que não adicionam valor”

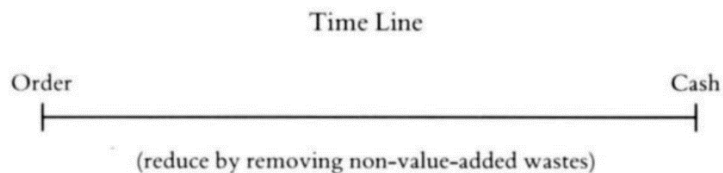


Figura 1 - Representação simplificada da filosofia Lean (Ohno; Bodek, 1998).

Os princípios essenciais inerentes ao *Lean* foram sintetizados em cinco instâncias interrelacionadas (Womack, James; Jones, 1996), que serão apresentadas de seguida. Todos são necessárias para o funcionamento da produção e da organização de acordo com a filosofia. Estes princípios permitem o entendimento do *mindset* envolvido assim como a consequente redução dos desperdícios salientados pelo *Lean*.

Os autores Womack e Jones concluem que, inicialmente, o *Lean* começa por identificar corretamente o valor do produto. De seguido é necessário mapear o fluxo desde a encomenda à entrega ao cliente para se poder, em terceiro lugar, melhorar a continuidade desse fluxo. A produção do fluxo melhorado deve ser puxada (*Pull*) e, por último, todas as etapas referidas, assim como o futuro, devem ser encarados com uma atitude de aperfeiçoamento. Esta iteração está representada na figura abaixo.



Figura 2 - Os 5 princípios envolvidos numa implementação Lean (Lean Enterprise Institute, 2016)

De seguida, serão detalhadas estas etapas, segundo os autores das mesmas:

Identificar o valor de cada produto

O valor é o ponto de partida do *Lean Thinking* e apenas pode ser definido pelo cliente, apesar de ser gerado pelo produtor. Esta é a única razão de existência do produtor, na ótica do cliente final. É apenas expressivo quando referente a um bem, serviço ou ambos que corresponde, num determinado preço e momento específicos, às necessidades do cliente.

“Quando compramos bananas, tudo o que queremos é o fruto e não a pele, mas temos de pagar também pela pele. Isto é desperdício. E nós, os clientes, não deveríamos ter de pagar pelo desperdício.” Shigeo Shingo

O valor é uma característica difícil de determinar pelos produtores, devido a diversas razões. As organizações americanas focavam-se no futuro próximo e no aumento da liquidez através da redução de despesas e extração de lucros da cadeia de fornecedores, muitas vezes não tendo um conhecimento claro dos produtos, dos processos ou da tecnologia envolvida. Womack classifica esta metodologia como “*mean*” (severa) e não “*Lean*”. Em contraste, na Alemanha, os mesmo autores denotaram que os responsáveis pelas organizações atribuíam o valor aos seus produtos baseado na complexidade dos seus designs, processos e tecnologias envolvidas que tornam o produto mais dispendioso para o cliente, sem muitas vezes ser relevante para o mesmo. Consideravam estar a produzir produtos de primeira categoria em organizações altamente desenvolvidas e especializadas, sustentadas por inúmeros técnicos e engenheiros (essenciais para manter a complexa maquinaria e processo eficientes). Em relação aos concorrentes nipónicos, os pioneiros do *Lean Thinking*, os autores indicam uma preocupação em manter a sua produção centralizada, satisfazendo expectativas sociais e profissionais, favorecendo também relações estáveis com os fornecedores. No entanto, os clientes não atribuem importância à localização onde o valor é criado. Fatores como o produto ser desenvolvido com atenção ao mercado local e o tempo de entrega são sim, bastante importantes para o cliente. Isto era dificultado se o produto fosse expedido do Japão. O local onde o valor é criado não é certamente um fator prioritário na perspetiva do cliente final.

Um bom exemplo do desfasamento da atribuição de valor da perspetiva de gestão, em relação à perspetiva do cliente, são as companhias aéreas. A definição do cliente sobre o valor do serviço é chegar o mais rápido possível ao local pretendido, com segurança, o menor incómodo possível e por um preço razoável. Já na perspetiva da companhia, valor significa usar os recursos disponíveis da forma mais eficiente e disponibilizar serviços acessórios para tornar o transtorno resultante mais tolerável. Também é notável a filosofia de grandes lotes (de passageiros), grandes aeronaves e aeroportos gigantescos, influenciados por um foco na gestão de filas de espera, que resultam, inevitavelmente, em *muda*, e que

em nada adicionam valor ao serviço na ótica do utilizador. O resultado desta forma de pensar deixou as companhias americanas perto da insolvência durante uma década, com as europeias e algumas asiáticas a aproximarem-se do mesmo destino (Womack, James; Jones, 1996).

Existe uma tendência a produzir produtos com os bens que a empresa já possui e expectando que, caso o cliente não responda positivamente, um ajuste de preço resolva a falta de adequação do produto ao mercado. Esta é também uma prática fundamentalmente falaciosa em detrimento de repensar o valor em função do cliente. As necessidades imediatas do cliente, que viabilizam a empresa a longo prazo, devem sempre ter precedência sobre as necessidades dos funcionários ou dos fornecedores.

Sintetizando, o *Lean Thinking* inicia com uma tentativa de definir com exatidão, através do diálogo com clientes específicos, o valor de cada produto com propriedades específicas oferecidas a preços específicos. Para tal, é necessário ignorar os bens e tecnologias existentes. Também exige repensar o papel dos técnicos envolvidos na organização. Na prática, é impossível implementar estas mudanças instantaneamente, mas é essencial estar ciente do que é realmente necessário, caso contrário a definição de valor irá muito provavelmente ser pouco fiável. Fornecer o bem ou serviço errado da forma correta é *muda* (2.1.2).

Identificar o fluxo de valor por produto

O fluxo de valor é a sequência de todas as ações individuais requeridas nas três fases críticas de gestão de qualquer negócio que envolva bens, serviços ou ambos: o design e engenharia, a transformação física da matéria-prima em produto final e o sistema logístico de encomendas e entregas nas mãos do cliente. A análise do fluxo permite normalmente identificar etapas que não adicionam valor ao produto e constituem desperdício, ou *muda*, e que serão detalhadas neste capítulo.

Num conceito abrangente, designado por *Lean Enterprise*, este passo é realizado ao longo de toda a cadeia de entidades envolvidas, em menor ou maior grau, na existência do produto. Identificar o fluxo completo de valor de um produto foi poucas vezes realizado em empresas, mas revelou exorbitantes quantidades de *muda*.

“Pensamento em fluxo é contraintuitivo.” (Womack)

Melhorar o fluxo de valor

Tendo definido corretamente o valor, mapeado o fluxo e eliminado o *muda*, é necessária uma mudança de perspetiva para aplicar corretamente o próximo passo: melhorar a fluência das ações que permanecem.

É necessário pôr de lado a perspetiva de que a forma mais eficaz de gestão é o agrupamento das entidades (ex: departamentos e funções) e de realizar as atividades similares em “lotes” (ex: cortar todas

as peças do tipo A e depois lixar todas as peças do tipo A ou realizar primeiro todas as peças A, em seguida as peças B etc). Apesar de esta abordagem normalmente conferir maiores níveis de aproveitamento dos bens da empresa, e justificar a utilização de maquinaria complexa e específica de alta capacidade e cadência, a conclusão seria de que este é o caminho mais eficiente. Apesar de esta lógica ser falaciosa, é muito difícil visualizá-lo. Ademais, é necessário entender que as ações são realizadas com maior eficiência e exatidão quando o produto é trabalhado continuamente desde matéria-prima até ao artigo final, sem acumulação de *stock* e movimentos desnecessários. A mudança mais visível que resulta de desagrupar as ações por lotes e departamentos, focando a perspectiva no fluxo, é a diminuição drástica do tempo requerido para desenvolver, produzir, processar e entregar ao cliente final (Womack, James; Jones, 1996).

Resumindo, é vantajoso, em termos de fluxo do processo, utilizar uma perspectiva focada no produto desde o seu design até entrega final e nas suas necessidades do que considerar como objetivo prioritário a utilização dos equipamentos e bens disponíveis. Ford provou isto ao reduzir os recursos necessários para produzir o modelo “T” em 90%, ao recorrer a um fluxo contínuo de montagem. Ohno aplicou a mesma abordagem reduzindo o tempo de troca de ferramenta e utilização de equipamentos de dimensões reduzidas que permitiam a sua colocação adjacente, favorecendo o fluxo contínuo entre operações.

“Sistemas e processos são essenciais para manter a cruzada, mas nunca devem substituir a cruzada” (Simon Sinek)

Pull

Produção Pull (puxada) significa, essencialmente, que nenhum bem ou serviço deve ser produzido até que o cliente final, interno ou externo à organização, o requisite. Uma boa maneira de entender a lógica inerente a este conceito é analisar a produção no sentido inverso, ou seja, a partir do momento em que o cliente adquire o produto até ao passo inicial que permitiu essa ação.

Permite uma resposta rápida às necessidades dos clientes, fator de elevada influência na decisão dos mesmos, sem ser necessário o armazenamento local de quantidades elevadas de cada produto para tentar atingir o mesmo objetivo. Ademais, não é necessário processar grandes lotes em cada etapa do processo, reduzindo a capacidade simultânea necessária em cada etapa do processo. A quantidade de trabalho em curso, o espaço de armazenagem e os *buffers* são também bastante inferiores. Um bom exemplo ocorre nos componentes automóveis de desgaste rápido.

*“Não faça nada até que seja preciso; [quando for,] faça-o muito rápido”
(Womack, James; Jones, 1996)*

Procura da perfeição

A total inexistência de *muda* é praticamente impossível. No entanto, é importante manter esse objetivo, e não simplesmente tentar manter o processo e controlar a sua variabilidade associada. O investimento constante necessário para a contínua otimização – *Kaizen* – do sistema desafia o conceito de “rendimentos decrescentes”, que define um retorno cada vez menor face a uma necessidade crescente de recursos ou complexidade envolvidos na melhoria contínua de algo que foi já consecutivamente otimizado.

É importante manter a noção de que a perfeição é algo inatingível, mas associada a infinitas iterações de melhoria. Uma visão clara do que seria a perfeição para a empresa tem inúmeros benefícios para a organização e formaliza também, perante todos os intervenientes e sem equívocos, quais os objetivos e o rumo pretendido pela mesma.

Paradoxalmente, nenhuma visão de perfeição pode ser perfeita. É apenas um conceito limitado pela capacidade de visão contemporânea de quem formula essa imagem, assim como da realidade envolvente.

Um outro conceito, definido por *Kaikaku*, e que consiste em melhorias drásticas e imediatas, é de igual importância para a aplicação prática do pensamento *Lean*, assim como para o progresso em direção à perfeição.

A priorização de determinados tipos de *muda* em detrimento de outros permite uma maior eficácia da aplicação dos conceitos *Lean*. É normalmente designado por *hoshin kanri* no Japão e segue usualmente diretrizes definidas pela empresa. É comum que, após a interiorização de todas as filosofias associadas ao *Lean*, o número de projetos que se pretendem implementar e as áreas em que eles incidem se multipliquem a um ritmo elevado. As empresas que implementaram este pensamento com maior eficácia foram normalmente as que conseguiram “desseleccionar” projetos (Womack, James; Jones, 1996) e elaborar uma sequência lógica de modificações que se adequem aos recursos disponíveis no momento. Este é um passo de elevada importância num momento inicial de implementação do *Lean*.

É igualmente essencial que todos os colaboradores estejam envolvidos e motivados na mudança de paradigma de produção e na sua melhoria contínua.

Adicionalmente, esta perseguição da perfeição, quando aplicada corretamente, raramente envolve elevadas despesas financeiras. Ademais, por regra, os benefícios financeiros, mesmo que a longo prazo, tendem a cobrir facilmente quaisquer pequenos investimentos por vezes envolvidos. Um bom exemplo disto é a criação de equipas *Kaizen* compostas pelos trabalhadores que demonstrem melhores níveis de conhecimento empírico e produção. Estas equipas podem ser formadas por colaboradores cuja

laboração permanente deixou, temporariamente, de ser necessária devido à redução do *muda*. Isto poderá parecer, de algumas perspectivas, uma despesa desnecessária. No entanto, a redução de *muda* por si só, fomentará o crescimento da empresa e, provavelmente, a receção de maiores cargas de trabalho, o que criará de novo a necessidade de incluir os colaboradores novamente no chão de fábrica. Paralelamente, as melhorias resultantes do trabalho dessa equipa terão o mesmo efeito. Um outro benefício, talvez menos evidente, é a motivação sentida pelos colaboradores ao ver as suas capacidades completamente consideradas e que o seu contributo é extremamente real e visível, tendo um impacto valorizado na organização.

“O nosso conselho para empresas *Lean* atualmente é simples: esqueçam a competição; compitam com a perfeição identificando e eliminando todas as atividades que constituem *muda*.” (Womack, James; Jones, 1996)

2.1.2 Formas de desperdício: Muda, Mura e Muri

A filosofia *Lean* considera o desperdício como o mais importante adversário de uma organização que produza bens ou serviços. Define, em palavras nipónicas, três situações comuns de desperdício: *Muda*(inutilidade), *Muri*(irracional) e *Mura* (variabilidade, desnivelamento, irregularidades) (Liker, 2004), como podemos ver na figura abaixo. Embora *Muda* também signifique “desperdício”, será designado como “inutilidade”, enquanto a palavra “desperdício” será usada para referir simultaneamente *mura*, *muri* e *muda*. Estas três categorias conceptuais de desperdícios são normalmente designadas por “3M’s”. Os três conceitos traduzem as incongruências possíveis em relação a uma alocação ótima de recursos e estão intrinsecamente correlacionados.



Figura 3 - Ilustração Mura, Muri, Muda

Muri

Muri consiste em irracionalidades por excesso ou insuficiência (Imai, 1997). Ocorre, a título de exemplo, em situações de sobrecarga de ferramentas, colaboradores, equipas, em expectativas e objetivos irreais ou que acarretem outros tipos de desperdícios e entraves para a organização. Quando é expectado que os colaboradores ou as máquinas excedam a sua capacidade de processamento, aumenta a

probabilidade de avarias, defeitos, falhas de segurança assim como de insatisfação e incumprimento por parte dos colaboradores. Imai enuncia que esperar que um operador recém-chegado realize o mesmo trabalho que um trabalho com experiência é uma forma de *muri* (Imai, 1997). Estas questões traduzem-se numa perda de recursos a inúmeros níveis principalmente por reduzirem a qualidade e previsibilidade do fluxo do processo, dos produtos e das condições de trabalho. *Muri* pode derivar do *Mura* ou da remoção de *Muda* do processo.

Mura

Mura consiste em variação, desnivelamento, inconsistência ou qualquer irregularidade no processo. Normalmente é sinónimo de dificuldades de controlo.

Algumas das principais causas incluem: flutuação das necessidades do cliente, dos tempos de processamento ou do ciclo de cada produto ou operador. Resulta, principalmente, em atrasos.

A normalização, assim como o correto balanceamento dos processos, são importantes para a contínua diminuição do *mura*, garantindo que todos realizem os procedimentos da mesma forma, tornando o processo mais estável, previsível e controlável (Pinto, 2010). A normalização facilita também a transposição do modelo para outros locais ou processos da organização.

Muda

Muda significa desperdício ou inutilidade ou, por outras palavras, qualquer atividade humana que utilize recursos, mas não crie valor. Os desperdícios são todas as atividades que não acrescentam valor ao produto. Estas atividades incluem: erros que requerem retificação, produção de artigos que não serão requisitados, etapas de processamento que não são realmente necessárias, movimentos de colaboradores ou transporte de materiais sem propósito, esperas por etapas de processamento anteriores e produtos ou serviços que não correspondem exatamente às necessidades do consumidor (Womack, James; Jones, 1996). Apenas é possível melhorar a eficiência se forem eliminadas ou reduzidas as inutilidades, o que só é possível identificando as suas fontes (Ohno, Taiichi; Bodek, 1988).

Ohno e Bodek definiram que existem sete tipos de *muda*:

- 1) Excesso de produção
- 2) Excesso de inventário
- 3) Processamento inadequado
- 4) Movimento
- 5) Transporte
- 6) Esperas
- 7) Defeitos

Analogamente à relação entre *muda*, *muri* e *mura*, os diferentes tipos de *muda* estão fortemente interrelacionados.

Com o desenvolvimento dos conceitos de produção *Lean*, vários autores referem a existência de um oitavo desperdício. Tanto Womack Jones como Liker propuseram, cada um, um oitavo desperdício com o objetivo de tornar o modelo mais holístico. Womack e Jones salientam o desperdício resultante do desfasamento entre as necessidades do cliente e as características do produto, que é bastante importante durante o desenvolvimento do produto e firmação de encomendas (Womack, James; Jones, 1996). Já Liker, define como desperdício o descrédito das capacidades dos operadores, acreditando que origina perdas de tempo, ideias e de oportunidades de melhoria (Liker, 2004). Outros tipos de desperdícios foram propostos a nível académico e industrial.

De seguida, serão detalhados os tipos de *muda* supracitados:

1) Excesso de produção

Consiste em produzir em excesso comparativamente com a quantidade encomendada, antecipadamente ou com um ritmo desnecessário para as necessidades do cliente. Talvez o *muda* mais comum (Ortiz, 2006).

É maioritariamente causado pela produção em grandes lotes, imprevisibilidade do processo, fraco planeamento de produção e instabilidade do mercado.

Resulta em excesso de *stock*, transportes e perdas parciais ou completas de valor, para além de utilizar recursos antecipadamente, e em maior quantidade. Fomenta, invariavelmente, diferentes tipos de *muda* e reduz a qualidade do fluxo (Ohno, Taiichi; Bodek, 1988). Pode ser tentador produzir antecipadamente segundo um pensamento “só para o caso de” ou “*Just-in-Case*”, no entanto diversos *muda* derivam dessa prática falaciosa em detrimento do “*Just in Time*”.

O ajuste ao *Takt Time* fomenta a taxa de produção equilibrada entre postos de trabalho. A produção em pequenos lotes ou *One-Piece-Flow*, assim como a utilização de *kanbans*, são medidas eficazes no controlo da sobreprodução e da quantidade de WIP.

2) Excesso de inventário de produtos acabados ou a aguardar processamento

O inventário prejudicial consiste no excesso de matérias primas, produtos acabados ou trabalho em curso (WIP).

Por vezes é abstrato pensar numa maior quantidade de produtos armazenados como um desperdício, principalmente quando analisado por uma perspetiva patrimonial. É maioritariamente causado por fraco balanceamento e planeamento inadequado de produção. Este fenómeno gera custos de armazenamento para a empresa, requer espaço e pode incorrer num risco de prescrição ou perda total do valor do

produto. No entanto, algum *stock* é considerado necessário à luz do pensamento *Lean*, nomeadamente nos processos finais. O conceito de JIT prevê manter um determinado nível de *stock* por forma a garantir a entrega atempada dos produtos em caso de erro ou volatilidade (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990).

É crucial entender que a redução de *stock* deve ser uma consequência da otimização do sistema e não resultante de uma decisão deliberada baseada exclusivamente em o limitar. O excesso de *stock* resulta de problemas no sistema de produção que, por sua vez, se tornam ainda menos visíveis devido à presença desse mesmo nível de *stock*. Por outras palavras, o *stock* excessivo aparenta diminuir a variabilidade do processo quando, na realidade, ambos deveriam ser ativamente combatidos. Só assim é possível remover realmente o *muda* do fluxo de valor. Problemas como defeitos de produto, danos no material, maior *lead time* de produção, alocação ineficiente de capital, registos adicionais ou maquinaria errática, são exemplos de *muda* camuflado pelo excesso de inventário.

Algumas das soluções proveitosas passam por reduzir os *buffers*, utilizar o sistema *kanban* e comprar apenas as quantidades necessárias de matérias-primas (e não as quantidades em desconto ou calculadas por métodos determinísticos (como a Quantidade Económica de Encomenda).

“Quanto mais stock tem uma empresa, menos provável é que tenha o que precisa”. (Taiichi Ohno)

3) Processamento desnecessário ou inadequado

Sobreprocessamento consiste em processar mais, durante mais tempo, utilizar mais componentes ou recursos ou incluir mais etapas no fabrico de um produto do que o cliente requer, não acrescentando, portanto, qualquer valor. Inclui utilizar equipamento demasiado sofisticado para a tarefa, utilizar componentes com capacidades superiores às requeridas, sobreanalisar ou inspecionar, utilizar soluções demasiado otimizadas sem retorno real, retrabalho de componentes ou incluir mais funcionalidades ou características num produto do que as necessárias. Burocracia organizacional e redundância de dados são também formas de sobreprocessamento.

É frequentemente causado por falta de formação dos colaboradores (Bell, 2005), ausentes ou incorretas instruções de trabalho e carência de normalização.

4) Movimento

O desperdício em movimento inclui qualquer movimento desnecessário de pessoas, equipamento, maquinaria ou de informação quer se trate de andar, elevar, alcançar, dobrar, alongar ou simplesmente mover sem acrescentar valor. Tarefas que envolvem um elevado grau de movimento devem ser reformuladas.

Este *muda* é notório em situações como: procura de material, ferramentas ou de produto em armazém, reposicionamento de qualquer bem mencionado e deslocações ou movimentos para adquirir, fornecer ou registar informação. Na perspetiva humana, movimentações excessivas obrigatórias contribuem para um aumento do *muda* e maior desgaste físico.

Resulta de um mau *layout*, baixa organização dos postos de trabalho e da sequência de operações, desfavoráveis condições ergonómicas e fraca gestão visual (Herrmann, Thiede, Stehr, & Bergmann, 2008), (Ortiz, 2006). Melhor organização da área de trabalho, localizar os equipamentos próximo do local de utilização e proporcionar boas condições ergonómicas permitem diminuir este *muda*.

5) Transporte

Inclui transporte de ferramentas, inventário, equipamento, artigos em curso ou até pessoas mais do que o estritamente necessário. Na verdade, nenhum transporte acrescenta valor. Ademais, movimentação excessiva de produtos aumenta o risco de danos e defeitos.

Tem impacto a nível produtivo e financeiro. Origina inequivocamente um desperdício de tempo e, conseqüentemente, tem logo à partida um custo associado. Na verdade, fomenta outros tipos de *muda*. Segundo (Wahab, Mukhtar, & Sulaiman, 2013) este desperdício relaciona-se com a fraca disposição dos postos de trabalho no *layout* e desorganização dos mesmos ou do planeamento da produção, tornando-se essencial a adoção de práticas que reduzam as distâncias percorridas entre operações e a percorrer, de uma forma geral (Apreutesei, Suciú, Arvinte, & Munteanu, 2010). Este *muda* por ser causado por existirem demasiados locais de armazenamento, falta de informação, de produtos, bens que não são necessários ao processo ou pela influência de outros tipos de *muda* (como por exemplo sobreprodução) (Ortiz, 2006).

Algumas vias de redução deste tipo de *muda* são: melhorar o fluxo de processo, não sobreproduzir, controlar o WIP e implementar células de produção em forma de “U” (cap. 2.2). Cada posto de trabalho deve estar próximo dos restantes postos com que interage com maior intensidade. Os materiais necessários à produção devem estar sempre disponíveis, com movimentos singulares, próximos dos mesmos.

6) Esperas

Esperas constituem, na sua essência, *muda*. Isto é verdade para períodos de indisponibilidade de ferramentas, postos de trabalho, materiais, produtos, ou informação ou qualquer inatividade por parte de colaboradores, derivado destas ou outras razões. A inatividade pode ter inúmeras causas desde falta de autonomia a esperar que um programa de computador ou reunião iniciem, que um e-mail seja respondido, que um produto ou instrução cheguem ou até esperar por ter equipamento com capacidade

insuficiente. Liker salienta esperas de materiais de postos anteriores, tempos de preparação de máquinas muito longos e avarias como principais fatores envolvidos na ocorrência deste desperdício. A organização dos locais de trabalho é essencial na redução deste *muda*.

Demonstra uma dessincronização entre os processos (Ortiz, 2006). Analogamente aos conceitos anteriores, pode resultar de irregularidades e *muda* presente nas operações ascendentes ou indiretamente relacionadas. O excesso de produção ou inventário, a título de exemplo, podem exponenciar este tipo de *muda*. Impactam negativamente inúmeros parâmetros de interesse na perspetiva do cliente, nomeadamente o *Lead Time* (Liker, 2004) assim como a ineficiência do fluxo (Monden, 1983).

Os processos devem ser redesenhados para fluxo contínuo, unitário, nivelado e normalizado. Trabalhadores com competências flexíveis e diversificadas com elevada capacidade de adaptação são uma mais valia nestas situações.

7) Defeitos

Erros em produtos que impliquem sucata, retrabalho ou incapacidade de atingir os requisitos internos ou do cliente são considerados *muda* (Melton, 2005). O mesmo ocorre com a inspeção, deteção e eventual conserto dos mesmos. Nenhuma destas atividades é necessária ou acrescenta valor para o cliente, apesar de todas envolverem custos adicionais.

Este desperdício usufrui da já referenciada propriedade de ser aparentemente camuflável pela elevada ocorrência de outros tipos de *muda*. Neste caso concreto, de elevados níveis de *stock* e produção em grandes lotes ou em quantidade excessiva (Bell, 2005).

Têm consequências diretas nos custos de produção e, possivelmente, na confiança do cliente (Liker, Jeffrey K.; Lamb, 2000).

Podem resultar da baixa qualidade do processo, de formação insuficiente dos trabalhadores ou de ferramentas inadequadas (Melton, 2005). Outras causas comuns são instruções imprecisas, falta de padrões de inspeção e *Poka-Yoke*, má circulação de materiais, incapacidade de responsabilizar erros contínuos ou não conformidade com a filosofia dos 5S's (Ortiz, 2006). As causas mais comuns de cada erro devem ser rapidamente identificadas. Deve ser desenvolvido um método de deteção atempada de não conformidades de forma a minimizar a acumulação de erros e o sobreprocessamento. Idealmente, o processo deve ser redesenhado para não gerar defeitos. A normalização é crítica nesta componente do *muda*.

Outros tipos de *muda*

Alguns autores referem um oitavo *muda*, nomeadamente Liker e Womack. Liker considera um *muda* que, discutivelmente, não é abrangido pelo TPS mas é atualmente altamente reconhecido como associado ao pensamento *Lean*, que é a negligência em aproveitar todo o potencial incluso nos colaboradores da organização (Liker, 2004). Para Liker este é um desperdício devido ao facto de estes conhecerem melhor o processo, sendo um importante aliado para a implementação da melhoria contínua, como vimos nas equipas *Kaizen*. Poderá também ser considerado que o TPS assume já nos seus fundamentos, o aproveitamento do potencial humano. Um exemplo comum que resulta invariavelmente neste tipo de *muda* é a atribuição total das funções de análise, gestão, otimização e consultoria apenas aos quadros superiores. Inversamente, é virtualmente impossível ter uma consciência clara da produção, dos desperdícios e das soluções sem os presenciar e realizar integralmente. A negligência em proporcionar a devida formação é também classificada nesta categoria. Origina perda de oportunidades de melhoria, tempo, ideias, motivação e diminui a variedade de perspetivas.

Já para Womack (Womack, James; Jones, 1996), o oitavo desperdício consiste nos bens e serviços que não se encontram em conformidade com os requisitos dos clientes.

Outros tipos de *muda* mencionados na literatura poderão ainda ser considerados: desperdício de espaço, operar sem métricas ou segundo métricas erradas.

Muda tipo 1 e tipo 2

As atividades que não acrescentam valor são ainda classificadas em tipo 1, caso sejam necessárias para o cliente ou por algum motivo não possam ser eliminadas, ainda que não acrescentem valor ou tipo 2, caso não sejam necessárias para o cliente e devem ser eliminadas de imediato. Muda tipo 1 ocorre, por exemplo, quando uma empresa não pode ter inúmeros duplicados de um bem: um hospital não conseguir ter uma farmácia em cada um dos seus pisos ou impressoras em todas as secretárias.

Síntese: Muda, causas, consequências e medidas

Tabela 1 - Síntese: Muda, causas, consequências e medidas

Tipo	Definição	Causas	Consequências	Melhorias
Sobreprodução	Excesso quantidade; Momento errado; Ritmo desnecessário	Lotes grandes; Sistema <i>Push</i> ; Má utilização dos recursos humanos Falta de formação Métricas erradas ou inexistentes;	Consumos antes do planeado; Excesso de Inventário; Diminui espaço; Camufla defeitos.	Pull; Heijunka; One Piece Flow; Kanban.
Inventário	Matéria-prima, WIP ou produto final ao qual não está a ser acrescentado valor.	Grandes lotes; Desnívelamento de produção; Previsões falaciosas de procura; Tempo de <i>setup</i> elevado; Sistema <i>Push</i> ; Instabilidade no fornecimento.	Espaço requerido; Movimentos requeridos; Gestão de mais artigos; Camufla defeitos e instabilidade no processo; Artigos podem sofrer danos, perda de valor ou expirar.	Produção <i>Pull</i> ; Pequenos lotes; Heijunka Box; One Piece Flow; SMED; Gestão Visual.
Processamento	Processos além dos requisitados e adequados ao cliente.	Falta de normalização; Baixa compreensão ou previsibilidade dos processos; Falta de inovação.	Consumo de recursos; Aumento do tempo de produção	Normalização; One Piece Flow.
Movimento	Operário move-se mais do que o necessário para executar a tarefa.	Baixa implementação dos 5 S's; Mau design do posto de trabalho, célula ou sistema.	Aumenta o tempo necessário para concluir o produto; Interrompe o fluxo de produção.	Layout; Ergonomia; Normalização; 5S; One Piece Flow.

Transporte	Movimento desnecessário de artigos máquinas etc.	Mau layout; Mau planeamento de produção; Fluxos de materiais complexos; Partilha de máquinas/equipamento.	Aumento do tempo de produção; Consumo de recursos; Aumento do WIP; Podem ocorrer danos.	Células; Kanban.
Esperas	Qualquer espera por artigos ou processos.	Abastecimento incerto; Falta de componentes; Avarias; Mau planeamento de produção;	Interrupção do fluxo de produção; Aumento do <i>lead time</i> ; Fomenta bottlenecks;	Pull; Heijunka Box; SMED; Normalização.
Defeitos	Recursos necessários para inspecionar, detetar e corrigir inconformidades.	Processos não controlados; Instabilidade do processo; Falta de formação ou material; Complexidade do processo.	Consumo de recursos; Imprevisibilidade do processo; Pode impactar gravemente cumprimento de prazos.	Normalização; Poka-Yoke; Automação; TPM.

Relação entre Muda, Mura e Muri

Tanto a existência como a visibilidade e o impacto de cada uma das formas de desperdício no processo é altamente influenciada pelas restantes formas e das suas variações, entre outras inúmeras variáveis do sistema. A intelectualização da interdependência dos três géneros de desperdício é essencial para a conceção e otimização de um sistema *Lean* com capacidade de adaptação constante às necessidades. Implementações que otimizem a presença de um dos géneros de desperdício irão provocar alterações nos restantes dois sendo, portanto, um processo de melhoria contínua bastante dinâmico (Womack, James P., Jones, 1994). *Mura* pode resultar de *muda* (Liker, 2004). Inversamente, a existência de *mura* irá traduzir-se em *muda*. *Muri* pode levar a falhas no sistema que, por si só, originam *muda* e *mura*. A eliminação de *mura* e *muri* previne a ocorrência de *muda*.

O *muda* é mais simples de eliminar por que se relaciona com comportamentos errados que foram praticados ao longo do tempo (Imai, 1997). No entanto, tendo em conta a natureza do relacionamento entre os 3M's, talvez seja melhor, depois de uma primeira remoção do *muda* (nomeadamente de tipo 2) focar os recursos na eliminação do *mura* que, por sua vez, irá revelar as situações ainda presentes de *muri*, traçando assim o caminho para uma elevada e duradoura redução do *muda* no futuro.

2.1.3 Estrutura: a “Casa TPS”

A filosofia *Lean* recorre a várias ferramentas que auxiliam, de diferentes formas, a atingir os objetivos que a mesma considera relevantes. Estas ferramentas devem ser utilizadas simultaneamente para garantir uma melhoria contínua (Wahab et al., 2013).

Nesta secção serão apresentadas as ferramentas mais importantes, por uma questão de ação informada, assim como as mais relevantes para o caso de estudo. Será feito, quando aplicável, uma análise da sua origem, definição, vantagens, implementação, e outras características relevantes como, por exemplo, a associação direta a outras ferramentas ou métodos. Por fim, será apresentada uma tabela que pretende sintetizar várias ferramentas *Lean* e classificá-las consoante os objetivos que a sua utilização permite alcançar.

Antes da referida análise detalhada às ferramentas e métodos, serão contextualizados alguns deles, quanto à sua relação e função, com recursos à famosa “Casa *Lean*” (Liker, 2004). O esquema permite perceber, de certa forma, quais destas utilidades servem como suporte, e são essenciais às restantes, e como cada uma delas se posiciona no cumprimento dos objetivos da filosofia *Lean*. Embora a Casa TPS não explicita as células de produção como parte integrante, as mesmas constituem uma das ferramentas da filosofia *Lean* e são de crucial relevância para a presente dissertação, pelo que serão analisadas numa secção dedicada posterior à secção “Casa TPS”.

A casa TPS ou “TPS House” foi desenvolvida por Taiichi Ohno e ilustrada por Fujio Cho, tornando-se um dos símbolos mais reconhecidos da indústria (Liker, 2004). Existem inúmeras versões, adaptadas com diferentes propósitos e níveis de detalhe e complexidade. Fujio Cho recorreu ao formato de casa porque “uma casa apenas é forte se a sua base e os seus pilares forem fortes”.

Na base da casa, representada na próxima figura, encontram-se a gestão visual, a normalização, a estabilidade dos processos, a produção nivelada (*Heijunka*) e o conhecimento da filosofia desenvolvida da Toyota. A Casa TPS inclui também dois pilares: o *Just in Time*, definido como “o artigo certo, no momento certo, na quantidade certa” e o *Jidoka*, que consiste em autonegação e garantia de qualidade embutida nos postos de trabalho. Quanto ao *Just in Time*, são salientados o planeamento do *takt time*,

a continuidade do fluxo, o funcionamento em sistema *pull*, a troca rápida de ferramentas e a logística integrada. Já em relação ao *Jidoka* são mencionados a interrupção automática do processo, o sistema de alerta *Andon*, a dissociação de cada operador a um posto de trabalho, a capacidade de produzir sem defeitos (derivada de um controlo de qualidade embutido na estação de trabalho) e resolver sempre as causas-raiz dos problemas (nomeadamente aplicando a técnica dos 5W – “5 porquês”). No telhado da casa estão os objetivos de qualidade, baixo custo e *lead time*, segurança e motivação. No centro de todos estes componentes encontram-se as pessoas (Liker, 2004). Estes últimos conceitos referidos são focados a nível de gestão de equipas, problemas, mentalidades e redução de desperdício recorrendo a conceitos como *Genchi Genbutsu* com o intuito de criar um ambiente de melhoria contínua.

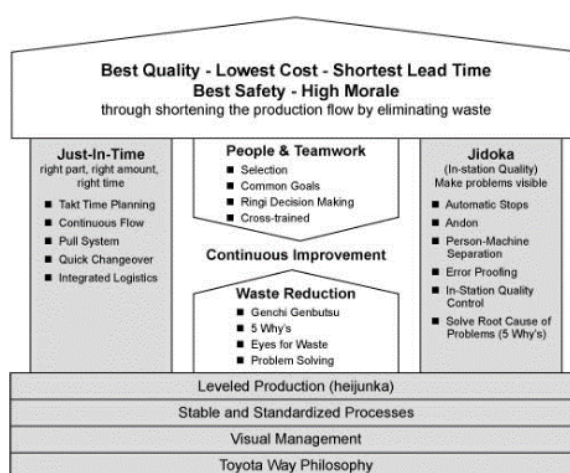


Figura 4 - Casa TPS original de Liker (2004)

Nunca será demais relembrar que o *Lean* não é um conjunto de entidades isoladas. São fortemente relacionadas e diretamente interdependentes. Liker tem mais um bom exemplo para clarificar estas relações quando refere que o JIT significa a redução de inventário, auxilia fortemente a produção segundo o *Takt Time* e faz com que os problemas se tornam rapidamente visíveis, enquanto o *Jidoka* se foca precisamente na prevenção e resolução de problemas com o menor esforço possível, facilitando, de novo, todas as anteriores componentes referidas.

Concluindo assim a apresentação geral dos componentes do *Lean*, serão, de seguida, analisadas e detalhadas.

5S

Esta técnica consiste num sistema de organização e melhoria dos locais de trabalho. Foi criado por Sakichi Toyoda, Kiichiro e Taiichi Ohno e divulgado amplamente em 1991 por Takashi Osada e em 1995 por Hiroyuki Hirano, no Japão. Os conceitos por detrás dos 5S's são ideias intuitivas e não inovadoras, mas a sua formulação e estruturação em etapas ditou a utilidade da sua implementação a nível mundial.

A desarrumação e falta de normalização das ferramentas e dos postos de trabalho é uma das características mais evidentes em fábricas que não entraram em contacto com a filosofia *Lean*. Rubrich & Watson (2000) afirmam que “os 5S são a chave para a organização e limpeza do local de trabalho”. Esta ferramenta auxilia na redução e eliminação de desperdício resultante das atividades de processamento (Osada, 1991) como, por exemplo: defeitos, acidentes, atrasos, tempo de *setup* e custos. Simultaneamente, aumenta a qualidade dos produtos e serviços, a segurança no trabalho, o cumprimento dos prazos estabelecidos (Hirano, 2009) e a produtividade e eficácia gerais dos sistemas produtivos (Osada, 1991).

Os 5S's estabelecem cinco fases, cuja designação em japonês começa por “S” (Imai, 1997): Seiri (Separar); Seiton (Alocar); Seiso (Limpar); Seiketsu (Normalizar) e Shitsuke (Manter). Estas 5 etapas, detalhadas abaixo, são igualmente representáveis, com fiabilidade no significado, por uma mnemónica na língua inglesa: Sort, Straighten, Shine, Standardize, Sustain.

Seiri (Separar): Antes de mais, é necessário identificar todo o material que é realmente necessário do que não tem utilidade. O que não for útil deve ser removido da área de trabalho. O que for útil deve existir apenas nas quantidades necessárias.

Seiton (Alocar): Após a seleção do material, devem ser criados locais específicos, inequivocamente definidos, que permitam a visualização e utilização ótimas de cada ferramenta (Hirano, 2009).

“(...) um sítio para cada coisa e cada coisa no seu sítio” (Charles A. Goodrich)

Seiso (Limpar): Consiste na limpeza diária do local de trabalho. Fomenta a reflexão sobre a qualidade dos 5S's implementados. Deve ser realizado simultaneamente com as primeiras etapas (Imai, 1997).

Seiketsu (Normalizar): O quarto passo deve ocorrer após se terem identificado e sinalizado os locais adequados de cada ferramenta. Consiste na normalização, através de regras e instruções, que permitam manter as melhorias alcançadas (Imai, 1997).

Shitsuke (Autodisciplina): A última etapa é a avaliação crítica, controlo e manutenção do que foi e será realizado nos passos anteriores (Hirano, 2009; Imai, 1997). É uma etapa de autoconsciencialização, autodisciplina e formação com o objetivo de fazer o método prosperar a longo prazo.

Estas etapas podem ser agrupadas conceptualmente em grupos distintos: as primeiras três correspondem ao alcance do nível desejado, enquanto as últimas duas tem um carácter principalmente de manutenção (Courtois, Pillet et al, 2007).

Kaizen

Etimologia da palavra

Kaizen significa, na sua essência nipônica, mudança “Kai” para melhor “zen” (Donaldson, 2002; Doria et al., 2003). É frequentemente designado por “melhoria contínua” embora este termo não traduza fielmente a totalidade dos conceitos inerentes à filosofia *Kaizen*. Na verdade, a palavra em si refere-se, no dicionário e linguagem comuns japoneses, a qualquer mudança positiva, quer seja grande ou pequena. É o equivalente à palavra “melhoria” em português. O significado literal não inclui, portanto, conceitos de filosofia ou de continuidade.

Origem da filosofia *Kaizen*

A Toyota definiu a filosofia designada por *Kaizen* após a segunda Guerra Mundial, como forma de aumentar a competitividade das empresas japonesas, e tem-se revelado extremamente útil até à atualidade, sendo implementado em todo o mundo (Michael Colenso, 2000). A Toyota utilizou o *Kaizen* como parte integrante dos seus inovadores métodos, nomeadamente o Toyota Way, onde se inclui o TPS, atualmente designado por *Lean*. Devido à sua natureza, e principalmente quando aplicado em conjunto com os restantes conceitos *Lean*, auxilia a eliminação cíclica de desperdício nos sistemas.

Foi introduzido no Ocidente por publicações como “*Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success*”, em 1986 por Masaaki Imai. Após a sua introdução, o conceito obteve elevado interesse e aprovação pela comunidade técnica e académica contemporânea. Várias publicações ocorreram na mesma década como, por exemplo: Oliver and Wilkinson (1992); Williams et al. (1992); Conti and Warner (1993); Sengenberger and Campbell (1993); Webb and Bryant (1993); Storey (1994), para além de um novo livro, em 1997, do mesmo autor, Masaaki Imai. Foi implementado nas mais diversas áreas, não apenas em contexto de negócio ou de produtividade (Colenso, 2000).

Vantagens

As conclusões das vantagens do *Kaizen* continuaram a provar-se ao longo do tempo, como foi confirmado por Manos (2007) a nível de tempos e redução de custos e inventário, por Neese (2007) em relação à sua utilidade para otimização do processo e implementação de ferramentas *Lean*, por Wilcox and Morton (2006) na redução do consumo de energia e de desperdício, por Gopalakrishnan (2006) no que toca à qualidade da comunicação no local de trabalho, Chan (Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong, 2005) salienta a necessidade da sua utilização para aumentar a competitividade das empresas. Em 1996 a produtora de componentes automóveis brasileira “Monroe Autopeças” implementou o *Kaizen* e conseguiu sair de uma situação de baixa competitividade, aumentando a produtividade em 30 por cento e reduzindo o espaço

ocupado em 25 por cento, enquanto libertou 10 por cento da mão de obra da zona de produção para outras funções (não foram realizados despedimentos) (Chase,1998).

Kaizen nas organizações

Imai, responsável por cunhar o termo *Kaizen* na literatura, escreve, em 1986, que “A estratégia de gestão de negócio *Kaizen* requer que toda a gente na organização colabore na realização de melhorias sem grandes investimentos de capital”. Mais recentemente, o mesmo autor forneceu, verbalmente, mais uma síntese sobre o *Kaizen*: “Melhoria continua todos os dias, em todos os momentos, por todos os colaboradores da empresa independentemente do posto que ocupam. Engloba desde pequenas melhorias incrementais a inovações radicais (a nível de redefinição de processo ou de inovação)”. Hamel (2009) escreve “*Kaizen* é mais que uma ocorrência. É uma filosofia (..) crítica para alcançar resultados estratégicos e aumentar o valor do fluxo ou processo”.

Kaizen salienta a necessidade de melhoria diária e generalizada, tanto por colaboradores como por zonas de ação (Imai, 1997; Coimbra,2009; Caffyn, 1999; Laraia et al.), em todos os aspetos humanos ou técnicos possíveis na cadeia de valor. Idealmente, passa a ser uma forma comportamental na qual o conceito de otimização permanente é já intrínseco aos membros da organização (Womack, James; Jones, 1996).

A colaboração e trabalho em equipa são naturalmente imprescindíveis ao método e promovidos pelo mesmo, apesar de poder ser realizado individualmente ou em grupo. Defende que se deve comunicar com base em dados e gerir consoante os factos. Os processos devem ser experienciados na primeira pessoa (*Gestão Gemba*).

Apoia-se na incrementação, avaliação e planeamento de sucessivas melhorias, em dinâmica atualização, de diferentes níveis de impacto ou género. Devem ser utilizadas ferramentas de identificação e solução de causas raiz de problemas. Caso algo inesperado ou errático ocorra, os trabalhadores devem interromper o trabalho e consultar as pessoas mais indicadas. O evento é visto como uma oportunidade de realizar uma nova melhoria que compensará inequivocamente o tempo de investigação envolvido.

Kaizen requer normalização. São necessários padrões definidos para, a partir deles, implementar soluções de melhoria cumulativas (Imai, 1997; Paul Brunet & New, 2003). Imai salienta que *Kaizen* pode ser utilizado como maneira de interpretar a disciplina de trabalho (Imai, 1997).

Um sistema de grandes pequenas mudanças

Kaizen tem sido, por vezes, entendido como um sistema de pequenas *mudanças*, por oposição ao *Kaikaku*, o que não é necessariamente verdade. Além de que uma grande mudança pode sempre ser atingida ou subdividida através de uma série de mudanças menores. Alguns autores salientam pontos

negativos no *Kaizen*: Harari, que implementava ele própria uma estratégia de *Kaikaku*, afirma que *Kaizen* é uma estratégia de sobrevivência, mas não de sucesso e que basear a melhoria em pequenas mudanças, ainda que contínuas, não era suficiente, considerando assim o *Kaizen* como uma acomodação e contenção de riscos (Harari, 1997). Os japoneses abandonaram o *Kaikaku* precisamente por ser um risco demasiado grande para a sobrevivência (Al Smadi, 2009). No entanto, Harari afirma que o substituíram por um método de “passos de bebé”: o *Kaizen* (Harari, 1997). O facto de o método recomendar mudanças diárias pode contribuir para esta falsa conclusão, já que os trabalhadores terão maior facilidade e propensão para sugerir maioritariamente pequenas mudanças (Misiurek, 2016). Este conceito contrasta com os elevados intervalos entre conceção e implementação dos projetos de melhoria drástica tradicionais. Elliff (2004) diz que as (normalmente) pequenas mudanças incrementais trariam provavelmente mais benefícios do que programas que envolvam *mudanças* fundamentais, mas que têm um curto período de vida.

Em consequência do *Kaizen*, a qualidade do trabalho e a facilidade em detetar *muda* tendem a melhorar enquanto o nível de *muri* tende a diminuir (Japan Human Relations Association, 1995).

Princípios do *Kaizen*

Existem várias definições e perspetivas de ver o *Kaizen*, mesmo entre as empresas japonesas. Os princípios introduzidos por Imai (Imai, 1997) e formulados por Berger (Berger, 1997) foram frequentemente adaptados para necessidades de organizações específicas (Paul Brunet & New, 2003). Esta diversidade de perspetivas adaptadas sobre o *Kaizen* pode explicar os diferentes níveis de sucesso na implementação do mesmo. A clarificação do *Kaizen* não é apenas uma questão teórica para as empresas, é uma necessidade bastante real (Lillrank, 1995; Suárez-Barraza, Ramis-Pujol, & Kerbache, 2011).

Barraza (Suárez-Barraza et al., 2011) sintetiza três diferentes perspetivas sobre o *Kaizen*:

1) *Kaizen* como uma filosofia de gestão

Consiste num conjunto de princípios e valores a aplicar a nível de gestão de empresas. Considera todas as boas práticas e ferramentas de origem nipónica. Alguns autores consideram que esta perspetiva progrediu das filosofias de controlo de qualidade de Ishikawa, Mizuno, Shingo, Miyauchi e Ohno (Sawada, 1995). É utilizada pelas empresas Japonesas mais competitivas (Suárez-Barraza et al., 2011).

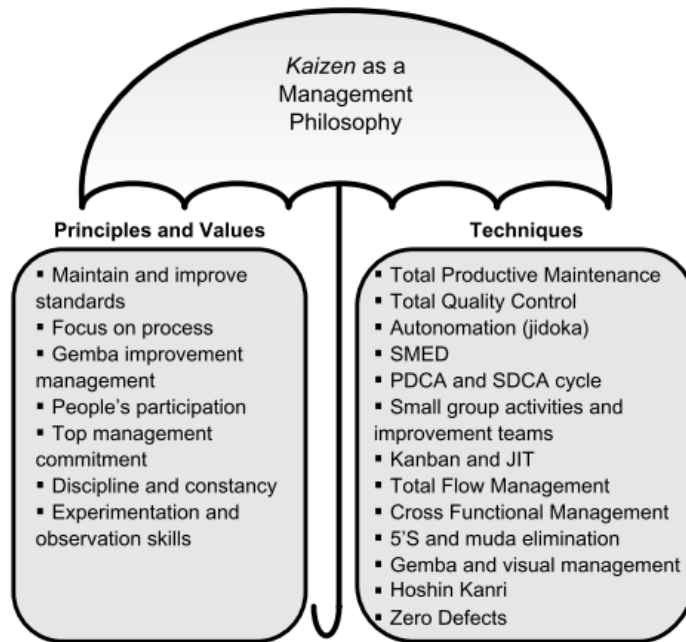


Figura 5 - Kaizen como filosofia de gestão (adaptado de Imai, 1989, p.40)

2) Kaizen como componente do TQM

Kaizen é por vezes visto como um elemento constituinte do TQM – *Total Quality Management*. A sua intenção é focalizada na componente de melhoria contínua.

3) Kaizen técnico/ como princípio teórico

Uma terceira visão do *Kaizen* é focada na sua utilização para redução da *muda* e através de melhorias nos métodos ou técnicas. Tem como finalidade o aumento da qualidade para o cliente.

Na figura abaixo estão representadas as três perspetivas mencionadas:

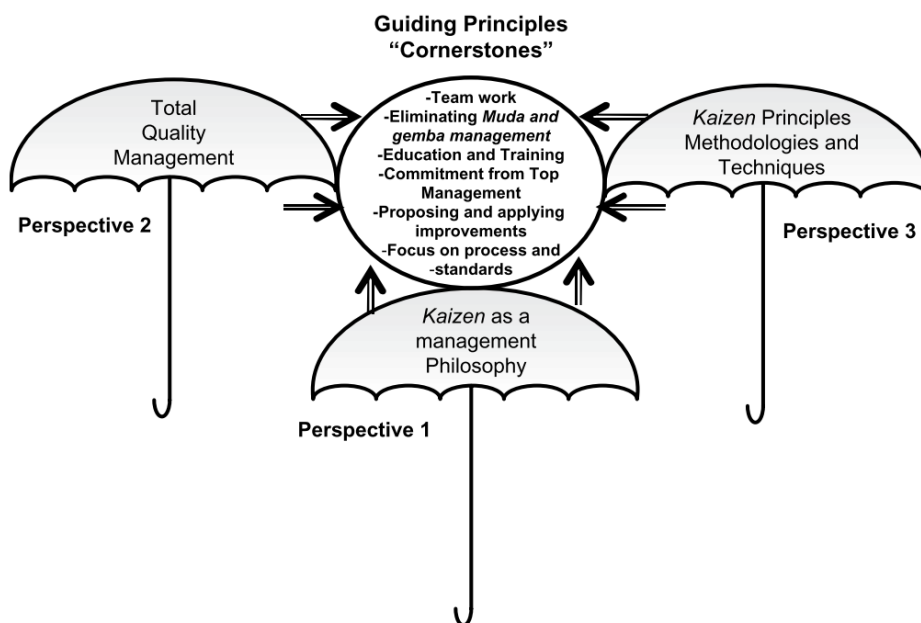


Figura 6 - Princípios fundamentais do Kaizen: comparação de perspetivas (Imai,1989).

Sintetizando os princípios envolvidos nestas abordagens, Barraza (Suárez-Barraza et al., 2011) salienta os seguintes:

- Colaboração;
- Eliminar *muda* e gestão *Gemba* (presencial);
- Formação;
- Envolvimento da gerência de topo;
- Propor e implementar melhorias;
- Foco nos processos e padrões.

Tipos de *Kaizen*

Misiurek distingue duas perspectivas *Kaizen*, *Kaizen* de fluxo e *Kaizen* de processo (Misiurek, 2016). *Kaizen* de fluxo consiste no fluxo de materiais e de informação e também nas relações entre postos ou grupos de trabalho. *Kaizen* de processo refere-se à melhoria interna de postos de trabalho isolados. O mesmo autor afirma que a utilização de *Kaizen* para melhoria contínua requer ambos as perspectivas mencionadas de *Kaizen*.

Implementação

A implementação de *Kaizen* requer o desenvolvimento de uma cultura organizacional que encoraje a criatividade e promova a procura incessante por perfeição, sem a qual o sucesso do método poderá estar comprometido (Al Smadi, 2009). Ademais, é necessária uma redistribuição de poder entre os diferentes cargos e entre os próprios gestores (Malloch, 1997).

Imai (Imai, 1997) salienta a importância de cinco componentes para a correta implementação de *Kaizen*.

1) Processos e resultados

O método depende fortemente do envolvimento humano para alcançar resultados de melhoria nos processos (Imai, 1997). O ciclo PDCA é um exemplo de uma ferramenta de otimização de processo. Imai defende que a iteração desta ferramenta gera um estado de instabilidade sendo necessário um segundo ciclo (SDCA – “*Standardized-Do-Check-Act!*”) para normalizar as condições, diminuindo anormalidades, antes de se prosseguir para um novo ciclo PDCA. O ciclo PDCA é então a fonte de mudança, enquanto o ciclo SDCA é um ciclo de estabilização onde não são implementadas alterações. Este processo está representado na figura seguinte.

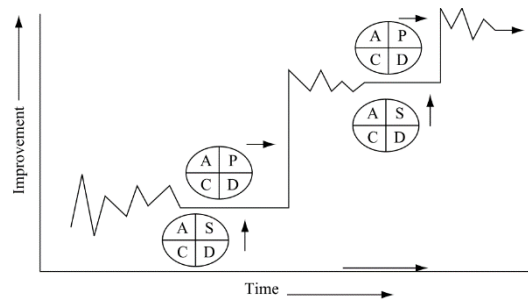


Figura 7 - Ciclo PDCA e SDCA (Imai, 1997).

A técnica dos 5 “Porquês” é frequentemente utilizada em conjunto com os ciclos PDCA, analisando a origem das situações a melhorar e, por sua vez, as causas dessas mesmas referidas situações, aprofundando sucessivamente a análise dos problemas-raiz a resolver. A visualização desta “rede” de causas é facilitada por diagramas de Ishikawa, também designados por causa-efeito ou espinha de peixe

2) Priorizar a qualidade

As melhorias *Kaizen* devem incluir o desempenho a nível de qualidade, custo e entrega (QCD) o que requer a colaboração das diversas partes integrantes da organização. A qualidade é uma das mais importantes características para o cliente e é relativa, variando de cliente para cliente e da sua perceção do produto e das suas características. O mesmo acontece com a qualidade dos processos envolvidos no seu fabrico, na perspetiva do cliente final. O custo é mais analisado da perspetiva do produtor. A eliminação de desperdício está diretamente relacionada com este parâmetro. A entrega baseia-se em entregar, no local e momento certos, a quantidade certa de um artigo ou conjuntos de artigos (Chan et al., 2005; Al Smadi, 2009).

No entanto, destes três conceitos, a qualidade é a mais importante e nunca deve ficar aquém das expectativas do cliente. Não pode ser substituída para descontos no preço ou facilidades de entrega sem comprometer a perspetiva dos clientes sobre a empresa e, por consequência, a sua competitividade a longo prazo (Chan et al., 2005; Al Smadi, 2009).

3) Dados e não suposições

O método *Kaizen* é um sistema de resolução de problemas (Montabon, 2005) que se baseia na recolha de dados brutos para ser eficaz e duradouro. Estes dados devem ser factuais e não relativos como sentimentos, impressões ou suposições. Esta condição é tida como imperativa na concretização de um processo de melhoria contínua.

4) O processo seguinte é o cliente

O trabalho realizado por uma organização pode ser visto como uma série de processos interrelacionados. Podemos ainda considerar que cada processo singular tem um fornecedor e um cliente, que normalmente são clientes internos (na própria organização), ou clientes externos (que fazem parte do

mercado). O que acontece, na verdade, é que o cliente recebe um produto cujo valor é influenciado por cada um dos processos individualmente. Nesta perspectiva, o output de cada processo é o cliente, de certa forma, e todos os processos lidam com clientes externos.

O compromisso envolvido neste conceito leva, eventualmente, a uma redução da informação incorreta e do número de artigos com defeitos que continuam erradamente a ser processados (*muda*).

Sintetizando este princípio, *Kaizen* baseia-se num compromisso de melhoria contínua que tem por objetivo a satisfação do cliente. Em 2004, Bradley e Willett (Bradley & Willett, 2004) realizaram um estudo em que demonstram que o *Kaizen* pode resultar em melhorias substanciais no desempenho do processo.

5) Gestão Visual

A gestão visual é uma componente essencial do *Kaizen*. As anormalidades no processo tendem a ocorrer quando o processo não é totalmente, ou de todo, controlado. A falha em detetar estas anormalidades em tempo real resulta, mais tarde, em problemas muito mais complexos de lidar. É também muito útil na avaliação do estado atual e na determinação de estados futuros. Permite ainda a todos os envolvidos terem uma noção clara das problemas, questões e objetivos.

Tem três funções principais na implementação do *Kaizen*:

- Visibilidade dos problemas;
- Ligação contínua com a realidade da fábrica;
- Definição facilitada e clara de objetivos.

Termos complementares ao Kaizen:

Kaizen Blitz. é um processo de melhoria especializada, focada num objetivo ou área de atuação estruturados, e que dura um curto período de tempo como, por exemplo: identificar e eliminar *Muda* no processo de manufatura, dedicando entre dois a cinco dias a esta atividade (Suárez-Barraza et al., 2011).

Gemba-Kaizen: o termo *Gemba* significa “no local” e refere-se, no contexto industrial e de *Kaizen*, a estar presencialmente no local onde o objeto de estudo se encontra, normalmente no chão de fábrica. É tida como importante para um correto entendimento do assunto a tratar, assim como dos assuntos indiretamente relacionados.

Value Stream Mapping (VSM)

O *Value Stream Mapping* foi formulado por John Shook e Mike Rother. É uma ferramenta extremamente útil na compreensão e otimização do fluxo de materiais e informação envolvidos num determinado produto ou família ao longo de toda a cadeia de valor (Mi. Rother & Shook, 1999).

A referida cadeia de valor inclui eventuais receções e transformações desde o estado de matéria-prima até ser entregue “nas mãos” do cliente final. Ideal, e talvez utopicamente, envolveria a análise de todas as empresas envolvidas direta ou indiretamente com o produto, não apenas fornecedores e clientes diretos apesar de esta ser a principal componente do fluxo (Womack, James; Jones, 1996) (cap. 2.1.2). Na prática, é frequente um mesmo sistema produzir diversos produtos com designações diferentes, mas com características similares, nomeadamente a nível de processamento, material e ferramentas requeridos. Devido a este fenómeno, Rother e Shook salientam a seleção e priorização de famílias de produtos (Mi. Rother & Shook, 1999).

Auxilia e simplifica o processo de visualização da cadeia de valor por oposição aos processos e fluxo de material. Consequentemente, é altamente eficaz na identificação de *muda* no processo ou, por outras palavras, situações de não alocação ótima dos recursos na perspetiva de valorização do produto pelo cliente (Womack, James; Jones, 1996). As atividades presentes na cadeia são classificadas segundo três categorias: etapas que criam valor; etapas que não criam valor, mas são inevitáveis e etapas que não criam valor e são evitáveis (cap. 2.1.2).

Representação gráfica

A construção de um VSM é simples. Rother e Shook (Mi. Rother & Shook, 1999) sintetizam que um lápis, papel e um cronómetro são os únicos utensílios necessários. É essencial que o sistema seja percorrido até se terem obtido os tempos envolvidos em cada etapa e uma representação fiel do estado atual do sistema. A representação é realizada com recurso a ícones com significado definido (Mi. Rother & Shook, 1999; Rui Miguel Bastos Pires Gonçalves, 2013), como podemos ver na figura:



Figura 8 - Principais ícones utilizados na construção de um VSM.

Os símbolos representam tanto o fluxo de materiais (como é o caso dos cinco primeiros representados na figura 2323) como o fluxo de informação (no caso dos últimos dois ícones da figura) (Ramos, 2014). No que diz respeito ao fluxo de materiais, o primeiro ícone é utilizado para representar outras empresas, como clientes e fornecedores. O símbolo de “Processo” designa cada processo a que os materiais são submetidos e deve ser acompanhado pelo terceiro símbolo na tabela, “Caixa de Dados”. Estas caixas são frequentemente associadas a outros ícones e contêm informações como o tempo de ciclo, *setup*, *lead time*, quantidade de operadores, tempo disponível, tamanho do lote, tempo de valor acrescentado, inventário, taxa de rejeição, entre outros. O terceiro símbolo indica que o processo é empurrado. Isto é bastante relevante porque indica inúmeras possíveis particularidades assim como *muda* no sistema (por exemplo, *stock* intermédio) (Ramos, 2014). Os ícones de informação “Manual” ou “Eletrónica” caracterizam a via de comunicação das informações necessárias para o produto (Ramos, 2014).

Implementar VSM

A implementação do VSM como ferramenta numa organização requer, segundo Rother e Shook (Mi. Rother & Shook, 1999), quatro passos distintos:

1) Selecionar produto ou família de produtos

Este passo poderá ser realizado tendo em conta o conhecimento do funcionamento interno da empresa por parte dos colaboradores, para além das similaridades entre produtos e necessidades dos clientes. Algumas ferramentas e conceitos simples podem também ser úteis nesta etapa como, por exemplo, a regra de Pareto ou análise ABC.

2) Elaborar mapa da cadeia de valor

Para elaborar o mapa atual é necessário, como referido anteriormente, conhecer ao pormenor todas as etapas e variáveis envolvidas em cada etapa do processo. É a partir de uma fiel representação da realidade do processo que uma correta análise de desperdícios e possibilidades de melhoria se tornam possíveis.

3) Elaborar mapa futuro

Após determinadas soluções a implementar através do mapa atual, é necessário criar uma nova representação de como será o sistema no futuro, refletindo as mencionadas soluções.

4) Transformar o estado atual no estado futuro

O último passo é a implementação efetiva das soluções atingindo assim total ou parcialmente o estado futuro que tinha sido idealizado, estado este que passa, naturalmente a ser o estado atual. O VSM deve ser realizado iterativamente e sempre que sejam realizadas alterações relacionadas com os produtos ou

com o processo, para atingir a perfeição definida por Womack (Womack, James; Jones, 1996) (cap. 2.1.1).

A contínua comparação requerida entre o estado atual e futuro também permite encontrar lacunas e novas oportunidades em ambos. O carácter cíclico desta etapa está representado na imagem pelas setas curvilíneas azuis.

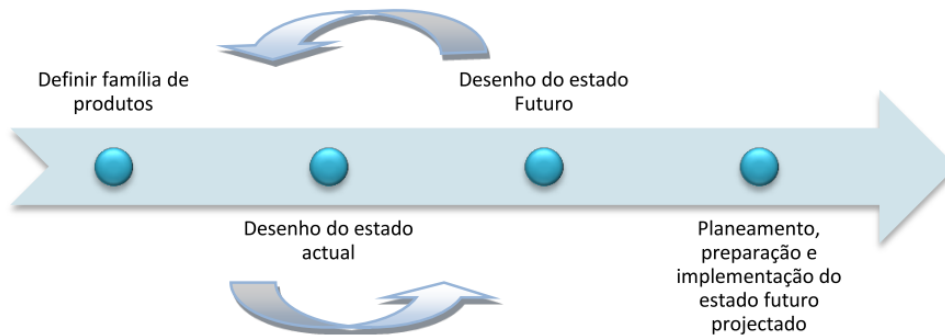


Figura 9 - Mapeamento de um fluxo de valor

Normalização

A normalização é um dos suportes básicos para muitas das ferramentas associadas ao TPS ou *Lean*. Um trabalho considera-se normalizado, segundo Dennis (Dennis, 2015), se a sequência de elementos que constituem esse trabalho foi eficientemente organizada e é repetidamente seguida por um, ou mais, colaborador. Para Jang e Lee (J. Lee & Jang, 1998), normalização consiste em normas, políticas e procedimentos de trabalho estruturados e cumpríveis por todos os operadores. Trabalho normalizado é, no entanto, mais do que normalizar os processos de produção. É necessário normalizar também os processos de comunicação para garantir uma comunicação transversal eficaz (Ribeiro et al., 2013). Wettig (Jurgen Wettig, 2002) define que é uma norma de indicações técnicas que assegura que todos os bens, serviços, processos ou ferramentas são adequados ao objetivo e afirma que permite aumentar a confiança e eficácia dos mesmos. A segurança no trabalho deve ser absolutamente cumprida. A normalização completa do trabalho é difícil de atingir, nomeadamente devido a cada operador ter a sua maneira de realizar a mesma tarefa, o que resulta em maior *lead time* e variações de qualidade (J. Lee & Jang, 1998).

A normalização é composta, segundo Monden (Monden, 2012) e Ohno (Ohno, Taiichi; Bodek, 1988) por três características essenciais:

- Tempo de ciclo normalizado – estimativa do tempo necessário para realizar as tarefas;
- Sequência de trabalho normalizada – a ordem das operações deve ser definida e clara;
- Inventário de WIP normalizado – os níveis de diferentes inventários devem ser claramente parametrizados.

Vantagens da normalização

A normalização foi extensivamente estudada e potencializa fortemente melhorias a nível de produção. Melhora a consistência das operações, a qualidade e a eficiência de produção (Ungan, 2006). Proporciona maior rotatividade dos colaboradores e redução de desperdícios (Losonci, Demeter, & Jenei, 2011). Resulta também, conseqüentemente, em redução dos custos envolvidos.

A facilidade de um operador em aprender novas operações depende do seu nível de polivalência e do nível de contribuição que lhe é solicitada em relação às mesmas (PPDT, 2002).

Implementação de normalização

Devem ser identificadas as operações, máquinas e ferramentas a utilizar, assim como os momentos corretos para fazê-lo (Monden, 2012). Estabilidade do processo é essencial para a implementação de trabalho normalizado (Ribeiro et al., 2013). Um processo normalizado terá maior estabilidade.

Ungan (Ungan, 2006) propõe sete etapas de normalização de qualquer processo, ilustradas na figura abaixo:

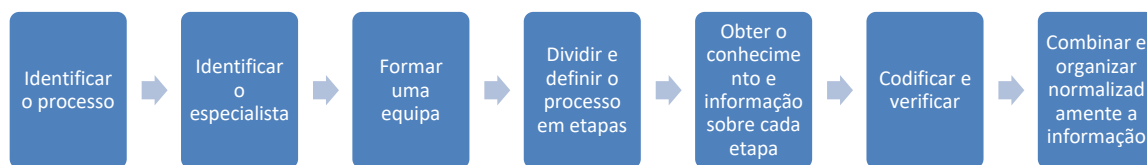


Figura 10 - Metodologia de normalização (adaptado de Ungan, 2006)

A primeira etapa consiste em identificar o processo a normalizar. Nem todos os processos podem ser normalizados devido à variedade de inputs. De seguida, é necessário identificar o especialista sobre o processo: a pessoa que melhor sabe como as tarefas devem ser realizadas. A próxima ação é escolher e formar a restante equipa com membros que sejam familiares com o processo. A equipa deve conter algum membro com conhecimento sobre normalização. A quarta etapa caracteriza-se pela definição do processo e a sua divisão em segmentos. A definição de segmentos, inputs, clientes, fornecedores, outputs e tarefas é importante. Seguidamente, é necessário aglomerar o conhecimento possível sobre cada segmento do processo, o que deve ser realizado segundo várias fontes como, por exemplo: entrevistas, vídeo, cronometragem, documentação técnica etc. A sexta e penúltima etapa consiste em verificar e sintetizar, claramente e sem margem para dúvidas ou interpretações, cada parte do processo. Para concluir, a informação é organizada e documentada de uma forma também normalizada.

Heijunka (Nivelamento da Produção)

Heijunka é um termo japonês que significa suavização, uniformização ou nivelção da produção e é mais frequentemente designado como produção nivelada. É uma condição muito importante para um sistema de produção *Pull* conseguir garantir JIT (J. T. Black & Chen, 1995; Miltenburg, 2001).

Aplica-se na programação da produção e representa um conceito fundamental de estabilidade de processo no *Lean Thinking*. É um conceito de redução do desequilíbrio e desnivelamento (*mura*) e, conseqüentemente, de *muda*. Segundo Harris (Harris, Chris, Harris, 2008) o nivelamento da produção é uma das melhores formas de eliminar desperdícios, por expor outros tipos de desperdícios.

Embora a instável procura tenha de ser satisfeita, a produção para a satisfazer não tem obrigatoriamente de acompanhar essa instabilidade. Na perspetiva da empresa, é mais conveniente produzir de uma forma nivelada. *Heijunka* permite à empresa uma produção eficaz que combina simultaneamente a procura do mercado com uma carga de trabalho nivelada, entre diversos outros benefícios mencionados mais adiante. Equilibra a produção em relação aos meios disponíveis e não apenas às variações da procura.

Consiste em uniformizar, num padrão iterativo, as quantidades totais produzidas de diferentes artigos num determinado período de tempo. Inclui uniformizar a produção nas linhas, entre elas mesmas e nos diferentes dias. É produzido um volume diário constante de pequenos lotes, constituídos pelos diferentes produtos necessários para o próximo período de tempo pré-determinado (Bell, 2006; Liker, Jeffrey, Meier, 2006; Liker, 2004).

Estes volumes diários de artigos combinados pretendem, em conjunto, colmatar as necessidades de produtos para um período de tempo mais alargado como, por exemplo, semanas ou meses e deve ser frequentemente atualizado com antecedência. As variáveis mais importantes envolvidas no *Heijunka* são o volume de produção, tipo de artigos e tempos envolvidos. O consumo de recursos de produção é, por consequência, igualmente nivelado. Proporciona um output regular e previsível, fluxo e volume constantes, fácil deteção de desvios à produção, minimiza a sobreprodução, o *lead time*, o tempo de ciclo e os *stocks* enquanto aumenta a flexibilidade do sistema em relação às variações de procura (J. Black & Hunter Steve, 2003; Hutchins, 2008; Monden, 1994). Permite fabricar uma gama mais vasta de artigos diferentes de forma bastante viável e previne transportes, danos e perdas de valor resultantes de uma longa permanência dos artigos no *stock* (Matzka, Di Mascolo, & Furmans, 2012).

Requer a capacidade de montar diferentes modelos na mesma linha, um fiável fornecimento de materiais e *layout* e processos simplificados (Pinto, 2009; Suzuki, 2010). É suportado por uma boa normalização

do trabalho e pela implementação da técnica SMED, garantindo um baixo tempo de *setup* entre artigos (Matzka et al., 2012).

Contra intuitivamente, é mais fácil otimizar e balancear os postos de trabalho quando as linhas são multimodelo. Ao fracionar as tarefas é possível utilizar melhor o tempo de trabalho disponível (Jones 2006). Este é dos conceitos mais contraintuitivos da Toyota (Liker, 2004).

“The slower but consistent tortoise causes less waste and is much more desirable than the speedy hare that races ahead and then stops occasionally to doze. The TPS can be realized only when all the workers become tortoises.” Taiichi Ohno (1988).

Heijunka Box

A caixa *Heijunka* é uma ferramenta de gestão visual importante de salientar, no que toca à implementação e funcionamento segundo o conceito de *Heijunka*. As ordens de fabrico são colocadas nos compartimentos por período de tempo e tipo de artigo, de forma a que os operadores sabem sempre claramente o que falta produzir, e facilita a visualização do planeamento de produção em curso. Esta ferramenta permite exemplificar empiricamente em que consiste o método *Heijunka*.

Consideremos o caso do planeamento de produção fornecido por Liker e Meier (Liker, Jeffrey, Meier, 2006) representado na tabela da figura 11.

Produto	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8
A	250	250	250	250	250	250	250	250
B	220	220	220	220	220	220	220	220
C	210	210	210	210	210	210	210	210
D	256	0	256	0	256	0	256	0
E	0	250	0	250	0	250	0	250
F	150	0	150	0	150	0	150	0
G	0	240	0	0	0	240	0	0
H	0	0	0	180	0	0	0	180
I	180	0	0	0	180	0	0	0
J	0	0	140	0	0	0	140	0
Outros	59	155	99	215	59	155	99	215
Total	1325	1325	1325	1325	1325	1325	1325	1325
Objetivo	1325	1325	1325	1325	1325	1325	1325	1325

Figura 11 – Exemplo de Nivelamento de Produção (*Heijunka*) (Liker, Jeffrey, Meier, 2006)

Nas colunas estão designados os diferentes períodos de produção, que neste exemplo consistem em dias. Já nas linhas da tabela, estão presentes os diferentes produtos assim como somatórios adicionais (e.g. quantidade total de artigos produzida e objetivo para a mesma). Como podemos verificar, o total de artigos produzidos diariamente é igual em todos os dias, apesar de os artigos que integram essa quantidade serem, por vezes, diferentes. O ideal seria produzir exatamente a mesma quantidade de cada artigo em todos os períodos de tempo o que, no caso de serem dias, se designa por ED, “*every day*”

(todos os dias) como acontece com os artigos A, B e C do exemplo. Quando isso não é possível, poderão ser adotados outros ciclos iterativos, como os designados por EOD, “every other day” ou “dia sim dia não, como ocorre com os artigos D, E e F ou E4D, “every 4 days” (a cada 4 dias), empregue nos artigos H, I, J e Outros (Liker, Jeffrey, Meier, 2006).

Jidoka (Autonomação)

Jidoka é um termo japonês que significa autonomação ou “automação com um toque humano”. É frequentemente usado no contexto de TPS (ou *Lean*) e TPM. É um dos pilares da fundação do *Lean*, segunda a casa do TPS (Liker, 2004). Na casa de Liker, é constituído por várias ferramentas que funcionam como mecanismos de prevenção de erros numa máquina ou linha de produção (Monden, 1994). A ideia é normalmente atribuída a Taiichi Ohno e Saikichi Toyoda, e foi implementado inicialmente pela Toyota com o desenvolvimento de um tear que parava imediatamente assim que ocorresse quebra do fio.

Consiste, segundo Monden (Monden, 2012) e Liker (Liker & Morgan, 2006), no controlo autónomo da deteção de não conformidades nos produtos e na interrupção do processo, não permitindo que produtos defeituosos prossigam e corrompam o próximo processo. Na verdade, o ideal é detetar o erro e parar imediatamente, tal como Ohno idealizou. De seguida, um operador irá verificar a máquina que sinalizou a não-conformidade. Desta forma, o operador apenas é requerido em cada máquina durante um período reduzido de tempo, permitindo-lhe supervisionar várias simultaneamente. Isto deu origem ao conceito de separação homem-máquina, quebrando a tradição “Taylorista” de alocar um operador a cada máquina, como podemos ver na figura seguinte.

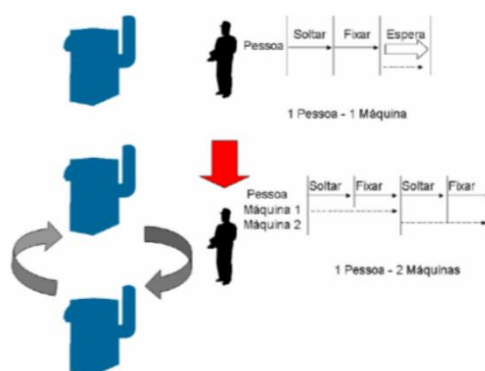


Figura 12 - Separação entre homem e máquina (Ghinato, 2000).

Adicionalmente, o operador pode parar antecipadamente a máquina, caso seja oportuno, e tirar proveito do sistema estruturado de comunicação e resolução problemas já disponibilizado pelo método *Jidoka*. O conceito de *Jidoka* foi eventualmente estendido a operações manuais em que um operador pára igualmente a produção assim que deteta, por si mesmo, um erro no produto. Ghinato (2006) sintetiza,

similarmente, que *Jidoka* consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de paralisar o processo sempre que forem detetadas não-conformidades de qualquer género.

Pode ser alcançado dando a capacidade aos colaboradores de interromperem a produção através de *Andon* ou sistemas de controlo visual (Feld, 2001).

Procedimento

As ações de um sistema *Jidoka* ocorrem da seguinte forma:

1. Detecção e sinalização da não-conformidade;
2. Paragem do processo;
3. Resolução da não conformidade e recolocação do sistema às condições iniciais;
4. Investigação e resolução da causa-raiz da não conformidade;
5. Implementação de medidas preventivas.

Pré-automação (*Jidoka*) vs Automação

Shigeo Shingo (Shingo, 1987) define que a capacidade referida deve ser designada como pré-automação, já que a máquina continua a não ser completamente autónoma: apesar de detetar defeitos no produto e parar automaticamente, ainda é necessário que um operador lide com o problema. Para Shingo, a verdadeira automação requer que a máquina lide com o problema por si mesma. Este conceito foi revolucionário já que, como o próprio escreveu, os contemporâneos académicos consideravam a existência de 23 passos para atingir automação, dos quais 20 eram relacionados apenas com mecanização e não com automação, deixando uma grande lacuna. O mesmo autor indica ainda que a autonomia da máquina na resolução de problemas, sem intervenção humana, é uma capacidade complicada de atingir.

Vantagens

A deteção imediata, seguida de paragem do sistema ou até reparação, abre todo um leque de possibilidades e vantagens associadas. De seguida, são apresentadas algumas delas:

- Cada operador pode supervisionar várias máquinas simultaneamente, já que apenas é necessária a sua atenção numa pequena parcela do tempo de operação de cada máquina;
- Menor número de operadores no *Gemba* (Monden, 2012; Ohno, Taiichi;Bodek, 1988);
- Aumenta a eficiência de produção (Ohno, Taiichi;Bodek, 1988) e a produtividade;
- Produção sem defeitos;
- Reduz custo de inspeção de produtos, já que a sua necessidade é drasticamente reduzida;
- Permite a deteção antecipada de problemas, não só nos produtos mas também nos sistemas;
- Aumenta a qualidade (Sullivan, McDonald, & Van Aken, 2002);

- Diminui *muda* (menor sobreprodução, menor sobreprocessamento, etc);
- Facilita a identificação, compreensão e resolução de problemas;
- Menor sucata.

Implementação do *Jidoka*

De acordo com Shigeo (Shingo, 1987), 90% dos efeitos da automação total podem ser obtidos investindo apenas 10% dos custos envolvidos na implementação integral da mesma. Salienta ainda que a possibilidade de manter as máquinas a funcionar durante, por exemplo, horas de almoço é tremendamente eficaz a aumentar o nível de produção e de produtividade.

Um dos ideais mais importantes do *Jidoka* é a utilização de sistemas anti erro (*Poka-Yoke*) (Ghinato, 2006). Este previne a produção de produtos com defeito e bloqueia erros humanos previsíveis, dando garantias de um sistema consistente com produtos sem defeitos (Simas,2016). Podem ser utilizados, por exemplo, sensores ou cordas nos postos de trabalhos, entre outros dispositivos (Grout & Toussaint, 2009). A implementação com sucesso do *Jidoka* depende fortemente do cumprimento dos conceitos “base” na casa TPS, nomeadamente a normalização do trabalho e a produção em pequenos lotes ou em fluxo contínuo.

Poka-Yoke

Nomenclatura

É frequentemente referido no contexto de TPS (*Lean*), através da nomenclatura original japonesa. Na verdade, o termo *Poka-Yoke* foi resultado de uma alteração da designação original “*Baka-Yoke*”, ambas formuladas por Shingo. Esta mudança aconteceu para que a tradução em inglês fosse “à prova de erros” e não erradamente interpretada como “à prova de ignorantes”, o que poderia ter consequências humanas negativas (Shingo, 1987).

Origem

Poka-Yoke foi definido por Shingo (Shingo, 1989), como sendo a ausência de erros nos produtos, graças a dispositivos presentes nos postos de trabalho que asseguram a qualidade e evitam a ocorrência de erros de processo e não-conformidades. Quando ocorrem erros, as suas consequências são minimizadas (Treurnicht, N.F., Blanckenberg, M.M., Niekerk, 2011; Pinto, J. P., 2009).

Não consiste num sistema de inspeção, mas sim de deteção de problemas em tempo real. Os dispositivos de *Poka-Yoke* não impedem erros, mas impedem que os erros se transformem em defeitos (Koenigsaecker, 2011).

Shingo relaciona fortemente a implementação de formas de *Poka-Yoke* com o conceito de *Jidoka*. O mesmo autor teve a prova de que realmente era possível atingir zero defeitos através de inspeção na

fonte e de *Poka-Yoke* em 1977, na Matsushita, que cumpriu um mês de produção com zero defeitos numa linha de montagem com vinte e três operários (Shingo, 1987).

Tipos de erros

Segundo Shingo, somente os erros humanos são incontrolláveis. O autor escreveu em 1987, “Podemos dizer que nunca nos esquecemos de nada na vida? *Poka-Yoke* reconhece que, como humanos, iremos inevitavelmente esquecer coisas. Devíamos, pelo menos, garantir que não nos esquecemos que [iremos] esquecer. Isto não só torna as coisas mais fáceis como é um atalho para assegurar [produção] com zero defeitos.” (Shingo, 1987).

Shingo (Shingo, 1985) salientou três tipos de erros que podem ser antecipadamente eliminados: erros inadvertidos, técnicos e intencionais.

- 1) Erros inadvertidos são causados por negligência ou falta de atenção, de carácter aleatório e não intencional. Podem ser minimizados diminuindo a necessidade de atenção por parte do operador, eliminando distrações ao redor do posto de trabalho, aumentando os períodos de descanso ou utilizando dispositivos *Poka-Yoke*.
- 2) Erros de natureza técnica estão relacionados com a execução da operação em si, e são normalmente gerados por falta de formação ou conhecimento.
- 3) Erros intencionais são cometidos de forma premeditada e resultam de problemas de relacionamento humano. A solução destes erros é mais humanística do que técnica.

Funções

Estes dispositivos podem ter como finalidade a deteção de erros, a interrupção do processo ou chamar a atenção do operador assim que estes são detetados, funcionando como um alerta. Os dispositivos de controlo interrompem o processo assim que são detetadas não conformidades, enquanto os dispositivos de alerta funcionam através de sinais sonoros ou luminosos (Calarge, 2004; Treurnicht, N.F., Blanckenberg, M.M., Niekerk, 2011).

Tipos de Poka-Yoke de controlo

Quanto aos *Poka-Yoke* de controlo, Shingo (Shingo, 1989) define três métodos que devem, segundo Hollnagel (2004), estar presentes num sistema de *Poka-Yoke*. Os três métodos diferentes de controlo são os seguintes:

- Método de contacto: identifica erros através da ocorrência ou ausência de contacto entre o produto e o dispositivo. Incide na dimensão e superfície. Inclui dispositivos de análise de luz refletida.
- Método “*Fixed Value*” ou “Valor fixo”: consiste em determinar se um número pré-determinado de movimentos foi cumprido.

- Método “*Motion Step*” ou “Sequência de movimento”: verifica se a sequência de atividades foi realizada corretamente.

Os dispositivos podem ainda ser físicos, nos casos em que interrompem o processo sem ser necessária a interpretação do operador, funcionais, caso se possam ativar ou desativar sem depender de subjetividade pelo utilizador ou simbólicos, que devem ser interpretados pelo operador (como, por exemplo, sinais de segurança) (Saurin, Ribeiro, & Vidor, 2012).

Vantagens

A utilização de dispositivos *Poka-Yoke* potencializa um leque de possibilidades a nível de autonomia das máquinas e de utilização de todo o tipo de recursos. Em termos financeiros, os dispositivos devem ser simples e de baixo custo.

Reduz drasticamente a ocorrência de erros, defeitos e a necessidade de inspeção de qualidade (Erlandson, Noblett, & Phelps, 1998; Stewart & Grout, 2001). A ausência de necessidade de inspeção é um estado bastante melhor do que a inspeção completa, por lotes ou do que a inspeção por amostragem. Os clientes pretendem qualidade em todos os produtos, não inspeção em todos os produtos, sendo a última apenas *muda* (Womack, James; Jones, 1996). Desta forma, Shingo (1989) conclui que a utilização de dispositivos *Poka-Yoke* é a melhor maneira de resolver este paradigma.

Quanto mais complexa for a máquina ou o processo, maior é a probabilidade de erros e maior é a dificuldade em a máquina ser realmente autónoma no que toca a deteção desses erros ou a interrupção do processo. Naturalmente, é mais fácil treinar um humano para detetar erros do que uma máquina, apesar de representar um custo contínuo de mão-de-obra normalmente superior à autonomação (pelo menos no que toca à função de deteção: pré-autonomação, ver capítulo *Jidoka*). Apesar de ser inegável que estes dispositivos auxiliam na supervisão simultânea de várias máquinas por cada operador, existem outras vantagens sublimes associadas como, por exemplo, o facto de permitirem, de certeza forma, estabelecer uma ponte que viabiliza tirar proveito simultâneo de máquinas e processos complexos sem requerer a atenção permanente de um operador (Sousa, 2015). Apesar de a máquina não conseguir resolver o problema por si só, devido à complexidade ou natureza do processo, não é necessária mão de obra-humana disponível em tempo real para lidar com eventuais erros, que poderão ou não acontecer num momento não expectável.

Implementação

Shingo (Shingo, 1989), alguns pontos essenciais à implementação de dispositivos de *Poka-Yoke*:

- Escolher o processo a controlar e listar os erros mais comuns;
- Priorizar os erros consoante a frequência de ocorrência;

- Priorizar os erros por ordem de importância;
- Construir sistemas *Poka-Yoke* que previnam os erros importantes envolvidos nos passos anteriores;
- Utilizar *Poka-Yoke* quando a causa do erro não pode ser eliminada;
- Deve ser feita uma análise custo-benefício antes da implementação;
- O *Poka-Yoke* deve consistir num método simples, de baixo custo e prático de utilizar;
- Não deve representar uma nova etapa no processo.

O autor refere ainda que se estes dispositivos envolverem custos elevados, provavelmente estão a ser insuficientemente bem pensados.

A utilização de ferramentas de identificação e tratamento de erros (como FMEA, Ishikawa etc) potencializam a viabilidade da implementação destes dispositivos. Devem ser acompanhados por dispositivos “*Andon*” ou, em português, dispositivos de sinalização/alerta. Ademais, todo o processo de aprendizagem, análise, desenvolvimento e implementação deve ser realizado segundo a filosofia *Gemba* (presença no local) para aumentar a sua eficácia e fiabilidade (Van Scyoc, 2008).

Os “5 Porquês” (5 Why’s)

É uma técnica a aplicar sempre que ocorre um problema. A interrogação da causa-raiz deve ser colocada cinco vezes e obtidas cinco causas possíveis diferentes, por forma a identificar a verdadeira causa fundamental do problema e seja possível desenvolver e implementar medidas para prevenir a sua futura ocorrência (Womack, James; Jones, 1996).

***Just in Time* (JIT)**

Just in time foi introduzido na Toyota Motor Company como parte integrante da filosofia *Lean*. O mercado abrandou e a diversificação tornou-se importante. O JIT ganhou notoriedade pública como um conceito valioso a adotar num sistema de produção resistente a recessões do mercado. (Hirano, 2009). Foi implementado em inúmeras empresas no Japão e no estrangeiro, desde então (L. C. Lee & Seah, 1988). O conceito inerente ao *Just in time* é a produção e entrega dos artigos corretos, no momento certo, na quantidade certa (Hirano, 2009; Liker, 2004; Womack, James; Jones, 1996). Isto implica que as peças, em cada processo, só devem ser concluídas no momento em que o processo seguinte no fluxo a necessita (L. C. Lee & Seah, 1988).

O JIT significa, ideal e utopicamente, a entrega de cada artigo em cada processo, etapa ou cliente do fluxo, exata e precisamente no momento em que são necessários. Nem um momento antes, nem um momento após (Hirano, 2009). Traduzir *Just in time* como “mesmo a tempo” não seria completamente explícito e fidedigno, um termo mais rigoroso seria “mesmo no tempo” ou “precisamente no tempo”. Caso os artigos cheguem com antecedência ao processo, ou seja, antes de serem necessários, são

igualmente gerados *muda* como, por exemplo, excesso de inventário e WIP (Womack, James; Jones, 1996).

“Just in Time significa, num processo de fluxo contínuo, os componentes corretos requeridos numa linha de montagem, no momento em que são precisos. Uma empresa que estabeleça, de forma abrangente, este fluxo aproxima-se de inventário nulo” (Taiichi Ohno)

Características, vantagens e relação com outros componentes *Lean*

Gera um sistema de produção orientado para o mercado que assenta no princípio de servir as necessidades dos clientes (Hirano, 2009). Facilita o fluxo contínuo de produção (Womack, James; Jones, 1996) e mantém os níveis de WIP significativamente baixos (L. C. Lee & Seah, 1988). Há que salientar que JIT não significa que não exista inventário, nomeadamente nos processos finais. JIT considera um nível padrão de *stock*, por forma a garantir a entrega atempada dos produtos aos clientes em caso de erro ou volatilidade do sistema ou da procura (Womack, James; Jones, Daniel; Roos, 1990) embora, segundo Ohno, permita a empresa aproximar-se da inexistência de inventário.

Os elementos essenciais do *Just in Time* são fluxo contínuo, produção puxada, normalização (incluindo dos *buffers / stock* intermédio) e *takt time* (Womack, James; Jones, 1996). Hiroyuki Hirano publicou, no seu manual de implementação de JIT referenciado anteriormente, um mapa de conceitos envolvidos no mesmo. Nesse mapa constam o *Kanban*, o nivelamento, as trocas de ferramenta, gestão visual, fluxo contínuo, autonomação, operações multiprocesso, manutenção e segurança e garantia de qualidade. O mapa e algumas relações conceptuais representadas por linhas de conexão podem ser visualizados na figura seguinte:

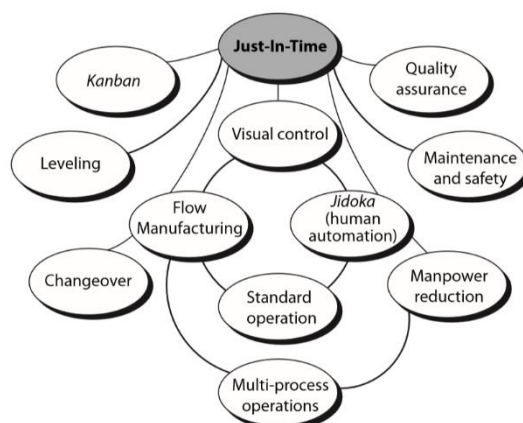


Figura 13 - Representação geral do sistema JIT (H.Hirano, 2009)

Implementação

Para o JIT ser implementado com sucesso e beneficemente, é necessário que algumas condições de fluxo e de processo sejam garantidas. Irá afetar várias funções de gestão como o planeamento de

produção, métodos, processos, formação, qualidade e controlo. É essencial que o sistema combine flexibilidade e sincronização para garantir um fluxo fluente de produção (L. C. Lee & Seah, 1988).

Hiroyuki (Hirano, 2009) realizou um esquema para a implementação do JIT. Baseia-se em 5 passos:

- 1) Consciencialização;
- 2) Implementar 5S's;
- 3) Bom fluxo de manufatura;
- 4) Nivelamento;
- 5) Operações normalizadas.

Segundo o mesmo autor, durante a implementação, ocorre uma redução da necessidade de mão-de-obra, enquanto se melhora simultaneamente o controlo visual. Hiroyuki realizou um esquema onde pretende sintetizar a implementação de JIT. Envolve estes passos, assim como os conceitos em falta mencionar comparativamente ao primeiro mapa referido do autor (como, por exemplo, o sistema *kanban*). O mapa proposto pode ser consultado na figura abaixo:

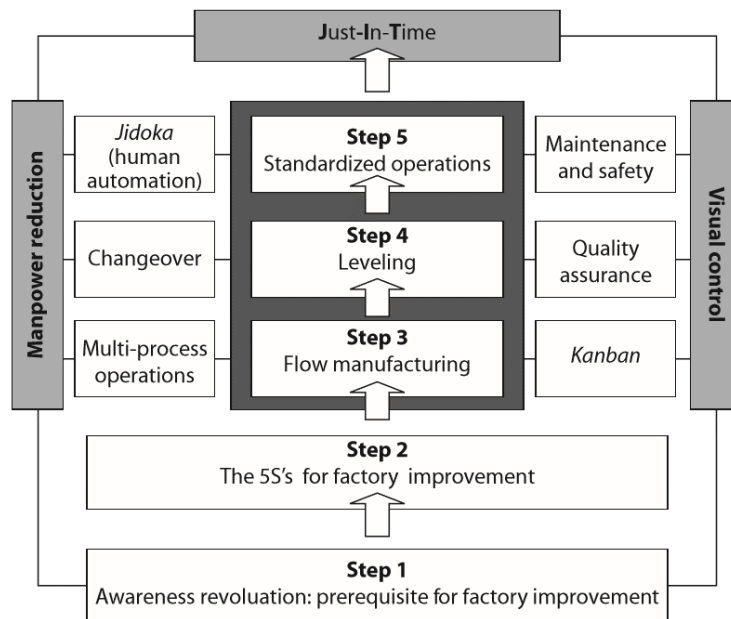


Figura 14 - Passos para estabelecer um sistema JIT (H.Hirano, 2009).

Devido às *mudanças* que advêm de implementar o JIT, é comum que os gestores procurem indicadores fiáveis antes de comprometerem todo o sistema a essa alteração. São frequentemente utilizados projetos piloto para testar implementações em maior escala ou simulações de computador que, segundo Lee, são uma melhor opção por permitirem, com um modelo fidedigno, testar várias opções de cenários do sistema em JIT (L. C. Lee & Seah, 1988).

Just in time e Kanban

O sistema *Just in time* é por vezes errada e redutoramente definido como sistema *Kanban*. Apesar de este ser talvez o elemento mais característico da filosofia *Just in Time*, é apenas uma parte integrante da mesma, consistindo apenas um “sistema de movimentação” ou “de transporte” que auxilia a produção segundo os princípios JIT (Hirano, 2009).

Produção Pull

Caracteriza-se por ser uma lógica inversa ao mais intuitivo e antigo sistema *Push* em que sempre que um posto de trabalho está livre, deve iniciar produção, independentemente de o resto do fluxo tirar partido dessa produção ou não.

Na prática, consiste na seguinte regra: o processo seguinte no fluxo de produção é que determina, ou por outras palavras, “puxa” para si o produto do processo que lhe antecede. Isto acontece em cadeia ao longo do fluxo, começando na última etapa (ex: entrega ao cliente) e “puxando” as tarefas anteriores, como se o processo acontecesse inversamente, até chegar à primeira etapa (ex: compra da matéria-prima). Na prática, a operação seguinte define o momento de conclusão e, conseqüentemente, de início da operação anterior.

Conceitos como o *Just-In-Time* e ferramentas como *Kanban* viabilizam e simplificam a produção em sistema *Pull* estando, portanto, intrinsecamente relacionados.

Fluxo contínuo (*One Piece Flow*)

Fluxo contínuo ou “*One Piece Flow*” consiste na produção de uma peça de cada vez, de processo em processo, sem ocorrerem paragens e outros tipos de *muda* associados às mesmas (Mi. Rother & Shook, 1999), devido à forte relação deste conceito com os princípios *Lean*. Inúmeras vantagens do *One Piece Flow* foram já referidas, no entanto, não será demais sintetizá-las, salientando menores quantidades de inventário, WIP, tempo de atravessamento e *lead time*. Para além disso facilita a deteção de erros, não conformidades e outros diversos tipos de *muda*. Quando conjugado com células de produção gera um sistema de elevado valor segundo a filosofia *Lean* (Liker, 2004).

A próxima figura, ilustrada por Rother e Shook, pretende mostrar o funcionamento de um sistema por lotes em contraste com um sistema de fluxo contínuo, para três postos de trabalho que realizam operações consecutivas.

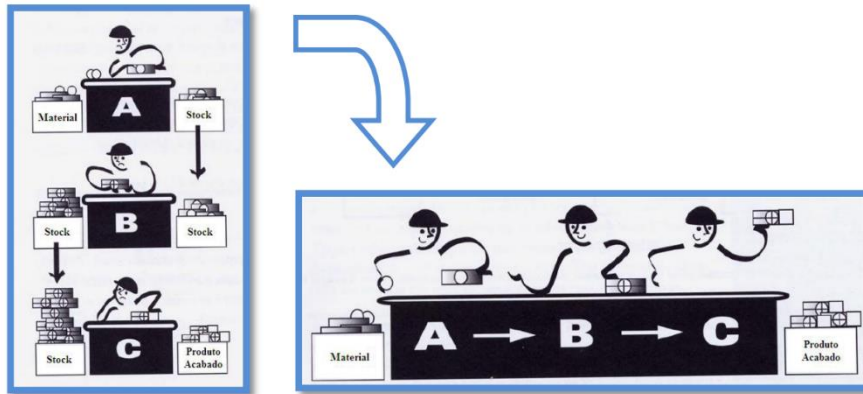


Figura 15 - Transformação de um fluxo não contínuo num fluxo contínuo (Rother & Shook, 1999)

Single Minute Exchange of Die (SMED)

Desenvolvido em 1960 por Shigeo Shingo, SMED é um acrónimo para *Single Minute Exchange of Die* que tem por objetivo, como o nome indica, a realização das operações de *setup* em menos de 10mins: tempo de *setup* de um único dígito. Apesar de isto não ser, em alguns casos possível, é alcançável numa quantidade surpreendente de situações. Mesmo quando esta métrica não é alcançada gera melhorias significativas no *setup* (Shingo, 1985).

Implementação

Shingo (Shingo, 1985) estabelece quatro etapas para a implementação do SMED, sendo uma preliminar:

0) Etapa preliminar

Estudar todas as ações envolvidas no *setup* e recorrer a cronometragem, amostragem, gravação (se possível) entre outros. Pode ser realizado através de diálogo, apesar de ser um método mais falível.

1) Separar as atividades internas das externas

Após definidas as atividades de *setup*, devem ser classificadas em atividades externas (OED-*Outside Exchange of Die*), caso se realizem com a máquina em funcionamento ou em atividades internas (IED-*Internal Exchange of Die*), caso ocorram enquanto a máquina está parada.

2) Transformar atividades internas em externas

Estando as atividades corretamente classificadas, o próximo passo é encontrar formas de transformar as atividades internas em externas.

3) Melhoria contínua de ambos os tipos de atividade

A melhoria contínua tanto das atividades internas como externas é muito importante e pode também ser realizada em qualquer momento anterior. Devem continuar a ser realizados esforços no sentido de

transformar atividades internas em externas. Ademais, devem otimizar-se também as externas, não apenas as internas.

Vantagens

A ideia principal é reduzir a inatividade durante a troca efetiva de ferramenta, programa ou equipamento. Viabiliza a produção de pequenos lotes e auxilia a diversificação de produtos. Shingo ilustra a evolução dos diferentes tipos de atividade no *setup*, ao longo das etapas que sugere. Segundo o autor, entre a fase preliminar (0) e a fase (1), devido à análise do processo, são denotadas algumas operações que são realizadas internamente quando, na verdade, podem simplesmente ser realizadas externamente. Entre as fases 1 e 2, com a clara classificação de cada uma das atividades em interna e externa, o tempo de operações de facto realizadas internamente (IED) diminui drasticamente. Entre o passo 2 e 3 são visíveis melhorias significativas no IED mas também no OED. O esquema apresentado por Shingo pode ser visualizado na figura abaixo:

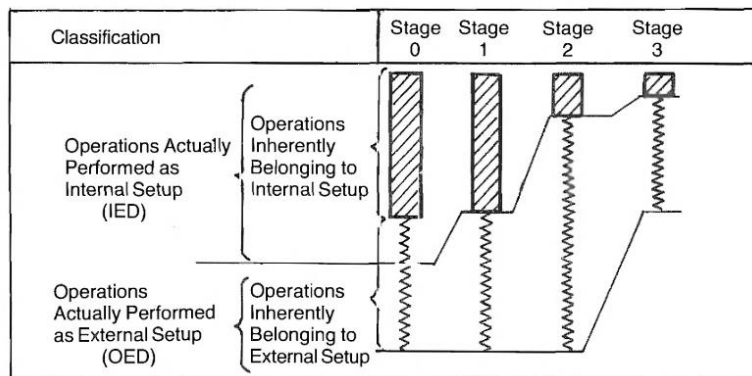


Figura 16 - Fases de implementação de um sistema SMED

2.1.4 Implementação do Lean

Fatores críticos na implementação do *Lean*:

O correto funcionamento em *Lean* depende da implementação holística de todas as suas vertentes. A implementação do sistema *Lean* começa pelo cumprimento de conceitos de suporte que, por si, sustentam a implementação de sistemas, métodos e ferramentas adicionais mais elaborados e específicos.

De seguida, serão sintetizados alguns fatores importantes para uma correta implementação da filosofia *Lean* seguidos de alguns problemas comuns.

- Estratégia focada na mudança holística. A filosofia *Lean* requer a implementação informada de todos os conceitos de uma forma holística e não de técnicas isoladas (Womack, James; Jones, 1996). É também comum, e errado, a aplicação parcial do *Lean* como forma de cedência à resistência de colaboradores em adotarem novas ideias (Mckenna, 1991);

- Cultura organizacional. *Mudanças* de mentalidade conferem objetivos profissionais e têm o potencial de aumentar a pró atividade dos colaboradores em relação às iniciativas de melhoria (Suárez-Barraza & Ramis-Pujol, 2012). É importante que o controlo, por parte da gestão, não crie uma estrutura burocrática, que dificulta qualquer mudança nos métodos atuais (Arya & Choudhary, 2015);

- Foco no produto. Deve existir um elevado foco no fluxo de valor de cada produto para que os desperdícios de recursos sejam eliminados (Angelis & Fernandes, 2012; Womack, James; Jones, 1996);

- Envolvimento da gestão de topo. É importante que seja realizado de forma consistente para a implementação de melhorias na organização (Styhre, 2001);

- Oportunismo e precisão de implementação de melhorias (Suárez-Barraza, Ramis-Pujol, & Estrada-Robles, 2012).

Desafios na implementação do *Lean*.

- Necessidade de tempo e capacidade que são requeridos para identificar problemas, analisá-los e desenvolver soluções.

- As melhorias não perduram infinitamente. Uma mudança de produto, por exemplo, implica esforço adicional (Grant, 1991).

- As pessoas são naturalmente resistentes à mudança. Isto pode dificultar a implementação ou até criar atitudes negativas que poderão gerar resistência à mesma. Isto é possível mesmo que a formação e explicação adequada sejam fornecidas. Poderão ocorrer situações complicadas em que não haverá alternativa senão dispensar os colaboradores que se recusam a adotar novas práticas ou a contribuir para os esforços da implementação da filosofia (Hoerl & Gardner, 2010).

- O início da implementação poderá aparentar um retrocesso do sistema.

Métricas Lean

As métricas *Lean* são indicadores utilizados para avaliar a produção, e não só, em ambientes *Lean*, e focam-se na otimização dos mesmos segundo a filosofia *Lean*. Embora abranjam toda a cadeia de valor desde fornecedores a clientes, para efeito da presente dissertação, serão apenas explicitadas as métricas mais relevantes em termos de manufatura.

Tempo de Ciclo - É o tempo total requerido para completar um ciclo de uma operação. Se o tempo de ciclo for igual ou inferior ao *Takt Time*, os produtos podem ser produzidos em fluxo contínuo (Womack, James; Jones, 1996). O tempo de ciclo de um fluxo é limitado pela operação com o tempo de ciclo mais elevado (Carvalho, 2006).

Takt Time - É o intervalo de tempo entre cada produto exigido pela procura do mercado (Carvalho, 2006) ou, por outras palavras, é o ritmo de consumo ou de vendas de um produto. Matematicamente, é o

tempo de produção disponível num determinado período de tempo a dividir pela quantidade requerida nesse mesmo período de tempo. A título de exemplo, se forem necessários 240 acessórios por dia e a fábrica trabalhar 480 minutos por dia, o *Takt Time* é de 2 minutos. Este conceito permite adequar o ritmo de produção da fábrica, nomeadamente a nível de controlo de tempos de ciclo (Womack, James; Jones, 1996).

Tempo em fila de espera - Tempo que um produto fica à espera da próxima etapa, quer seja de conceção, de fabrico ou de processamento da encomenda (Womack, James; Jones, 1996). Pode também aplicar-se a pessoas.

Tempo de atravessamento - Simplificadamente, é o tempo que uma peça demora a atravessar o sistema produtivo e depende de vários fatores (Carvalho, 2006). Womack e Jones definem o tempo de atravessamento como o tempo requerido para um produto ser lançado após concebido, entregue após ser encomendado ou entregue após aquisição da matéria-prima. Inclui o tempo de processamento, de espera, de transporte e de inspeção (Womack, James; Jones, 1996). Refere-se ao tempo de produção no sistema e à entrega, não tendo em conta atrasos ou esperas relativas ao lançamento de produção do artigo, contrastando assim com o *Lead Time*. É matematicamente igual ao somatório do WIP a multiplicar pelo tempo de ciclo associado aos artigos.

Lead time - Tempo total que um cliente espera para receber o produto após ter colocado a encomenda. É igual ao tempo de atravessamento apenas se o sistema estiver a funcionar dentro da sua capacidade produtiva e segundo JIT e *One Piece Flow*. Se a procura exceder a capacidade do sistema, o *lead time* será maior que o tempo de atravessamento porque o produto não será planeado e lançado em produção imediatamente pelo que o *Lead Time* será superior ao tempo de atravessamento (Womack, James; Jones, 1996).

WIP: Work in Progress (trabalho em progresso) - Refere-se aos produtos inacabados que se encontram em curso de fabrico no sistema, quer em processamento quer à espera para serem processados. Engloba todos os produtos que entraram no sistema, mas cujas operações não estão inteiramente concluídas. Pode ser determinado contabilizando todos os produtos presentes no sistema num dado momento. No entanto, o momento pode ser pouco representativo da realidade do sistema, pelo que uma única contagem pode não ser fiável. Pode também ser determinado com recurso ao sistema informático (Carvalho, 2006).

Taxa de Produtividade - Consiste numa métrica de eficiência. É o número de artigos produzidos em relação a uma quantidade de um tipo de recurso. É normalmente calculada em relação às horas de mão-de-obra envolvidas na produção dos artigos, por ser um dos recursos mais valiosos. A título de exemplo,

se tivermos uma taxa de produção de 20 peças por hora e assumirmos 8 horas de trabalho diárias, isso irá traduzir-se em 160 peças por dia. Se a taxa de produção referida for obtida com recurso a 3 operários, cada um produz, em média, 53.3 peças diárias ou 6.7 peças horárias. Isto significa, em termos de produtividade, que são produzidas 6.7 peças por cada hora e por cada operador. Esta unidade de medida é expressa em peças/hora/homem ou peças/h.h. (Carvalho, 2006).

Taxa de produção - A taxa de produção é a velocidade de processamento de uma máquina ou posto de trabalho. A taxa pode ser, por exemplo, de 30 peças numa hora, que será superior a uma máquina que processe apenas 20 peças numa hora (Carvalho, 2006).

Tempo de *Setup* ou de troca de ferramenta - O tempo de *setup* consiste no tempo necessário para a adaptação à produção de um novo produto ou lote e pode incluir alteração de parâmetros de produção e de ferramentas. Aplica-se, resumidamente, sempre que é atribuída uma nova operação a um meio de produção (Womack, James; Jones, 1996).

Tempo disponível - Consiste no tempo total em que o recurso está disponível e não engloba pausas programadas como, por exemplo, intervalos e manutenção preventiva. Engloba o tempo útil e tempo não útil (Pinto, 2006), detalhados de seguida.

Tempo útil - O tempo útil é uma parte do tempo disponível, excluindo tanto as pausas não-programadas como erros ou avarias (Pinto, 2006).

Disponibilidade - A disponibilidade de um recurso é o rácio entre o tempo útil e o tempo disponível (Pinto, 2006) e é, portanto, expressa em percentagem.

Taxa de Ocupação - A taxa de ocupação é o rácio de tempo em que um recurso é utilizado em relação ao tempo em que se encontra disponível. Se, por exemplo, o posto de trabalho tiver capacidade para processar a uma cadência de 30 peças por hora e estiver a processar apenas a 20 (por qualquer razão), a sua taxa de ocupação será de aproximadamente 67% ($20/30 \times 100 = 66.7\%$). Isto também significa que qualquer posto de um sistema que trabalhe abaixo da sua capacidade, verá a sua taxa de utilização invariavelmente limitada. Adicionalmente, a taxa de ocupação de um posto de trabalho será igual à taxa de ocupação de um operador caso este seja o único a operar no posto e, por sua vez, seja o único posto em que o mesmo opera (Carvalho, 2006).

Tempo de processamento - Tempo em que um artigo está efetivamente a ser processado, quer seja a nível de design, produção ou entrega. É tipicamente uma muito pequena parte, tanto do tempo de atravessamento como do *lead time*.

Carga de trabalho - É quantidade de trabalho requerido ou colocado num sistema ou parte dele. Traduz-se, matematicamente, na soma das operações a realizar a multiplicar pelo tempo padrão de cada uma delas.

Eficiência - A eficiência é um rácio entre a quantidade de objetivos alcançados em relação aos recursos empregues para o fazer (Pinto, 2006). Aplica-se a tempo de mão-de-obra, custos ou matéria-prima.

Eficácia - A eficácia relaciona-se com a capacidade de atingir ou não os objetivos, independentemente dos meios envolvidos para o mesmo (Pinto, 2006).

2.2 Células de produção

A definição de células de produção é, de certa forma, incerta (Kono, 2000). Em 1980 discutia-se o conceito de Sistema de Produção Flexível, designação que resulta do seu objetivo em produzir produtos diversificados. Como a abordagem de processamentos idênticos para vários artigos pode ser reconhecida como Tecnologia de Grupo (Gallagher, 1973), há quem considere que o conceito de Tecnologias de Grupo já envolvia as células de produção. Existe também quem considere que as células de produção já eram utilizadas antes da introdução da produção em massa por parte de Henry Ford.

De qualquer forma, não é um conceito recente e não recorre, de forma nenhuma, a tapetes de transporte contínuos, como acontece nas linhas (Kono, 2000). Uma célula de produção é um sistema de fabrico que se baseia em agrupar e aproximar operações, máquinas, ferramentas e pessoas envolvidas na produção de famílias de produtos com características de processamento similares. A equipa realiza todas as tarefas de processamento em cada posto de trabalho necessário. São, em conjunto com linhas e oficinas, os tipos mais comuns de implantação de produção (Anabela Carvalho Alves & Carmo-Silva, 2008). São facilmente distinguíveis de outros subsistemas (Liker, 2004). No entanto, é comum a dificuldade em especificar a diferenciação entre célula e linha de produção. (Schonberger, 1983) diz que ambas são “feitas do mesmo tecido”. Esta distinção é esclarecida, de certa forma, por (J. T. Black & Schroer, 1988) afirmando que a única particularidade específica atribuída às células é que o tempo de ciclo não está integralmente dependente de uma única máquina. É possível e comum serem implementadas células iguais ou idênticas aumentando simultaneamente a fiabilidade, a redundância e a flexibilidade do sistema.

2.2.1 Sistemas de produção orientados à função e sistemas orientados ao produto

Este conceito contrasta fortemente com os sistemas de produção orientados à função e focados no agrupamento por secções ou características de semelhança entre os meios de produção e não entre os produtos a fabricar (Anabela Carvalho Alves, Monforte, Oliveira, & Rocha, 2007), como é ilustrado na figura abaixo. Na figura torna-se claro que, nos sistemas orientados à função (ou FOMS - *Function Oriented Manufacturing System*), cada tipo de processo (MF1, MF2 etc) é atribuído a um departamento (D1, D2 etc) enquanto que nos sistemas orientados ao produto, cada família de produtos tem um conjunto integrado e linear de processos adequados à produção apenas dessa família de produtos. Cada um desses conjuntos está designado na figura como “Célula 1”, “Célula 2” etc.

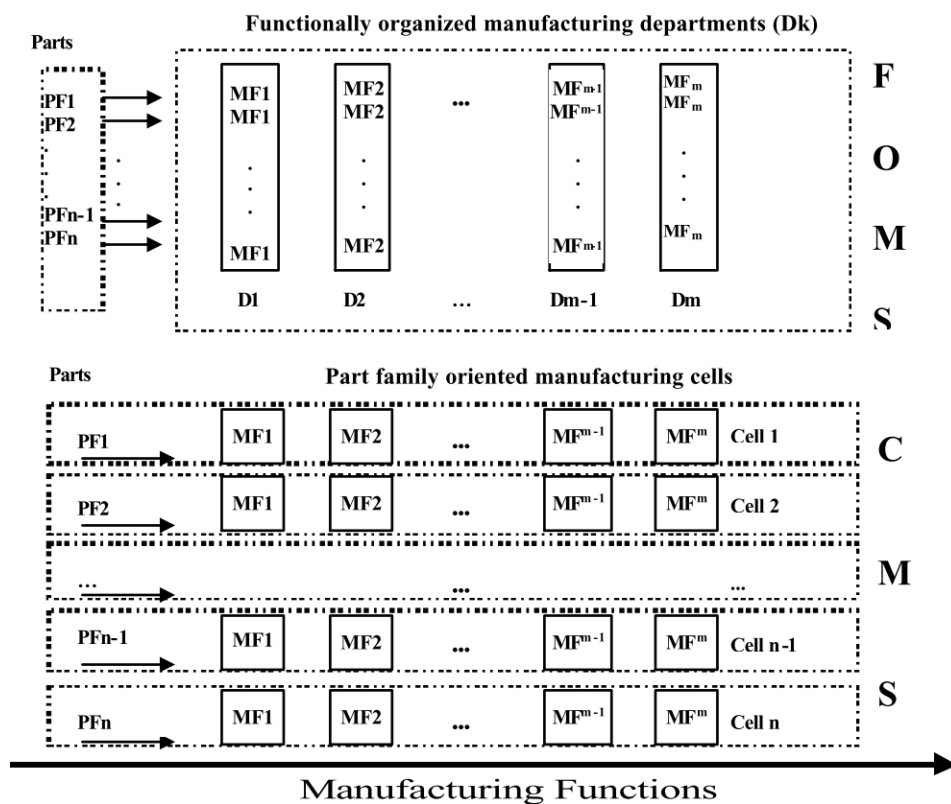


Figura 17 - Sistemas orientados à função e sistemas orientados ao produto.

Podem ser configuradas de várias formas e quase todas elas recorrem à distribuição das estações de trabalho em forma de “U” (E. J. Hay, 1988; Alves & Carmo-Silva, 2009; Miltenburg, 2001). Células de produção não consistem apenas num tipo de sistema de produção mas em várias vertentes do mesmo conceito (Kono, 2000).

Para entendermos melhor o lugar das células e o seu compromisso entre a flexibilidade de produtos e a quantidade a produzir em relação a outros sistemas, podemos recorrer à figura seguinte. Na figura podemos ver que, caso a variedade de artigos (eixo dos x) seja muito elevada e, simultaneamente, a quantidade a produzir de cada um seja relativamente baixa (abaixo de 25), devem ser empregues os

SPOF. Se a quantidade de artigos for muito elevada e existir pouca diversidade (1 ou 2 produtos), as linhas adequam-se melhor (Anabela Carvalho Alves et al., 2007). As células são a melhor solução para as restantes possibilidades intermédias de variedade e quantidade a produzir por não requisitarem o trabalho inerente envolvido nas linhas de produção e não gerarem as elevadas quantidades de *muda* (transporte, inventário, esperas etc) presentes nos SPOF (Kono, 2000; L. C. Lee & Seah, 1988).

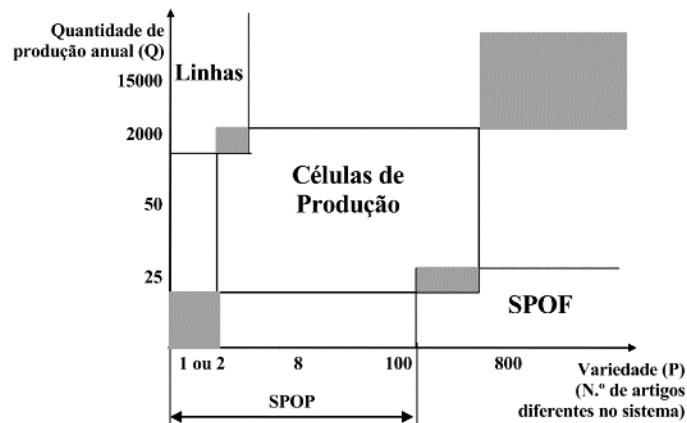


Figura 18 - Tipos de sistemas de produção por quantidade e variedade (adaptado de Alves 2007)

Vantagens

A manufatura em células de fluxo contínuo foi designada como o apogeu do *Lean Manufacturing* (Liker, 2004). São altamente referenciadas como parte do processo de conversão de empresas à filosofia *Lean* (Anabela Carvalho Alves & Carmo-Silva, 2008; Bhat, 2008; Cardoso, Arezes, Alves, & Carmo, 2008; Pattanaik & Sharma, 2009). São consideradas uma ferramenta para o que Skinner (1974) define como “uma fábrica focada”. Permitem uma produtividade e flexibilidade (Greene & Sadowski, 1984). Conferem, com fiabilidade, diversas e significativas vantagens a nível de produção e KPI's, que serão analisadas nas secções seguintes.

Geram ganhos significativos, estáveis e fiáveis nos seguintes parâmetros: produtividade, qualidade dos produtos e do fluxo, utilização de recursos, controlo de produção, inspeção, deteção de erros, quantidade de inventário, trabalho em curso, espaço, *lead time*, tempo de atravessamento, *setup* e transporte, motivação, fadiga, monotonia, ergonomia, distâncias percorridas e tempos de transporte (Kono, 2000). As células melhoraram o fluxo de produção (Liker, 2004), potencializam o fluxo contínuo (Liker, 2004) e têm um impacto benéfico no sistema de produção das empresas (Wemmerlöv, Hyer, 1989; Nyman, 1992; Singh, Rajamani, 1996; Suresh, Kay, 1998; Kamrani, Logendran, 1998; Irani, 1999; Wemmerlöv, Johnson, 2000; Kono, 2000; Shayan, Sobhanallahi, 2002; Hyer, Wemmerlöve, 2002).

Devido à proximidade das máquinas, facilitam a produção de lotes pequenos mas também a resposta a elevados volumes de produção, quando comparadas com os Sistemas de Produção Orientados à Função

(Kono, 2000). O número de operadores pode variar ou ser regulado de acordo com a produção necessária e as máquinas, ferramentas e colaboradores disponíveis.

A postura em pé dos colaboradores viabiliza que a produção seja realizada com recurso a métodos de operação de células como *Rabbit Chase*, TSS, *Working Balance*, *Bucket Brigades* e *Baton-Touch*, que serão analisados nas próximas seções. Isto implica estratégias de trabalho em equipa e de partilha de recursos (R. Suri, 1988; Kono, 2000).

Uma das vantagens menos visíveis da produção em células é o facto de salientar inúmeros problemas e desperdícios que não são tão óbvios num sistema de produção orientado à função. Simultaneamente, facilita a formulação e implementação de melhorias.

2.2.2 Modos operatórios

Existem diferentes modos de operação em células de produção, no que toca à alocação e fluxo de movimentação dos colaboradores e dos produtos (Badham & Couchman, 1996; Niepce & Molleman, 1996). O fluxo de material ocorre normalmente no sentido anti-horário e cada produto pode ser manipulado por um ou mais operadores, dependendo também da alocação definida (ou dinâmica) dos operadores dentro das células e das propriedades de movimentação anexas ao método. Algumas destas propriedades incluem, por exemplo, a “ultrapassagem” de operadores em relação aos operadores mais à frente na célula ou a continuação de um trabalho inacabado por outro operador, no mesmo posto de trabalho. Estes métodos envolvem frequentemente trabalho em equipa e partilha de recursos. Alguns exemplos destes métodos serão analisados de seguida, nomeadamente o *Working Balance* (WB), o *Rabbit Chase* (RC), o *Toyota Sewing System* (TSS), o *Baton-Touch* (BT) e o *Bucket Brigades* (BB). Serão também mencionadas algumas referências de similaridades e diferenças entre os mesmos.

Working Balance

Foca-se na divisão da célula em secções, cada uma com distribuição equilibrada da carga e com tempos de processamento semelhantes. A cada colaborador é alocado um ou mais postos de trabalho, de forma a que cada um dos operários tenha uma carga de trabalho idêntica, como representa a figura:

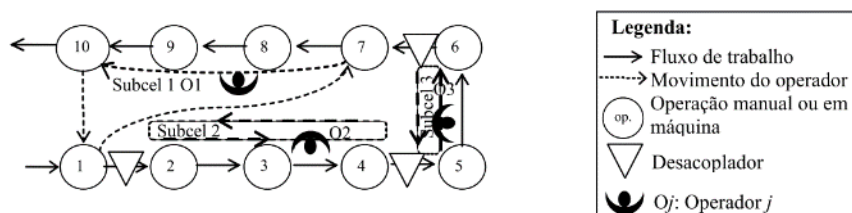


Figura 19 - Representação do Working Balance (Alves, 2007).

A maior repetição de tarefas por operador resultante desta disposição gera maior especialização e consequente aumento da taxa de produtividade de cada operador mas reduz, por outro lado, a variedade de competências e experiência dos mesmos. Consequentemente, a flexibilidade do sistema de células é reduzida. Propicia aumento da fadiga e monotonia associadas ao trabalho.

O *Working Balance* pode resultar em maior nível de movimento sem componentes do que, por exemplo, no *Rabbit Chase* (Oliveira & Alves, 2009). Isto deve-se ao facto de que, no final de cada ciclo, o operador retorna ao primeiro posto de trabalho que lhe foi alocado, sem transportar qualquer produto o que significa que, por alto, metade do seu movimento não adiciona qualquer valor (constituindo *muda*) (figura azul e vermelho). Em (Oliveira & Alves, 2009) o caso de estudo revelou um total de 15 metros de movimento em comparação com 2,5 metros quando operado em *Rabbit Chase*.

A figura seguinte representa dois sistemas de produção em célula, um com três e outro com quatro operadores.

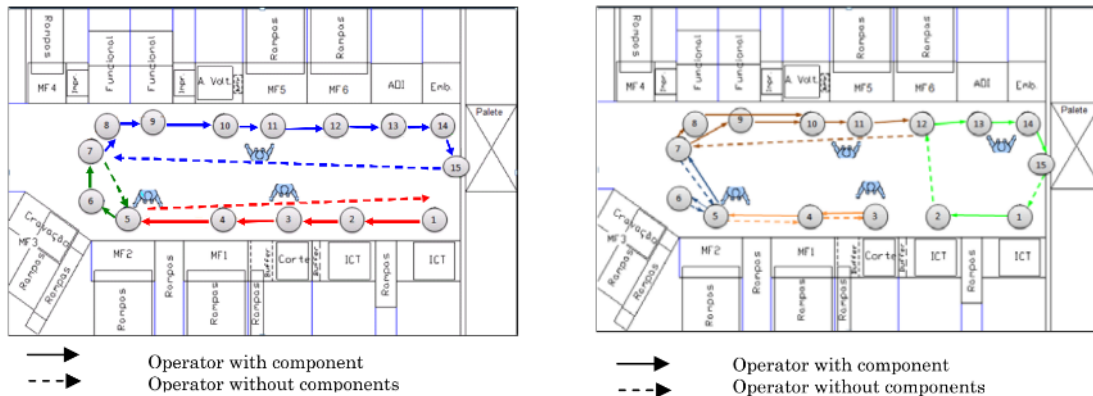


Figura 20 - Modo Working balance com 3 e 4 operadores (Oliveira & Alves, 2009).

Rabbit Chase

No *Rabbit Chase* cada operador realiza todas as operações necessárias para concluir um produto, sequencialmente, sem se sobrepôr aos restantes operadores da célula, apenas “perseguido” (“chasing”) o operador seguinte em conjunto com a peça que está a transformar (J. T. Black & Chen, 1995). Cada operador processa e transporta, assim que concluído, o artigo para o próximo posto de trabalho logo que este esteja disponível. Assim que terminar o processamento no último posto de trabalho, retorna ao primeiro posto na gama operatória iniciando a produção de um novo artigo, sendo este o único movimento que não envolve o transporte de artigos. Isto também significa que o trabalhador mais lento define o ritmo de trabalho (Nicholas & Nicholas, 2019), enquanto os restantes operadores eventualmente formarão uma fila que antecede o mesmo. A figura abaixo representa a movimentação de dois operadores e o fluxo de trabalho segundo este método, tanto em configuração linear (alínea a) como em configuração em “U” (alínea b).

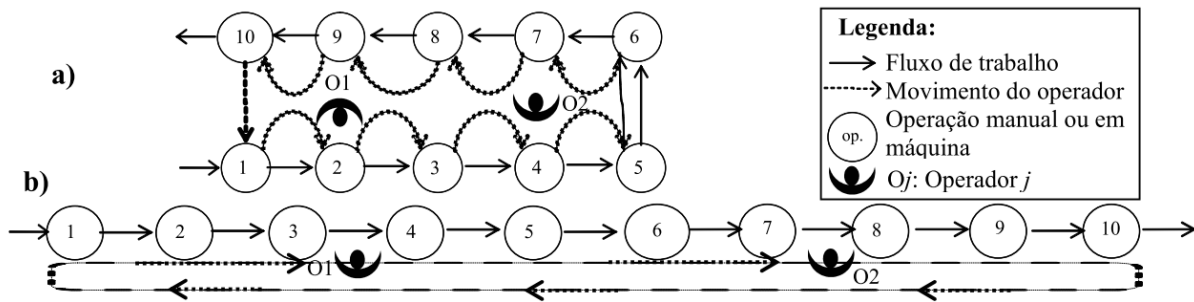


Figura 21 - Rabbit Chase linear (a) e em U (b) (Alves, 2007).

O *Rabbit Chase* traz maior valor acrescentado do que o *Working Balance* (Oliveira & Alves, 2009), por exemplo. Promove a polivalência dos colaboradores, a sua compreensão e controlo do processo, a satisfação, a sensação de equidade a nível de carga de trabalho e combate a monotonia (Oliveira & Alves, 2009). Permite também que a célula seja operada por um único operador.

No entanto, requer um determinado nível de polivalência inicial e desempenhos similares para poder ser viavelmente implementado já que cada operador tem de realizar todas as tarefas, o que por sua vez também aumenta a consciência de cada operador relativamente ao processo (Nicholas & Nicholas, 2019).

Em células têxteis, é indicado por (J. T. Black & Chen, 1995) como sendo a configuração mais vantajosa. Nas figura seguinte são representadas células de quinze postos de trabalho, a operar segundo Rabbit-Chase com três e quatro operadores.

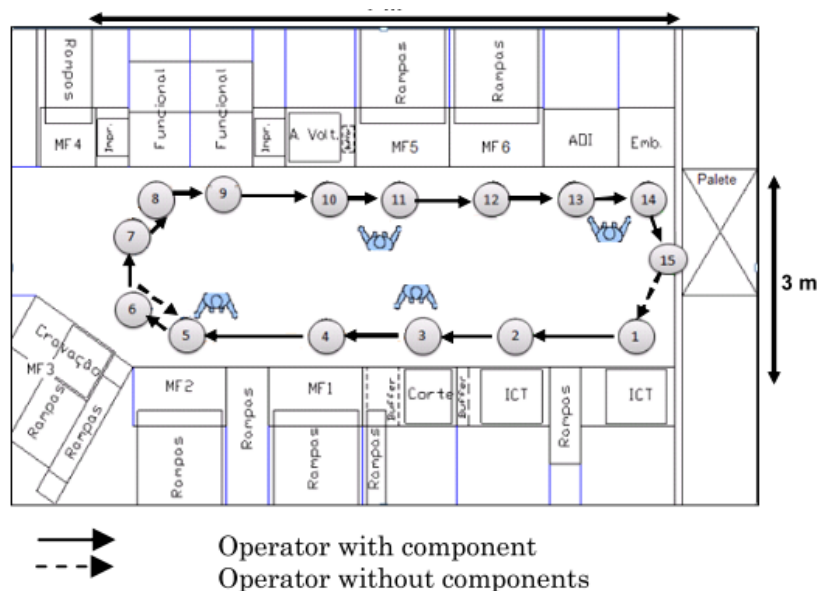


Figura 22 - Movimento com e sem produto no modo Rabbit Chase (Alves, 2009)

Toyota sewing system

Nesta configuração, cada operador realiza um conjunto de etapas do processo, sendo que alguns dos postos de trabalho iniciais ou finais que lhes são atribuídos são, de certa forma, partilhados. Na verdade, um operador só pára de seguir a gama operatória com o “seu” artigo em mãos quando um operador mais a frente na célula recolhe o seu artigo.

Desta forma, cada operador não está de facto alocado a um conjunto específico de postos de trabalho, apesar de existirem padrões de trabalho que levam à utilização exclusiva de determinados postos por parte de um operador e a ocorrência de partilha frequente no caso de outros postos de trabalho. O TSS é considerado, pelos autores do *Bucket Brigades*, como uma das possíveis implementações do último (Anabela Carvalho Alves et al., 2007).

Detalhadamente, quando o operador A repassa o artigo em mãos ou o conclui (no caso do último posto de trabalho da célula), desloca-se no sentido anti-horário até encontrar um colaborador B a processar um outro artigo X. Assim que o fizer, deve assumir o resto do processamento desse artigo X enquanto o outro operador B deve realizar, por sua vez, o mesmo movimento anti-horário até encontrar um outro artigo Y. Funciona um pouco como a passagem de um testemunho numa corrida de estafetas. Analogamente, um operador mais lento que o normal atrasará a produção já que os restantes não podem ultrapassá-lo. A figura seguinte pretende representar configurações em TSS, em forma de “U” e em forma linear:

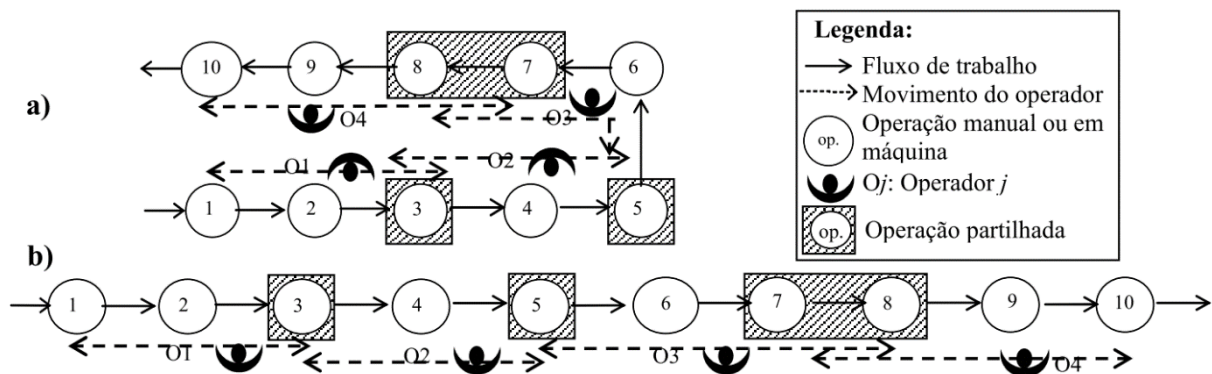


Figura 23 - TSS em "U" (a) e linear (b) (Alves, 2007)

A disposição em “U” não traz, neste método, vantagens a nível de movimentação, em relação a uma alternativa linear, por os operadores não poderem ultrapassar um operador mais lento e não poderem realizar simultaneamente os primeiros e últimos processos de fabrico de um artigo. No entanto, o arranjo em “U” promove, de qualquer forma, a comunicação e colaboração da equipa. Também não é possível a realização de tarefas em postos opostos e não consecutivos da célula, como em outros métodos.

Podem ser utilizados armazenamentos intermédios apesar das conhecidas desvantagens, falácias e problemas ocultos envolvidos da utilização de *stock* entre postos de trabalho. No entanto, autores como Bartholdi (Bartholdi, Eisenstein, Jacobs-Blecha, & Ratliff, 1995) e Kalta et al. (1998) não consideram a sua utilização. Normalmente são constituídas por entre três a cinco operadores e dez a quinze máquinas (J. T. Black & Chen, 1995).

Requer partilha de postos de trabalho e muito provavelmente de ferramentas assim como um certo nível de polivalência e colaboração por parte dos colaboradores. Fomenta, na equipa, autonomia, auto-organização e entreaajuda.

Baton-touch

O modo *Baton-Touch* conjuga propriedades do sistema TSS com o sistema WB (Baudin, 2003). Analogamente ao TSS, não existe restrição de zonas/postos de trabalho por operadores, o que aumenta a flexibilidade do sistema. No entanto, são dinâmica e naturalmente formados padrões de trabalho visíveis. Cada operador pode trabalhar em postos de trabalho não adjacentes, permitindo, por exemplo, que um operador opere o início e o fim da linha, tal como no WB (Anabela Carvalho Alves et al., 2007). Este modo assume a possibilidade de um dos operadores poder ter o papel de líder executando outros trabalhos como alimentando a célula, substituindo outros operadores, preenchendo documentação necessária, entre outras tarefas (do Carmo-Silva et al., 2007).

Deve funcionar em “U” para tirar maior vantagem das suas propriedades (do Carmo-Silva et al., 2007). É tipicamente empregue em células com três ou mais operadores processando uma diminuta gama de produtos com métodos de fabrico similares. É normalmente implementado com três ou mais operadores para produção de uma pequena gama de produtos com processamento similar (Michel Baudin, 2013). A figura abaixo pretende representar este modo operatório numa disposição em “U” e numa disposição linear, respetivamente.

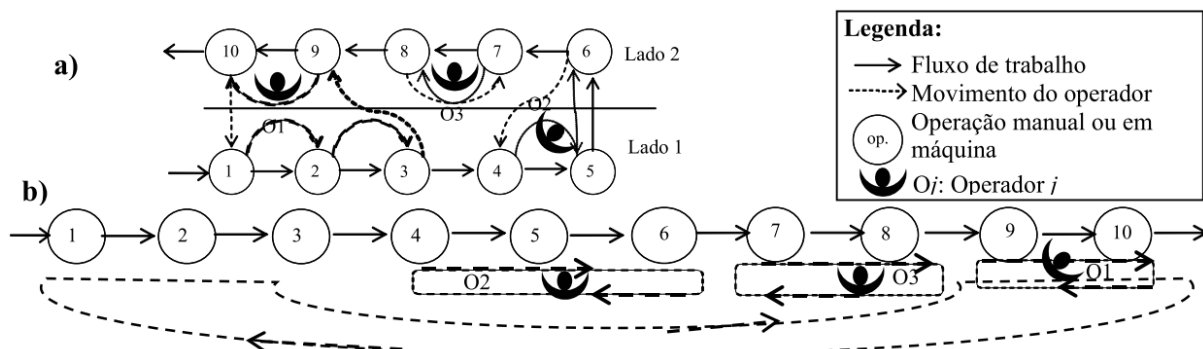


Figura 24 - Baton-touch em "U" (a) e linear (b) (Alves,2007)

É ainda, de seguida, apresentada uma ilustração realizada por Baudin (2013):

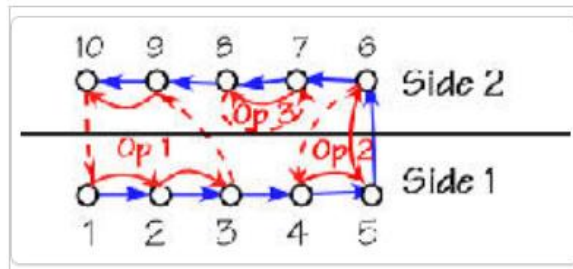


Figura 25 - Baton-touch (Baudin, 2013).

Bucket Brigades

O método *Bucket Brigades* assemelha-se a uma corrente de pessoas tipicamente utilizada para transportar recipientes de água. Por definição, é uma ordenação dos operadores, do mais lento ao mais rápido, no sentido do fluxo de artigos, que transportam o produto que estão a processar ao longo de diferentes processos da sequência operatória. As tarefas e postos de trabalho não são limitadas para cada operador. Foca-se na permanente atividade dos colaboradores envolvidos em detrimento da elevada utilização de cada máquina, por estas terem um custo inferior ao do funcionário (Hudock, 2004).

Bartholdi e Eisenstein (Bartholdi et al., 1995) definiram uma única regra de funcionamento que traduz fielmente o método de trabalho envolvido na execução da produção segundo *Bucket Brigades*: “Realiza as operações consecutivamente, de estação em estação, até alguém assumir o teu trabalho. Depois volta atrás para obter mais (trabalho)”. Este método ocorre na natureza, nomeadamente nas formigas e nas abelhas (Bartholdi & Eisenstein, 1996) e encontra-se representado na seguinte figura.

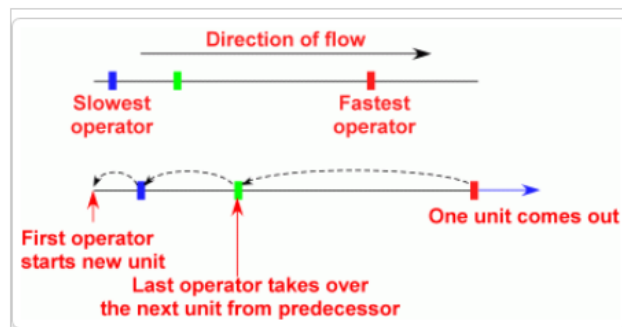


Figura 26 - Bucket Brigades

Detalhada e iterativamente: quando um artigo é concluído, o último operador movimenta-se no sentido contrário ao fluxo de trabalho, até encontrar o penúltimo operador e assume o controlo do trabalho que o mesmo está a realizar. Por sua vez, este penúltimo operador mencionado irá realizar exatamente o mesmo procedimento até chegar eventualmente ao primeiro operador, que em vez de continuar o trabalho de um operador antecedente, inicia o um artigo novo. Adicionalmente, ao encontrar um posto de trabalho ocupado, o operador deve aguardar e não procurar outra tarefa ou ultrapassar o colega de

célula (Anabela Carvalho Alves, 2018; Baudin, 2007). Esta movimentação dinâmica está representada na figura abaixo.

O método *Bucket Brigades* é maioritariamente utilizado para uma variedade grande de produtos altamente configuráveis ou customizados (Baudin, 2007) e pode ser implementado em linearmente ou em “U”, como representado na figura seguinte. A vantagem em utilizar uma disposição em “U” para este método é facilitar a comunicação e cooperação entre os operadores da célula (Anabela Carvalho Alves et al., 2007). Por norma, existem mais máquinas do que funcionários (Hudock, 2004).

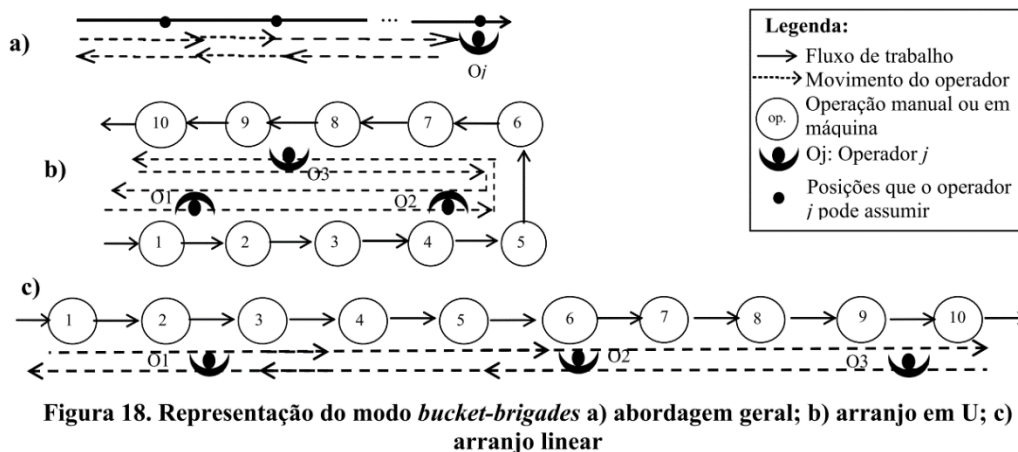


Figura 27 - *Bucket-Brigades* geral (a), em "U" (b) e linear (c) (Alves, 2007)

A aparente simplicidade deste modelo traz inúmeras vantagens a nível de controlo e planeamento de produção (Medeiros, 1999) assim como na reconfiguração de células, tornando-o um sistema inovador (Alves, 2007). O facto de a alocação de postos de trabalho e tarefas não ser fixa e ser ajustada dinamicamente pelos colaboradores faz com que o balanceamento seja, de certa forma, natural, reduzindo a necessidade de planeamento e balanceamento (Medeiros, 1999). O output da célula pode ser controlado adicionando ou removendo operadores, permitindo o ajuste a procura variáveis (Alves, 2007). Não requer tempo de investigação de tempos de produção nem distribuição de cargas de processamento tornando, por esta e outras razões, o processo mais flexível. São notáveis ainda os ganhos em qualidade, devido a redução do trabalho em curso, e do trabalho secundário (Medeiros, 1999). Reduz os tempos de eventuais reconfigurações da célula e planeamentos de produção. A natureza do método resulta, conseqüente e vantajosamente, no funcionamento do sistema em *Pull* (Bartholdi & Eisenstein, 1996). Fomenta interação e flexibilidade no trabalho (Anabela Carvalho Alves et al., 2007).

A classificação dos operadores apenas consoante a sua velocidade pode acarretar algumas desvantagens, podendo outras métricas, mais motivadoras, serem empregues. Esta situação em conjunto com o tempo de troca de artigos entre operadores, que é inevitável, constituem as duas principais desvantagens deste método.

Requer coordenação entre colaboradores, conhecimento prévio da sua produtividade (para formar equipas e realizar a sua correta ordenação) apesar da sua aparência simples (Medeiros, 1999).

É considerado uma variação do *picking* por zona e da metodologia de passe, diferenciando-se por não existirem zonas definidas no sistema mas serem definidas pelas atividades das zonas que os operadores percorrem (Hudock 2004). Os autores do BB consideram o TSS como uma possível implementação do método de *Bucket Brigades*. Segundo Alves (Anabela Carvalho Alves et al., 2007), esta é uma abordagem mais geral apresentada por Bartholdi (Bartholdi & Eisenstein, 1996).

Comparação Sintética de Propriedades dos métodos

Para comparar várias propriedades dos métodos referidos, Alves (Anabela Carvalho Alves et al., 2007) apresenta uma tabela que classifica as propriedades em obrigatórias ou não condicionadas (representada abaixo).

Tabela 2 - Comparação dos modos operatórios

	WB	RC	TSS	BT	BB
Balanceamento	✓	○	○	○	○
Afectação	✓	○	✓	✓	✓
Entreajuda	○	○	✓	✓	✓
Polivalência	✓	✓	✓	✓	✓
Trabalho em equipa	○	○	✓	✓	✓

✓: obrigatório; ○: livre; não condicionado

Analisando a tabela, podemos retirar rapidamente algumas conclusões. Podemos constatar que o balanceamento da carga de trabalho só é obrigatório no método *Working Balance*. É também visível que o método com menos requerimentos é o *Rabbit Chase*. Já os métodos TSS, BT e BB são idênticos no que toca as propriedades analisadas. É também de salientar que a polivalência é um requisito para o funcionamento das células de produção, seja qual for o método utilizado.

2.3 Tempos de operação

2.3.1 Medição e Registo

A medição e registo de tempos é uma componente do estudo do trabalho. Reside em determinar o tempo necessário para a realização de tarefas, sobre circunstâncias e condições estabilizadas e, preferencialmente, normalizadas. Quando normalizados, estes tempos constituem o Tempo Padrão ou Standard Time (Costa, 2003). O Tempo Padrão deve contemplar tempos inerentes, como o tempo de fadiga e atrasos inevitáveis.

Sendo um valor quantitativo, é integrado no planeamento empresarial e de produção a diversos níveis como gestão de recursos, encomendas e fluxo de produção. Para além do carácter analítico, auxilia na deteção de *muda* ao longo do processo e na implementação de melhorias.

Existem várias formas de realizar as medições e a sua eficácia está relacionada com o tipo de trabalho em estudo, nomeadamente com a duração de cada ciclo da operação e o tempo disponível para realizar o estudo. A recolha de dados pode ser realizada, segundo Costa (2003) com recurso a:

- Observação direta contínua: indicada para tarefas manuais ou semiautomáticas com ciclos curtos e repetitivos;

- Amostragem: onde o observador regista, em apenas alguns momentos da produção, o que está a ocorrer no momento e extrapola uma média em relação ao que acontece no tempo total de operação. Este método é bom para longos ciclos repetitivos;

- Predeterminação: tempos de execução de operações repetitivas de ciclos demasiado curtos para serem observados;

- Tempos do sistema informático ou sintéticos: utilizados a longo prazo e quando estão envolvidas muitas variáveis.

2.3.2 Análise

O estudo dos tempos incide sobre os dados recolhidos em condições específicas e pretende definir parâmetros normalizados para as tarefas em estudo. Nessa fase o sentido crítico é essencial, assim como o cumprimento de certos princípios que garantem a fiabilidade das conclusões (Costa, 2003), nomeadamente:

- A forma de estudo dos dados deve ser claramente definida, detalhada e entendida por todos os intervenientes;

- O nível de precisão pretendido deve ser estipulado;

- As tolerâncias e as correções aplicadas devem ser corretamente definidas;

- Os trabalhadores a serem analisados devem ser escolhidos e definidos;

- Os intervenientes devem ter um genuíno interesse no sucesso do estudo;

- As pessoas responsáveis pelo registo devem ser qualificadas e objetivas;

- Os responsáveis pelo estudo devem defini-lo, compreendê-lo integralmente e dividi-lo em componentes antes de o apresentarem aos restantes colaboradores.

A divisão da atividade em componentes deve ser realizada sobre a premissa de que cada ação, movimento ou fase do processo por parte de um operador ou máquina deve constituir um componente

singular da atividade geral e que um ciclo de trabalho é uma sequência completa de componentes necessários para realizar uma atividade, tarefa ou operação para uma unidade de produção. Cada elemento não tem obrigatoriamente de ocorrer em todos os ciclos, como acontece com os elementos repetitivos. Podem também ser permanentes, variáveis, ocasionais ou externos à operação. Os elementos permanentes, ou constantes, estão presentes em uma ou várias operações com características e duração idênticas. Os elementos ocasionais caracterizam-se por o seu tempo de execução depender de características do material, produto ou processo. Os elementos externos são os que ocorrem durante o estudo, mas não fazem parte da operação.

Araújo (Araújo, Amaral, & Varela, 2017) define, atualmente e baseado originalmente em Xavier (2001), as seguintes etapas para um eficiente e facilitado estudo dos tempos:

- 1 – Obter informação de todas as operações e operadores;
- 2 – Dividir as operações em elementos e realizar uma descrição completa do processo;
- 3 – Observar e registar os tempos das operações elementares;
- 4 – Determinar o número de ciclos a serem estudados;
- 5 – Avaliar o desempenho dos operadores;
- 6 – Determinar o Tempo de Ciclo;
- 7 – Determinar correções;
- 8 - Determinar o Tempo Normalizado/Tempo Padrão para cada operação.

$$\text{Tempo de Ciclo} = \frac{\sum \text{Tempos dos ciclos registados}}{\text{Número de ciclos}}$$

$$\text{Tempo Padrão} = \left(\text{Tempo observado} \times \frac{\text{Nível de atividade dessa operação}}{\text{Nível de serviço de referência (100)}} \right) \times (1 + \sum \text{Tempo de todas as correções a aplicar})$$

2.4 Não conformidades comuns em artigos em alumínio fundido

O fabrico de artigos em alumínio fundido é considerado, pela sua natureza, um processo relativamente incerto, mesmo que seja controlado, existindo inúmeras variáveis envolvidas. Como tal, é comum existirem defeitos assim como também é comum que as suas causas sejam variadas e complexas de determinar. É necessário analisar dados relativos a estes defeitos e implementar melhorias (Chaudhari & Thakkar, 2014).

Em alguns casos, os defeitos podem ser prevenidos através de alterações no molde ou mistura de areia. Os defeitos poderão ser aceitáveis, não constituindo não-conformidades. É possível reparar algumas não-conformidades recorrendo, por exemplo, a soldadura.

Chaudhari (Chaudhari & Thakkar, 2014) sintetiza alguns dos erros mais comuns que ocorrem em artigos fundidos em alumínio:

Defeito por gás

Consiste em “bolhas” de ar. Podem ocorrer em qualquer local da peça fundida e são normalmente causados por erros no molde ou no vazamento. A evacuação de ar da cavidade da moldação deve ser melhorada e aumentada a permeabilidade do molde.



Figura 28 - Defeito por gás

Cavidades por “rechupe”

O material “encolhe” mais do que o esperado durante o arrefecimento. É uma contração volumétrica no estado líquido ou sólido. Pode estar relacionado com um mau design do processo ou por má adaptação do material a altas temperaturas.



Figura 29 - Defeito por encolhimento (Rechupe)

Defeito do material de moldação

Pode ser causado por erosão da areia de moldação pelo metal fundido, areia de baixa qualidade, altas temperaturas de vazamento ou defeito no erro no procedimento de moldação. Deve ser utilizada areia adequada, do tipo correto e com as quantidades corretas de aditivos assim como realizar corretamente a moldação.



Figura 30 - Defeito do material de moldação (Rebarbas)

Defeito de vazamento

Algumas não conformidades são causadas pela incapacidade de o metal encher completamente a cavidade do molde. Pode ser causado por interrupção precoce do vazamento por parte da máquina ou do operador. Para evitar este tipo de defeitos devem ser garantidas as quantidades certas de metal fundido, correto funcionamento e utilização das ferramentas envolvidas e a realização do vazamento sob supervisão.



Figura 31 - Defeito de vazamento

Defeito de metalurgia

Os defeitos que podem ser agrupados nesta categoria são rasgos quentes e pontos quentes. Podem ser causados por má geometria da peça, dano resultante de mau manuseio ou de temperatura excessiva. Requer melhores soluções de arrefecimento da peça fundida: melhoramento da geometria do artigo a fundir, correto controlo metalúrgico e práticas corretas de arrefecimento.

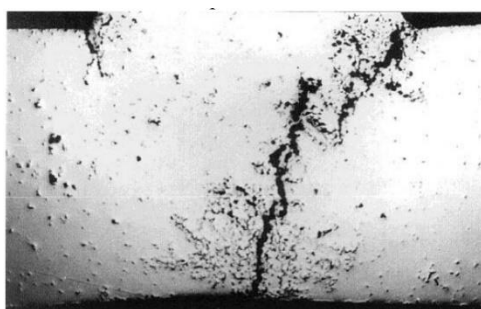


Figura 32 - Defeito de metalurgia (rasgo)

2.5 Princípio de Pareto

Origem

Concebido por Vilfredo Pareto no século XVIII, no decorrer das suas investigações sobre a distribuição da riqueza pela população. Este princípio propõe, transpondo para produção, que aproximadamente 80% do valor total em produtos de uma empresa advém de apenas 20% dos produtos que a mesma produz. Inversamente, 80% dos produtos representam apenas 20% do valor (Courtois et al., 1996). É frequentemente referido como a “regra dos 80/20” por este motivo (Alfred, 1971).

Vantagens

Auxilia na identificação e hierarquização dos produtos que mais contribuem para o fluxo de produção, na redefinição da localização dos produtos por frequência de utilização, quantidade de consumo, custo de movimentação, dos produtos com maior valor e de famílias de produtos, entre outros.

Aplicação

Segundo Ching (2001) este conceito pode ser aplicado a diversos contextos e variáveis nomeadamente a custos, lucros, controlo de qualidade ou gestão de *stocks*.

Os artigos são ordenados por ordem decrescente do valor total da variável em análise (quantidade, valor de venda etc). De seguida, para cada um desses artigos, é calculada a correspondente percentagem relativa ao somatório dessa variável por todos os produtos.

A partir dos dados calculados anteriormente, é representado o Diagrama de Pareto que inclui a curva de Pareto. A curva de Pareto, em cada ponto y representa o somatório da variável y de todos os produtos x até ao ponto em questão.

3 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO

Neste capítulo será realizado um reconhecimento, definição e análise do sistema de produção, onde estará inserida a questão de investigação desta dissertação. Para tal, serão discriminadas várias componentes do mesmo, nomeadamente: o enquadramento da empresa no mercado, a sua estrutura, o processo propriamente dito de produção, o *layout* das zonas fabris, os transportes realizados, a gama operatória, a produção por lotes, o nível de WIP, o sistema informático, o tipo e a qualidade do fluxo de materiais, o nível de normalização e de ergonomia e a política de gestão de encomendas.

Esta perspetiva inicial será essencial na identificação de objetivos específicos a nível de melhoria de produção, garantindo assim a alocação ótima dos recursos disponíveis, obtendo o maior retorno possível. A ponderação sobre as prioridades aliada a um conhecimento holístico das componentes da produção é benéfica, a curto e longo prazo, tanto para a empresa como para o desenvolvimento desta investigação. A informação recolhida e determinada, no presente capítulo, sobre essas várias componentes será de crucial importância na definição das necessidades e objetivos específicos para a melhoria da produção da unidade fabril, capítulo conseqüente a este.

3.1 A empresa

A Firmago é uma empresa dedicada à produção de peças em alumínio por gravidade, em moldes de areia, que conta com mais de $2000m^2$ de implantação. Realiza processos desde a fusão de diferentes ligas até aos tratamentos e testes mecânicos, térmicos e químicos dos artigos finais. Foca-se em satisfazer as necessidades mais específicas a nível de customizações do produto por parte do cliente. Emprega mais de uma centena de colaboradores. É certificada por normas internacionais de qualidade e exporta a maioria da produção para a Europa.

História

Fundada em 1969, a Firmago s.a. sofreu meio século de crescimento e evolução, singrando cada vez mais no mercado. Corresponde atualmente aos mais elevados padrões de qualidade.

A última grande renovação em grande escala, a nível produtivo, foi realizada em 2006. Este investimento permitiu melhorias imediatas muito significativas (*Kaikaku*), nomeadamente a nível da capacidade de produção, que subiu mais de 30%, para além de proporcionar à empresa uma fundação sólida para garantir o seu sucesso futuro e o de posteriores otimizações.

A figura seguinte representa alguns marcos da história da organização.

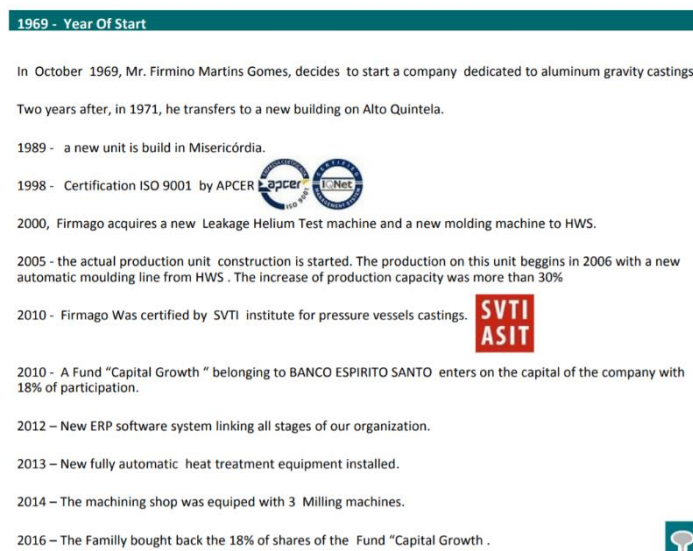


Figura 33 - História da empresa

Estratégia Empresarial

Orgulha-se de uma relação duradoura de proximidade com cada parceiro e do seu compromisso em garantir consideração por todas as suas necessidades. Dedicar-se a produzir peças completamente customizadas pelas necessidades técnicas e logísticas do cliente. Esta reconhecida pré-disposição para abraçar projetos dos seus parceiros resulta numa aprendizagem permanente e diversificada para todos os envolvidos, direta e indiretamente. Trabalha continuamente no sentido de acompanhar as mais recentes normas de qualidade, garantindo um padrão de qualidade aos seus clientes. Pretende evoluir com o mercado e implementar continuamente mudanças a nível industrial.

Mercado

A empresa exporta cerca de 83% da produção, essencialmente para a Europa e Canadá. A distribuição da exportação por país está pormenorizada no gráfico abaixo.

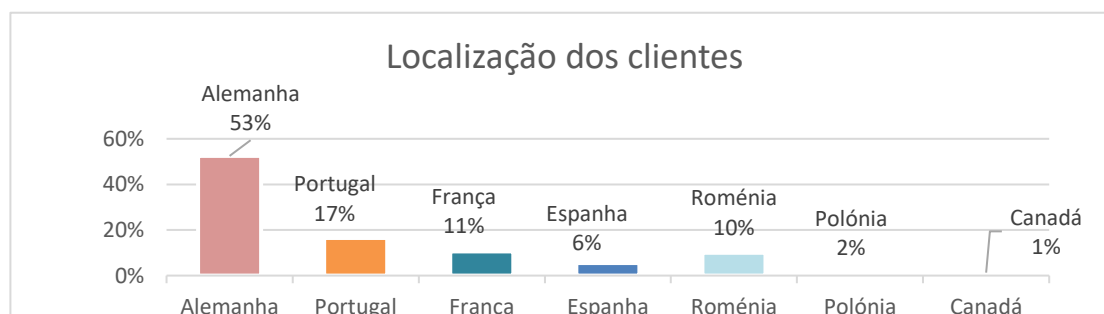


Figura 34 - Localização dos clientes da empresa

Fornecedores

A empresa adquire três ligas principais de alumínio, ligeiramente diferentes a nível técnico. Estas ligas são identificadas por um código "ALxxx", o qual varia consoante o número internamente atribuído ao fornecedor de cada uma delas.

Indústrias

A produção é destinada a dezenas de indústrias. Uma grande parte da produção tem como cliente final a indústria elétrica (73%) e maquinaria (8%). Não é de descarta as presenças nas indústrias automóvel, agrícola, petrolífera e restantes, representadas na figura abaixo.

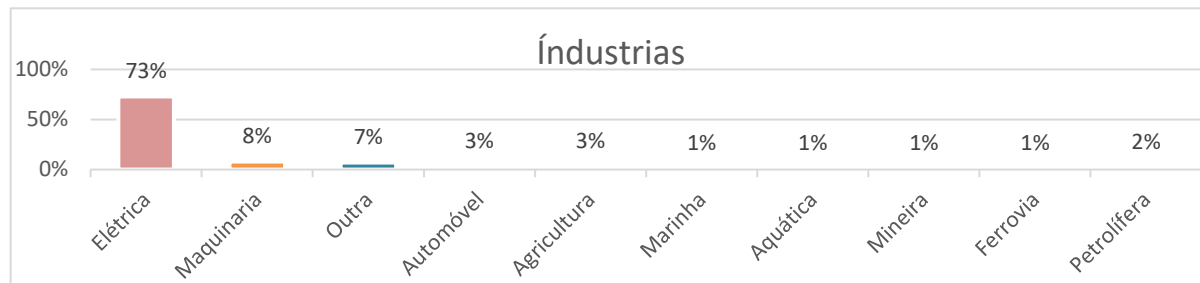


Figura 35 - Indústrias a que se destinam os produtos

Volume de negócios

O volume de negócios está sujeito a uma ligeira tendência de crescimento positivo, embora fortemente afetado por variações cíclicas, como podemos ver na figura abaixo. Espera-se que o crescimento se mantenha ou aumente, derivado do aumento da procura e dos investimentos realizados a partir de 2016.

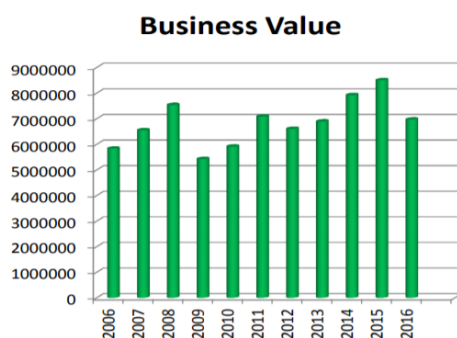


Figura 36 - Volume de negócios desde 2006

Organização

A Firmago está organizada em nove departamentos essenciais. São chefiados diretamente pela administração. Em cada departamento existem um ou vários responsáveis assim como colaboradores adjuntos.

Existem departamentos processuais, como o Financeiro, e departamentos que também operaram zonas da unidade fabril, como a Produção.

A figura seguinte representa a hierarquia da empresa relativamente aos departamentos que a constituem e as zonas fabris a eles alocadas. No sentido descendente do diagrama, o cinzento e vermelho correspondem à direção, que detém a empresa, e o diretor geral, responsável pela coordenação de todos os departamentos. A operação de zonas fabris (a verde) é alocada a departamentos específicos (a azul).

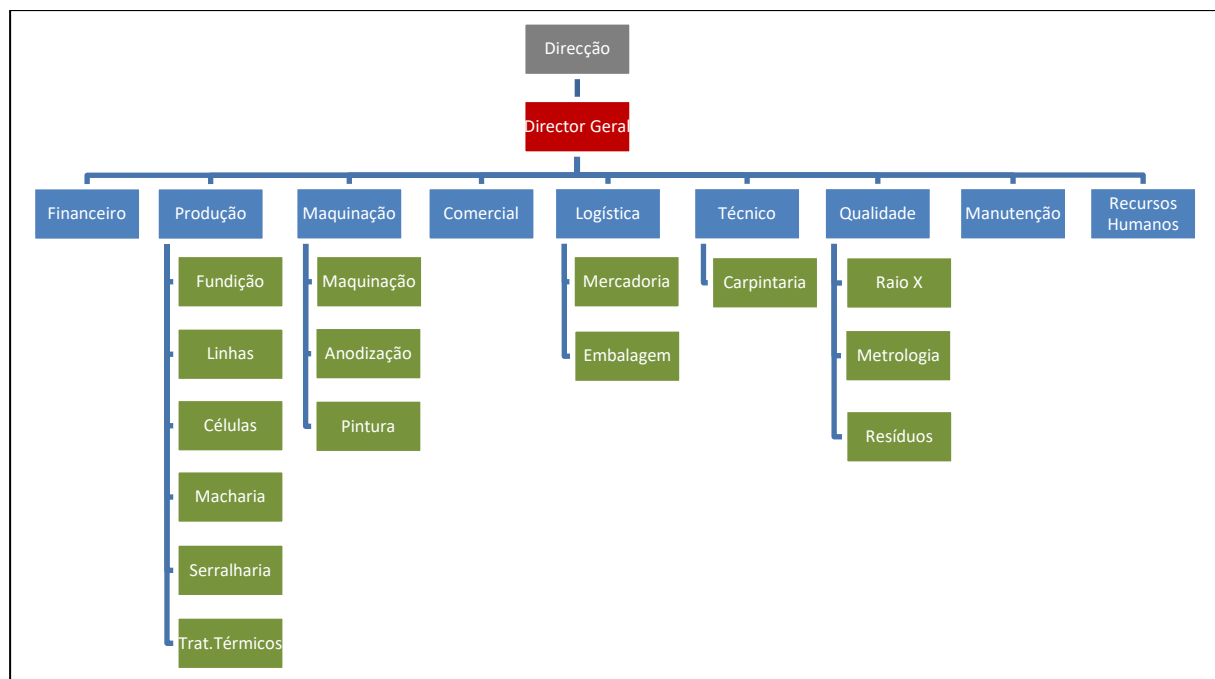


Figura 37 - Hierarquia dos departamentos e secções atribuídas aos mesmos

O departamento financeiro gere a contabilidade, tributações e documentação relacionadas com as operações da empresa. A Produção é responsável pelas linhas e células, pelos lançamentos de produção de matéria prima, componentes e artigos assim como pelas secções que produzem estes materiais. É também responsável pelos tratamentos térmicos e algumas outras áreas de apoio. A Maquinação é responsável pela zona dedicada a processos de maquinação como, por exemplo, CNC, assim como da zona de pintura e anodização. O departamento comercial trata de quase todas as interações com clientes, nomeadamente no que refere à negociação de encomendas e definição de aspetos técnicos, graças a um profundo conhecimento das capacidades da fábrica e dos métodos de fabrico envolvidos no produto pretendido. A logística opera todas as entradas e saídas de material da empresa, desde itens de desgaste rápido até maquinaria pesada, recorrendo às zonas de Mercadoria e Embalagem. O gabinete técnico está encarregue de desenvolver, com auxílio de *CAD*, modulações de artigos, moldes e outras ferramentas usadas no processo de fundição. Opera a zona de carpintaria maioritariamente com o propósito de produzir localmente os moldes. O departamento de qualidade controla e reporta à Produção anomalias na matéria-prima ou artigos. É também responsável pela zona de análise com raio x, metrologia e tratamento de águas e resíduos. Tem também a missão de adaptar a empresa às recentes normas. A manutenção intervém em todos os tipos de manutenção, problemas mecânicos e implementações de novos mecanismos ou máquinas. A gestão de pessoas, banco de horas, registos de trabalho, contratos e afins são tratadas pelo departamento de recursos humanos.

Todos os departamentos têm vias de comunicação direta disponíveis, sendo que alguns deles têm elevada interação entre si como, por exemplo, no caso da Produção e da Maquinação. As interações mais relevantes serão aprofundadas no anexo III. O processo de desenvolvimento de propostas e encomendas é um bom exemplo desta interação e será analisado no capítulo 3.4.

Colaboradores

Existem 109 operadores na empresa distribuídos, de uma forma simplista, por três funções: responsáveis por departamento, responsáveis por secção (ou subchefes, designados como técnicos) e operadores, que não coordenam outros colaboradores. Para os diferentes departamentos apresentam-se, na tabela a baixo, o número de responsáveis, técnicos e operadores presentes, assim como o total de colaboradores. A designação utilizada é relativa apenas às funções do colaborador em questão e meramente hierárquica, não estando obrigatoriamente relacionadas com a formação dos colaboradores envolvidos.

Tabela 3 - Departamentos e funções dos colaboradores

Departamento	Responsáveis	Técnicos	Operadores	Total
Logística	1	1	1	3
Comercial	1	4	0	5
Direção	1	0	0	1
Financeiro	3	1	0	4
Manutenção	1	1	0	2
Maquinação	1	3	16	20
Produção	1	2	64	67
Recursos Humanos	1	0	0	1
Qualidade	1	3	0	4
Técnico	1	1	0	2
Total	12	16	81	109

Grande parte dos colaboradores localizam-se na secção de produção (61%) e na secção de maquinação. A percentagem de colaboradores alocados a cada departamento pode ser analisada na figura seguinte.

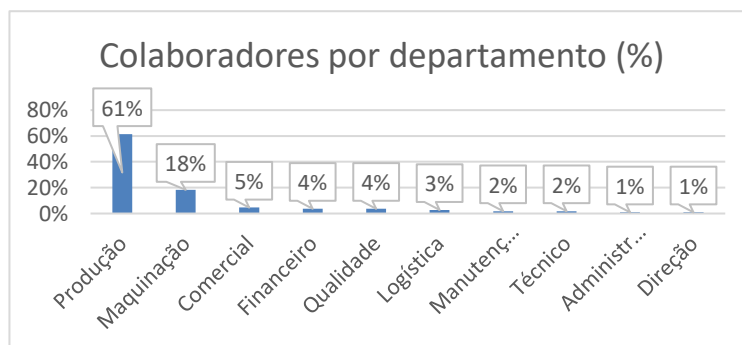


Figura 38 - Colaboradores por departamento

No que concerne a funções, cerca de três quartos do quadro da empresa são constituídos por operadores enquanto os quadros técnico e superior constituem 15 e 11%, respetivamente, como pode ser consultado na figura seguinte. É de notar que o número de técnicos é similar ao número de responsáveis. Isto reflete-se no método de trabalho da empresa, em que as tarefas são realizadas em coordenação por um responsável e um técnico.

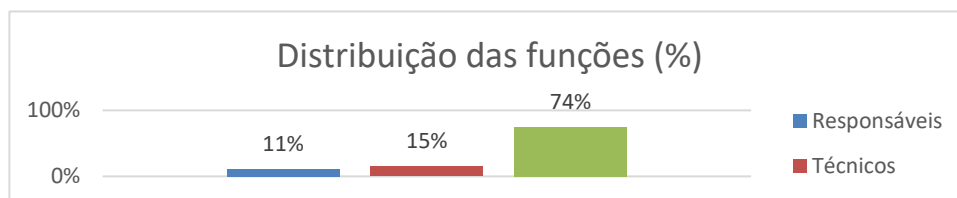


Figura 39 - Distribuição de cargos pelos operadores

Paralelamente, 79% desses operadores de fábrica encontram-se alocados à Produção, 20% à Maquinação e 1% às Aquisições e mercadoria (figura abaixo).

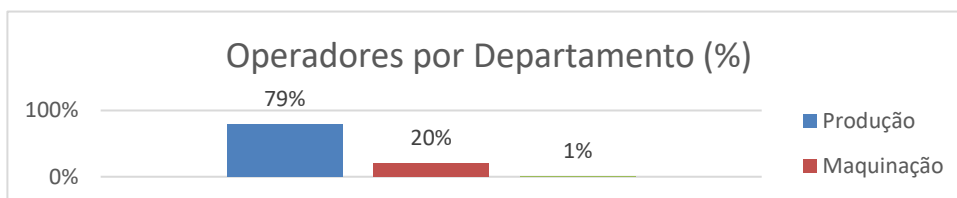


Figura 40 - Operadores por departamento

Isto significa que os operadores alocados ao departamento de produção constituem cerca de 79% dos colaboradores totais da empresa, um facto que é de elevada relevância na definição de prioridades para a organização como acontecerá, por exemplo, no caso do capítulo 5.

O histograma seguinte pretende aglomerar e representar toda esta informação relativa a número de funcionários de cada departamento e suas funções de uma forma sintética e mais fácil de visualizar.

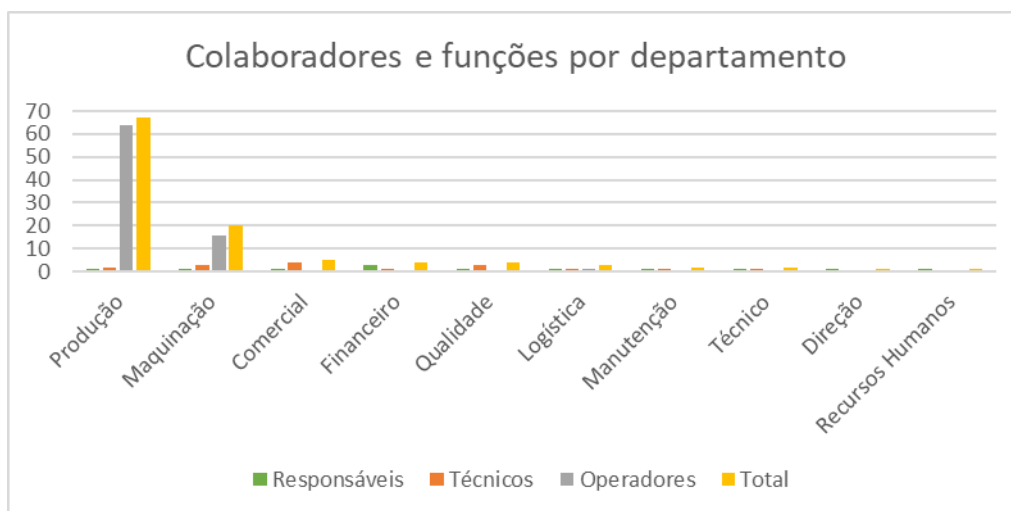


Figura 41 - Colaboradores e funções por departamento.

Serviços externos

A nível de serviços externos, a Firmago recorre maioritariamente a consultoria de carácter técnico, industrial e formativo para além de serviços de eletricidade, construção civil entre outros.

3.2 Processo de fabrico

O conhecimento e investigação do processo é importante na tomada de decisões industriais e é requerido pelo princípio de gestão *Gemba* (ver capítulo 2.4). A fundição de artigos em alumínio não é diferente. Os processos envolvidos na produção de artigos em alumínio fundido por gravidade têm algumas propriedades e restrições, como é enunciado no capítulo 2.5. Como tal, é importante não negligenciar o seu estudo e compreensão.

O processo de fabrico geral consiste no desenvolvimento técnico e preparação dos machos e moldes, fusão e vazamento do alumínio nos mesmos, acabamentos (corte das pontes de ligação e gitos, lixa e rebarba), grenalhagem, tratamento térmico, maquinação, anodização e pintura e, por fim, controlo de qualidade e embalagem. Está genericamente representado na figura seguinte.

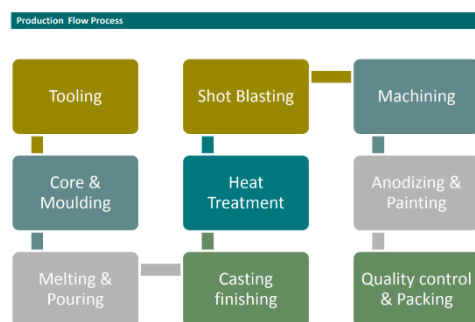


Figura 42 – Processo geral de fabrico da Firmago.

A explicação técnica, de forma isolada, destes processos encontra-se nos próximos pontos deste capítulo. Os processos são aglomerados em dois grandes grupos que dão até origem a ordens de fabrico complementares. A primeira parte da gama operatória, que inclui os processos até à grenalhagem, designa-se por “Fundição e Acabamentos” é onde está alocada 79% da mão-de-obra da empresa (ver 3.6). A segunda parte da gama operatória é designada sinteticamente por “Maquinação”.

O mapeamento sintetizado do processo de fabrico ao longo das diferentes zonas da fábrica pode ser analisado com maior pormenor no anexo IV C. É de salientar que existem várias gamas operatórias (cap. 4.4.1), pelo que a representação é válida apenas para uma parte dos artigos.

De seguida, é detalhado o processo envolvido na produção de artigos por fusão de alumínio em areia, refletindo a divisão internamente estabelecida entre as operações, distinguindo entre as que integram a Fundição e Acabamento e as que integram a Maquinação.

3.2.1 Processos de Fundição e Acabamento

Os processos inerentes à Fundição e Acabamento serão detalhados de seguida, e ocorrem segundo a sequência apresentada de seguida. Uma representação BPMN do processo descrito encontra-se no anexo 4 A.

Fusão do Alumínio - O alumínio é recebido em lingotes que são armazenados na mercadoria até serem necessários para a produção. As ligas mais comuns são a AlSi7Mg0,3 e a AlSi8Cu30s. Quando o nível de alumínio fundido presente na torre fusora não é suficiente para colmatar as necessidades de produção, novos lingotes são transportados e fundidos. O alumínio fundido da torre fusora é usado para alimentar indiretamente as linhas de produção através de cadinhos de armazenamento intermédio.

Mistura de areias - A areia é usada, no processo de fundição, tanto na moldação como no fabrico de machos. A qualidade da areia está intrinsecamente ligada à reação com o alumínio e à qualidade final do artigo resultante. O débito de areia contínuo e de constituição e qualidade consistentes é essencial ao funcionamento da fábrica. Sem essa garantia quase todos os restantes processos são, por consequência, comprometidos.

As proporções de diferentes tipos de areia e de aditivos, como por exemplo a amina, são controladas e a otimização desses parâmetros tem um impacto significativo na organização. Este assunto foi estudado, detalhado e otimizado por um estagiário de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho.

Macharia - A Macharia fabrica os machos (como o representado na figura abaixo) em areia, pelo processo fenólico-uretânico de acordo com as necessidades criadas pelas ordens de fabrico de artigos.



Figura 44 - Exemplo de macho

Para isso, recorre a duas máquinas de compressão de areia ligadas a silos de areia exteriores, programadas para descarregar *batches* de 60kg em 30 segundos. A temperatura deve manter-se, idealmente, entre os 20 e 25°C. Estes parâmetros são essenciais a nível técnico e de qualidade, mas

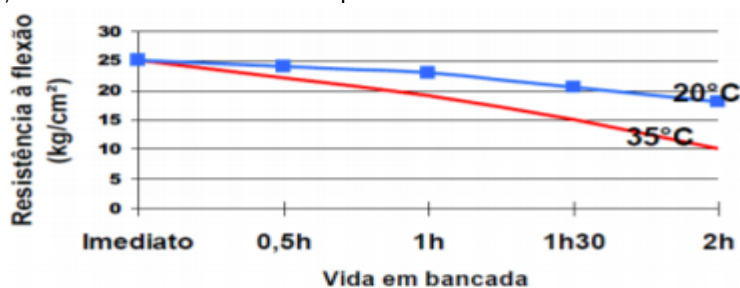


Figura 43 - Temperatura da areia, vida útil e resistência à flexão (Auxiliar Industrial S.A., 2007).

também no tempo de bancada máximo que os machos podem ficar em espera para serem utilizados. Quanto maior a temperatura usada, maior a reatividade da resina e menor tempo de bancada estará disponível (figura abaixo).

Moldação - A moldação é um processo de recalque e aglomeração química de areia que permite criar a forma onde será colocado o macho vertido o alumínio. As placas de moldações são sempre constituídas aos pares para permitirem, depois fechadas, criar as cavidades necessárias ao vazamento correto para o artigo em causa.

A moldação pode ser integralmente realizada de forma automática, como acontece na linha automática e na semiautomática ou pode ser manual, como acontece na secção manual.

Vazamento - O vazamento do alumínio é o ato de verter, neste caso por gravidade, o metal fundido pelos canais de enchimento da moldação. Existem canais acessórios na moldação para permitir um vazamento excessivo controlado que, por sua vez, ajudam a evitar defeitos por “rechupe”, enquanto ajudam

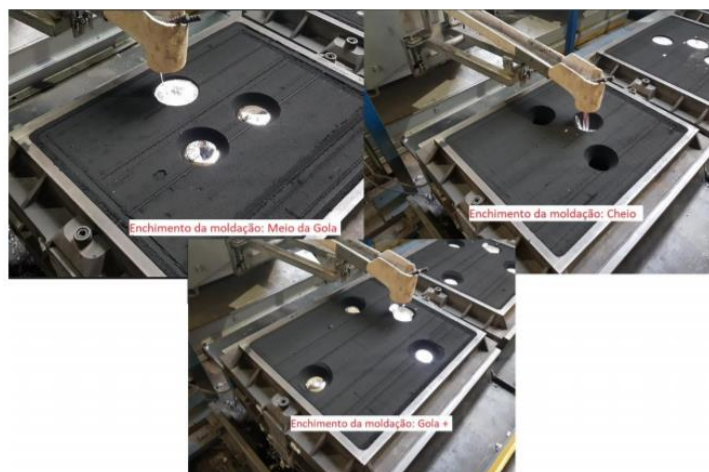


Figura 45 - Exemplos de diferentes níveis de gola no vazamento.

simultaneamente a libertar gases que poderiam causar outro tipo de defeitos no artigo final (capítulo 2.4). O vazamento é realizado diretamente dos fornos ou através de cadinhos. No caso da linha automática, o metal pode ser vertido dos fornos 1 e 2, cujo vazamento é automático, ou do forno 4 que não é automatizado devendo o vazamento ser realizado manualmente com auxílio de um cadinho. Este último forno tem a particularidade de ser usado em peças de maiores dimensões. Os operadores utilizam diferentes níveis de enchimento de acordo com as especificações geométricas do artigo em causa, considerando 5 tipos de golas: 120 milímetros, 150, 180, 210 e 240. A “gola” é a distância coberta de alumínio na parte cônica do canal de vazamento, que é claramente visível durante o enchimento, devido ao ângulo na moldação. Esta operação está exemplificada na imagem abaixo.

Arrefecimento - Após o vazamento, é invariavelmente necessário algum tempo de repouso para que o metal solidifique corretamente dentro da moldação antes de a poder abrir.

Abate - Após o arrefecimento são retirados os machos e a areia através de plataformas vibratórias ou manualmente. As duas situações ocorrem na empresa.

Acabamento - São necessárias várias operações intrinsecamente ligadas à produção de artigos fundidos, para além do abate. Depois de fundidas, as peças contêm canais de enchimento, rebarbas, “pontes” que ligam várias peças provenientes da mesma moldação etc.

Corte - É necessário cortar as “pontes”, os gitos e quaisquer outros excessos significativos de alumínio que não farão parte das especificações técnicas do produto final. É utilizada maioritariamente uma serra de fita vertical com bloqueio de segurança.



Figura 46 - Máquina de corte (serra fita).

Lixagem - De seguida, é necessário lixar os restantes rebordos e superfícies.

Acabamento/Polimento - Por fim, usa-se uma ferramenta manual para polir alguns pormenores que não são possíveis maquinar com no corte ou na lixagem. Pode ter várias pontas de desgaste.

Grenalhagem - A grenalhadora é uma máquina de tratamento mecânico de superfícies. Opera disparando esferas metálicas que causam abrasão das peças, contribuindo eficazmente para a limpeza de peças fundidas e conferindo um bom polimento superficial característico.

3.2.2 Processos de Maquinação

Tratamento térmico - O tratamento térmico confere propriedades materiais ao alumínio, controlando aquecimento e arrefecimento de durações variáveis, consoante o plano selecionado na máquina visível na figura abaixo.



Figura 47 - Máquina e cesto de tratamento térmico.

Maquinação - A maquinação é realizada por operadores qualificados com recurso a máquinas CNC. As especificações permitem fresar até 1740, 760 ou 660 milímetros em cada eixo x,y e z, respetivamente.

Quanto ao torneamento, as dimensões máximas são 800 e 870mm nos eixos x e z, respetivamente. A empresa estabeleceu, no entanto, parcerias que permitem a maquinação de peças de maiores dimensões, se necessário.



Figura 48 - Maquinação CNC.

Anodização - A anodização é um processo químico e elétrico de imersão dos artigos num banho eletrolítico.

Pintura - A pintura pressurizada é realizada com auxílio de uma plataforma que suporta as peças a processar.

3.2.3 Layout e Transporte

No primeiro (e único andar dedicado à produção) as diferentes secções são fisicamente divididas, fáceis de identificar e colocadas estrategicamente, tendo em conta a relação entre elas. Este *layout* foi resultado de profundas reorganizações, como a referida, em 2006, assim como de várias pequenas *mudanças* que acontecem com relativa frequência. As principais secções são escritórios, fundição, maquinação, embalagem, pintura, anodização e mercadoria. Estas secções estão representadas na figura abaixo. Foi sinalizado, com setas laranja de traço interrompido, o sentido geral do processo, para melhor percepção.

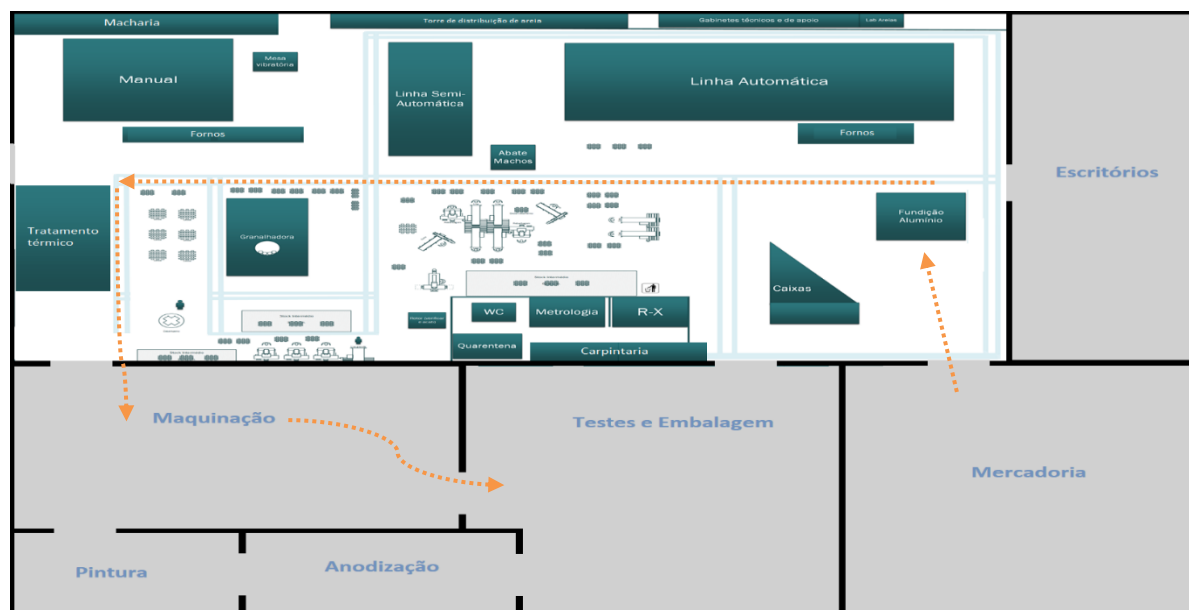


Figura 49 - Fluxo do material pelas zonas de fabrico.

A planta do andar fabril foi obtida com base nas plantas mais recentes disponíveis e incluindo as modificações desde a conceção das mesmas. As proporções não são exatas.

A secção de fundição encontra-se representada em maior pormenor por ser o objeto de estudo. As restantes secções descritas serão tratadas como diferentes *blackboxes* a nível de *layout* interno, por não serem relevantes para a presente dissertação. No entanto, não serão consideradas como *blackboxes* em nenhuma outra situação que concerne à secção de Fundição ou, mais importante, em relação à zona de acabamentos, que será o foco desta dissertação. A zona de Acabamentos será representada com ainda maior pormenor do que a zona de Fundição.

Os escritórios coordenam, em proximidade física e com acesso visual a toda a zona de fundição e acabamentos. Isto permite uma comunicação e reação em tempo real por parte das duas secções. Existem também, pelas mesmas razões, pequenos escritórios nas secções de maquinaria, mercadoria e na carpintaria. Estes são, normalmente, a área de trabalho dos responsáveis pelo departamento associado e são isolados sonoramente. As zonas de expedição e receção de mercadoria são na lateral da fábrica, muito próximo da entrada da mesma, evitado o congestionamento dos restantes acessos.

O *layout* permite um fluxo unidirecional da matéria prima e artigos através da unidade fabril.

Foi aplicado o algoritmo CORELAP para avaliar o *layout* intersecção da fábrica. As etapas e resultados são apresentados no anexo IV.

Zona de Fundição e Acabamento

A zona de fundição inclui várias estruturas da fábrica. As estruturas mencionadas de seguida, bem como o transporte de alumínio fundido, a preto, estão representados na próxima figura.

Na entrada principal e perto da Mercadoria situa-se a torre de fundição, onde os lingotes de alumínio são fundidos e uma zona onde são montadas e reparadas paletes e caixas de madeira.

Existe uma linha manual, uma semiautomática e uma automática. Cadinhos, que são periodicamente abastecidos com alumínio proveniente da torre, estão colocados nas proximidades das linhas. Na periferia das mesmas existem também pequenos laboratórios de apoio para realizar testes à areia, machos e alumínio durante a produção dos componentes e artigos.

As linhas automática e semiautomática são abastecidas de areia pela torre de distribuição que foi construída atrás da linha semiautomática, uma localização central, enquanto a Macharia e moldação manual são abastecidas por silos externos a cerca de cinco metros.

Abaixo das linhas podemos ver as células de acabamento (1 a 7), que incluem as máquinas de corte, lixa, acabamento assim como a grenalhadora.

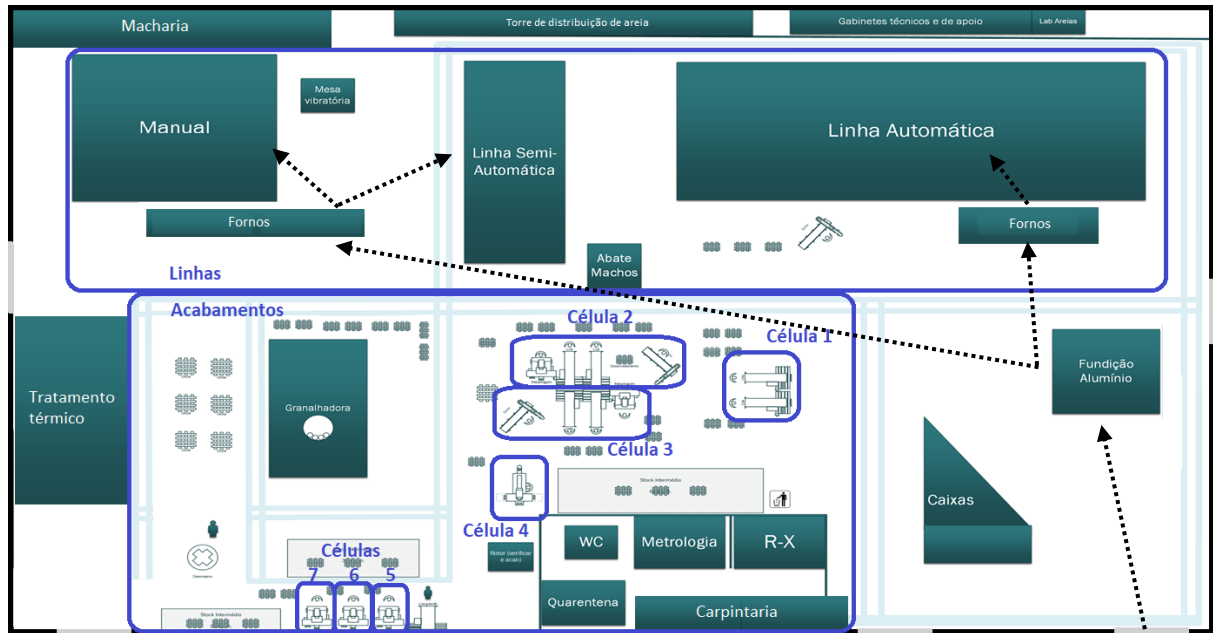


Figura 50 - Fluxo de fusão e distribuição do alumínio.

Os laboratórios de Metrologia, Raio X e a carpintaria (que inclui o departamento técnico) estão colocados na periferia das células de acabamento, separadas fisicamente. Os acessos são relativamente fáceis graças às zonas de circulação delineadas, exceto em alguns momentos em que o *picker* fica condicionado pela quantidade de *stock* intermédio entre os postos que constituem as células e a grenalhadora.

O fluxo de artigos (e não do alumínio) será estudado mais à frente.

Secção de Acabamentos de Fundição: células

Os acabamentos de fundição localizam-se entre as linhas de fundição e a Maquinação e são constituídos pelas células e pela grenalhadora (ver próxima figura).

Células

As células de acabamento de fundição situam-se entre as linhas de produção, a grenalhadora e a Maquinação. A célula 1 é apenas capaz de realizar lixagem. As células 2 e 3 realizam as três operações de corte, lixagem e acabamento nos artigos fundidos. Para além destas, estão disponíveis células habilitadas para processamento de peças de grandes dimensões: uma de corte (4), duas de lixagem (5 e 6) e uma de acabamento (7). As células 2 e 3 estão face-a-face e separadas por uma protecção metálica. Isto permite que as paletes de material circulem na periferia destas duas células, o que é importante pois não existe zona de passagem por onde o *picker* motorizado possa facilmente aceder à zona entre as células 3 e 4 (ver próxima figura). As zonas pelas quais o *picker* consegue manipular carga

e movimentar-se sem restrições estão representadas a verde e permitem acesso a todas as zonas de input e output das células, tratamento térmico e grenalhadora. A única excepção a esta livre movimentação é, por vezes, nas passagens entre as diferentes células e a grenalhadora, onde ocorre elevado WIP e *buffers* de elevado volume.

Esta situação está representada a amarelo, na imagem.

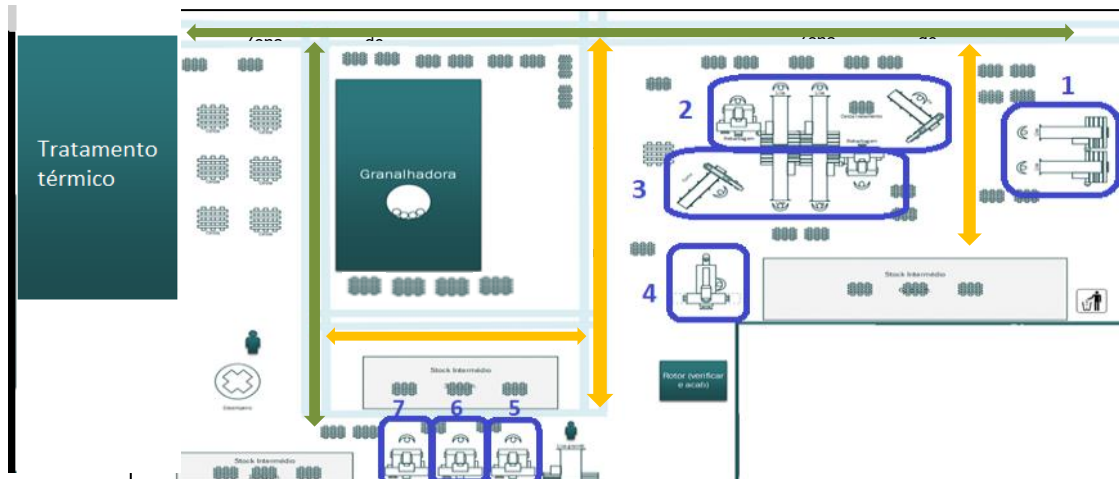


Figura 51 – Células de produção (1 a 7) e acessos na seção de Acabamentos de Fundição

As paletes de trabalho em curso estão maioritariamente viradas para o corredor central da fábrica, que separa as linhas de moldação das células, para facilitar a transferência de material entre as duas áreas, por parte do *picker*.

A constituição de uma célula completa (células 2 e 3), bem como o sentido do processo realizado nas mesmas, assinalado por uma seta, estão representados na seguinte figura:

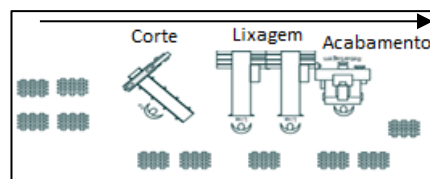


Figura 52 - Célula completa

Grenalhadora

A grenalhadora localiza-se centralmente aos postos de trabalho referidos, recebendo os artigos provenientes das células, à distância de um corredor de acesso, e estando a caminho dos tratamentos térmicos e da Maquinação. Grande parte do espaço requerido pela Grenalhadora deve-se aos ganchos armazenados de forma pouco eficiente. Existe outra grenalhadora, para além da mencionada, de baixa capacidade e para peças específicas, situada perto da linha automática.

Ganchos

Os ganhos e a sua disposição têm bastante relevância para a presente dissertação tanto a nível de otimização de produção e normalização como de segurança no trabalho. A figura abaixo mostra ganchos empilhados (a foto representa uma data posterior à implementação de 5S detalhada no cap. 4.4.3).



Figura 53 - Área de estacionamento dos ganchos da granalhagem

Stock intermédio

Os pontos mais comuns de acumulação de trabalho em curso na secção de acabamentos de fundição (e na fábrica em geral) são nos postos de trabalho de corte (primeira operação). Existe também um *WIP* significativo entre a lixa em relação ao tratamento térmico e também à granalhagem. Isto causa transtorno à livre passagem dos *pickers*. O mesmo acontece também, por vezes, na zona onde os ganchos da Granalhadora.

Estas áreas estão representadas na próxima figura pela cor amarela (menor gravidade) a vermelho (maior gravidade) consoante as quantidades normalmente presentes. A área destinada aos ganchos encontra-se representada a preto.

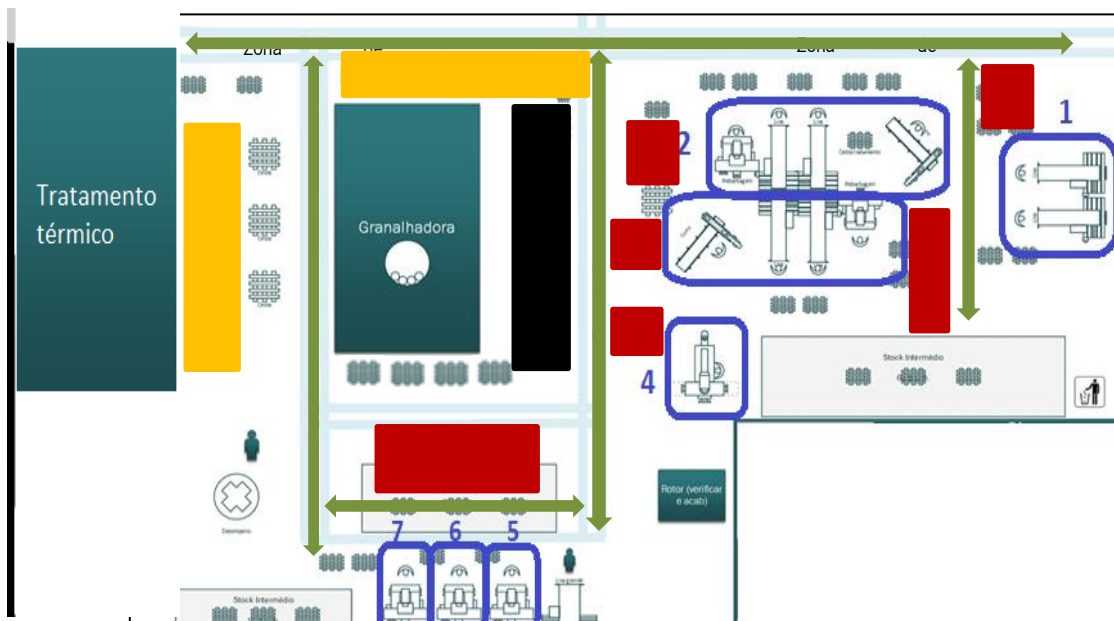


Figura 54 - Zonas de acumulação de WIP na secção de Acabamentos de Fundição

A empresa tem interesse em melhorar a nível do espaço requerido e do elevado WIP que é, no fundo, a principal causa raiz do problema de espaço. O elevado WIP resulta de uma produção por lotes e com *buffers* e é também favorecido pelo excesso de produção que é necessário devido à baixa previsibilidade do processo.

Resumo sobre o Layout

O *layout* das secções da fábrica foi construído, de raiz, em 2006. Como pode ser verificado no anexo IV, permite distâncias adequadas e fluxos otimizados de informação, pessoas e materiais entre secções. Fomenta ainda a gestão *Gemba* ou “gestão presencial, no local”. Alterações seriam impossíveis ou não viáveis e a empresa não tem interesse no seu estudo, quer seja de forma generalizada ou específica a secções. Adquirir e instalar nova maquinaria ou postos de trabalho é, contudo, passível de estudo. É, no entanto, de salientar a ocorrência de limitação da passagem, especialmente de *pickers*, devido às elevadas quantidades de *stock* em *buffers* intracelulares. Analogamente, no caso particular das células de produção, a alteração do *layout* dos postos de trabalho teria associada modificações acessórias (condutas de extração, entre outros) que não são pretendidas pela organização num futuro próximo.

3.2.4 Gama operatória

Existem inúmeras gamas operatórias e famílias de produtos, especialmente no que toca às operações de acabamento, sendo que alguns deles geram a existência de fluxos inversos.

O fluxo geral de materiais ao longo da unidade fabril está representado sinteticamente na próxima figura. Inicia na receção de matéria-prima ou de produtos a maquinar pela zona de Mercadoria. Assim que requerido, os lingotes de alumínio são transportados da Mercadoria para serem fundidos na Torre Fusora. Quando necessário, os *pickers* utilizam cadinhos para transportar o metal para uma das três linhas de fundição onde ocorre o vazamento e solidificação do alumínio na moldação, assim como conseqüente desmoldação e organização em paletes. O fluxo de artigos não consiste em *One Piece Flow* (cap. 2.1.3), mas sim em lotes. Os artigos fundidos são transportados pelo *picker*, que os coloca junto às células de acabamento, numeradas de 1 a 7. Após serem processados nas células, os lotes de artigos são novamente transportados, desta vez para o tratamento térmico, para a Grenalhadora ou para qualquer trajeto possível entre elas. A partir daqui será o ponto de separação entre os processos de fundição e acabamento e os processos de Maquinação (cap. 3.2.2 e 3.2.3). Os artigos são então transportados para a Maquinação e de seguida para a Anodização e Pintura sendo de seguida testados qualitativamente e embalados em caixas de madeira e armazenados até serem enviados ao cliente ou levantados pelo mesmo.

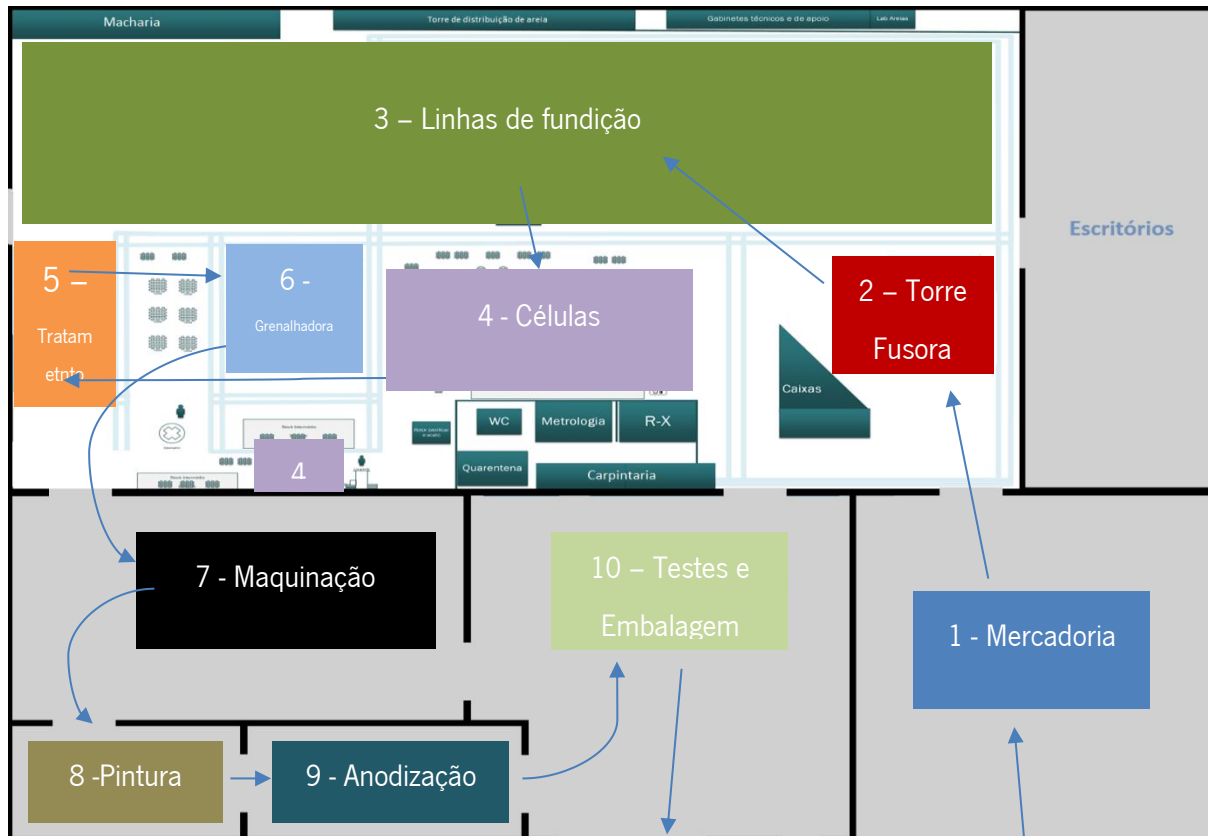


Figura 55 - Gama operatória geral.

Seção de Acabamentos de Fundição

Salvo raríssimas exceções, todos os componentes resultantes das linhas de moldação são transportados para uma das células capacitada para a operação de corte. Dentro das células ocorre, normalmente, a seguinte sequência operatória, da esquerda para a direita: corte, lixa e bancada de acabamento. Todos os artigos são submetidos ao processo de corte, sendo que 94% dos artigos são cortados nas células (84% nas 2 e 3 e 10% na célula 4). Adicionalmente, 74% dos artigos analisados são sujeitos a lixagem nas mesmas células. O acabamento é também uma operação essencial, já que 81% dos artigos incluem na sua gama operatória a bancada de acabamentos de fundição pertencente às células 2 e 3, e 6% são acabados na bancada de grandes dimensões. Uma percentagem similar verifica-se nos tratamentos térmicos e na Grenalhadora, ambas integrando a gama operatória de 80% dos artigos analisados.

Entre cada um destes postos de trabalho existe uma ou mais paletes de trabalho em curso assim como paletes já processadas que aguardam recolha. Ambos os tipos de *picker* (elétrico e manual) tem acesso a todos os pontos de input e output de qualquer célula, como está representado a verde na próxima figura. Depois de atravessarem as células são enviados para tratamento térmico ou para a Grenalhadora. Termina assim o fluxo de artigos no que concerne à zona de fundição e acabamentos.

O fluxo de materiais na zona de acabamentos está sinteticamente representado na figura abaixo.

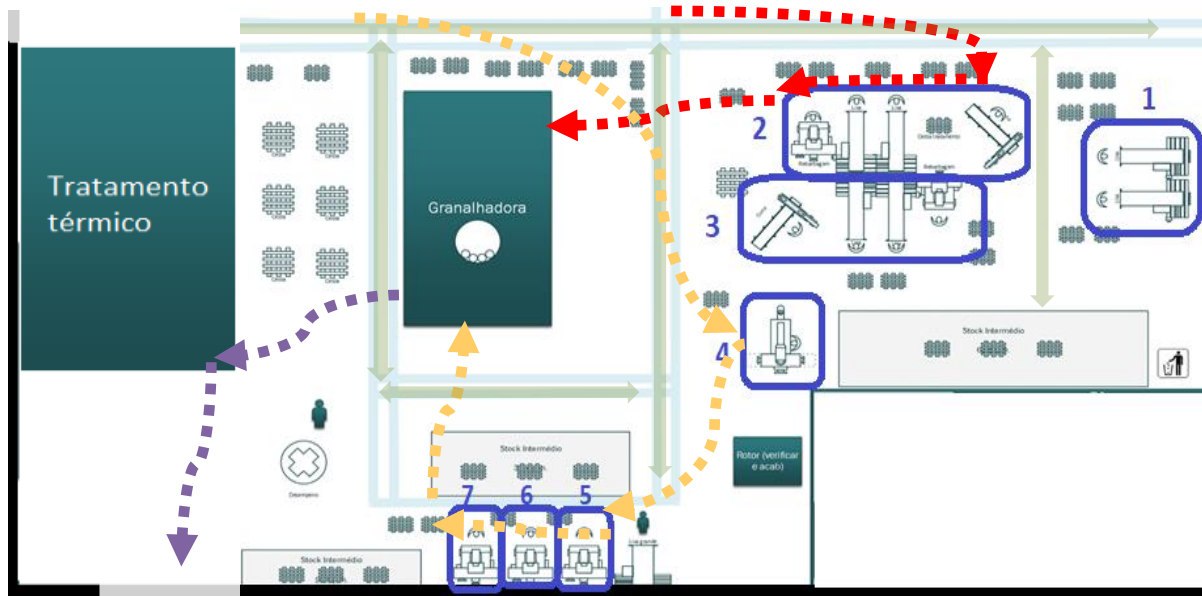


Figura 56 - Gamas operatórias mais frequentes na seção de acabamentos de fundição

Os fluxos mais comuns variam, portanto, na linha de produção originária e nas células nas quais são realizados os consequentes acabamentos formando, a partir desse momento, um fluxo único que termina com a grenalhagem seguida de tratamento térmico, tal como representado na figura acima.

No que toca a frequência de processamento, conclui-se que as células são responsáveis pela maioria do trabalho realizado.

Fluxo de artigos descontínuo e *buffers* de elevadas quantidades entre PT's de cada célula

Existe um problema fundamental no que toca às células: o fluxo não é contínuo dentro das células, como seria recomendado pela literatura analisada (cap. 2.1.3) e que, tanto resulta como esconde diversos tipos de *muda*. O processamento sofre da utilização de paletes inteiras de material, que constituem três *buffers* entre cada posto das células, ou seja, entre o corte e a lixa 1, entre a lixa 1 e a lixa 2 e entre a lixa 2 e o acabamento (a vermelho na seguinte imagem).

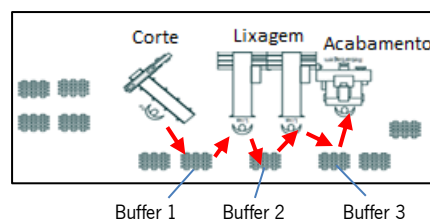


Figura 57 - Fluxo não contínuo, *Buffers* significativos

Número médio de operações

Cada O.F. tem, em média, 8 operações envolvidas, sendo que a moldação e o abate constituem duas delas (com a exceção negligenciável das peças em coquilha (cap. 4.4.1). Os acabamentos de fundição

são responsáveis por, em média, 6 das operações de fabrico em cada O.F. Há uma ligeira tendência para as O.F.s que têm mais quantidade de artigos terem menos operações. Esta diferença é pouco significativa e inconclusiva. No entanto, por motivos de utilidade, pode utilizar-se a métrica de 6 operações, em média, para a zona de acabamentos. O número médio de operações não depende significativamente da quantidade a produzir.

O número de processos a que os artigos são submetidos depende do produto final específico em questão, podendo ser necessários vários ou apenas um deles. Alguns artigos podem até, por exemplo, não ser fundidos na empresa mas serem sim encomendas especificamente de tratamento térmico a artigos que o cliente já possua ou provirem da uma outra unidade da empresa que realiza um processo de coquilha. São bastante comuns gamas operatórias em que o produto é apenas fundido e acabado, ou gamas que não incluem tratamento térmico, pintura ou anodização, para mencionar apenas algumas possibilidades (ver cap. 4.4.1).

Tamanho médio do lote de produção

Cada ordem de fabrico indica, em média, a produção de 63 artigos. O tamanho médio de lote em circulação corresponde a 41 artigos no panorama geral e 63 no caso específico das células, o que é uma incongruência com os princípios de fluxo contínuo envolvidos numa produção *Lean*. A existência destes lotes impossibilita as células de produção de funcionarem no auge das suas potencialidades (ver capítulo 2.2) e aumenta o *muda* através de *buffers*, inventário, WIP, espaço requerido, transporte e *lead time* (cap. 2.1.2). A produção por lotes tem também outras desvantagens menos visíveis como, por exemplo, aumentar o tempo envolvido na deteção de erros e a camuflagem dos mesmos através da ocorrência de outras formas de *muda* como a sobreprodução, verificada no caso em estudo.

As quantidades médias produzidas por O.F., por linha de moldação estão representadas na figura 58.

A coquilha origina, invariavelmente, os maiores lotes seguida pela moldação automática. As linhas

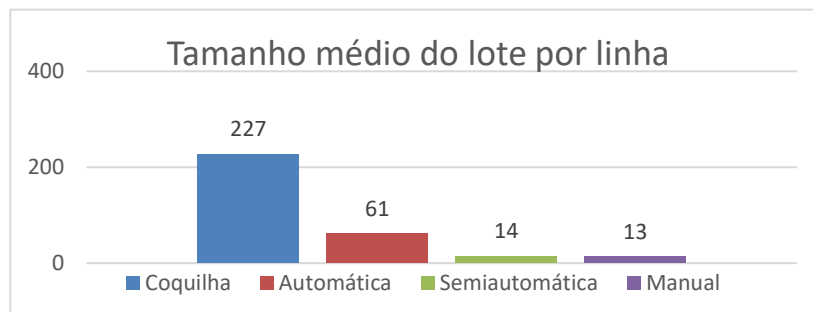


Figura 58 - Tamanho médio do lote, por linha de moldação originária

semiautomática e manual são utilizadas para produção de lotes pequenos.

Elevado número de gamas operatórias

É notório existir um nicho de produtos que representam uma variedade enorme de gamas operatórias únicas, apesar de representarem uma baixa quantidade de produção. No entanto, isso é necessário e deriva da política organizacional de customização do produto pelo cliente, pelo que a ação neste tema não é de interesse significativo. Contudo, esta característica será extremamente relevante e terá implicações em qualquer análise ou melhoria do sistema. Esta variedade nas gamas operatórias é distintamente mais elevada na zona de acabamentos de fundição.

Linha de Moldação (BD71)

Por quantidade de produtos

Relativamente à origem dos artigos que são processados na zona de acabamentos, 79% da quantidade de artigos provêm da linha automática, 17% da coquilha, 2% da linha semiautomática e 2% da linha manual (próxima figura).

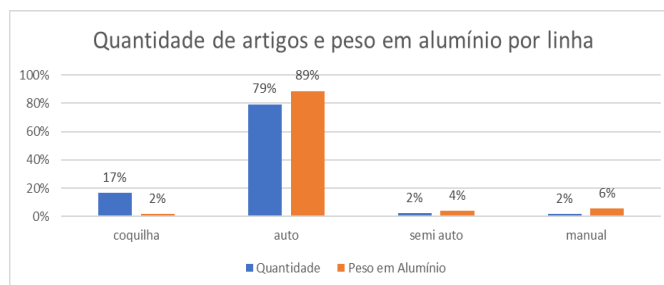


Figura 59 - Quantidade de artigos e peso em alumínio produzidos por linha

Por peso em alumínio dos artigos fundidos

À luz do peso total em alumínio dos artigos, a relevância das moldações em coquilha é diminuída drasticamente por os artigos que origina serem de muito baixo peso. Por este motivo, e pela simplicidade e baixo número de processos requeridos à unidade fabril em questão (cap. 4.1), os artigos provenientes da coquilha foram considerados pouco relevantes pela empresa no decorrer do processo de otimização das células de acabamentos. A proporção triplica (de 2 para 6%) no caso da linha manual, sendo evidente o elevado peso dos artigos originários desta moldação. Uma duplicação da proporção é também visível para a linha semiautomática. De qualquer das formas, é clara a origem predominante de artigos moldados na Linha Automática.

3.2.5 O *bottleneck* do sistema de produção

As células, subsistema da zona de fundição, não revelam a cadência necessária para processar os artigos provenientes das linhas de fundição. Representa para a organização o *bottleneck* do sistema de produção em geral, sendo responsável por inúmeras desvantagens como descrito no anexo I, nomeadamente o

nível elevado de WIP e de *buffers* presentes. É também a zona em que ocorrem mais tarefas manuais que dependem, por falta de normalização, da interpretação do operador em qualquer ponto do processo de fabrico.

A secção de acabamentos de fundição, fundamentalmente as células e a grenalhadora revelaram ser os postos de trabalho de maior interesse a nível de otimização e de normalização.

O *output* da unidade fabril é limitado pelos acabamentos de fundição dado que o tempo de ciclo do sistema é igual ao maior tempo de ciclo dos subsistemas, ou postos de trabalho, que o constituem. Algumas estimativas qualitativas e quantitativas serão, em todo o caso, utilizadas para confirmar se realmente é correto classificar as células e grenalhadora como o *bottleneck* do sistema de produção.

3.3 Sistema de Informação na Produção

O Sistema de Informação principal utilizado pela empresa designa-se por SyBus. Funciona como base de dados de informações técnicas de artigos e componentes, ordens e registos de fabrico, resultados de análises de qualidade entre inúmeras variáveis.

Cada utilizador tem acesso a determinados dados e funcionalidades do software por razões de praticidade, segurança e sigilo. Os acessos concedidos permitem atribuir licença de consulta ou também de edição consoante o colaborador. O sistema pode ser acedido apenas pela ligação interna da empresa. Certas variáveis, caso conhecidas, podem ser associadas a variados processos e potencializar ferramentas de elevada importância industrial nomeadamente a nível de planeamento de produção (como o *lead time*).

O sistema de informação está intrinsecamente implementado em todos os postos de trabalho e ferramentas de trabalho dos departamentos. Está também agendada uma substituição do sistema atual por um sistema mais recente. Estes fatores fazem com que a investigação e implementação de *mudanças* nesta área não sejam viáveis ou de interesse. Em todo o caso, serão explicitados alguns pontos que ajudam a compreender algumas decisões tomadas nos capítulos posteriores.

Carência de registos e consequências para o planeamento de produção

A funcionalidade de planeamento automático de produção não é exequível por carecer de informação sobre os tempos de processamento específicos de cada artigo a ser produzido, em cada posto de trabalho. A secção de acabamento, em especial, carece de registos fidedignos de produção por parte dos operadores no que diz respeito a grande parte dos artigos. Ademais, os prazos estipulados pelo sistema não são fidedignos, pela falta de informação de parâmetros de produção. O sistema carece de

registos em uma parte significativa das variáveis. Tomemos por exemplo: peso dos artigos, datas de criação, firmação, conclusão prevista e real e o correto registo dos lotes em cada PT.

Não obstante, uma boa parte das análises feitas de seguida não seriam possíveis ou viáveis sem o elevado número de registos, no que diz respeito a algumas outras variáveis. O conhecimento fidedigno de um maior número de variáveis permitiria tirar mais conclusões no processo de melhoria contínua.

Plataforma a implementar no futuro

A empresa tem a intenção de implementar uma nova plataforma nos próximos anos. No entanto, é necessário pensar nos sistemas de informação como uma ferramenta não só no presente, como no futuro. Neste momento a informação disponível no sistema é escassa e restritiva. A informação da base de dados atual poderá ser importada para o novo sistema, pelo que o aumento da informação presente no mesmo permanece de inabalável valor e importância. *Mudanças* a nível estrutural do sistema de informação não serão úteis, por não serem aplicáveis na nova plataforma.

Qualquer futura plataforma sofrerá das mesmas restrições por faltar a informação fulcral que deve ser padronizada e registada pelos operadores, recorrendo às ferramentas que já se encontram disponíveis e em funcionamento.

Ordens de fabrico

A modificação das O.F.s está restrita pelo software utilizado. No entanto ficou em aberto a possibilidade de anexar documentação adicional às ordens de produção impressas (útil. por exemplo, no cap. 4.4.2). Existem O.F.'s diferentes para os artigos processados na zona de Fundição e Acabamentos e na zona de Maquinação, ainda que constituam o mesmo produto final. A zona de maquinaria funciona, em todos os sentidos, como um cliente da zona de Fundição e Acabamentos. Isto gera vários tipos de *muda*.

3.4 Gestão de Encomendas

A gestão de encomendas é responsabilidade de departamentos que não dizem diretamente respeito ao departamento de produção. Funciona segundo uma política *Make-to-Order*. É realizada por uma equipa bem constituída, formada e com experiência. Envolve os departamentos de Produção, Maquinação, Financeiro e Técnico. O processo encontra-se representado, segundo o modelo BPMN, no anexo 4 B.

Após as últimas alterações, o *lead time* melhorou e não são bem conhecidos os valores do mesmo assim como os parâmetros que o influenciam. A empresa mostra interesse na determinação deste KPI e dos parâmetros acessórios ao mesmo. No sentido de determinar esse valor, será realizada uma recolha e análise de dados através do sistema informático, incluída na base de dados BD1617 (cap. 4.1.2).

3.5 Normalização

A zona de macharia e mistura de areias carece fortemente de normalização, no entanto, esse assunto encontra-se já em processo de melhoria por parte de um estudante de Engenharia Mecânica da U.M.

Quanto às linhas de moldação, o processo encontra-se relativamente normalizado na linha de moldação automática e conta com *batches* de areia definidos pelas misturadoras com três diferentes programas de aditivos e proporções de areia, cujos parâmetros foram otimizados pelo colega referido.

A operação de abate não tem qualquer tipo de normalização pela mesma razão pela qual não pode ser automatizada: é demasiado dependente da geometria do artigo e, no caso em estudo, essa característica varia constantemente.

As operações de corte, lixa, acabamento e grenalhagem carecem completamente de instruções de trabalho ou normalização a qualquer nível. Não são definidos métodos de trabalho, não existem informações visuais sobre o que é pretendido para cada artigo nem exemplificação. No caso da grenalhadora, não estão definidos os ganchos adequados para cada referência, a quantidade a maquinar em cada ciclo ou a duração necessária de grenalhagem.

As zonas de tratamentos térmicos, químicos, maquinação, embalagem e expedição estão satisfatoriamente normalizadas com programas pré-definidos e um maior nível geral de qualidade de registos.

3.6 Ergonomia

As bancadas das células obrigam todos os operários a baixarem-se ligeiramente para alinharem a peça a operar com a lixa rotativa. As bancas deveriam ser, aproximadamente, 10cm mais altas, de acordo com os cálculos de um grupo de trabalho da U.C. PIEGI, em parceria com a empresa.

O mesmo acontece nas mesas de acabamento, sendo ligeiramente mais baixas do que o recomendado, não sendo, no entanto, um desfasamento com consequências tao relevantes a nível humano e de produção, até pela diferente natureza de manipulação da carga nestes dois postos de trabalho (na mesa de acabamento o peso da peça é suportado pela mesa).

Por fim, não pode ser deixado de mencionar o elevado esforço envolvido na operação de abate, posição que se recomenda que seja realizada em turnos rotativos até encontrada uma solução automatizada e autosuficiente. Devido à produção em lotes, ocorre um elevado desgaste e tempo desnecessário associado à carga e descarga de produtos nos contentores, que se encontram na média dos 6kg, para o caso da linha automática.

3.7 Resumo do diagnóstico

Este capítulo servirá como análise e fundamentação da seleção do tema de investigação específico, apoiada pelos capítulos anteriores.

Após a análise geral da produção, pretende-se determinar qual será o assunto cujo estudo e melhoria terá maior impacto para a organização assim como interesse académico. Este foi um processo simbiótico entre necessidades sentidas pela empresa e pontos de relevância resultantes do referido levantamento inicial, nomeadamente face ao cumprimento das filosofias *Lean* (ver capítulo 2.2). É crucial referir que, desde que contribuindo para os objetivos da organização e atuando sobre a fundição, foi conferida total liberdade quanto às ações a tomar no que concerne ao trabalho desenvolvido na presente dissertação. Isto conferiu a oportunidade e a responsabilidade de identificar quais seriam as questões de investigação mais pertinentes e com maior relação benefício-custo antes de realmente as investigar mais pormenorizadamente e propor soluções de melhoria.

No final deste capítulo serão também apresentados os objetivos e tarefas propostos para otimizar o subsistema entretanto selecionado. As modificações e soluções propostas serão enunciadas nos capítulos 4 e 5.

De seguida serão apresentadas, num breve memorando, algumas vertentes hipotéticas de atuação.

Objetivos da Empresa

A empresa tem como principais objetivos (cap. 1.2) o aumento da cadência geral de produção, diminuição do *lead time* e seguir um rumo que permita garantir um futuro sistema de produção *Pull* e que se aproxime, cada vez mais, do modelo *Lean* (cap. 2.1). Com estes objetivos em mente, definiu-se que a área de investigação seria, em todo o caso, relacionada com o fabrico e não a nível logístico, financeiro ou organizacional. O objetivo prioritário é aumentar a produtividade e, em segundo plano, reduzir custos de produção. Esta prioridade deve-se à necessidade de corresponder à procura crescente que se tem verificado.

Possíveis zonas de atuação

Macharia e Linhas de Moldação

O processo de fabrico de machos, das moldações e dos restantes componentes, assim como as propriedades do alumínio e do vazamento estão a ser estudados e otimizados por um mestrando em Engenharia Mecânica pelo que teria pouco retorno investigar o mesmo tema, apesar de se ter revelado uma boa oportunidade de trabalho em equipa. É também uma das áreas em que a empresa mais investiu a nível de controlo do processo e conta com uma boa parte dos engenheiros mecânicos alocada a si.

Não sofre de níveis alarmantes de produtividade, WIP ou qualidade sendo perfeitamente capazes de satisfazer o sistema a nível de componentes e não prejudicando os processos decorrentes. As linhas de moldação têm uma capacidade de processamento máximo muito superior às restantes unidades da fábrica.

Células de Acabamento

As células de acabamento, que incluem a grenalhadora, revelam as maiores carências a nível de normalização, controlo, previsibilidade, produtividade e eficiência de acordo com os princípios *Lean* (cap. 2.1.2) e são a zona que limita a empresa de estar um passo mais perto da sua idealização de perfeição (cap. 2.1.1).

Máquina de Tratamentos Térmicos

A máquina de tratamentos térmicos não será alvo de análise profunda por ter sido comprada em 2013 e porque a equipa técnica está continuamente a analisar esse processo. Para além disso, é automatizada e as modificações possíveis são mais restritas. Uma modificação de *layout* deste “monumento”, como é referido na literatura *Lean*, acarretaria custos elevados e não é uma prioridade numa fase embrionária da implementação da filosofia.

Maquinação

A zona que realiza, normalmente, o processo seguinte da gama operatória é a Maquinação. Quando comparada com a zona de Fundição e Acabamento, possui melhores condições de produção, organização, normalização e realiza tarefas menos dependentes do operador.

Embalagem, Anodização, Pintura e Expedição

As zonas de embalagem, expedição, anodização e pintura têm plena capacidade para lidar fluentemente com o nível e variedade de produção atual. Não sofrem de *muda*, *mura* ou de restrições no local de trabalho significativos.

Possíveis perspetivas de atuação

Produção

A atuação sobre a produção e a sua melhoria demonstra, para a empresa, o maior interesse, neste momento. Nomeadamente na capacidade de débito de produtos. Há também um elevado interesse a nível de conhecimento de KPI's, de definição e normalização de processo, de gestão visual e de diminuição dos inventários e do WIP.

Melhoria da informação disponível no sistema informático

Existe o interesse em o planeamento de produção ser gradualmente automatizado libertando recursos humanos ao departamento de produção e aumentando a fiabilidade do planeamento.

Controlo do processo

O controlo do processo é também relativamente baixo e a empresa reconhece a sua importância, assim como as dificuldades da sua plena implementação de acordo com os princípios *Lean* e *Jidoka*.

Índices-chave de produção (KPI's)

É considerada urgente a definição da taxa de produção em diferentes situações, o tempo útil e a disponibilidade, a taxa de utilização, o OEE, o tempo de ciclo, o *takt time*, o *lead time* entre outras métricas essenciais para a gestão e avaliação de desempenho num ambiente *Lean*. Sem elas, ficam também comprometidas as restantes etapas necessárias à total conversão da produção num sistema *Lean*.

Previsibilidade do processo

Há um forte interesse em saber, principalmente, o *Lead Time* envolvido no processo e os principais fatores que o influenciam e o permitem determinar assim como também é importante saber a percentagem de artigos que é necessária produzir em excesso para garantir a quantidade mínima necessária de artigos finais. Esta informação não resolve a causa-raiz da sobreprodução (cap. 4.3.2) que é a falta de controlo e estabilidade no processo, mas poderia permitir reduzir imediatamente uma parte da sobreprodução.

Normalização

Detalhando o assunto da normalização, há um interesse geral na normalização de todo o processo e de documentação de toda essa informação. Antes disso, é reconhecida a necessidade de estabilização prévia do processo já que muitos parâmetros ao longo do sistema são, em parte, aleatórios ou não controlados.

Qualidade

Em relação à qualidade dos artigos, a empresa conta com um departamento dedicado ao assunto pelo que uma investigação primária em qualidade não seria a melhor adição de valor.

Logística

A nível logístico, as aquisições são realizadas de forma muito simples por apenas ser necessário uma matéria-prima: o alumínio, e são necessárias poucas ligas diferentes. O armazém tem espaço suficiente para qualquer quantidade realista que possa ser necessária armazenar, tendo em conta a conjuntura atual. As expedições são estáveis, com acordos de longa data e conhecimento das necessidades de entrega ao cliente ou de levantamento na unidade fabril, dependendo do cliente em questão.

Gestão de Projetos

A nível de gestão de projetos, a empresa apoia-se fortemente em consultoria externa e conta com um departamento interno e conceptual de Projeto.

Gestão de Encomendas

A gestão de encomendas é responsabilidade de outro departamento dedicado de competências variadas pelo que está sujeito à mesma lógica referida no parágrafo anterior. Adequa-se à política de customização do produto por parte do cliente. No que toca às ordens de fabrico são lançadas a tempo inteiro pela Diretora de Produção e pela técnica do departamento.

Cumprimento dos princípios da Casa TPS

Analisando a produção à luz da casa TPS e tendo em conta que a empresa pretende o funcionamento em *Pull* atingindo mais tarde a plenitude da filosofia *Lean*, é notório a fase embrionária dessa evolução. Sendo assim, os esforços devem concentrar-se em criar uma base forte para a implementação de princípios mais complexos que dependem da garantia de alguns pré-requisitos. Um sistema *pull*, como a empresa pretende, não pode ser atingido sem normalização e estabilidade do processo assim como é extremamente dificultado pela produção em lotes em detrimento de uma produção em fluxo contínuo. Os pontos da casa TPS já cumpridos a um nível satisfatório pela organização estão assinalados na figura seguinte por uma seta azul. Os aspetos que não estão implementados estão assinalados com uma cruz vermelha. Destes, os que serão significativamente abordados na presente dissertação e investigados no âmbito dos objetivos da empresa estão assinalados por um círculo verde.

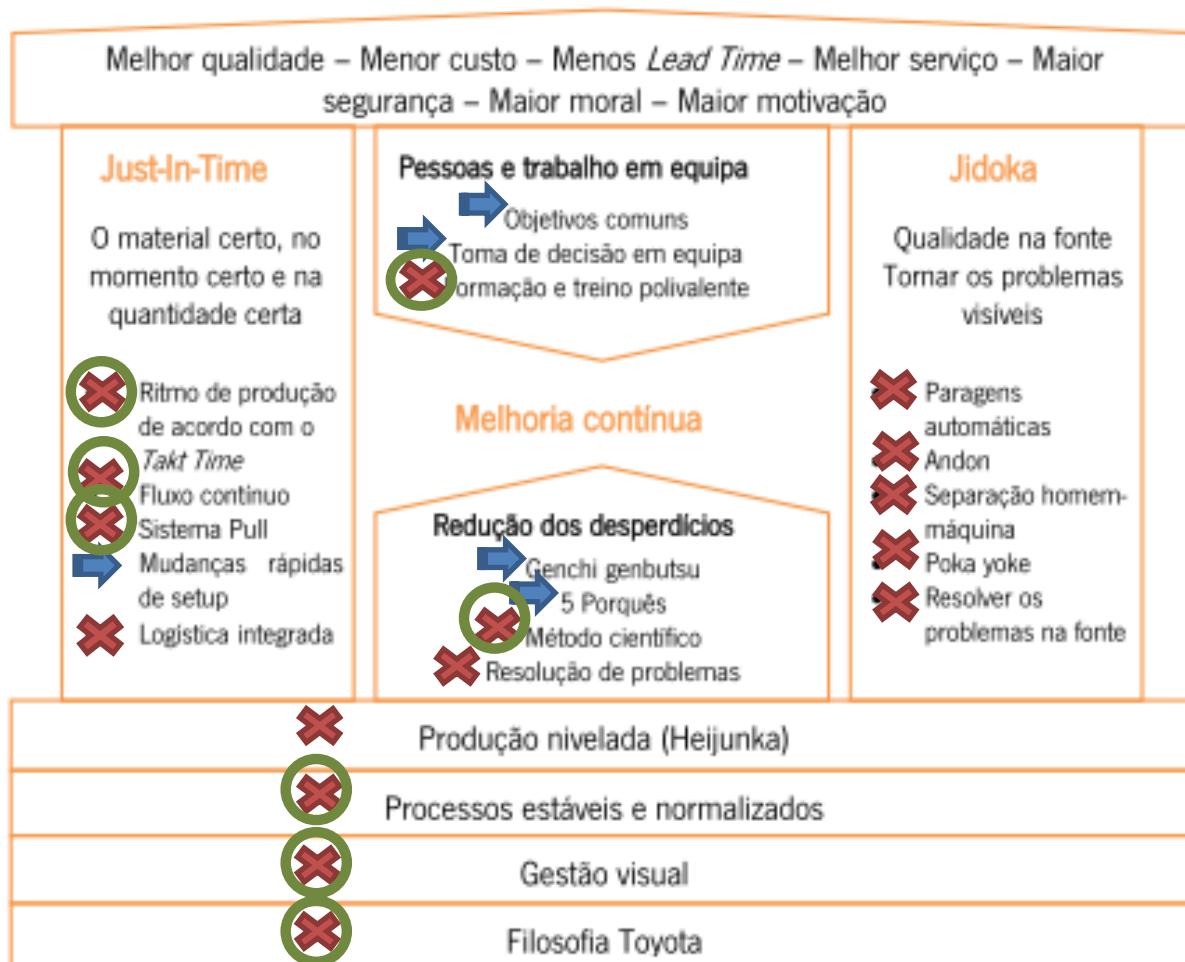


Figura 60 - Cumprimento atual e ação futura sobre os componentes Lean da casa TPS.

3.7.1 Objetivos específicos

Considerou-se que o rumo a seguir, tendo em conta os interesses já mencionados, seria a investigação e implementação de ferramentas, métricas e formação *Lean* que permitam atuar sobre os objetivos principais da empresa enquanto criam uma base sólida para a implementação dos restantes componentes da Casa do TPS (cap. 2.1.3) e, assim, perseguir a missão da empresa. Incluem a definição dos KPI's, que retratam e permitem esperar e avaliar o desempenho do sistema assim como uma resposta informada à procura do mercado, a normalização do processo e o balanceamento da carga de trabalho no local que se caracteriza por ser o *bottleneck* do sistema de produção: as células de acabamento de fundição.

Derivado das intenções da empresa, da informação fornecida e determinada sobre a mesma e no âmbito do desenvolvimento da presente dissertação foram detalhados, em conjunto com a Diretora de Produção e o Diretor Geral, os objetivos referidos no capítulo 1.2.

- Registos de operação: É necessário definir parâmetros de trabalho, tanto no chão de fábrica como no sistema informático, aumentando e atualizando a informação contida no mesmo, para que

possa posteriormente ser utilizada para o diagnóstico de necessidades, no desenvolvimento de propostas de melhoria, no planeamento de produção, na automatização do mesmo, na normalização das operações. Da mesma forma, é necessário instruir os trabalhadores a realizarem corretamente os registos no sistema.

- Definição de KPI's: É necessário investigar quais os KPI's mais indicados assim como determiná-los, com auxílio ao sistema informático e aos registos de operação realizadas, e analisá-los no contexto do sistema e dos objetivos para o mesmo.

- Balaceamento das células - Os diferentes postos de trabalho e as diferentes operações de corte, lixagem, acabamento e grenalhagem não se encontram balanceados e pretende-se que o sejam.

- Normalização: Pretende-se a determinação dos principais fluxos de materiais que envolvam as células de acabamento, nomeadamente a nível de quantidades relativas e famílias de produtos. Para além da normalização generalizada necessária, é fulcral a criação de fichas de instrução de trabalho para a Grenalhadora, que opera sem regras de ganchos a utilizar para cada produto, quantidade a maquinar simultaneamente ou tempo de maquinação. É também pretendida a conceção de Ajudas Visuais, que auxiliem na manufatura informada, sem erros e sem sobreprocessamento. Pretende-se a marcação de zonas específicas para WIP (5S) e/ou de outras medidas que permitam diminuir o impacto do WIP no sistema enquanto aumentam a normalização do mesmo.

- Melhoria do processo - São também espectadas algumas propostas de melhorias do processo.

- Melhorias ergonómicas - São também espectadas algumas propostas de melhorias a problemas detetados na fase de investigação.

3.7.2 Síntese do plano de trabalho

Na tabela seguinte está sintetizado o plano de trabalhos, tanto a nível de objetivos e resultados espectados, como da origem e obtenção das informações necessárias aos mesmos

Tabela 4 - Síntese do plano de trabalho.

Objetivo	Informação necessária	Origem da informação	Ações	Resultados
Registos de trabalho	Registos relevantes realizados; Metodologia correta de	Departamento de Produção; Variáveis do sistema informático.	Diálogo no sentido de serem registados mais dados e da forma correta.	Maior número, qualidade dos registos; Sistema informático com informação

	registo no sistema;			crucial em futuras análises; Colaboradores sensibilizados.
Definição do Fluxo de Materiais	Gamas operatórias; Frequência de ocorrência	BD71	Recolha das O.F's; Registo e análise dos dados; Definição de famílias de produtos	Conhecimento dos fluxos de materiais; Quantificação da relevância de cada família de produtos.
Normalização	Informação do processo; Estado ideal do processo;	BDGR; Conhecimento do processo; Investigação do caso de estudo;	Definir objetivos de processamento; Realizar Tabela de Ganchos; Realizar Tabela de Grenalhagem; Disponibilizar dados em futuras O.F.	Base de dados com o conhecimento empírico e otimizado dos operadores; Processamento normalizado nas células e na grenalhadora.
Ajudas Visuais	Erros comuns em cada etapa do processo; Processamento correto.	Conhecimento do sistema e das operações de acabamento.	Determinar o tipo de ajudas visuais; Conceber ajudas visuais.	<i>One Point Lesson</i> ; Ecrãs digitais; Operação, controlo e gestão facilitados por ferramentas visuais. Mapa de fluxos;
Instruções de trabalho	Informação do processo; Parâmetros pretendidos.	Conhecimento e investigação do processo; Departamento de Produção.	Determinar parâmetros a incluir nas instruções de trabalho; Realizar instruções.	Conhecimento das variáveis e objetivos pretendidos; Fichas de instrução de trabalho.
Definição de KPI's	Dados de produção	BDTEMPOS; BD71	Recolher, selecionar e validar dados; Calcular os KPI's.	KPI's relevantes definidos; Dados relevantes definidos;

				Valores quantitativos para cada KPI.
<i>Lead time</i>	Datas de conclusão e lançamento das ordens de fabrico	BD1617	Filtrar e analisar os dados; <i>Calcular Lead Time</i> para cada encomenda; <i>Determinar Lead Time</i> médio.	Quantificação do <i>Lead Time</i> e atraso médios; Taxa de ocorrência de atrasos; Equação de previsão do <i>Lead Time</i>
Balanceamento das células	Constituição das células; Tempo de operação.	BDTEMPOS	Gravação; Registo crítico de dados; Análise dos dados	Informação sobre o desempenho e limitações das operações das células; Balanceamento das células.
Melhorias ergonómicas	Conhecimento ergonómico.	Opiniões dos trabalhadores; Nível de Ruído; Temperatura;	Determinar o grau de conforto dos operadores; Determinar temperatura e ruído.	Conhecimento das condições ergonómicas; Quantificação de variáveis ambientais;
Melhoria do processo	Conhecimento e investigação do processo.	-	Identificação clara de todas as tarefas envolvidas e dos diferentes tipos de desperdícios; Propostas de melhoria.	Conhecimento do fluxo de valor dos produtos; Sugestões de melhoria de produção e da qualidade do fluxo de valor.

4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA

Este capítulo servirá de explicação sucinta do plano de trabalho estabelecido para o cumprimento dos objetivos definidos para a dissertação e das razões e medidas tomadas para os alcançar.

Tendo definido a zona de acabamentos como objeto de investigação, foi necessário decidir quais as informações necessárias à mesma, tal como ferramentas a adotar, para atingir os objetivos definidos (cap. 3.7.1). A realidade prática da fábrica (capítulo 3) teve grande impacto na abordagem e recursos utilizados. Rapidamente se tornou claro que seria essencial a utilização de dados do sistema informático assim como o registo manual e análise de uma elevada quantidade adicional de dados atualizados sem os quais não seria possível prosseguir a missão *Lean* da empresa.

Serão especificados os dados necessários para o balanceamento da carga de trabalho nas células de produção, o tratamento a que foram submetidos, as bases de dados resultantes da recolha desses dados e a metodologia de cálculo dos KPI's utilizados no balanceamento.

Para além disto, e tal como planeado no capítulo anterior, será utilizada uma priorização dos artigos a analisar (Pareto), o Lead Time será definido e traduzido por uma equação, serão definidos e quantificados os fluxos de produção mais comuns, realizadas instruções normalizadoras e sugeridas melhorias processuais e ergonómicas.

4.1 Registos de operação

4.1.1 Dados a recolher

Os registos de operações nas células de produção serão realizados tendo por base a revisão conceptual presente no ponto 2.3.1. Passar-se-á à definição dos dados a registar relativamente aos mesmos. Estes dados serão brevemente enunciados de seguida.

Dados de produção

A nível de estudo do trabalho, decidiu-se registar, para cada tarefa de cada operação do processo de acabamento, assim como para qualquer outro tipo de ação que ocorra, os seguintes dados: identificação da tarefa, duração da mesma, posto e célula em que é realizada, o número de artigos envolvidos simultaneamente em cada uma das tarefas, o nível de WIP, a tarefa que a precede, entre outros.

Origem dos dados

Devido ao elevado número de dados de interesse que ocorrem simultaneamente ao longo das várias células e postos de trabalho, em ciclos muito curtos, optou-se por utilizar a perspetiva mais indicada na literatura para o caso: a análise direta e contínua (cap. 2.3). Esta observação será, de forma irónica,

indireta, por ser realizada através de filmagem. Desta forma, é possível registar todas as informações de todos os ciclos e tarefas que ocorrem simultaneamente nas células com elevada precisão (menor que um segundo) e permitindo uma espécie de separação homem-máquina entre o investigador e a recolha de dados, já que a sua presença não é necessária durante a gravação dos artigos de interesse, apenas no momento do seu registo, permitindo maior flexibilidade na realização de tarefas paralelas e não está limitado ao registo de apenas uma tarefa ou posto simultaneamente (tarefa ainda mais dificultada pela produção em lotes). A exatidão e flexibilidade proporcionadas por esta via serão também úteis na compreensão do *muda* (cap 10). Este método foi previamente autorizado, tanto pelos cargos de chefia como por todos os operadores envolvidos nas células de produção, de cada vez que as gravações ocorreram. Para aumentar o respeito pela privacidade dos operadores, sem descorar a eficácia do método, as gravações foram sempre realizadas abaixo do nível do cotovelo.

Dados de encomendas

A nível de encomendas são essenciais: o *lead time*, o *takt time*, a taxa de cumprimento e os atrasos.

Origem dos dados

No âmbito de todos os objetivos que estejam relacionados com a gestão da procura será necessário consultar extensivamente o sistema informático através de uma análise crítica dos dados disponíveis, evitando assunções falaciosas sobre as funcionalidades ou das razões de discrepância nos registos salientadas no cap. 3.3.

4.1.2 Bases de Dados

Tendo definido os dados e a sua origem, procedeu-se à sua recolha ou exportação, filtragem lógica e crítica e, finalmente, a sintetização dos registos úteis em folhas de cálculo Excel. Nesta etapa foram valiosas as indicações literárias presentes no ponto 2.3.2.

Foram criadas três bases de dados principais: uma base de dados relativa a ordens de fabrico em processo na zona de acabamentos que foram recolhidas *in loco*, designada por “BD71”, uma base de dados exportada do sistema informático, contendo as ordens de produção e encomendas realizadas nos últimos dois anos, designada por “BD1617” uma outra base de dados criada, de forma inteiramente manual, que contém os registos de todas as observações feitas sobre as operações que ocorrem nas células denominada “BDTEMPOS”. No decorrer do projeto surgiu uma nova base de informação, os “Registos de Grenalhagem”.

Filtragem e validação das Bases de Dados

Para cada uma das bases de dados será realizada uma explicação detalhada relativamente aos dados que foram selecionados, aos métodos de filtragem e a particularidades derivadas do ambiente fabril.

Esta foi uma etapa de verificação lógica do conteúdo dos dados presentes na base dados, que foi maioritariamente realizada e potencializada pela utilização de filtros, ordenação baseada em múltiplos critérios e pela função de verificação de dados. Para além das ferramentas Excel, foi necessário o conhecimento empírico do departamento de produção que salientou algumas situações em que os dados não são úteis, como por exemplo, no caso de referências fictícias que funcionam como objetos de teste e teriam, de outra forma, um impacto negativo elevado na investigação.

O.F.'s em processo nas células – BD71

A BD71 surgiu com o objetivo de recolher informação de artigos a serem efetivamente produzidos em tempo real nas células. Estes dados foram recolhidos manualmente e registados numa folha de cálculo. Contém os seguintes dados, associados a cada referência dos artigos: a quantidade requerida pela O.F., a quantidade efetivamente produzida, as datas de início e conclusão prevista, o peso e a gama operatória ordenada numericamente, desde a linha original de moldação até ao final dos processos envolvidos na zona de Fundição e Acabamento e se as encomendas são consideradas urgentes ou não. Estes dados são relativos a 68 O.F. e a 64 referências diferentes, totalizando 4568 artigos produzidos. Estes dados permitirão determinar, por exemplo, as gamas operatórias mais comuns, a frequência (a nível de quantidade de artigos e referências) em que cada operação é necessária, o nível de sobreprodução e peso médio dos artigos geral, por linha de moldação e por tipo de posto de trabalho, o *lead time* de produção estimado para a zona, o nível de encomendas consideradas urgentes e a quantidade média de artigos por O.F.

Na figura seguinte encontra-se um excerto desta base de dados, incluindo todos os dados referidos e alguns cálculos incluídos na primeira folha de cálculo, que serve de registo.

Otimização de Células de Produção de artigos em alumínio fundido

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	XEQ	XEQ	
Qtd média				início	fim	orig e % ART	MLD-CG001	MLD-M0015-HWS2D	MLD-M0014-HWS2	MLD-M0107	MLD-PG003	CRT-SG001	CRT-SG002	CRT-PG004	ACF-LG001	ACF-PG005	ACF-PG007	ACF-PG008	TT-M0133	TT-M0133	MAQ-M0046-M0091-SERVI	MAQ-M0001	DPE-PG009	ACS-GG001	ACS-M0106	TPR-M0128				
60	Qtd real	Soberesprouduçã	Peso médio				10%	78%	3%	2%	83%	6%	84%	11%	73%	13%	6%	79%	78%	72%	3%	5%	19%	79%	33%	1%				
Referência	4087	4568	11%	5.60	inefetiva vez		17%	79%	2%	2%	83%	6%	84%	10%	74%	11%	6%	81%	79%	72%	3%	5%	19%	80%	35%	1%	%	% acum.		
13006933	2	2	5.43	11-Oct	18-Nov		1	1		2		3		7			8	4	5	6			9						0.05%	0.05%
13006707	100	100	5.6	30-Nov	18-Jan		1	1		2		3		7			8	4	5	6		6	9						2.45%	2.50%
13000489	10	18		07-Oct	13-Oct		1	1		2		3		6			7	4	5	6			8	9					0.24%	2.74%
13004572	20	28		07-Oct	18-Oct		1	1		2		3		6			7	4	5	6			8	9					0.49%	3.23%
13007121	400	400	2.7	07-Sep	20-Oct		1	1		2		3		6			7	4	5	6			8	9					9.79%	13.02%
13005935	1	2	5.95		20-Oct		1	1		2		3		5	4		6			7			8	9					0.02%	13.04%
13006959	36	36	3.25	20-Sep	15-Sep		1	1		2		3		4			8	5	7	6		6	9					0.88%	13.92%	
1300678	21	80	1.7				1	1		2		3		4			8	5	6	7			9						0.51%	14.44%
13006986	16	16	2.77	29-Oct	04-Oct		1	1		2		3		4	7		8	5	6	7			9						0.39%	14.83%
1300904	1	1	6.85	11-Oct	16-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					0.02%	14.85%
13000751	12	15	10.22	27-Oct	07-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					0.29%	15.15%
13003330	24	24	2.4	24-Nov			1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					0.59%	15.73%
13004822	60	72	1.45	27-Oct	14-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					1.47%	17.20%
13000918	100	114	5.2	11-Oct	17-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					2.45%	19.65%
13005292	100	100	1.6	11-Oct	25-Oct		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					2.45%	22.09%
13006808	100	100	0.61	27-Oct	15-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					2.45%	24.54%
13006810	100	100	0.8	27-Oct	15-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					2.45%	26.99%
13007055	227	227	51	16-Sep	03-Oct		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					5.55%	32.54%
13005330	24	36	2.4	27-Oct	24-Nov		1	1		2		3		4			7	5	6	7			8	9					0.59%	33.13%

Figura 61 - Excerto da base de dados BD71

Encomendas concluídas – BD1617

A BD1617 é uma base de dados, exportada do sistema informático Sybus para o Excel, que contém dados de encomendas que vigoraram no ano de 2016 e 2017 e tem informação relativa a mais de 18000 O.F.'s, apenas considerando as ordens relacionadas com a seção de acabamentos de fundição (identificados com o código de artigo 13). Para além das referências, códigos e descrições dos artigos a produzir, contém informação relativa a datas de: planeamento, firmação, início de produção planeada e efetiva, prazo máximo e data efetiva de conclusão. No que diz respeito a quantidades, contém informação das quantidades: pedidas, entregues, em falta e prontas. A figura abaixo representa um excerto da base de dados:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Tipo	Numero	Subtipo Ordem	Série	Cod.Artigo	Referência Artigo	Descrição	Tipo Artigo	Data Criação	Data Plan.	Data Firme	Data Inicio	Data Inl. Efectiva	Prazo	Data Fim	Arm.				
																Ped.	Entr.	Falta	Pronta Util.Oper.
3	OMRP	182547003	129017	13007046	PCA-TH4231-00	Al-Corner for Core Fixing	13	29-07-16	29-07-16 14:14	01-08-16	06-10-16		07-10-16	19-09-16	30	5	0	5	
4	OMRP	174147001	127865	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	04-01-16	04-01-16 13:34	04-01-16	25-01-16	08-01-16	25-01-16	15-01-16	22	13	20	-7	20
5	OMRP	180352001	128066	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	03-02-16	03-02-16 10:11	05-02-16	08-03-16	19-02-16	11-03-16	22-02-16	30	5	10	-5	10
6	OMRP	180632001	128212	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	29-02-16	29-02-16 15:01	01-03-16	29-03-16	03-03-16	01-04-16	14-03-16	30	14	25	-11	25
7	OMRP	180685001	128212	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	02-03-16	02-03-16 10:07	04-03-16	29-03-16	04-03-16	01-04-16	14-03-16	30	6	10	-4	10
8	OMRP	180695001	128228	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	02-03-16	02-03-16 10:07	04-03-16	19-04-16	04-03-16	22-04-16	14-03-16	30	15	25	-10	25
9	OMRP	180967001	128360	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	01-04-16	01-04-16 9:55	04-04-16	26-04-16		29-04-16	01-06-16	30	15	0	15	
10	OMRP	180992001	128381	13000168	ANE-TH9351A07-	ANEL VEOT 145...170	13	01-04-16	01-04-16 9:55	04-04-16	12-04-16		15-04-16	08-04-16	30	19	0	19	

Figura 62 - Excerto da base de dados BD1617

É de referir que muito poucas variáveis se encontram registadas em todas as encomendas. Com a exceção da identificação da ordem, do artigo e das quantidades pedidas e entregues, todas as outras variáveis têm um determinado nível de falta de informação.

Foram removidos os dados relativos a ordens de matéria-prima e componentes como, por exemplo, dos machos ou filtros para a moldação. Foi também necessário remover ordens criadas como testes, simulações e protótipos. Após a filtragem dos dados, permaneceram 3470 O.F.'s, num total de 141063 artigos, sobre os quais serão retiradas informações relevantes.

Estes dados foram exportados do SI para o Excel onde foram aplicados somatórios automáticos de quantidades por código de artigo, o que permitiu a análise de Pareto anteriormente realizada.

A análise crítica desta base de dados será de crucial relevância para determinar o *takt time*, o *lead time* esperado e real, o nível de sobreprodução e sobreprocessamento e tirar algumas elações sobre a qualidade do processo.

Recolha, análise e registo manual de atividades de produção nas células – BDTEMPOS

A base de dados BDTEMPOS foi construída simultaneamente à recolha de gravações das células de produção. Conta com 13 horas e 30mins filmagens passíveis de recolha de dados de interesse e 1375 registos de ações que ocorreram nas mesmas. As peças analisadas pertencem à lista realizada com auxílio do conceito de Pareto (cap. 2.5) e podem ser consultadas no anexo II.

Para cada gravação foram registados os artigos em produção; para cada posto de trabalho visível e cada operador, as ações foram categorizadas em 24 tipos diferentes, que integram um menu-lista e para as quais foram introduzidos os tempos (ao segundo) de início e fim. O tempo de início de uma atividade foi programado para ser exatamente o mesmo que o fim da atividade anterior, por uma questão de otimização do processo de registo. Numa outra coluna é calculada a duração dessa atividade. Em cada uma delas foi introduzida a quantidade e o código da peça em questão. Foi também registado, para cada ação, a célula em que ocorreu e o posto de trabalho, igualmente num menu-lista para agilizar o processo de registo. Para aumentar a fiabilidade dos dados o vídeo foi reproduzido em câmara lenta de diversas velocidades, consoante o tipo de ações. Uma amostra da base de dados é apresentada na figura abaixo:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
			Peça 1	Peça 2	Nº Peças	Size	Célula	PT	Início	Fim	Tipo	Duração
1												
2	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	00:10	01:12	Ausente	01:02
3	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	01:12	01:19	Preparar - Lubrificar	00:07
4	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	01:19	02:54	Produzir	01:35
5	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	02:54	03:02	Abastecer	00:08
6	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	03:02	03:08	Preparar - Lubrificar	00:06
7	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	03:08	04:56	Produzir	01:48
8	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	04:56	05:00	Abastecer	00:04
9	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	05:00	08:08	Ausente	03:08
10	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	08:08	08:17	Abastecer	00:09
11	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	08:17	08:23	Preparar - Lubrificar	00:06
12	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	08:23	09:06	Produzir	00:43
13	1	-FLG-SI1412A07-IMG_0027 (cel	AM_1		1	Média	1	Lixa 1	09:06	09:09	Desmontar	00:03

Figura 63 - Excerto da base de dados BDTEMPOS

O seu objetivo principal é precisamente obter, sintetizar, analisar e produzir informação relativa ao processamento do sistema de célula, sobre o qual não existe qualquer conhecimento relacionado à produção, ao seu desempenho ou às suas condicionantes, nomeadamente em relação aos desperdícios. Permitirá, nomeadamente, determinar os tempos de ciclo, WIP, tempo de atravessamento, utilização dos postos e mão-de-obra, movimentos dos trabalhadores, identificar problemas e encontrar possibilidades de otimização.

Registos de Grenalhagem

A base de dados resultante do registo de dados de grenalhagem, na “Ficha de Registos de Grenalhagem” (cap. 4.4.2) irá conter cada vez mais dados graças às contribuições de melhoria contínua por parte dos operadores da Grenalhadora e da atualização das instruções de trabalho, tendo em conta tanto o feedback dos operadores como do departamento de qualidade.

4.1.3 Artigos a analisar (Princípio de Pareto)

Devido ao elevado número de referências, aproximadamente 3500 processadas apenas na zona de acabamentos, nos últimos 2 anos, revelou-se necessário definir que produtos seriam objeto de análise e serviriam como exemplo e generalização para as análises subsequentes. Isto será conseguido com o conhecimento empírico do departamento de produção aplicado sobre os resultados de uma análise com recurso ao princípio de Pareto (ver 2.5).

Com recurso à base de dados de encomendas concluídas, BD1617, foi possível selecionar apenas os dados do último ano, especificamente de ordens de fabrico referentes à Fundição e, mais especificamente, à secção de acabamentos, designados por artigos “13” e com o tipo de ordem OPDP (zona de maquinação). Foi necessário remover ordens de fabrico de machos e ordens de maquinação, assim como ordens de teste e referências fictícias.

Tratamento de dados

Posteriormente, foram removidos os duplicados da lista de artigos resultantes. Isto revelou a produção de 613 referências diferentes no último ano. Tendo esta lista de códigos, foi utilizada a função “SUMIF()” do Excel para procurar na base de dados referida, as ordens de fabrico referentes a cada uma das 610 referências diferentes e somar as quantidades associadas, colocando-as numa coluna anexa à referência. De seguida, as referências foram organizadas de forma decrescente por quantidade. Foram então criadas duas colunas adicionais: uma que reflete a percentagem da quantidade total de artigos que cada referência representa e uma coluna para somar cumulativamente essas percentagens, constituindo então uma percentagem acumulada de artigos, até ao artigo em causa. Foi criada uma coluna data, inicialmente com o objetivo de assinalar quando esse artigo seria produzido e agilizar os trabalhos para que a informação de produção desses artigos pudesse ser recolhida mas graças ao método de gravação da produção tornou-se bastante exequível recolher essas informações em tempo real, não sendo necessário priorizar alguns artigos em detrimento de outros ou um planeamento detalhado dos momentos em que essa recolha ocorreria. Esta coluna passou a ser usada para anotar a data em que

foram recolhidas as informações o que rapidamente também se revelou redundante já que as gravações continham também essa informação anexada.

Tabela final

Abaixo podemos ver um excerto da tabela criada e que acompanhou diariamente o investigador no desenvolvimento desta dissertação, recorrendo a ela sempre que ordens de fabrico se encontravam nas células de acabamento.

Tabela 5 - Tabela de referências resultante do princípio de Pareto (excerto)

Cod. Artigo	Descrição Artigo	Quantidade	Quantidade (%)	Quantidade Acumulada (%)	DATA
13004501	MSL-JA0001A08-	2698	3%	3%	
13004461	PCA-AE0080A07-	1988	2%	5%	
13005449	TMP-TH5379A07-	1975	2%	7%	
13004950	DSC-JS0005A08-	1761	2%	9%	
13005173	SUP-EN0509A07-	1576	2%	10%	

Seleção das referências a analisar

Para decidir o conjunto de itens que deveriam ser considerados mais relevantes, utilizando o princípio de Pareto (ver 2.5), esta informação foi representada num gráfico. No eixo dos xx figuram as diferentes referências, no eixo dos yy principal está representada a quantidade total produzida de cada referência enquanto no eixo secundário dos yy encontra-se a quantidade acumulada de artigos. A linha laranja pretende assinalar parcialmente a regra de Pareto, estando desenhada ao nível dos 80% da quantidade acumulada de artigos. Ao contrário do que o princípio considera como ideal, e como seria expectável, estes 80% não correspondem exatamente a 20% das referências.

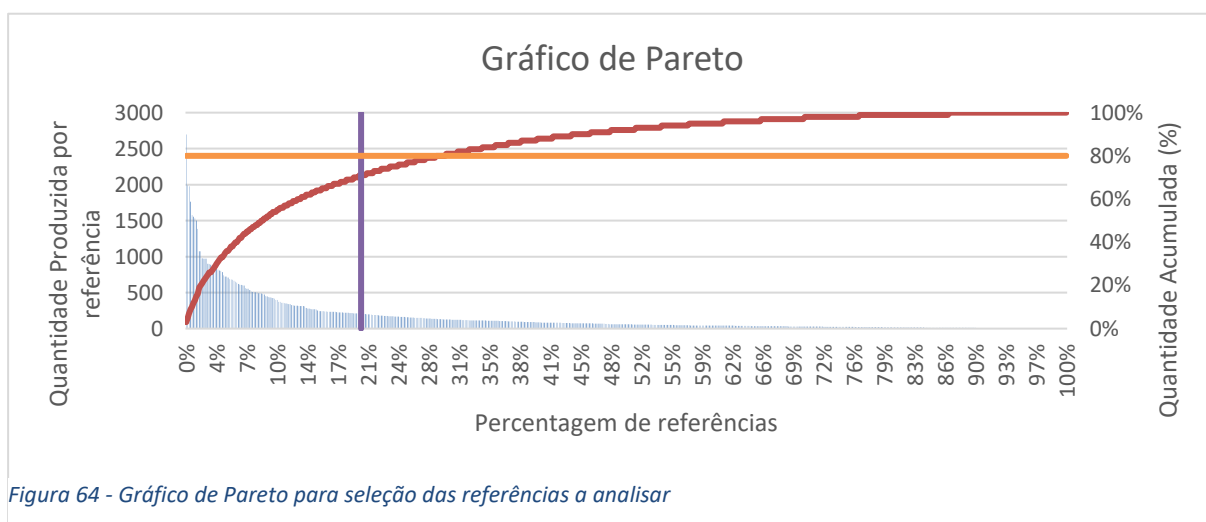


Figura 64 - Gráfico de Pareto para seleção das referências a analisar

Consultando a tabela, verificamos que seria necessário considerar 28,5% das referências para cobrir 80% da quantidade de produtos ou, por outras palavras, 174 referências.

Tabela 6 - Excerto da lista resultante de Pareto: 80% da quantidade produzida

Cod. Artigo	Descrição Artigo	Somatório	% qtd acum	% referências
13006987	CRC-CK0031	135	79%	28.4%
13006986	TMP-CK0034	134	80%	28.5%
13006835	FLG-SI1008	133	80%	28.7%

Também podemos concluir, pela tabela 7 e pela linha vertical vermelha do gráfico, que considerando apenas 20% das referências, como o princípio indica, seria possível abranger 71% da quantidade produzida.

Tabela 7 - Excerto da lista resultante de Pareto: 20% das referências produzidas

Cod. Artigo	Descrição Artigo	Somatório	% Qtd acum	% referências
13000832	FLG-MR4800A07-	205	71%	19.8%
13002169	LGA-SK2227A07-	204	71%	20.0%
13000147	ANE-ALO417A07-	200	71%	20.2%

Após a elaboração e análise inicial da aplicação do princípio de Pareto, definiu-se, em diálogo com a diretora de produção, que a recolha de informação será realizada faseadamente, focando os esforços em apenas 10% das referências, ou 61 referências, como visível na tabela 8. No entanto, quando for possível, devem ser recolhidos dados também das restantes 18,5% das referências para atingir os 28.5% das mesmas, que representam 80% de artigos produzidos.

Tabela 8 - Excerto da lista resultante de Pareto: Seleção da amostra inicial a analisar

Cod. Artigo	Descrição Artigo	Somatório	% Qtd. Acum.	% Referências
13004464	PCA-AEF125A07-	431	53%	9.8%
13007210	PCA-TA9223	423	54%	10.0%
13000902	FLG-MR8500	416	54%	10.2%

4.1.4 Validação dos tempos de operação no sistema informático

O planeamento automático de produção é um dos objetivos da empresa. No entanto, será necessário um nível de normalização e de informação bastante superior ao atual, para além da implementação de

vários conceitos *Lean*, para que seja eficaz. Tendo em conta essas carências, decidiu-se que por já se possuir um elevado número de registos sobre os tempos de cada operação, em cada artigo, o passo a realizar imediatamente era a seleção e validação crítica dos tempos registados. Estes dados e validações ocorrem internamente ao sistema informático, não sendo necessário exportar ou importar informação adicional. Foram realizados com a ordem de prioridade gerada pela análise de Pareto (cap. 4.1.1) e pelas encomendas futuras. Um excerto da lista está representado na próxima figura:

Ref. Artigo	Lixagem			Rebarbagem	Bancada Acabamento	Corte			Val. Registos	Act. Gamas Operatórias	NOTAS	% Concluído
	Fita	Disc	Rota			Disco	Fita	Horizont				
FLG-MH4543				1 tempo inválido				1 reg inv				96%
FLG-MH3845												
FLG-MH3868												
FLG-MH3867												
FLG-MH4183								1 reg inv				
FLG-												
FLG-SI0176					3 reg inv							
FLG-SI1221												
FLG-JD0954												
FLG-SI0341												
TMP-TH537												
FLG-SI0120	2 versoes							2 versoes		2 versoes. Ambas validadas. Ambas so lixifita e corteifita lixifita e corteifita apenas numa das 2 versoes		
FLG-SI1334												
FLG-SI1395												
PCA-MK0659												
PCA-MK0661												
PCA-MK0663												
FLG-SI1422												
FLG-SI0804												
CPL-HP4020												
PCA-MK0819												
TMP-MK0103												
FLG-SI0805												
PCA-MK0819												

Figura 65 - Lista de referências validadas

O processo propriamente dito consistiu em copiar, da lista em Excel, o código do artigo, pesquisá-lo na base de registos de trabalho, analisar cada registo e fazer, mental e aproximadamente, um quociente entre a quantidade produzida e o tempo registado, comparar esse quociente (a taxa média de produção) com os quocientes dos restantes registos desse mesmo artigo para determinar se esse registo é plausível e se deve ser validado (excluindo, por exemplo e exagerando, lotes de 100 peças registados em 2 segundos ou em 10 dias). De seguida era necessário confirmar que o início e fim desse registo se encontram no mesmo dia e que não incluem a hora de almoço. Após este processo, o registo é validado. Depois de validar vários registos para cada operação e artigo, a média resultante é inserida na gama operatória, podendo ser incluída nas O.F.'s futuras desse artigo, anexado a cada operação. Isto não automatiza, de todo, o planeamento de produção nem permite saber o tempo de atravessamento das células por inúmeras razões, como a produção em lotes.

4.1.5 Automatização da validação dos tempos de operação no sistema informático

Para preparar o sistema no sentido de um planeamento automático de produção, ou, a curto prazo, para estimar o tempo de processamento útil requerido na secção de acabamentos de fundição, serão validados, manualmente, registos de tempos de operação relativos a 576 referências.

Rapidamente ficou claro que, tendo validado as operações de cerca de 600 referências em 2 semanas, seriam necessárias cerca de 18 semanas adicionais para concluir todas as validações apenas das referências já existentes. Isto seria um processo que iria requerer mão-de-obra relativamente especializada em gestão da produção, que é extremamente limitada já que apenas a diretora de produção, técnica de produção e um estagiário teriam capacidades para realizar estas validações e seria também necessário que estes tivessem disponibilidade total para manter o ritmo de validações referido e concluir as mesmas dentro das 18 semanas estimadas.

Tendo em conta esta perceção, foi colocada a questão ao departamento de produção sobre as validações serem realizadas automaticamente pelo sistema, introduzindo as mesmas condições que estavam a ser realizadas manualmente. Isto permitira poupar uma enorme quantidade de mão-de-obra e faria com que os dados anteriores fossem validados e introduzidos nas gamas operatórias exponencialmente mais rápido e fazendo com que registos futuros sejam validados em tempo real. Foi também colocada a questão se não seria, pelo menos, possível criar uma coluna no sistema que realizasse o quociente entre as quantidades validadas e o tempo requerido, para agilizar e aumentar a qualidade do processo manual de validação. Tanto o departamento de produção como o departamento informático negaram esta possibilidade, mas a “semente” da ideia permaneceu.

Após as duas semanas, e após a empresa que fornece suporte informático ter vindo à fábrica, foi descoberto que afinal a validação e inserção na gama operatória dos tempos de operação corretos era facilmente executável e não faria sentido alocar mão-de-obra para isso. Esta capacidade poupou à empresa pelo menos 18 semanas adicionais de mão-de-obra especializada, totalizando 720 horas, apenas para a validação das referências já existentes.

4.2 Definição de KPI's

O cálculo de KPI's, nomeadamente do Tempo de Ciclo para cada operação e para cada posto e de outras métricas e índices relevantes para o conhecimento, definição e gestão do sistema de produção poderá então ser realizado, com base nos dados presentes nas bases de dados referidas e recorrendo a fórmulas e funcionalidades embutidas no Excel. Esta etapa fundamentou-se tanto nos princípios generalizados do Lean (2.1) como os mais específicos presentes no capítulo 2.1.4.

4.2.1 Lead time

Analogamente, os dados pretendidos relativamente à procura, nomeadamente o *Lead Time* e o cumprimento de prazos podem agora ser calculados de acordo com os princípios referidos em 2.1.1 e 2.1.2.

Dados

O *Lead Time* da seção de células, ou de Acabamentos de Fundição, é determinado com base em duas fontes de dados, tanto por média aritmética de Ordens de Fabrico como pela utilização de um fator de quantidade ponderada. É também avaliado o *Lead Time* ao longo do tempo, desde que existem registos no sistema, pelas mesmas variáveis referidas anteriormente, por forma a evidenciar qualquer ciclicidade, sazonalidade ou tendência na procura.

Com o objetivo de determinar o *Lead Time* da seção de Fundição e Acabamento será, inicialmente, avaliado o *Lead Time* que está a ser atualmente estimado pelo departamento de produção, através das ordens de fabrico atuais que integram a BD71.

Das 68 ordens de fabrico analisadas na BD71, 52 contêm ambas as datas de início e conclusão pretendidas e referentes a 3119 produtos finais, permitindo assim determinar uma média do tempo de *lead time* considerado pelo departamento de produção. Estas variáveis estão presentes na maior parte das O.F. e dos artigos em geral, como é representado pela figura abaixo. No entanto, é de referir a ausência desta informação em 17,6% das O.F. e em 11.5% dos artigos.

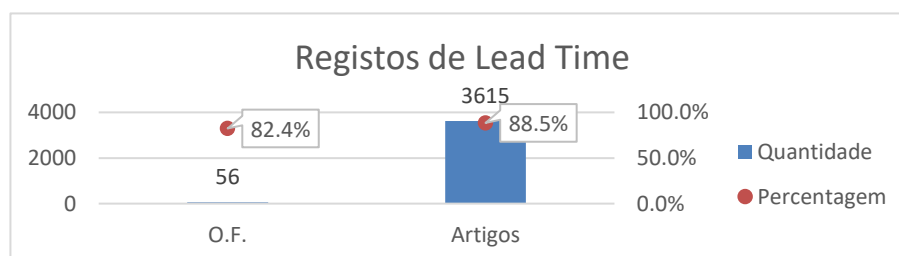


Figura 66 - Quantidade e percentagem de registos em O.F.s e em artigos (BD71)

Após isso, este parâmetro será novamente avaliado, mas tendo em conta a vasta base de dados de encomendas concluídas no passado, recorrendo à BD1617. É de referir que os cálculos relativos a esta última base de dados irão proporcionar um valor altamente baseado num passado anterior às mais recentes alterações do fluxo de valor, que reduziram significativamente o *lead time* para cerca de 22 dias, segundo o departamento de produção.

Para obter dados fiáveis e que possam ser adequados à realidade da fábrica, foi necessário realizar uma filtragem adicional à BD1617 específica para este propósito. Isto deve-se à presença de inúmeros *outliers* no sistema, para além de incongruências e erros nos dados como, por exemplo, registos em que o *lead*

time fosse de 0 ou 1 dias, por exemplo. É também de mencionar a elevada dispersão, representada na figura abaixo.

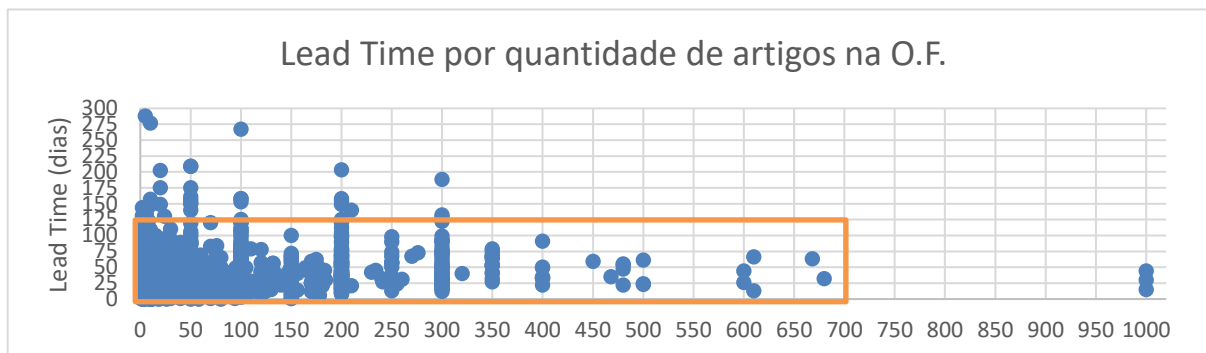


Figura 67 - Gráfico de dispersão do Lead Time pela quantidade de artigos na O.F.

Os dados que são, de grosso modo, os que se encontram dentro do quadrado, ou seja, abaixo de 125 dias e de 700 artigos.

O *lead time* será calculado com base em médias por O.F., mas também com base na quantidade incluída em cada uma delas, dando, portanto, neste caso, maior peso ponderado no cálculo às O.F.s com maior quantidade. O mesmo será realizado utilizando o peso como variável de ponderação. O objetivo destes cálculos ponderados é determinar se, e como, estas duas variáveis têm influência no *lead time* final das encomendas. Este procedimento será útil na escolha de variáveis a incluir na criação de uma equação por regressão linear, que proporcionará uma quantificação mais completa do *Lead Time* em cada encomenda.

Estimativas atuais do Departamento de Produção

O *Lead time* médio, por ordem de fabrico, entre a criação de uma O.F até à conclusão do produto final é de 22 dias. Se tivermos em conta a quantidade envolvida nas mesmas ordens de fabrico como peso ponderado, a média de *lead time* é 26 dia. Para calcular o mesmo índice utilizando o peso como fator ponderador, foram filtradas as sete O.F. que não continham esta informação. Tendo então em conta tanto a quantidade, como o peso unitário dos artigos envolvidos nas O.F. analisadas, o *lead time* médio teórica é de 22 dias (amostragem em análise de 433kgs).

Estas estimativas estão representadas na figura abaixo:

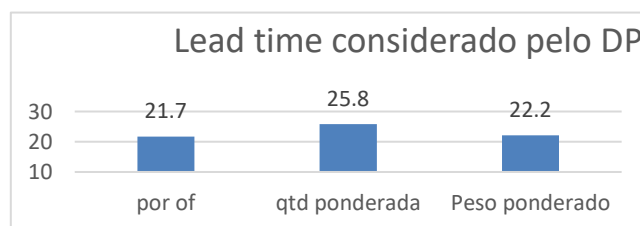


Figura 68 - Lead Time estimado pelo Departamento de Produção

Como o *lead time* aumenta ao utilizar a quantidade como peso ponderado, é provável que a quantidade de artigos tenha influência na estimativa de data de conclusão estipulada pelo departamento de produção. Às O.F.s com maior quantidade normalmente são atribuídos prazos mais alargados.

Pela mesma lógica, estes resultados poderão indicar que uma variação de peso não influencia a estimativa do *Lead Time* por parte do departamento de produção. Isto pode dever-se ao facto de os itens mais pesados serem, por norma, produzidos também em lotes mais pequenos o que contribui para a diminuição do *lead time* estipulado.

Em todo o caso, de acordo com a amostra, será de esperar que a previsão realizada pelo Departamento de Produção, sobre o *lead time* do processo de fundição e acabamento, seja de 22 dias. No início desta análise foi referido que o departamento considerava que o *lead time* tivesse sido reduzido para 22 dias. Desta forma, faz sentido que as estimativas nas O.F. mais recentes sejam iguais ou superiores a 22 dias, para antecipar encomendas que possam requerer mais *lead time* do que a média.

Lead time real nos últimos anos

Pela BD1617, o *lead time* para os produtos acabados, desde a criação da O.F. que as origina é de 35 dias por O.F. ou de 45 dias à luz da média ponderada. Isto indica, para além dos úteis valores quantitativos de *lead time*, que as O.F. que incluem maior quantidade resultaram num maior período real de *lead time*. A amostra conta com 127470 artigos totalizando 59782 dias de *lead time* equivalente. Isto traduz-se num *lead time* real de, em média, 11 horas e 36 minutos por artigo a produzir.

Lead time detalhado

Firmação da O.F. após criação

O tempo médio entre a criação e firmação de uma O.F. é de aproximadamente 2 horas e 29 minutos por O.F., pela BD71. Se utilizarmos a quantidade de artigos associada a cada O.F. como fator ponderador, este valor sobe para cerca 3 horas e 36 minutos (ver próxima figura).

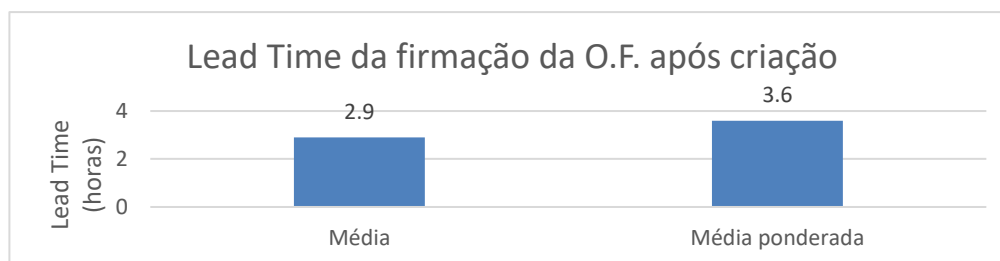


Figura 69 - Lead Time de firmação da O.F. após criação (média aritmética e ponderada).

No que toca à média por artigo, esta etapa requer 57 minutos por unidade.

O aumento do *lead time* associado a O.F.s de maior quantidade e maior rapidez de escoamento de O.F.s de pequenas quantidades é pouco significativo (por comparação de ambos os índices em outras etapas)

no *lead time* da operação de firmação das O.F. Pode refletir uma necessidade de maior ponderação em firmar O.F.'s de elevadas quantidades.

Este cenário é bastante diferente quando calculamos o mesmo *Lead Time* pela BD1617, resultando numa média de 1 dia e 21 horas. Isto poderá refletir incongruências entre o sistema de informação e as O.F.s propriamente ditas que circulam na produção ou ser resultado das referidas melhorias recentes no fluxo de valor dos produtos (cap. 3.7),

Lead time para início de produção após firmação da O.F.

Foi calculado o *Lead Time* médio para o início da produção após firmação da O.F. A base de dados BD71 contém, para este fim, informação relativa a 47 O.F.s. O valor do *lead time* médio para início da produção, após criação da O.F. é de aproximadamente 8 dias por O.F. ou 6 dias, no caso da média ponderando a quantidade de artigos envolvidos nas mesmas O.F.s. O facto de o *lead time* para início da produção após criação da O.F. ser menor quando a quantidade de cada O.F. é utilizada como peso ponderado ser menor do que sem o fator de ponderação indica que as ordens que envolvem maiores quantidades demoram menos tempo a ser lançadas em produção. Isto pode ser por priorização da encomenda ou pelo fato de serem as mais prováveis de serem produzidas na linha automática.

O mesmo cálculo realizado na base de dados BD1617 revela uma média real de *Lead Time* para este processo de 13 dias, que contrasta fortemente com a média aproximada de 8 dias por O.F., estipulada pelo departamento de produção. Isto é provavelmente derivado dos dados anteriores às melhorias no fluxo de valor introduzidas recentemente, que permitiram que o *Lead Time* fosse reduzido, o que é refletido nas previsões atuais (BD71) do departamento.

Base de Dados	<i>Lead Time</i> / O.F.	<i>Lead Time</i> / Qtd. Ponderada
BD71	8	6
BD1617	13	-

Tabela 9 - Lead Time de início de produção após firmação da O.F.

Conclusão da produção após ser iniciada

A média de tempo entre o início da produção e a sua conclusão efetiva é de 15 dias por O.F. ou de 17 dias, se tivermos em conta a média ponderada de quantidade e dos dados reais da BD1617.

Como a média ponderada é significativamente maior que a média por O.F., é evidente que os valores reais do *lead time* da conclusão dos artigos estão relacionados com a quantidade a produzir. Os lotes de maior quantidade resultam num *lead time* efetivo ligeiramente superior.

Tendo em conta a importância da quantidade de artigos para o *lead time* real de produção, a seguinte métrica pode ser bastante útil, a curto prazo, a nível de planeamento de produção: o *lead time* final dos

produtos finais após início efetivo de produção é, em média, equivalente a 5 horas e 25 minutos por artigo.

Variação do *Lead Time* ao longo do tempo

Para perceber se a altura do ano em que a encomenda era realizada tinha influência no *Lead Time* da mesma, foi calculada uma média por trimestre a partir de todos os registos existentes no passado. Analogamente à análise anterior, será calculada uma média do *Lead Time* atribuindo a mesma importância a cada O.F. e uma outra média utilizando a quantidade como fator ponderador. Na figura 70 é visível um claro decréscimo do *Lead Time* no segundo semestre de cada ano. No entanto, ambas estas variações podem apenas ser resultantes da encomenda de artigos bastante diferentes, embora seja altamente improvável que este fator seja completamente responsável pela variação.

Na figura são apresentadas duas curvas polinomiais para auxiliar a avaliação da variação das duas variáveis no tempo.

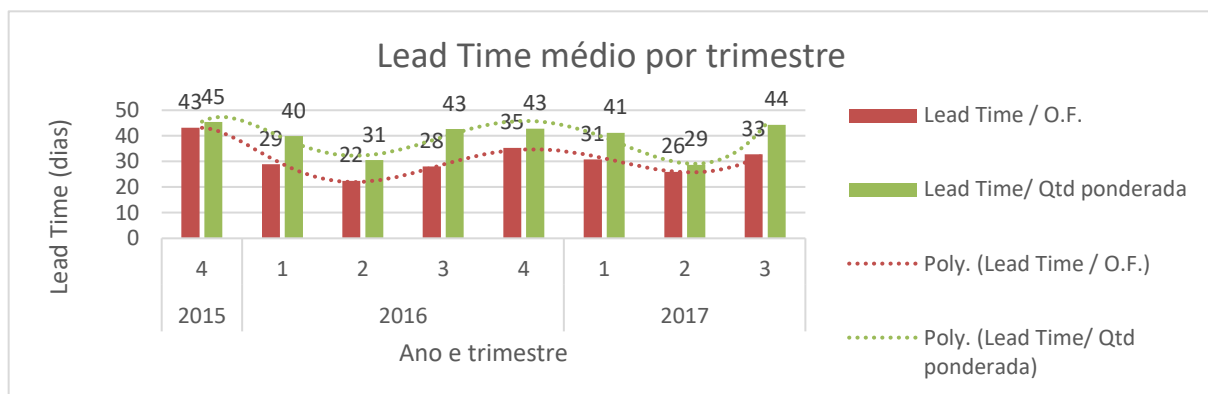


Figura 70 - Lead Time médio por trimestre, por média simples e por quantidade ponderada

Avaliação JIT das encomendas

A análise ao ajuste das estimativas será realizada com base na BD1617, que contém 3470 O.F.'s de interesse, referentes a 141065 artigos. OS dados revelam que 75% das O.F.s são concluídas dentro da data estipulada. Isto pode simplesmente significar que a conclusão da produção se dá após o prazo definido pelo departamento e não pelo cliente, podendo ser resultado apenas de uma margem de segurança aplicada. Curiosamente apenas 2% das encomendas são concluídas no dia. Estes dados encontram-se representados graficamente na próxima figura.

As encomendas que são concluídas antes da prazo, 23%, resultam na necessidade de armazenamento, constituindo *muda*. Apenas uma pequena parte das previsões se verifica. Isto revela que o prazo

estipulado não estima adequadamente, segundos os princípios JIT (cap. 2.1.2.), o *lead time* do processo de fabrico.

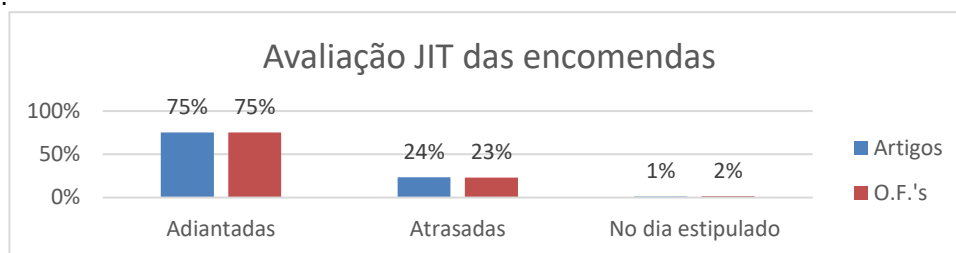


Figura 71 - Encomendas concluídas antecipadamente, após o prazo e no dia estipulado

Equação para o *Lead Time* de produção por regressão

Um dos objetivos mais importantes da investigação é definir o *Lead Time* dos produtos fundidos após início da produção. Isto permite otimizar o planeamento e os lançamentos de produção enquanto diminui a taxa de encomendas atrasadas e diversas formas de *muda*, *mura* e *muri*. Foi considerada a possibilidade de traduzir o *Lead Time* da conclusão de uma encomenda, após o início da produção, através de uma equação. Este procedimento foi realizado por regressão linear dos dados relativos às encomendas presentes na BD1617.

Esta equação foi concebida a título de utilidade e normalização na estipulação de datas de entrega para com o cliente e há que salientar que a metodologia, exatidão ou fiabilidade não são reconhecidas pela literatura pelo que qualquer prova da sua eficácia poderá apenas vir de uma análise futura ao seu ajuste à realidade. As várias opções para esta equação serão, no entanto, analisadas à luz do seu hipotético cumprimento face a ordens antigas, caso tivesse sido aplicada. Serão testadas as relações de quantidade de artigos e de peso dos artigos nas encomendas com o seu *Lead Time* associado. Será desenvolvida uma equação de sexto grau útil aquando da utilização com dispositivos eletrónicos e uma equação linear que pode, por exemplo, ser facilmente calculada mentalmente para obter estimativas rápidas pelos departamentos comercial e de produção.

Devido ao constante trabalho de renovação que tem vindo a ser realizado pela empresa, e ao facto de este modelo ter como objetivo antecipar o *lead time* de futuras encomendas, foram utilizados os registos mais recentes e referentes ao último ano. Como podemos ver no diagrama de *boxplot* da próxima figura, todos os *outliers* foram removidos da amostra. O *lead time* médio da mesma são 28 dias enquanto a mediana é de 26 dias. Os seguintes intervalos compreendem, cada um, 25% dos valores de *lead time* médio determinados: 4 a 19 dias, 19 a 26 dias, 26 a 37 dias e 37 a 63 dias.

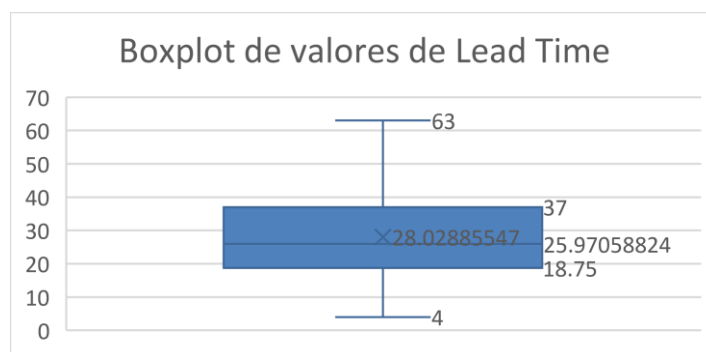


Figura 72 - Boxplot de valores de Lead Time

Foram testados vários modelos de formulação deste *Lead Time*, com o intuito de encontrar o que mais se adequava ao conjunto de dados. O grau de ajuste da equação aos dados permite avaliar a qualidade do modelo em traduzir os dados e, conseqüentemente a taxa de cumprimento que a sua aplicação teria tido no passado. Devido à influência de vários fatores no *lead time* de produção (para além de somente a quantidade envolvida), é expectável que nenhum modelo consiga traduzir este período com um grau elevado de garantia. Não obstante, é necessário encontrar uma forma de conhecer e melhorar as estimativas de *Lead Time*. Na tabela 10 são descritas as equações referentes aos modelos mencionados assim como o seu nível de ajuste à amostra. Na figura 73 é representada a linear. A variável “Quantidade” é a variável “x” enquanto o *Lead Time*, em dias, é a variável dependente “y”.

Tabela 10 - Formulas para o Lead Time resultantes de diversas regressões e o seu grau de ajuste.

Tipo	Equação	Ajuste
Polinomial de 6º Grau	$y = 3E-15x^6 + 4E-11x^5 - 4E-08x^4 + 1E-05x^3 - 0.0018x^2 + 0.0992x + 12.496$	$R^2 = 0.7066$
Linear	$y = 0.0407x + 12.236$	$R^2 = 0.652$
Exponencial	$y = 12.757e^{0.0021x}$	$R^2 = 0.579$
Logarítmica	$y = 2.3242\ln(x) + 6.4949$	$R^2 = 0.348$
Potência	$y = 9.2342x^{0.1267}$	$R^2 = 0.3445$

O modelo polinomial, embora mais complexo, é o que traduz mais fielmente os dados. Envolve o uso de dispositivos de cálculo ou do gráfico impresso e poderá facilmente ser usado em ambulatório ou em ambiente de escritório com recurso a um computador, telemóvel ou calculadora.

No entanto, um outro modelo que produz fórmulas muito mais simples: o modelo linear, representado na figura abaixo, revela-se a segunda melhor opção em termos de qualidade de adaptação aos dados e pode ser bastante interessante num ambiente de estimativas rápidas (ex: conversação com o cliente).

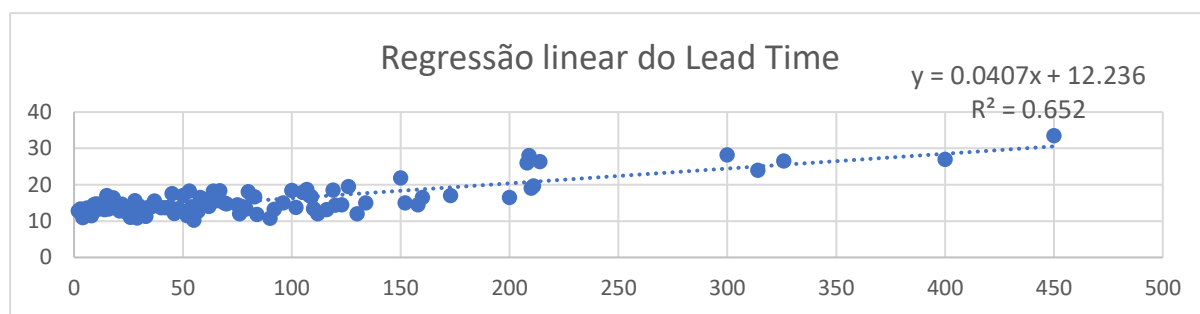


Figura 73 – Gráfico, equação e ajuste da regressão linear do Lead Time

Poderíamos usar este modelo de uma forma simplista: o *lead time* dos artigos fundidos é igual a 12 dias obrigatórios mais 1 dia por cada 25 artigos envolvidos.

$$Lead\ Time \approx 0,04 \times (Quantidade\ de\ artigos\ na\ O.F.) + 12$$

A maior falha da equação linear em traduzir os dados é, provavelmente, a soma de um grande período obrigatório base. O modelo polinomial de 6º grau falha, com os dados disponíveis, em prever *lead times* plausíveis para quantidades superiores a 600 artigos pelo que o modelo linear pode ser um complemento bastante eficaz para estas situações excecionais.

Avaliação do nível de serviço resultante da aplicação hipotética da equação linear

Com o objetivo de sintetizar e determinar o grau de cumprimento da equação linear, a mesma foi aplicada à base de dados a partir da qual foi criada, comparando de seguida o nível de cumprimento de prazos que resultaria se a previsão tivesse sido efetuada tendo por base essa mesma equação.

As equações determinadas pretendem definir o *Lead Time* médio, pelo que apenas garantirão cumprimentos de prazos de cerca de metade das O.F. Como tal, foi necessário colmatar o nível de serviço insatisfatório no modelo. Optou-se por adotar um coeficiente de segurança que permita que as previsões garantam o cumprimento de um maior nível de O.F..

$$Lead\ Time = (0,0407 \times (Quantidade\ de\ artigos\ na\ O.F.) + 12,236) \times C.S.$$

Foram testadas margens desde 0% de tempo acrescido até 50% de acréscimo em intervalos de cinco pontos percentuais, que se traduzem em multiplicar a equação linear original por valores numéricos compreendidos entre 1 e 1,5. O nível de serviço garantido pela equação, utilizando cada um dos coeficientes, foi avaliado em percentagem de valores de *lead time* médio real que se encontram dentro do prazo limite estabelecido pela equação, em relação aos valores médios reais da amostra.

Tabela 11 - Margens e coeficientes, taxa de cumprimento de prazos de O.F.s e aumento do nível de serviço

Margem	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
C.S.	1	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
O.F.	62%	65%	67%	69,3%	70,9%	72,3%	74,6%	76%	77,2%	78,8%	80,6%
Aumento N.S.	-	2,8%	2,0%	2,3%	1,6%	1,4%	2,3%	1,4%	1,2%	1,6%	1,8%

Esta avaliação foi também realizada em percentagem de artigos produzidos dentro do prazo e fornece resultados similares, embora ligeiramente superiores, como podemos ver na tabela abaixo.

Tabela 12 - Margens e coeficientes, taxa de cumprimento de prazos de artigos e aumento do nível de serviço

Margem	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
C.S.	1	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
Artigo	64,6%	66,9	69,2%	71,6%	73,3%	75,0%	77,0%	78,8%	79,8%	81,3%	82,9%
Aumento N.S.	-	2,3%	2,3%	2,4%	1,7%	1,7%	2%	1,8%	1,0%	1,5%	1,6%

Apesar de aumentos até 50% em relação ao valor médio não traduzirem num acréscimo exorbitante de O.F.'s ou artigos que passam a ser produzidos dentro do prazo, este facto deve-se, em parte, à existência de inúmeros *outliers* neste modelo causados por propriedades do artigo, organizacionais ou por lapsos de registo. Por curiosidade, para atingir 90% de nível de serviço em O.F.'s seria necessário aumentar o valor de tempo recomendado pela equação por, pelo menos, 2,1 (utilizando um C.S.=2,1). Estes níveis de serviço contrastam com o nível de serviço verificado através da análise ao sistema informático de 77% de encomendas concluídas antes ou dentro do prazo.

Como esta equação foi calculada com base num período em que o *Lead Time* era superior, devido às recentes melhorias no fluxo de valor dos produtos, a taxa de cumprimento derivada da aplicação desta equação em futuras encomendas será maior do que o calculado em cima, para as encomendas passadas. Na verdade, se o planeamento for melhorado, o nível de serviço será provavelmente também aumentado. Isto deriva deste nível de serviço ser calculado pelo *lead time* real de manufatura que, por sua vez, terá valores menores se a qualidade do planeamento aumentar. Ademais, uma menor margem de erro nas previsões previne atrasos consequentes nas restantes O.F. É importante referir que a tendência do *lead time* é ligeiramente decrescente devido à melhoria contínua realizada na fábrica pelo que o nível de serviço calculado na tabela anterior, e irá provavelmente crescer continuamente. Será assim proveitoso reavaliar os dados disponíveis e atualizar o modelo algum tempo após *mudanças* significativas para permitir reduzir também o número de O.F. concluídas antecipadamente.

4.2.2 Tempo de Ciclo

O tempo de ciclo foi a análise mais extensiva no trabalho elaborado, principalmente no que diz respeito a recolha, registo, análise, cálculo e interpretação de dados. É um componente de levado interesse para a organização e essencial para a produção segundo a filosofia *Lean* (2.1.2), nomeadamente para adequar a produção ao *Takt Time*.

Origem dos Dados

Não havendo qualquer informação fidedigna a respeito da produção na zona de acabamento ou do seu desempenho foi necessário recorrer a todos os dados necessários à quantificação correta do tempo de ciclo, para cada posto de trabalho e relativamente a uma amostra suficientemente alargada de referências previamente selecionadas pela análise ABC (4.1.1). Para tal, foi necessário recorrer às dezenas de horas de vídeos e os 1240 registos introduzidos manualmente, de tempos de todas as atividades relacionadas com a produção, presentes na BDTEMPOS, nomeadamente às quantidades produzidas e respetivos períodos.

É de salientar que, no decorrer desta análise e antes da sua conclusão, foi implementado o primeiro posto adicional: o acabamento na célula 1, pelo que neste capítulo estarão disponíveis dados relativos a esse posto de trabalho, embora numa amostragem reduzida. No entanto, a implementação do segundo posto com a mesma finalidade foi posterior ao término do estudo, pelo que não serão apresentados quaisquer dados relativos ao Tempo de Ciclo desse segundo posto implementado, o corte na célula 1. O balanceamento e a implementação dos novos postos de trabalho pode ser consultado no capítulo 4.3 e tem em conta a evolução destas alterações.

Cálculo das quantidades produzidas

As quantidades produzidas, para cada referência, em cada posto de trabalho, ao longo das várias gravações realizadas foram sintetizados numa tabela. Para que este processo fosse fidedigno e agilizado foi utilizada a função SUMIFS() para somar apenas as quantidades específicas a cada célula, cada posto de trabalho e cada referência, como podemos ver no exemplo abaixo.

		Célula	
		1	1
Referência		Lixa 1	Lixa 2
AM 1	Média	"Produzir"	28
AM 2	Média	9	5

Figura 74 - Exemplo das condições envolvidas na função generalizada geradora das quantidades.

A função percorre todas as colunas da base de dados e considera apenas as que dizem respeito às três condições evidenciadas na imagem assim como ao critério "Produzir" na coluna de tipo de atividade. Caso todas correspondam às condições a função soma essa quantidade e continua a somar cumulativamente todos os casos que verifiquem as condições. Isto acontece para cada referência, célula e posto de trabalho presentes na tabela abaixo.

Referência	Célula	1																	
		Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte	Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte	Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte	Grande	Lixa Grande	Rebarbagem	Rebarbagem	Grenhaladora	
AM_1	Média	29	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM_2	Média	9	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM_3	Média	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AM_4	Média	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	45	
AM_5	Média	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	
AM_6	Média	0	0	0	14	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AG_1	Grande	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AG_2	Grande	0	0	0	0	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VG_1	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	0	0	0	0	
VG_2	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	
TP_1	Pequena	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CP_1	Pequena	0	0	0	10	22	23	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	
CP_2	Pequena	0	0	0	0	0	0	0	0	11	8	11	0	0	0	0	0	45	
CG_1	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
OP_1	Pequena	0	0	0	81	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_2	Pequena	0	0	0	4	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_3	Pequena	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_4	Pequena	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_5	Pequena	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_6	Pequena	0	0	0	9	0	0	0	4	7	18	0	0	0	0	0	0	0	
OP_7	Pequena	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_8	Pequena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_9	Pequena	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
OP_10	Pequena	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OM_1	Média	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OM_2	Média	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PG_1	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	
PG_2	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	
PG_3	Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	
Nenhuma		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 75 - Total de artigos produzidos de cada referência, em cada célula e posto de trabalho

A função concreta utilizada encontra-se exemplificada abaixo:

```
=SUMIFS('Base de registros'!$E$2:$E$1809,'Base de registros'!$C$2:$C$1809,$A4,'Base de registros'!$G$2:$G$1809,C$2,'Base de registros'!$H$2:$H$1809,C$3,'Base de registros'!$K$2:$K$1809,"Produzir")
```

Cálculo do tempo de produção associado

Para calcular o tempo de produção associado às quantidades determinadas utilizou-se um processo similar, no que toca às condicionais introduzidas na função SUMIFS(), exceto que o somatório foi realizado, naturalmente, na coluna de duração da atividade. Uma diferença importante, que aumenta a complexidade da função necessária em relação à função de somatório das quantidades, é necessidade de a função subtrair as atividades do tipo “intervalo” e que tenha em conta que o início e fim do registo de dados não condiz com o início e fim de cada gravação. A função específica encontra-se discriminada abaixo.

```
=MAXIFS('Base de registros'!$J$2:$J$1904,'Base de registros'!$C$2:$C$1904,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1904,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1904,C$37) - (MINIFS('Base de registros'!$I$2:$I$1904,'Base de registros'!$C$2:$C$1904,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1904,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1904,C$37))-(SUMIFS('Base de registros'!$L$2:$L$1907,'Base de registros'!$C$2:$C$1907,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1907,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1907,C$37,'Base de registros'!$K$2:$K$1907,"Intervalo")) +MAXIFS('Base de registros'!$J$2:$J$1904,'Base de registros'!$D$2:$D$1904,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1904,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1904,C$37) - (MINIFS('Base de registros'!$I$2:$I$1904,'Base de registros'!$D$2:$D$1904,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1904,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1904,C$37))-(SUMIFS('Base de registros'!$L$2:$L$1907,'Base de registros'!$D$2:$D$1907,$A38,'Base de registros'!$G$2:$G$1907,C$36,'Base de registros'!$H$2:$H$1907,C$37,'Base de registros'!$K$2:$K$1907,"Intervalo"))
```

Abaixo, a tabela resultante da aplicação generalizada desta função:

Referência	Tambois	Célula																	
		1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	6	7	9		
		Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte	Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte	Lixa 1	Lixa 2	Bancada	Corte Grande	Lixa Grande	Rebarbagem	Rebarbagem	Grenalhadora		
AM_1	Média	26:46	27:17	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
AM_2	Média	06:59	06:43	13:47	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
AM_3	Média	03:01	03:29	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
AM_4	Média	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	04:10	00:00	00:00	00:00	20:08	00:00	00:00	21:10		
AM_5	Média	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	11:30		
AM_6	Média	00:00	00:00	00:00	08:36	11:17	09:03	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
AG_1	Grande	00:00	00:00	03:40	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
AG_2	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	27:14	23:06	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
VG_1	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	02:07	12:11	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
VG_2	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	12:46	00:00	00:00	00:00	00:00		
TP_1	Pequena	00:00	00:00	00:00	05:28	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
CP_1	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	16:46	15:11	16:24	00:00	00:00	00:00	00:00	23:33	00:00	00:00	00:00	00:00		
CP_2	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	06:50	00:00	00:00	00:00	19:31	12:17	15:18	00:00	00:00	00:00	00:00	21:10		
CG_1	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	04:41	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_1	Pequena	00:00	00:00	00:00	25:56	00:00	00:00	06:47	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_2	Pequena	00:00	00:00	00:00	01:49	08:13	02:44	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_3	Pequena	00:00	00:00	00:00	15:02	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_4	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	06:22	06:44	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_5	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	11:35	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_6	Pequena	00:00	00:00	00:00	06:53	00:00	00:00	09:53	09:00	15:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_7	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	08:13	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_8	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_9	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	18:17	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OP_10	Pequena	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	24:17	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OM_1	Média	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	07:55	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
OM_2	Média	00:00	00:00	00:00	03:34	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		
PG_1	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	26:30	00:00	00:00	00:00		
PG_2	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	25:38	00:00	00:00		
PG_3	Grande	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	26:14	00:00		
Nenhuma		00:00	00:00	00:00	00:00	10:17	00:00	00:00	25:58	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00		

Figura 76 - Tempo de produção total por referência, em cada célula e posto de trabalho

Cálculo do Tempo de Ciclo

Conhecendo, com elevada fiabilidade, as quantidades produzidas de várias referências ao longo das várias células e postos de trabalho, é agora possível determinar o tempo de ciclo em cada um deles e para cada uma das referências. Para tal, foi elaborada uma nova tabela que utiliza os dados relativos ao tempo total de produção necessário, proveniente da tabela supramencionada de tempos, e os dados relativos à quantidade produzida nesse intervalo de tempo. Dividindo então o tempo pela quantidade obtemos o tempo de ciclo (visível a verde na tabela). Foi também calculada uma média, para cada posto, dos tempos de ciclo que ocorreram no mesmo (representado a amarelo na tabela abaixo).

		Célula																	
		1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	6	7	9		
		L1	L2	B	C	L1	L2	B	C	L1	L2	B	CG	LG	R	R	GR		
		12:36:46 AM	12:37:29 AM	12:17:27 AM	1:07:18 AM	1:26:59 AM	1:04:43 AM	12:31:24 AM	1:15:53 AM	12:42:55 AM	12:39:28 AM	12:19:59 AM	12:56:27 AM	12:26:30 AM	12:25:38 AM	12:26:14 AM	12:53:50 AM		
		40	34	4	128	37	44	31	19	33	31	12	41	7	12	8	144		
		12:03:12 AM	12:05:48 AM	12:06:16 AM	12:07:53 AM	12:09:15 AM	12:11:47 AM	12:04:49 AM	12:12:26 AM	12:05:23 AM	12:04:48 AM	12:06:04 AM	12:06:42 AM	12:03:47 AM	12:02:06 AM	12:03:17 AM	12:01:09 AM		
		01:04	01:56	04:08	01:08	01:51	04:58	01:36	03:06	01:21	01:36	03:02	02:14	03:47	02:08	03:17	00:23		
AM_1	Média	00:55	00:58	04:36															
AM_2	Média	00:47	01:21																
AM_3	Média	01:00	03:29														00:28		
AM_4	Média									00:42					03:21				
AM_5	Média																00:13		
AM_6	Média																		
AG_1	Grande			03:40	00:37	03:25	01:49												
AG_2	Grande					03:24	02:34												
VG_1	Grande									00:36	02:26								
VG_2	Grande													02:33					
TP_1	Pequena			01:06															
CP_1	Pequena				00:41	00:41	00:43						00:47						
CP_2	Pequena									01:14	01:32	01:23					00:28		
CG_1	Grande												04:41						
OP_1	Pequena				00:38			01:21											
OP_2	Pequena				00:27	00:10	01:22												
OP_3	Pequena				01:04														
OP_4	Pequena					01:35	03:22				05:47								
OP_5	Pequena									02:28	01:17	00:50							
OP_6	Pequena				00:46														
OP_7	Pequena							02:44											
OP_8	Pequena												02:37						
OP_9	Pequena																		
OP_10	Pequena																		
OM_1	Média							01:59			03:28								
OM_2	Média				03:34														
PG_1	Grande													03:47					
PG_2	Grande														02:08				
PG_3	Grande															03:17			
Nenhuma																			

Figura 77 - Tempo de ciclo por referência, em cada célula e posto de trabalho

Para mais fácil apresentação dos dados, foi criado um gráfico com as referidas médias de TC para cada posto de trabalho, ilustrado de seguida.

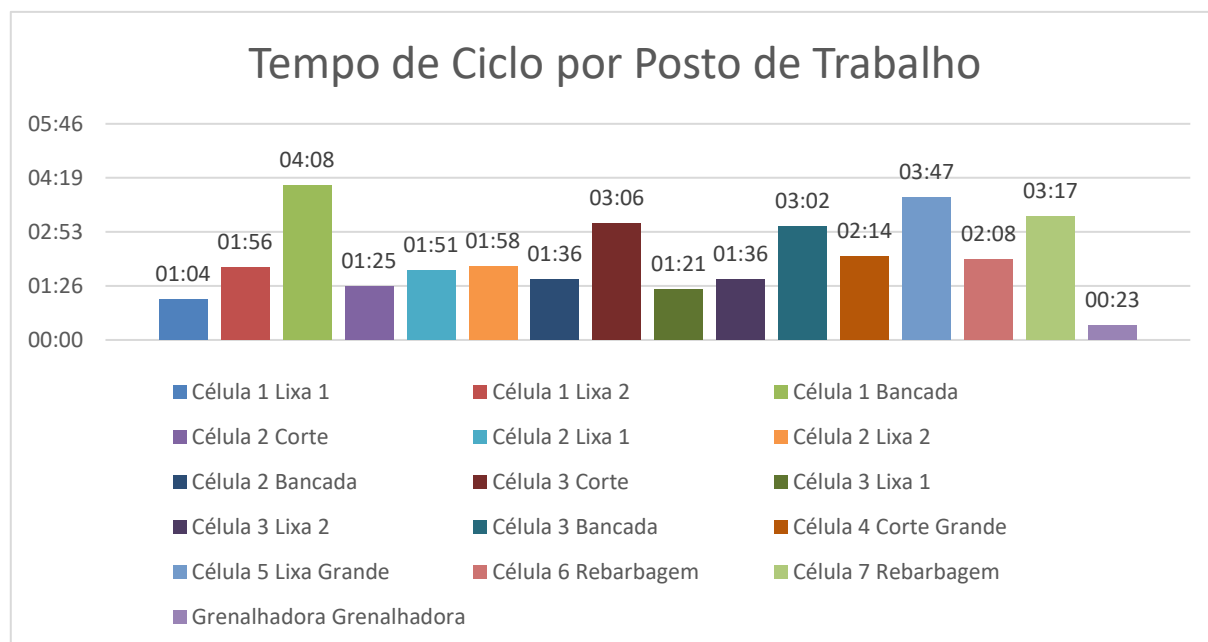


Figura 78 - Tempo de Ciclo por posto de trabalho

Foi calculada uma média por tipo de operação, resultando no Tempo de Ciclo holístico e efetivo do sistema para cada tipo de operação, tendo em conta que existem diferentes números de cada posto de trabalho. Para esta média por operação, não serão considerados os dados relativos à bancada da célula 1 apresentados acima, por este posto ter sido implementado com base nos dados determinados precisamente nessa média de TC por operação. O Tempo de Ciclo por operação do sistema de células original e antecedente a quaisquer alterações resultantes das análises presentes nesta dissertação encontra-se representado abaixo.

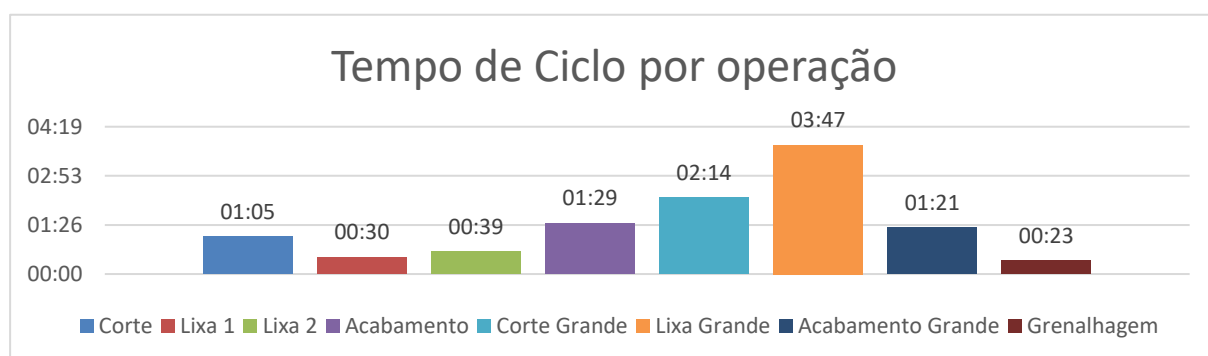


Figura 79 - Tempo de Ciclo por operação

Torna-se imediatamente claro que as operações relacionadas com peças de elevadas dimensões apresentam tempos de ciclo bastante superiores. A quantidade processada por este tipo de células é infimamente mais pequena do que a quantidade de processamento realizado nas células 1,2 e 3, às quais correspondem as operações “Corte”, “Lixa 1”, “Lixa 2” e “Acabamento”. Focando a análise nestas

células, é apresentado um novo gráfico do TC para as células de maior interesse para a presente dissertação. Este gráfico será de elevada importância para um posterior balanceamento das células, analisado no capítulo 4.3.

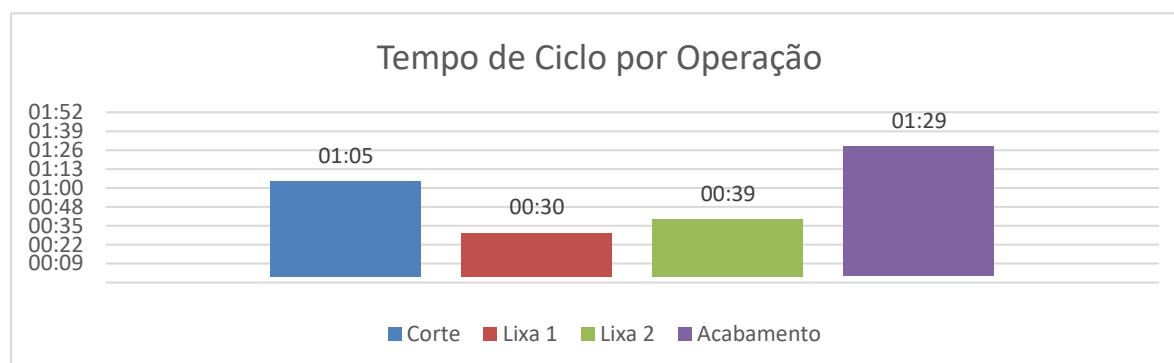


Figura 80 - Tempo de ciclo por operação nas células completas (2 e 3)

É evidente o maior tempo de ciclo da operação de acabamento, nas células 1,2 e 3, seguido da operação de corte e de ambas as lixas. As lixas funcionam com uma ligeira diferença de tempo de ciclo, a lixa 2 apresenta um Tempo de Ciclo 30% superior à lixa 1. Isto verifica-se mesmo analisando individualmente cada posto de lixas nas células 2, embora em diferentes proporções. Estes dados serão de crucial importância no balanceamento do subsistema de células que integra o sistema geral de produção (ver cap. 3.2).

É de extrema importância referir que este tempo de ciclo não reflete períodos em que um operário esteja ausente, em formação, utilize período de férias, esteja incapaz de trabalhar por acidente de trabalho ou períodos em que o posto de trabalho não esteja a operar devido a ações de investigação, melhoria ou modificações no mesmo ou na área envolvente entre outros. Por este motivo, há que considerar que o sistema ao longo de um período extenso, por exemplo um ano, irá apresentar um tempo de ciclo ligeiramente superior ao calculado com recurso às gravações. Ademais, existe um efeito psicológico reconhecido e intrínseco que induz que os trabalhadores a operarem com empenho ligeiramente superior quando sentem que estão a ser observados, mesmo quando lhes é explicado que essa atitude induz resultados e expectativas falaciosas em relação à produção.

4.2.3 Takt Time

Os dados

O *Takt Time* das células foi calculado com recurso à BD1617. Para refletir os dados mais atualizados de procura do mercado, e para não incluir dados anteriores às últimas modificações do sistema de produção, foram utilizados apenas os dados referentes a 2017. A base de dados de encomendas resultantes foi ainda filtrada para remover ordens de matéria-prima, componentes, machos e situações

pontuais de encomendas fictícias ou errôneas que nunca chegaram a ser processadas nas células como produtos requeridos pelo cliente e não afetam, portanto, a carga a que o sistema ou as células em específico são submetidas.

Quantificação da procura

As quantidades de artigos foram somadas utilizando a função SUM() do Excel aplicada tanto à coluna de artigos requeridos pelos clientes como à coluna de produtos entregues. Após a seleção de dados referida sobre a BD1617 restaram 1940 ordens de fabrico correspondentes a 77288 artigos, dos quais 8219 foram produzidos em excesso. Apesar de os artigos produzidos em excesso não serem requeridos pelo cliente, foi decidido que seriam incluídos na determinação do *Takt Time* já que a sua utilidade para a empresa, a curto prazo, será adequar o balanceamento e o tempo de ciclo do sistema às necessidades de produção e não é pretendido, de momento e por limitações técnicas e práticas, assumir que a sobreprodução será reduzida antes da implementação das soluções de balanceamento (ver cap. 4.3.2).

O período de tempo

O período de tempo foi calculado pela subtração da data mais recente presente na base de dados (determinada com a função MAX() aplicada à coluna que contem as datas de criação das encomendas), à data mais antiga (determinada pela função MIN() aplicada à mesma coluna). Este intervalo de tempo resultou em exatamente 350 dias (úteis e não úteis). Neste intervalo ocorreram 243 dias úteis. No entanto, a fábrica esteve fechada 5 dias adicionais para férias, restando 238 dias de produção. Tendo em conta que em cada dia existem 8 horas de laboração na empresa, os 238 dias correspondem a 1904 horas. Contudo, por lei, devem ser dadas um mínimo de 35 horas de formação anuais a cada colaborador, pelo que restam 1869 horas de fabrico efetivo.

Cálculo do *Takt Time*

Tendo então informações fiáveis sobre a procura de produtos processados na zona de acabamentos de fundição, o intervalo de tempo correspondente e o tempo de produção disponível nesse intervalo, é possível calcular o *Takt Time* para a zona em questão, como pretendido.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível(mins)}{Quantidade\ a\ produzir} = \frac{1869*60}{77288} = 1,45mins\ por\ artigo = 1min27secs/artigo$$

O valor de *Takt Time* é de 1min e 27 segundos por artigo. Este valor está intimamente ligado, a nível de gestão, com o Tempo de Ciclo (cap. 4.2.2).

4.3 Balanceamento das células

Conhecendo a situação do balanceamento nos postos de trabalho das células através das métricas previamente calculadas, nomeadamente o Tempo de Ciclo e o *Takt Time*, é possível desenvolver possíveis soluções que aumentem o nível de balanceamento e a produtividade.

O balanceamento das células 1, 2 e 3 é o objetivo principal a curto prazo da empresa. Tendo conhecimento do Tempo de Ciclo das células de produção e da procura do mercado, é então possível comparar esse Tempo de Ciclo com o *Takt Time*. Desta forma, é possível definir, por sua vez, soluções que permitam otimizar o *bottleneck* do sistema, ou seja, a secção de acabamentos, mais especificamente as células 1, 2 e 3, tendo em atenção o objetivo do departamento de produção de garantir o ritmo do mercado, utilizando eficientemente os recursos disponíveis e otimizando os custos.

4.3.1 Análise das operações e tempos

Com o objetivo de compreender melhor as atividades que ocorram nas células (registadas na base de dados BDTEMPOS), foi calculada a percentagem do tempo disponível das células em que cada uma dessas atividades ocorreu.

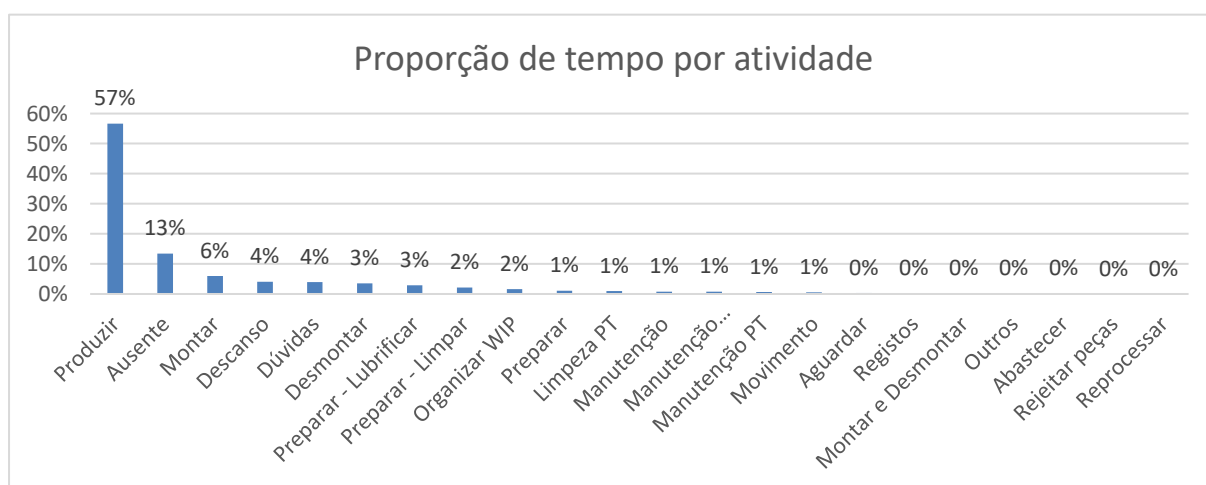


Figura 81 - Distribuição do tempo por atividade nas células

Podemos verificar que apenas 57% do tempo em que a mão-de-obra e as células estão disponíveis é usado para adicionar valor ao produto. Foi possível identificar diversos tipos de *muda*, através dos restantes tipos de atividades que dizem respeito a 43% do tempo. A sua investigação é de elevada importância.

4.3.2 Desperdícios *Lean: Muda*

De seguida será feita uma análise ao *muda* presente nas células, de acordo com o capítulo 2.1.2.

Sobreprodução

Segundo os dados registados em BD71, ocorre alguma sobreprodução na empresa. Foram produzidos pelo menos 481 artigos adicionais aos 4087 necessários correspondendo a um acréscimo de 10,5% em quantidade e 7% de peso em artigos processados (figura seguinte).



Figura 82 - Sobreprodução quanto a O.F.s, quantidade de artigos e peso em alumínio (BD71).

Esta sobreprodução resulta normalmente da necessidade de garantir uma quantidade suficiente de artigos finais com qualidade, tentando colmatar o número não conhecido de peças que eventualmente não serão conformes em alguma etapa do processo. Isto causa um dos mais importantes tipos de desperdício, sobreprocessamento.

Esta relação é visível na percentagem de O.F.s que indicam sobreprodução, em contraste com a quantidade de artigos ou peso total de produção efetiva.

Grande parte das O.F. incluem sobreprodução. Por outro lado, é interessante notar também que a sobreprodução é menor em relação à variável peso, o que indica que este excesso de produção é moderado no caso de se tratar de artigos pesados mas isto poderá apenas ser devido à linha de moldação originária. Esta conclusão faz sentido tendo em conta que os moldes são desenhados para apenas uma peça, no caso das linhas manual e semiautomática, mas para várias peças na linha automática.

Para confirmar o nível de sobreprodução determinado, foram consultados dados da BD1617 relativos às quantidades de artigos necessárias e às quantidades entregues na conclusão da O.F. É importante salientar que o valor calculado de seguida é também um valor mínimo, dado que algumas OFS não contêm informação sobre quantas foram produzidas em excesso e seria, por outro lado, falacioso calcular o mesmo valor apenas através de casos em que efetivamente foi registado se ocorreu ou não sobreprodução. Dito isto, é oportuno realçar a falta de registos relativos a esta parâmetro, assim como a necessidade de os realizar.

Esta análise realizada à BD1617, e representada na figura abaixo, incluiu 1719 O.F. e 141065 artigos necessários, contando com pelo menos 157785 artigos produzidos. A percentagem de sobreprodução de artigos fundidos é então igual ou superior a 11,9%.

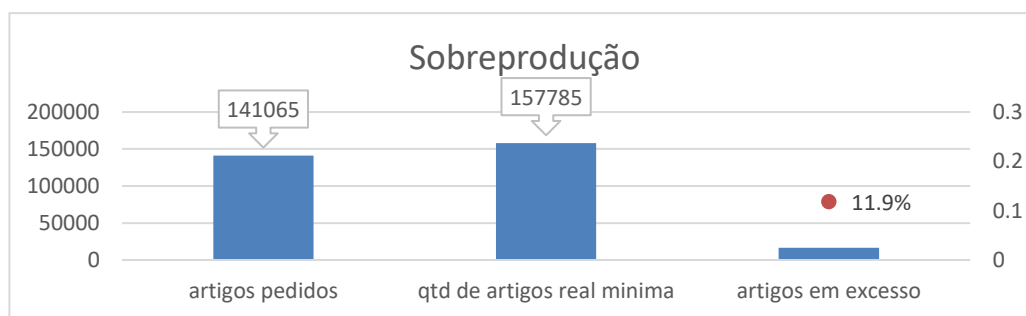


Figura 83 - Análise quantitativa e percentual à sobreprodução (BD1617).

Este valor é mais baixo do que o valor de 10,5% determinado pela amostra da BD71, não obstante ambos são uma boa métrica de avaliação da sobreprodução mínima que ocorre na unidade fabril que deverá tomar um valor mínimo aproximado dos determinados como, por exemplo, 11%.

O impacto da matéria-prima envolvida na sobreprodução não é tão significativo como poderia ser, dado que uma parte das peças serão enviadas para sucata ou fusão, para além de que o macho e a moldação representam uma pequena parte dos custos de produção. No entanto, para além de a sobreprodução não ser negligenciável, o sobreprocessamento consequente é notório e consiste também num tipo grave de desperdício.

Com a intenção de descobrir se haveria alguma relação entre o nível de sobreprodução planeada e a moldação que origina a peça fundida, foram comparadas as quantidades de artigos em excesso ao longo das mesmas, assim como o excesso de peso a que essa sobreprodução corresponde (ver histograma abaixo).

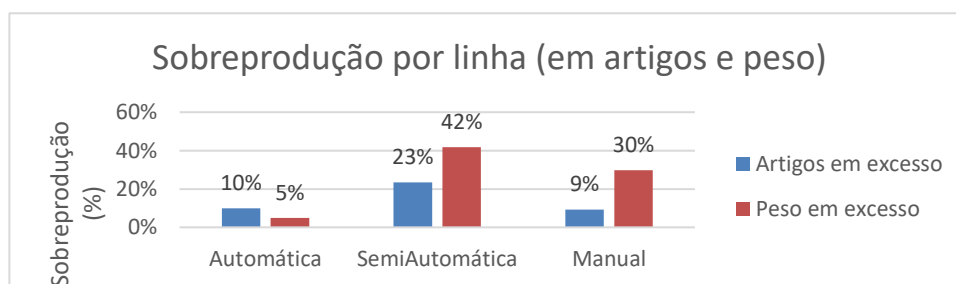


Figura 84 - Sobreprodução por linha, em quantidade de artigos e em peso

É possível verificar que a linha de moldação automática é a mais eficiente, em termos de sobreprodução, por uma diferença bastante significativa.

A linha Semiautomática revela-se pouco eficiente em ambos os índices de comparação, produzindo 23% de artigos em excesso correspondendo a 42% de matéria prima processada em excesso.

É de salientar que a moldação manual revela a maior discrepância entre as proporções dos dois índices o que é influenciado, em grande parte, pelo elevado peso dos artigos que produz.

Processamento incorreto

O excesso de processamento, assim como o processamento incorreto ocorrem significativamente na macharia, como foi detetado pelo aluno de Engenharia Mecânica responsável pela investigação do mesmo (em parte devido a erros em parâmetros de aditivos e de areia), nas células de produção, devido a falta de normalização e informação e na grenalhadora, pelas mesmas razões. O impacto deste fator é agravado por se manifestar no *bottleneck* da unidade produtiva (mas não apenas nele).

Parte deste sobreprocessamento é causado pela significativa sobreprodução (11%). Outra das causas é a baixa eficácia e qualidade do processo, em que 19% dos artigos concluem o processamento na zona de Fundição e Acabamentos em situação de não conformidade. É também resultante da falta de normalização, como acontece nas células e na Grenalhadora, em que os operadores processam demasiado ou de forma errada. Quanto ao processamento incorreto, manifesta-se no caso particular do “Zorro” e na utilização de metade da capacidade disponível da grenalhadora, no mesmo exemplo referido.

Esperas

O tempo de espera é significativo, nomeadamente no que toca a artigos que aguardam processamento nas células, devido à produção em lotes (de em média 31 artigos ou 63 peças, dependendo da zona em questão), mas também devido à falta de balanceamento e normalização do processo e das gamas operatórias. A existência de fluxos inversos e partilha de postos de trabalho entre diferentes fluxos operatórios aumenta também o nível de esperas no sistema.

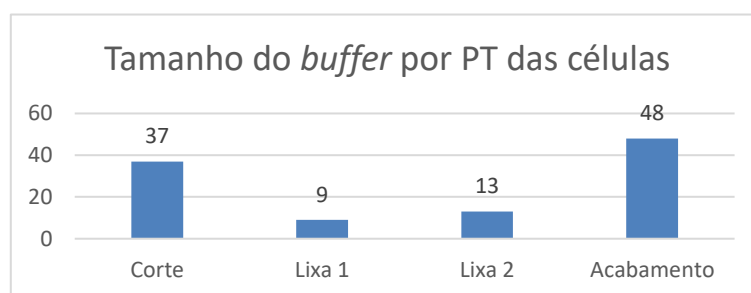


Figura 85 - Quantidade média em buffer em cada PT das células 2 e 3

Inventário

O nível de inventário é bastante elevado, tanto de WIP como de produtos finais, especialmente no que diz respeito às células. Resultam da sobreprodução, da produção em lotes, sistema *Push*, falta de balanceamento e de normalização (incluindo 5S's) e da baixa previsibilidade do processo. O nível médio de WIP presente nas células completas (2 e 3) está representado na figura abaixo:

Nas figura abaixo podemos verificar as elevadas quantidades de WIP, assim como de produtos finais. O elevado nível de WIP provoca, para além dos conhecidos desperdícios, o impedimento da circulação livre dos operadores e, principalmente, do *picker*, nomeadamente quando algum dos colaboradores mencionados transporta lotes com recurso a plataformas manuais ou elétricas.



Figura 86 - Stock intermédio e final excessivos

Transporte

O desperdício a nível de transportes prende-se com o fabrico num sistema de lotes (que obriga os operários a recolherem os artigos e a colocarem num outro lote), sobreprodução, dificuldade dos acessos, falta de normalização dos locais de armazenamento intermédio e *stock* final e limitações a nível de espaço (por sua vez causadas maioritariamente pelo WIP presente no chão-de-fábrica, apesar de o *layout* da fábrica, a nível macroscópico, ser otimizado nesta perspetiva).

O facto de a produção ser gerida como se existissem duas zonas de fabrico distintas: a de Fundição e Acabamentos e a de Maquinação, exige algum transporte de mercadoria adicional, como se de um cliente se tratasse: não sabemos quando o cliente vai adquirir/requerer os nossos produtos.

Movimento

Ocorre algum movimento de colaboradores devido a causas derivadas da prática de fazer circular, pessoalmente, informação entre o chão de fábrica e os escritórios. Ademais, a ausência de instruções de trabalho obriga os colaboradores a deslocarem-se para obter informação. A quantidade de WIP também aumenta as distâncias percorridas, assim como a falta de normalização da localização do mesmo.

No que diz respeito ao movimento de operadores das células, conclui-se pela análise da BDTEMPOS que 10,8% do tempo de mão-de-obra contratada é gasto em movimentos de carga e descarga de artigos, que não adicionam qualquer valor. Isto acontece devido à produção em lotes, em detrimento do *One Piece Flow*. A distribuição destes tempos por montagem, desmontagem e movimento puro está representada abaixo:



Figura 87 – Percentagem do tempo disponível gasto em cada tipo de movimento

Estes dados gerais são somatórios obtidos de uma análise mais detalhada de cada célula, representada abaixo:

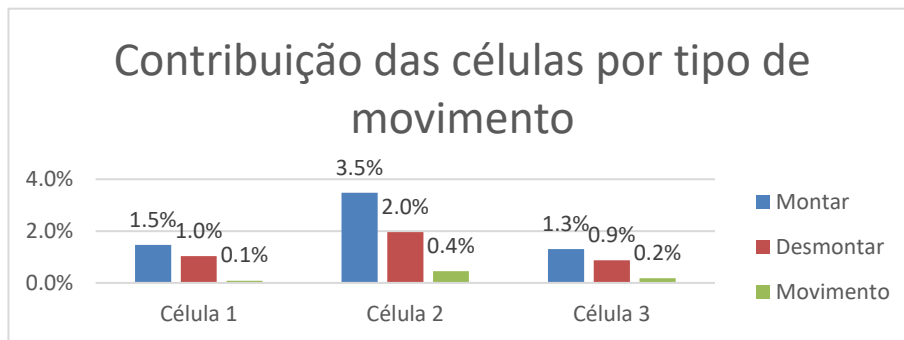


Figura 88 - Distribuição do tempo gasto em movimento, por tipo e célula

Devido ao elevado grau de movimentações realizadas nas células 2, foi aprofundada a origem desta discrepância (próxima figura). Os artigos produzidos são normalmente de igual ou até menor massa que nas células 1 e 3, pelo que a possibilidade de o peso das peças provocar o aumento de tempo não existe. Pela maior quantidade de tempo gasta em movimento serve também como exemplo de comparação deste parâmetro, no que toca aos postos que constituem as células.

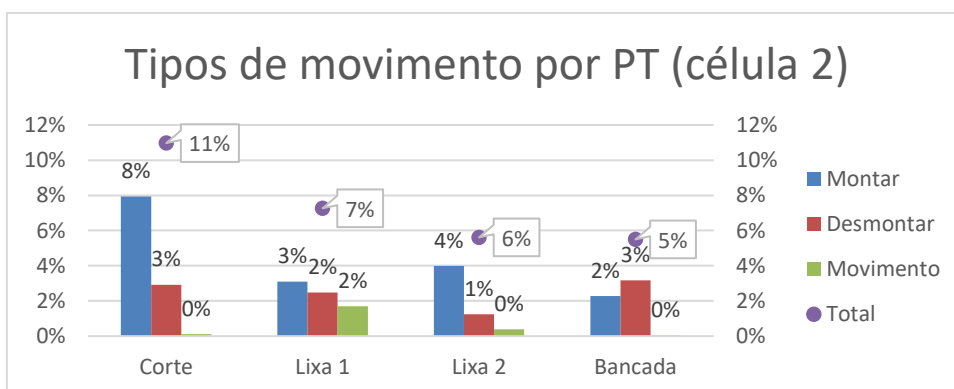


Figura 89 - Tipos de movimento por PT, na célula 2

O posto de corte é o maior responsável pelo tempo gasto em movimentos, enquanto a lixa 1 é claramente o posto com maior grau de movimento despropositado, embora nenhum dos tempos de movimento acrescente valor ao produto.

É extremamente importante referir que esta análise apenas reflete o contributo de cada posto para os tempos de movimentação registados, não refletindo a quantidade processada em cada um, que é maior na operação de corte e na bancada, pelo que seria natural representarem maiores valores de movimento. Uma análise ao tempo de movimentação por unidade produzida pode ser realizada com recurso à mesma base de dados e às funções SUMIFS() E VLOOKUP(), caso se pretenda compara internamente a eficiência dos postos em relação a esta parâmetro. Contudo, o objetivo é conhecer e eliminar este desperdício como um todo, aplicando soluções holísticas que enderecem as causas raiz do *muda* (como por exemplo *One Piece Flow*) pelo que não será benéfico detalhar uma análise que iria estar mais próxima de estabelecer comparações profissionais entre operários do que propriamente contribuir para a solução deste *muda*.

Para analisar este *muda* foram utilizadas a seguinte fórmulas genéricas na BDTEMPOS:

```
=SUMIFS('Base de registos'!$M$2:$M$2015,'Base de registos'!$G$2:$G$2015,$M5,'Base de registos'!$K$2:$K$2015,0$4)
```

Defeitos

Para estimar a qualidade e eficácia do processo de fabrico foi realizada uma nova análise à BD1617, tendo em conta os artigos lançados em produção e entregues no final de cada O.F. Foi iniciada produção de 141065 artigos no total, mas apenas 114380 foram entregues conforme as especificações. Isto representa uma taxa de não-conformidade de 19% dos itens, em algum momento do processo, apenas no processamento da zona de Acabamentos e Fundição, como podemos ver na figura seguinte.

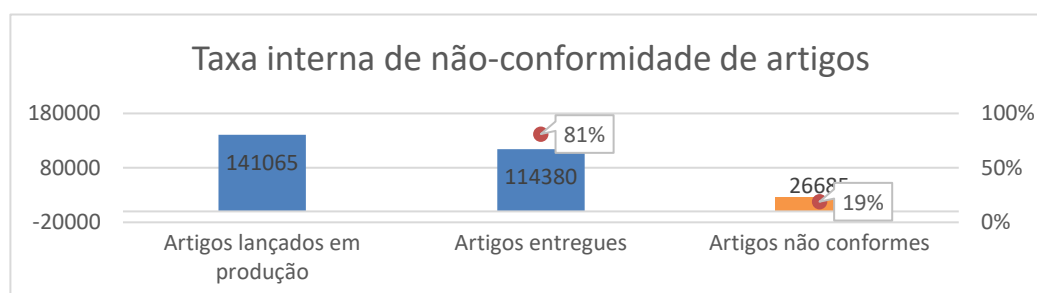


Figura 90 - Taxa interna de não-conformidade de artigos

Isto revela a falta de previsibilidade do processo de Fundição e Acabamento, que resulta também em sobreprocessamento, inventário, movimento e transportes adicionais. É de lembrar que uma grande parte dos artigos serão ainda processados na zona de Maquinação, pelo que a taxa final de não-conformes será superior.

Não aproveitamento do potencial humano

O conhecimento dos operários raramente é requisitado, o que gera outros tipos de desperdício, como se tornou evidente no caso da normalização da grenalhagem, que permitiu aumentos significativos na produtividade relativa a várias O.F. e a diminuição de não conformidades causadas por falta de formação e partilha de informação entre os departamentos de produção, qualidade e os operários.

Não existem equipas *Kaizen* dedicadas nem motivação para os operadores proporem a implementação de melhorias.

4.3.3 Classificação das atividades: *muda* tipo 1 e tipo 2

As atividades registadas na BDTEMPOS, que não adicionam valor ao produto, foram classificadas em tipo 1 ou tipo 2 de *muda*, consoante a seguinte tabela:

Tabela 13 - Atividades classificadas em *muda* tipo 1 e *muda* tipo 2

Muda tipo 1	%	Muda tipo 2	%
Montar	6%	Ausente	13%
Dúvidas	4%	Descanso	4%
Desmontar	3%	Manutenção	1%
Preparar - Lubrificar	3%	Manutenção Ferramentas acessórias	1%
Preparar - Limpar	2%	Manutenção PT	1%
Organizar WIP	2%	Movimento	1%
Preparar	1%	Aguardar	0%
Limpeza PT	1%	Reprocessar	0%
Registos	0%		
Abastecer	0%		
Rejeitar peças	0%		
Total	23%		21%

É possível concluir que apenas 57% do tempo é utilizado a acrescentar valor ao produto. O *muda* tipo 1, atividades que não acrescentam valor mas são necessárias e não evitáveis com os meios atuais, constituem 23,1%. As atividades que não são necessárias ou podem ser realizadas fora do tempo disponível das células representam 20,5%, o tipo 2 de *muda*.

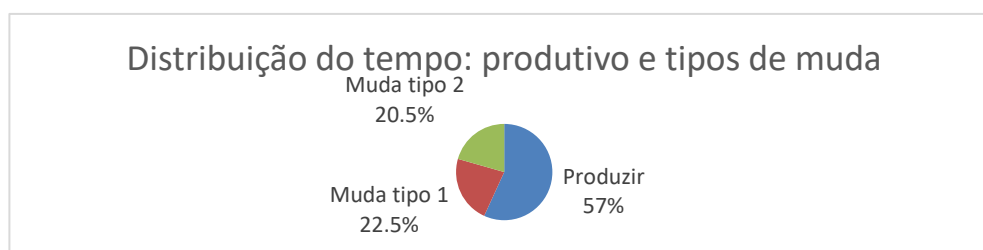


Figura 91 - Distribuição do tempo: produtivo e tipos de muda

4.3.4 Condições iniciais

O layout inicial do sistema de células está representado na seguinte figura:

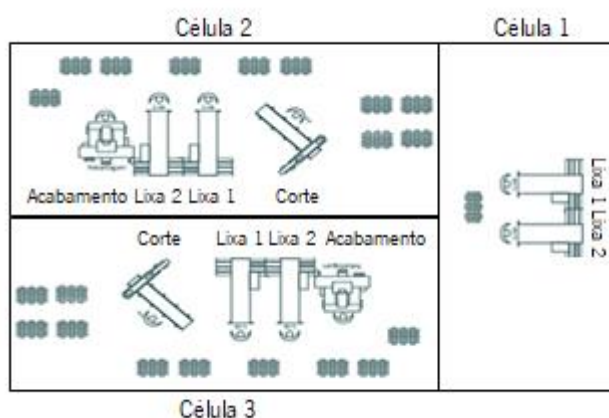


Figura 92 - Layout inicial do sistema de células

Abaixo, a comparação entre o Tempo de Ciclo do sistema no que diz respeito às operações realizadas nas células 1, 2 e 3 em comparação com o *Takt Time* da secção.

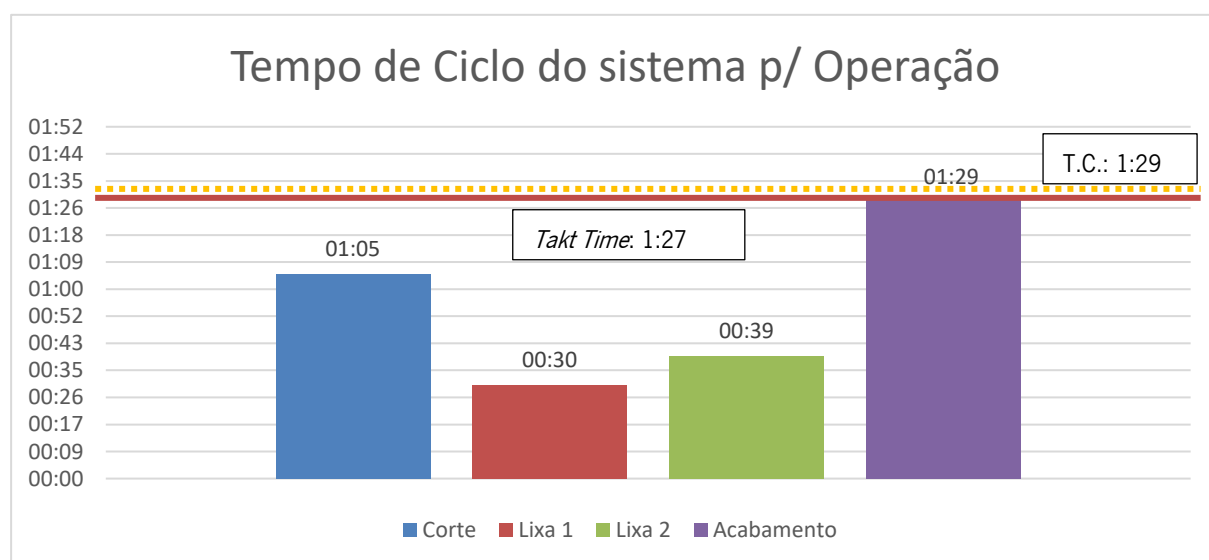


Figura 93 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação

Podemos verificar que o sistema não tem capacidade para satisfazer a procura já que o Tempo de Ciclo da operação de Acabamento é superior ao *Takt Time*. É também notória a aproximação do T.C. da operação de corte ao *Takt Time*. A laboração perto do nível do *Takt Time* incorre riscos, nomeadamente a nível de cumprimento de prazos de entrega.

Tempo de atravessamento

O tempo de atravessamento de um lote por cada posto das células completas (2 e 3) encontra-se representado na figura abaixo e denota um elevado tempo de atravessamento no posto de acabamento assim como no posto de corte, refletindo o desajuste, *muri* (cap. 2) do trabalho que é esperado que estes postos realizem em comparação com os postos de lixagem.

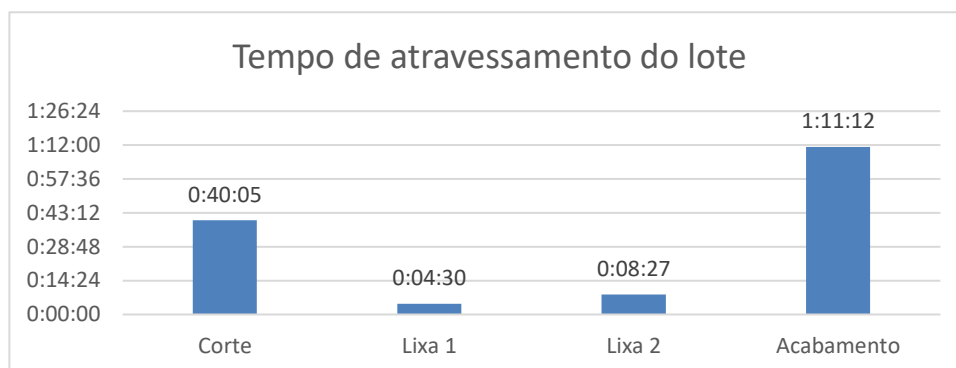


Figura 94 - Tempo de atravessamento de um lote médio de 31 artigos nos P.T.'s das células 2 e 3

4.3.5 Redução do tempo de ciclo e balanceamento: implementação de PT's

Implementação de um PT de “acabamento” na célula “incompleta”

Para resolver imediatamente o problema de o sistema estar a realizar a operação de acabamento a uma cadência inferior à que é necessária para satisfazer a procura do mercado sem ocorrência de atrasos, incongruências ou situações de emergência de produção, foi decidido que seria implementado um novo posto de acabamento na célula incompleta, a célula 1, que era antes apenas constituída por duas lixas (figura seguinte).

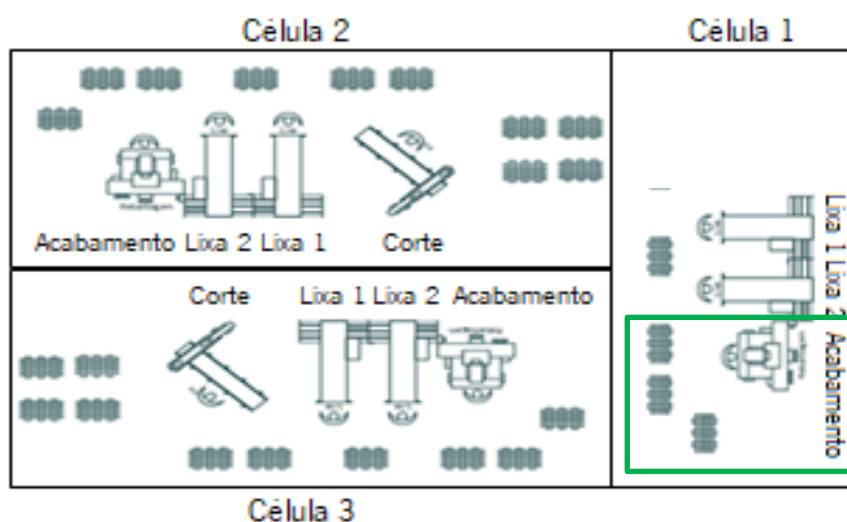


Figura 95 - Layout do sistema após implementação do corte na célula 1

A expectativa era que o tempo de ciclo da operação de acabamento fosse linearmente reduzido para 59 segundos, como podemos ver no gráfico seguinte.

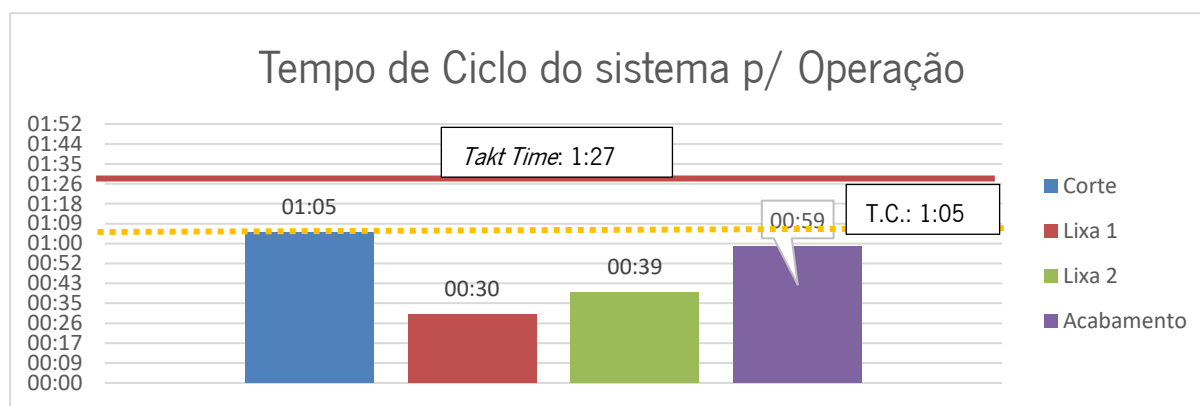


Figura 96 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação, após implementação do PT adicional de acabamentoo

No entanto, à data desta análise foram apenas recolhidos e registados dados relativos a duas referências neste posto, pelo que o aumento linear de capacidade assumido poderá não se verificar, nomeadamente pelo período de adaptação do novo operário, cuja falta de ponderação constitui *muri* (cap 2.1.2). Seria bastante relevante continuar esta análise no futuro.

Esta implementação teve um custo relativamente baixo, pela simplicidade do posto de acabamento: uma mesa de aço e uma fresadora manual de várias pontas e mostrou-se, pelo menos numa fase embrionária e sem registo de dados, empírica e visualmente muito eficaz em otimizar a secção de acabamentos de fundição, que representa o *bottleneck* do sistema. O novo *bottleneck* da secção de acabamentos de fundição, assim como a operação que se aproxima mais do *Takt Time*, tornou-se a operação de Corte. Confirmando-se a redução linear do Tempo de Ciclo do sistema, e assumindo que o *bottleneck* continua a ser esta secção (o que é afirmado pelo departamento de produção), a cadência de produção passou de estar limitada a pouco mais de 40 produtos por hora (*Taxa de Produção (horas)* = $\frac{1}{\text{Tempo de Ciclo}(\text{segs}) \times 3600} = \frac{1}{89 \times 3600} = 40,45 \text{ artigos/h}$), devido ao T.C. de 1min29segs inicial da operação de Acabamento para 55 produtos por hora (*Taxa de Produção (horas)* = $\frac{1}{\text{Tempo de Ciclo}(\text{segs}) \times 3600} = \frac{1}{65 \times 3600} = 55,38 \text{ artigos/h}$), devido ao TC de 1min5segs da operação de corte. Isto representa um aumento de 27% na cadência máxima de produção possível no que toca à secção de acabamentos de fundição.

Implementação de um PT de “corte” na célula “incompleta”

Na sequência da implementação anterior, a célula 1 carênciada apenas de um posto de trabalho para se tornar um subsistema de células completas, tal como as células 2 e 3 (cap. 3.2.4), que é precisamente o mesmo posto de trabalho cuja operação conta com o maior ciclo, representando o *bottleneck* da secção de acabamentos: a operação de corte.

No sentido de otimizar o novo *bottleneck* da secção (a operação de corte) foi implementado um novo PT de corte na célula 1. Isto fez também com que a célula 1 se tornasse capaz de processar independentemente qualquer artigo que necessite de acabamentos de fundição, potencializando uma futura implementação de *One Piece Flow* e eliminando diversos tipos de *muda* envolvidos na necessidade de realizar parte dos processos em outras células, como movimentação, esperas, *muri* e *mura* (cap. 2.1.2) para além de simplificar o processo de planeamento e gestão da produção (próxima figura).

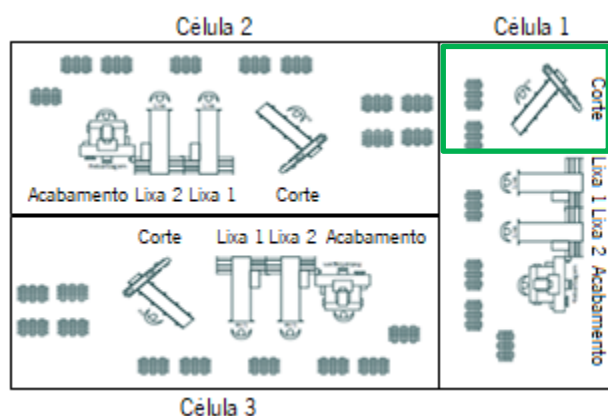


Figura 97 - Layout do sistema após implementação do acabamento na célula 1

Não foram recolhidos dados suficientes para determinar um tempo de ciclo fiável para este novo posto, mas assumindo que o seu desempenho será similar aos restantes postos de corte, o novo tempo de ciclo associado a cada operação estima-se o seguinte:

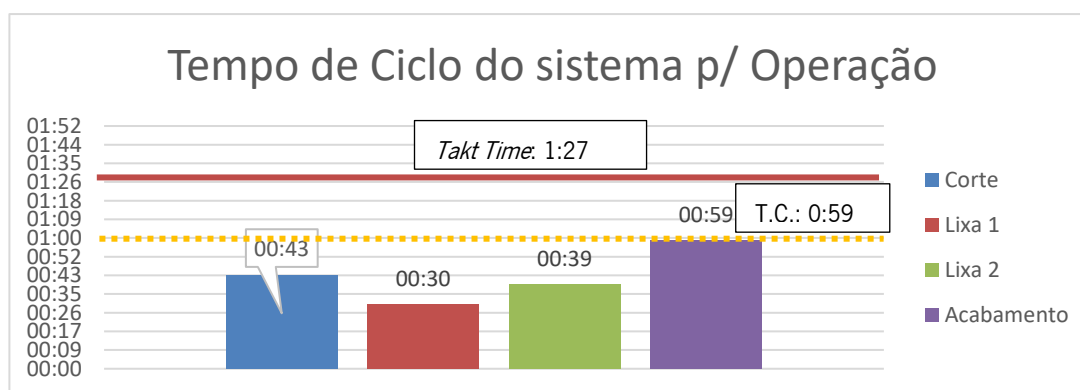


Figura 98 - Tempo de ciclo do sistema de células, por operação, após implementação dos postos adicionais de acabamento e de corte

Novamente, assumindo que a operação de corte era o *bottleneck* anterior e que a operação de acabamento é o novo *bottleneck*, a cadência de produção máxima passou de 55 produtos por hora

$$(Taxa\ de\ Produção\ (horas)) = \frac{1}{Tempo\ de\ Ciclo(segs) \times 3600} = \frac{1}{65 \times 3600} = 55,38\ artigos/h,$$

devido ao TC de 1min5segs da operação de corte, para 61 artigos por hora

$$(Taxa\ de\ Produção\ (horas)) = \frac{1}{Tempo\ de\ Ciclo(segs) \times 3600} = \frac{1}{59 \times 3600} = 61,02\ artigos/h,$$

devido ao T.C. de 59 segundos do sistema no que diz respeito à operação de corte. Obteve-se então, sob as suposições mencionadas, um aumento de 10% no *output* máximo possível do sistema de células

4.3.6 Rabbit Chase

Foi feita uma tentativa de implementação de *Rabbit Chase* da célula 2. A implementação sofreu significativamente com os obstáculos previstos pela literatura (cap. 2.1.3).

A implementação com sucesso deste método permitiria balancear as células, eliminar diversos *muda* associados à atual produção em lotes e reduzir o WIP na zona mais congestionada da fábrica, para além de tornar a mão-de-obra mais polivalente e qualificada (ver capítulo 2.1 e 2.2)

O principal problema foi requerer a passagem de um sistema em que a cada operador é alocada apenas uma das operações (neste caso, máquinas) para um sistema de partilha de estações de trabalho que requer a realização de mais do que uma operação. Os operadores apresentaram elevada resistência em realizarem tarefas diferentes daquelas que realizaram durante décadas. Este fenómeno é indicado, no capítulo mencionado, como um dos potenciais obstáculos à implementação de sistemas segundo o *Lean*. Na sua perspetiva, a polivalência não é relevante e seria mais proveitoso que o posto de trabalho produzisse à sua capacidade mais elevada, dedicando-se para isso o operador mais especializado possível. Esta perspetiva reflete a predominância dos princípios de produção em massa em que o objetivo é a cadência máxima de produção deixando, por vezes, de lado uma solução holística ótima, como, por exemplo, a produção de acordo com o *takt time* (ver capítulo 2.1.3).

Até à data de término do estágio, o método *Rabbit Chase* não foi implementado. A revisão bibliográfica supraindicada contempla casos de recusa contínua, por parte dos operários, em aceitarem a mudança como algo positivo e enriquecedor, e indica que, por vezes, poderá ser necessário realocar operários.

4.3.7 Reatribuição temporária de tarefas de manutenção

Enquanto não são implementados métodos como o *One Piece Flow*, poderão ser atribuídas funções de manutenção, como o enchimento dos recipientes de óleo, a limpeza dos PT's ou a troca de ferramentas aos operadores dos postos com menor carga de trabalho ou seja, os que operam as lixas. Isto deverá respeitar as boas práticas de manutenção preventiva (ver 4.5.4).

4.4 Normalização

A normalização da operação de grenalhagem seguirá as indicações detalhadas no capítulo 2.1.3.

4.4.1 Operação de grenalhagem

Para atingir o objetivo de normalização na Grenalhadora, será necessário definir um tempo de maquinação e a quantidade a introduzir para cada artigo. Para tal, será colocada uma tabela no local de trabalho em que o operador deverá registrar, enquanto aguarda o processamento, a referência dos artigos que está a maquinar, a quantidade introduzida, o gancho utilizado, o tempo de maquinação, o tempo extra de uma segunda maquinação que poderá eventualmente ser necessária e, opcionalmente, algumas notas relativas à operação. A intenção será coletar os dados, que neste momento se encontram em sabedoria empírica dos dois trabalhadores que realizam a operação, sintetizá-los e incluir a informação do gancho ao utilizar, a quantidade a maquinar e o tempo de maquinação nas Ordens de Fabrico de cada referência, aumentando assim o nível de normalização e obtendo um retorno imediato de produtividade.

Os próprios ganchos serão claramente identificados com recurso a uma tabela de fotos que estará presente no local, em conjunto com a tabela de registos.

Este é um local onde o processo não pode facilmente ser alterado e o funcionamento em fluxo contínuo não seria viavelmente aplicado pelas condições da máquina disponível. No entanto, como iremos ver, serão obtidos ganhos significativos a nível de produção apenas graças à normalização (cap. 5.1.4).

Tabela de Ganchos

Para normalizar o processo de grenalhagem foram inicialmente identificados todos os tipos de ganchos envolvidos no processo de grenalhagem. Foi criada uma tabela ilustrada de Ganchos de Grenalhagem com estas ferramentas, associados a um número.

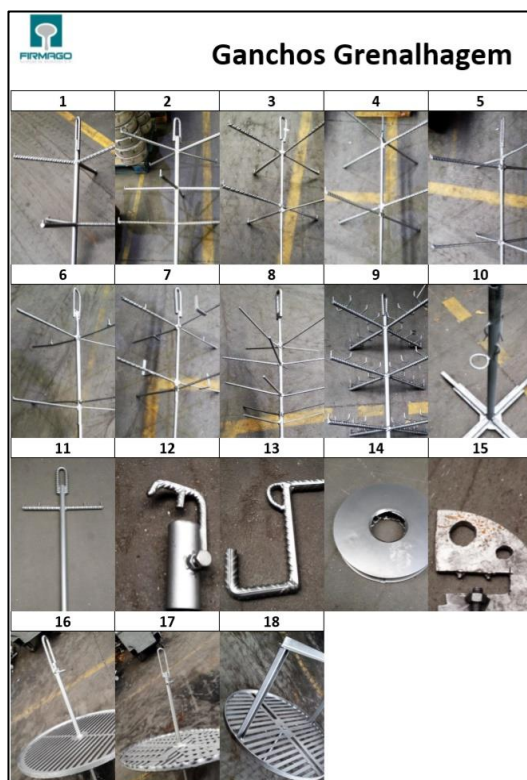


Figura 99 - Tabela de Ganchos de Grenalhagem

Marcação da identificação em cada gancho

Para facilitar o trabalho do operador sobre o funcionamento normalizado da Grenalhadora, foi decidido que seria necessário encontrar uma forma de marcar, em cada gancho, o número que o identifica na “Tabela de Ganchos”. A forma de gravação teria de permitir que o gancho fosse submetido a grenalhagem consecutivamente. Conclui-se que o melhor método seria a solda por elétrodo. Esta ação ficou a aguardar disponibilidade da serralharia.

Ficha de Registos de Grenalhagem

Para recolher a informação de processamento, que é atualmente realizado ao critério do operador que se encontrar em serviço, foi criada uma ficha de registos (figura seguinte). Enquanto a Grenalhadora está em funcionamento, o operador regista a referência dos artigos, o nº do gancho utilizado (recorrendo à Tabela de Ganchos), o número de peças por gancho, o tempo de grenalhagem e, caso a operação não produza produtos conformes nesse momento, as causas raiz dessa ocorrência assim como o tempo de um eventual segundo processamento.

Os objetivos desta ficha de Grenalhagem são, fundamentalmente, a recolha da informação e habilidade dos operadores e, em conjunto com o departamento de produção e o de qualidade, sintetizar os parâmetros otimizados para o processamento de cada referência numa instrução de trabalho designada por “Instrução de Grenalhagem”.



Registo da Grenalhagem

Nome: _____ N.º _____

Referência	N.º do gancho	N.º peças/gancho	Tempo	Falha	Tempo
				<input type="checkbox"/> Pouco tempo (preencher tempo 2) <input type="checkbox"/> Gancho não adequado <input type="checkbox"/> Outros	
				<input type="checkbox"/> Pouco tempo (preencher tempo 2) <input type="checkbox"/> Gancho não adequado <input type="checkbox"/> Outros	

Figura 100 - Tabela "Registo de Grenalhagem" (excerto)

Instruções de Grenalhagem

Após a recolha e registo dos parâmetros da operação de Grenalhagem para uma referência, é possível criar a ficha de instrução de grenalhagem pretendida e que acompanhará a ordem de fabrico dos artigos. Esse novo documento acompanhará, posteriormente, todas as O.F.s dessa referência. Na figura abaixo segue um exemplo deste tipo de instrução.




FIRMAGO		Grenalhagem	
Identificação:		Parâmetros:	
Referência:	TA-9223	N.º de peças por gancho:	12
Gancho:		Tempo de grenalhagem:	1:30
Ajudas Visuais:			
Peças antes de grenalhar:		Peças depois de grenalhar:	
			
Imp.001.01/DQ		Página 1 de 1	

Figura 101 - Instrução de Grenalhagem (exemplo)

4.4.2 5S: Definição e marcação de zonas para WIP e armazenamento dos ganchos

Para auxiliar na redução do WIP e da desorganização do mesmo, que gera *muda* a nível de movimentações, esperas (representando 0.3% do tempo de atividades registadas) e dificulta a passagem do *picker* e dos próprios operários, foram delineadas zonas de carga e descarga de material e zonas específicas para a colocação das paletes de WIP. Como podemos ver na primeira figura abaixo, as paletes são colocadas em áreas não definidas. Já na segunda imagem, as paletes de WIP têm locais bem definidos por faixas amarelas ou vermelhas. Nas figuras abaixo está representada, em uma das células, esta alteração: a primeira fotografia ilustra a situação anterior, enquanto as duas seguintes mostram parte do resultado da implementação dos 5S nessa célula.



Figura 102 - WIP antes da implementação dos 5S (1ª e 2ª figuras) e após (3ª figura)

Existem zonas designadas para a colocação dos ganchos de grenalhagem para garantir a sua eficiente alocação e acesso, sem restringir as restantes funções produtivas, nomeadamente a passagem do *picker*.

A imagem abaixo mostra a disposição dos ganchos.



Figura 103 - Armazenamento de ganchos.

4.4.3 Ajudas Visuais

Não existem, atualmente instruções de trabalho para qualquer operação ou posto de trabalho das células, incluindo para a grenalhadora. Para além disto, não existe informação necessária sobre os resultados pretendidos e os parâmetros ótimos para cada operação, pelo que para a criação de ajudas visuais

requer a recolha dessa mesma informação. No entanto, existe, como vimos no capítulo 3, um elevado número de referências. Isto torna a recolha e análise de informação por referência um processo demorado e que requer elevados recursos (nomeadamente de mão-de-obra), para além do tempo de elaboração das próprias ajudas. Esta é, talvez, a razão principal para não existirem instruções de trabalho atualmente.

No caso das células 1,2 e 3, a operação é integralmente manual e não requer esperas do operador por parte de uma máquina (como acontece na grenalhadora). Desta forma, seria impraticável e uma forma de *muda* desmedida, requerer ao operador que registasse dados da operação e até que o mesmo tivesse material adicional na sua estação de trabalho, complicando a operação (o que também não é um problema na grenalhadora). É também por estes dois motivos que não fará sentido colocar dezenas ou centenas de Instruções de Trabalho em cada posto das células para que cada operador consulte antes de produzir uma referência.

Para colmatar a dificuldade e impraticabilidade de fornecer instruções de trabalho para cada referência nos postos de trabalho de corte, lixa e acabamento, devido ao seu elevado número e pequenas quantidades, serão sugeridas algumas soluções holísticas (que tenha em conta todas as operações consecutivas na gama operatória no momento de definição do standard da operação), generalizadas (que possam ser utilizadas de forma pertinente num elevado número de referências) e fáceis de colocar e consultar na estação de trabalho. Será proposta a criação de instruções generalizadas e direcionadas para características de processamento em detrimento de instruções individualizadas por referência), como a utilização de *One-Point Lesson* e de algum tipo de ecrãs digitais (ex: tablets) para disponibilizar a informação relevante apenas à operação em causa e pertinente para diversas referências, sem ser requerido tempo adicional, intervenção do operário, manuseamento, procura por informação ou qualquer tipo de interrupção do fluxo do processo ou situações que constituam *muda* (cap. 2.1.2).

O caso da grenalhadora é bastante diferente das células de corte, lixa e acabamento, no que toca ao desenvolvimento de ajudas visuais, já que permite a presença de material adicional sem interferir com a qualidade do trabalho e permite também a atribuição de tarefas adicionais ao operador enquanto a máquina opera (como o registo e consulta de informação), já que existe algum tempo de espera por parte do mesmo. A limitação causada pelo elevado número de artigos, no entanto, permanece, como no caso das células anteriormente referidas. Desta forma, as ajudas visuais serão incluídas numa Ficha de Grenalhagem, a ser anexada à O.F. de cada referência a ser produzida e que ilustra os artigos antes e após a operação, o gancho correto a utilizar, a quantidade a maquinar simultaneamente e o tempo de operação adequados (cap. 4.4.2 e 5.1.4).

One-Point Lesson

O conceito de *One Point Lesson* foi extremamente útil na resolução destas dificuldades por proporcionar instruções holísticas e fáceis de colocar e consultar no posto de trabalho. Um exemplo deste tipo de instrução encontra-se exemplificado abaixo.

ONE POINT LESSON				No.	2
TEMA	DETETAR DEFEITOS NO CENTRO DA PEÇA			Data de	22-11-2017
RELAÇÃO	QUALIDADE			preparação	
Classificação	Conhecimento básico	Conhecimento intermédio	Conhecimento avançado		
	Presença de defeito no centro da peça		Ausência de defeito no centro da peça		




Figura 104 - Exemplo de One Point Lesson

Ecrãs digitais nas estações de trabalho

Foi também sugerida a implementação de ecrãs (ex: *tablets*) na parte superior de cada posto de trabalho para disponibilizar estas e outras instruções de trabalho, de acordo com as referências dos artigos que estão a ser produzidos nesse momento.

Utilização de um exemplar validado

Foi também sugerida a implementação de uma adaptação rudimentar do sistema *Andon* para ultrapassar a necessidade de instruções individualizadas e mais fácil de transpor para a realidade do que as *One Point Lesson*. O objetivo seria que, no início de um novo lote, um responsável aprovasse um artigo conforme e, a partir desse momento, as células trabalhariam de forma a produzir artigos similares. Nos casos de artigos em que isso não ocorresse, os operários poderiam girar uma placa metálica que passaria da cor verde para a cor vermelha. Um responsável iria deslocar-se, assim que possível, à célula sinalizada e avaliaria as condições do artigo, determinando as causas raiz de uma possível não conformidade e instruindo os operários. Isto negaria a necessidade de fichas de trabalho individualizadas e tornaria bastante fácil para os operários conhecerem as condições ótimas de processamento de cada artigo em causa à custa de alguma mão-de-obra por parte dos responsáveis pela produção ou qualidade. Esta medida foi testada, mas acabou não ser considerada adequada ao ambiente da fábrica.

4.4.4 Definição do fluxo de material

Tendo definido, com recurso ao princípio de Pareto, os produtos e famílias responsáveis pela maioria da utilização dos recursos de produção, planeou-se sintetizar essa informação de forma a entender os fluxos mais comuns de materiais que resultam das gamas operatórias mais significativas em termos de quantidade de artigos e de trabalho necessários.

O fluxo de materiais na zona de Fundição e Acabamentos foi analisado com recurso à BD71 conta com informação de 68 ordens de fabrico relativas a 4568 artigos que foram processados nas células (cap. 4.1.1). As quantificações seguintes foram calculadas utilizando a quantidade de cada O.F. como fator de peso ponderado. A percentagem de artigos por referência está presente na primeira coluna, à esquerda do menu de filtros e o somatório total dos artigos até essa referência encontra-se na segunda coluna. Para facilitar a análise dos fluxos referidos, foram aplicados filtros de multinível aliados a somatórios dinâmicos de quantidade, ambos aplicados aos dados da BD71, como podemos ver na figura abaixo.

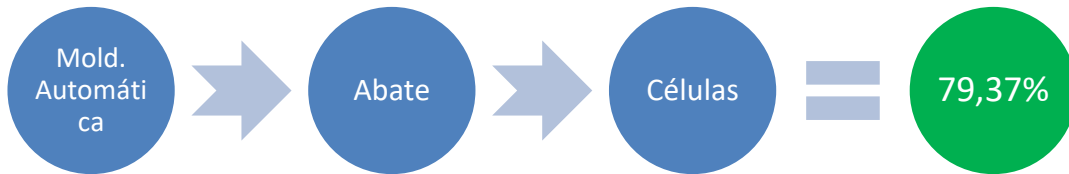
Column	Sort On	Order
Sort by	Column J	Cell Values
Then by	Column M	Cell Values
Then by	Column O	Cell Values
Then by	Column Q	Cell Values
Then by	Column T	Cell Values
Then by	Column U	Cell Values
Then by	Column V	Cell Values
Then by	Column Z	Cell Values

0.05%	0.05%
2.45%	2.50%
0.24%	2.74%
0.49%	3.23%
9.79%	13.02%
0.02%	13.04%
0.88%	13.92%
0.51%	14.44%
0.39%	14.83%
0.02%	14.85%
0.29%	15.15%
0.59%	15.73%
1.47%	17.20%
2.45%	19.65%
2.45%	22.09%
2.45%	24.54%
2.45%	26.99%
5.55%	32.54%
0.59%	33.13%
1.22%	34.35%
1.22%	35.58%

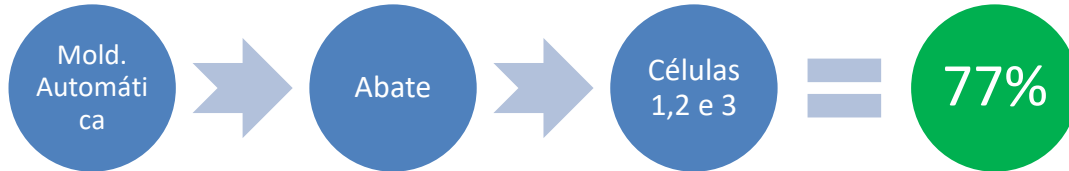
Figura 105 - Ordenação por múltiplos critérios e coluna de percentagem de artigos e acumulada.

É importante salientar que, apesar de na BD71 se terem incluído as peças originárias da coquilha, estas não são consideradas relevantes a nível de processamento, pelo departamento de produção. No entanto foram introduzidas, apenas neste capítulo, para evitar conclusões falaciosas sobre os fluxos.

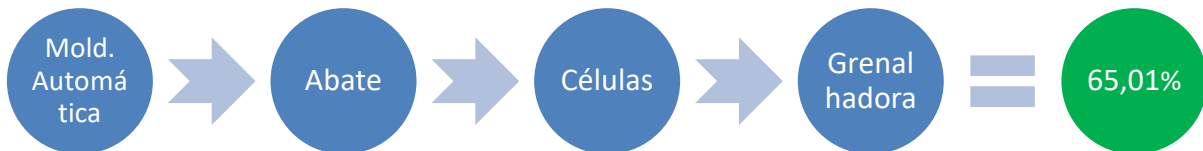
O fluxo mais comum consiste na moldação na linha automática, abate e processamento nas células. Representa 79,37% da quantidade produzida. Isto também significa que todos os artigos originários da linha automática sofrem, pelo menos, uma operação em uma das células.



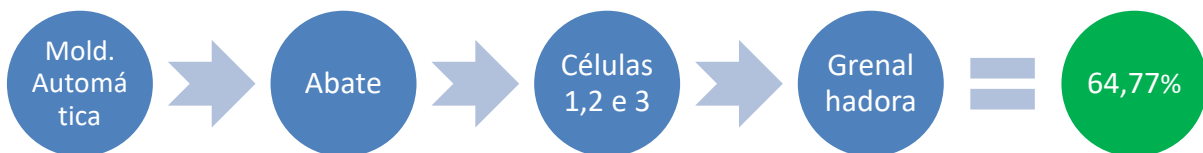
Se considerarmos a mesma gama operatória, mas apenas as células completas (células 1,2 e 3), esta sequência continua a representar 77% dos artigos.



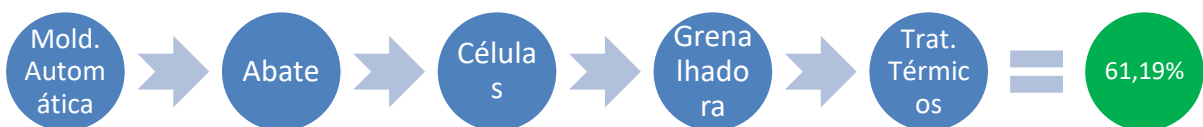
Estendendo o fluxo, incluindo a grenalhadora, ou seja, considerando os artigos da linha automática que são abatidos, processados nas células e grenalhados, estaremos a referir-nos a 65,01% da quantidade produzida.



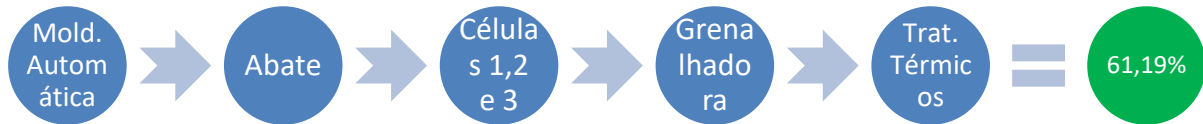
Analogamente, se considerarmos apenas as células 1,2 e 3 no fluxo acima, continuámos a referir-nos a 64,77% dos casos, uma diferença mínima e que demonstra tanto a tendência a todos os artigos sofrerem algum processo nas células 1,2 e 3 como a tendência de os artigos que seguem para as células 4,5,6 e 7 serem fundidos nas linhas semiautomática e manual.



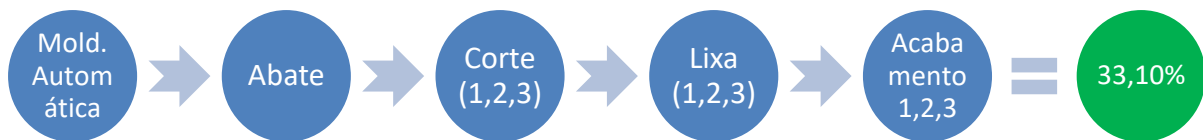
Analisando um fluxo mais completo, que inclua tanto a moldação automática como as células, a máquina de tratamentos térmicos e a grenalhadora (todos os componentes das células e da secção de acabamentos em geral) podemos verificar que 61,19% dos artigos seguem esta gama operatória.



Novamente, se considerarmos a situação acima, mas apenas as células 1,2 e 3, esta percentagem é igualmente de 61,19% já que todas as peças que seguem a gama utilizam pelo menos um dos postos de trabalho das células 1, 2 e 3.



É bastante notório que muitos artigos não incluem todas as operações de corte, lixa e acabamento. Para evidenciar este facto, foi calculado o fluxo de artigos (em quantidade) que segue o fluxo acima e que utiliza realmente as três operações nas células 1,2 e 3. A percentagem desce drasticamente de 61,19% para 33,10%. Isto deve-se a algumas referências não necessitarem de lixa, por exemplo, ou de acabamento. Por norma, todos os artigos são cortados devido aos gitos resultantes da fundição e de rebarbas (cap. 3.2.2).



Apenas 2,4% dos artigos processados nas células têm origem na linha de moldação semiautomática e 1,59% são originários da linha manual. Já da coquilha originam 5,55% dos artigos.

Um fluxo secundário de peças, que costumam ser de elevado peso, provenientes das linhas de moldação manual e semiautomática, são cortadas e processadas nas células sendo posteriormente submetidas a grenalhagem. Este fluxo representa apenas cerca de 2,69% da quantidade de artigos produzidos. Se considerarmos apenas as que também incluem os tratamentos térmicos, esse valor desce para 1,61%. Considerando apenas as peças que sofrem processamento exclusivamente nas células 4,5,6 e 7, estaremos a referir-nos a apenas 0,24% da produção. Concluimos assim que os fluxos relacionados com estas células e linhas não são representativos e a sua análise é secundária aos fluxos previamente mencionados. São normalmente utilizados para o fabrico de peças específicas em muito pequenas quantidades e a sua utilização tenderá a diminuir ao longo do tempo graças à maquinaria e processos mais recentes implementados.

Uma nota relevante para a interpretação destes resultados é que algumas referências não necessitam de todas as operações mencionadas nos fluxos acima, pelo que, caso não utilizem todas as operações mencionadas, não fazem parte de um dos fluxos completos mencionados.

4.5 Melhoria do processo

Melhoria do fluxo de artigos e simplificação do planeamento de produção

A implementação do posto de trabalho de corte e acabamento na célula 1, que apenas continha lixas, tornou a célula 1 “completa”, ou seja, capaz de realizar realmente todo o processo necessário ao acabamento dos artigos em alumínio fundido. Por esta razão, deixaram de existir gamas operatórias que envolviam o transporte (*muda*, cap.2.1.2) dos artigos desde um dos cortes das células 2 ou 3 para as lixas da célula 1 e, novamente, a um dos acabamentos das mesmas células 2 ou 3. Isto reduz também a quantidade de artigos em stock intermédio entre as células de produção (salientada no cap. 3.2.3).

Fluxo contínuo

O fluxo de artigos realiza-se por lotes e com recurso a elevados buffers, como foi possível concluir no cap. 3.2.4. Um fluxo contínuo em detrimento da produção em lotes permitiria eliminar diversas atividades que constituem *muda*, como por exemplo, grande parte do tempo de montagem (transporte dos artigos do lote até ao posto de trabalho), que representa 6% da carga de trabalho, assim como grande parte dos 3% representados pela ação de desmontar os artigos. Não ocorreria necessidade de organizar o WIP dentro dos postos de trabalho ou nos lotes, ação que representa mais 2% do tempo de atividade registado.

Resumidamente, a produção em fluxo contínuo permitiria eliminar perto de 11% do tempo registado em atividades ou, por outras palavras, cerca de um quarto do *muda* que ocorre nas células, para além de conferir diversas vantagens associadas à produção em fluxo contínuo (cap. 2.1.3). Abaixo, uma representação do fluxo atual (a vermelho) e do possível fluxo contínuo (a verde).

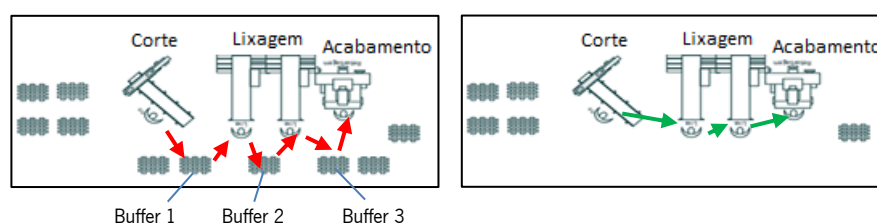


Figura 106 - Fluxo descontínuo e fluxo contínuo nas células (elevados buffers)

Lubrificação automática

A implementação de um sistema de lubrificação automática ou semiautomática é possível, está bastante presente no mercado e permitiria retirar esta tarefa ao operador, que representa, neste momento, 3% da carga de trabalho e constitui *muda* tipo 1.

Sistema de limpeza

Um sistema de limpeza de maior qualidade permitiria retirar mais eficazmente os restos de areia de moldação dos artigos que provêm da plataforma vibratória, que não é capaz de retirar todos os resíduos.

Isto aumentaria a qualidade dos artigos e reduziria a carga de trabalho dos operadores em 2%. Constitui *muda* tipo 1.

Manutenção fora do horário de produção

Algumas atividades de manutenção ocorrem dentro do período laboral, interrompendo a produção e reduzindo o tempo útil do operador, posto de trabalho, célula e do sistema de células. Os diferentes tipos de manutenção registados: ferramentas acessórias, posto de trabalho e manutenção “comum” representam cerca de 3% do tempo de atividade registado nas células.

Equipas Kaizen

Uma das formas descritas na literatura relativamente à implementação e execução de melhoria contínua é a criação de equipas *Kaizen* (ver equipas *Kaizen*) dedicadas à melhoria, nomeadamente das células. A melhoria contínua aumenta a disponibilidade de mão-de-obra através da redução de *muda*, *mura* e *muri*. Esta disponibilidade viabiliza a criação das equipas *Kaizen* e a consequente melhoria contínua do fluxo de valor e da competitividade da empresa. Consiste numa promoção do operador e deverá ocorrer rotativamente inculcando um sentimento de valorização e motivação em todos os operadores.

4.6 Ergonomia

Paletes elevadas

A utilização de paletes elevadas ou de altura variável, em detrimento das paletes rudimentares, diminuiria o tempo (cap. 4.3) e o grau de esforço necessário por parte do operador para o reabastecimento de peças no posto de trabalho. Por consequência reduziria a fadiga e aumentaria a eficiência do sistema.

Sensibilização

Os trabalhadores serão frequentemente lembrados para a importância do uso permanente de proteção ocular, auditiva e térmica, no caso dos fornos de alumínio.

Postos de trabalho elevados.

As bancadas são demasiado baixas e exigem que o trabalhador se dobre, incline e opere em ângulos menos favoráveis. A implementação de melhorias neste tópico teria baixo custo.

Rotatividade no posto de abate

O posto de abate sofre de elevados pontos graves a nível de ergonomia pelo que é sugerido algum tipo de rotação do operário responsável pelo mesmo para diminuir o risco conhecido de fadiga ou lesão resultante.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo será analisado o grau de cumprimento de cada objetivo inicial (caps. 1.2 e 3.7) e os benefícios esperados e obtidos. Serão também sugeridos alguns trabalhos futuros complementares.

5.1 Cumprimento de objetivos

5.1.1 Registos de operação

A nível de registos de operação foi conseguida uma amostra bastante extensa e representativa da produção, com cerca de 1600 amostras de atividades de produção que ocorreram nas células de produção. As bases de dados “BDTEMPOS” e “Registos de Grenalhagem” incluem os dados mais relevantes de produção organizados de uma forma que permite a fácil utilização no futuro. Nenhum destes dados ou índices e relações determinados com base neles eram previamente conhecidos.

Para além destes dados registados, foi também realizada uma sensibilização contínua dos operadores para a necessidade de registar o estado de produção de cada encomenda correta e atempadamente.

No que toca ao sistema informático, foram validados, manualmente e sobre sentido crítico, dados de produção referentes a centenas de artigos relacionados com as células de produção. Posteriormente foi sugerido e confirmado que a validação de tempos poderia ser realizada automaticamente pelo sistema, tendo em conta os critérios desejados (cap. 4.1.5) obtendo um ganho significativo a longo prazo para a empresa, em automatização e mão de obra. Como é descrito no mesmo subcapítulo, seriam necessárias 18 semanas, ou 720 horas, de mão-de-obra especializada, apenas para a validação dos registos já existentes relativos às referências dos últimos dois anos. Novas referências exigiriam novas validações manuais.

5.1.2 Definição de KPI's;

Graças aos registos de operação recolhidos (BDTEMPOS), aos dados exportadas do sistema informático (como a BD1617), entre outras observações, foi possível determinar os KPI's pretendidos, nomeadamente o tempo de ciclo e o *takt time* unitários, o WIP e o *lead time* associado a encomendas de diferentes quantidades em diferentes etapas da produção.

Estes KPI's serão fulcrais para o conhecimento do sistema de células e extremamente úteis em futuros planeamentos de produção, para além de permitirem identificar bottlenecks, conceito-chave no balanceamento da carga de trabalho realizado nas células.

5.1.3 Balanceamento das células

O nível de balanceamento das células de fabrico aumentou notoriamente, devido à implementação de novos postos de trabalho, que tornaram a célula 1 completa, para além de serem postos de trabalho que realizam as duas operações com maior tempo de ciclo e que se revelaram o *bottleneck* de toda a unidade fabril. Devido apenas a esta implementação de muito baixo custo, o tempo de ciclo do sistema de células foi reduzido em 34%. A redução do tempo de ciclo permite, desde já, fazer face ao aumento de procura verificado (e expetado que continue) e permite também lidar melhor com períodos de produção urgente (graças à maior taxa de produção permitida em pleno funcionamento).

Tabela 14 - Benefícios dos novos PT's no tempo de ciclo e taxa máxima de produção do sistema de células

	Inicial	Layout: PT corte	Layout: PT acabamento	Benefícios (%)
TC (min:ss)	1:29	1:05	0:59	- 34 %
TP máx.	40.45	55.38	61.02	+ 51%

Os ganhos a nível de produção resultantes desta implementação de postos de trabalho não se limitam à redução do tempo de ciclo e consequente aumento de output máximo. Para além disto, devido à célula 1 ser agora capaz de processar todas as famílias de artigos principais, a quantidade de *muda* (nomeadamente de transportes e esperas) e de *mura* diminuiu significativamente. As células 2,3 e 4 já não necessitam de ser utilizadas para cortar artigos que seriam depois apenas lixados na célula 1, para voltarem a ser transportados e acabados em outras células o que gerava, para além dos impactos referidos acima, *mura* adicional e constituindo *muri* (por se espectarem capacidades de trabalho irrealistas para os postos de corte e acabamento). O planeamento de produção foi também naturalmente simplificado.

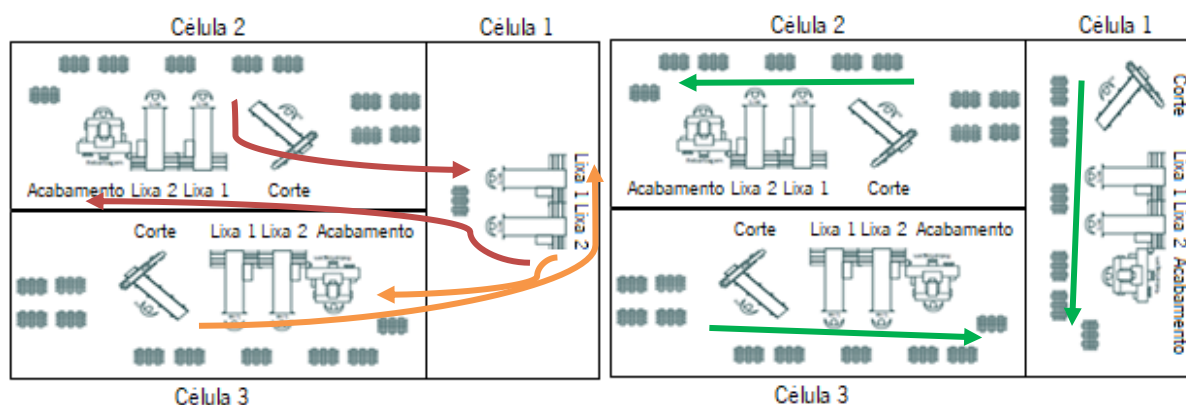


Figura 107 - Fluxo de elevado muda removidos (à esquerda) e fluxos após a implementação dos PT's (à direita)

Devido à remoção destes fluxos prejudiciais, o elevado nível de WIP (por si só *muda*) que limitava a circulação nas células, diminuiu, como se pretendia (cap. 3.2.3, 3.2.4 e 3.7). As operações estarem

melhor balanceadas, no sistema de células, facilita que, no futuro e aquando da implementação de fluxo contínuo, o número de operadores seja regulado em tempo real, consoante as necessidades da empresa. O sistema de células encontra-se significativamente mais estruturado, em maior concordância com os conceitos *Lean* e melhor preparado para a implementação de um sistema de fluxo contínuo *Pull*, como pretendido pela empresa, a médio-prazo.

5.1.4 Normalização

O processo de normalização conferiu, para além dos resultados enunciados de seguida, o aumento da colaboração entre o investigador, o operador e os departamentos de qualidade e produção, tendo gerado experiências enriquecedoras para o processo e para os intervenientes.

Tabela de Ganchos

Foram fotografados, identificados, catalogados e sintetizados numa tabela (“Tabelo de Ganchos”) todos os ganchos e encaixes utilizados na operação de Grenalhagem

Registos de grenalhagem

Os registos de grenalhagem realizados na folha de “Registos de Grenalhagem” criada permitem, sem custo de mão de obra adicional, recolher parâmetros de produção que até então estavam à mercê da interpretação e intuição do operador.

A tabela de registos mencionada, propositadamente simples, contempla, no entanto, campos designados à melhoria contínua do processo de grenalhagem através das notas fornecidas pelo operador, no que toca aos parâmetros ou ao processo em si. Em conjunto com as considerações dos departamentos de produção e de qualidade, estão reunidas todas as condições para a elaboração de Instruções de Grenalhagem e da sua melhoria contínua, de acordo com os princípios Kaizen (cap. 2.1.2).

Realização de instruções de trabalho;

As instruções de trabalho implementadas normalizaram o processo de grenalhagem, melhorando os seus parâmetros e obtendo ganhos a nível de produção e do seu planeamento, qualidade e flexibilidade do sistema em, por exemplo, funcionar com um novo operador sem depender do seu nível de conhecimento do processo e objetivos ou da sua intuição sobre os mesmos.

Otimização da grenalhagem

No exemplo selecionado, o tempo de grenalhagem foi diminuído de 2mins para 1min30secs e o número de peças simultâneas passou a ser de 12, em vez de 6, graças à combinação do conhecimento do departamento de qualidade com a experiência do operador. Em conjunto, percebeu-se que uma das

faces do artigo não necessita de ser grenalhado, já que o cliente não o requer (dado que essa face ficará oculta e não sofrerá maquinação posterior), o que permite que as peças sejam colocadas face a face, duplicando o número de peças a maquirar simultaneamente. A redução do tempo da operação deveu-se ao esclarecimento das especificações, após o qual se tornou claro que 1min30secs é o tempo necessário para obter a superfície pretendida (para as peças desta referência).

Foi também identificado, graças ao operador da Grenalhadora, um tipo de desperdício caricato designado como “Zorro”. Este desperdício consiste em excesso de processamento por o operador “assinar” a peça no final de a acabar com a máquina de acabamento. Esta gravação obrigava a um conseqüente processamento excessivo na Grenalhadora para garantir que toda a superfície da peça ficasse com o mesmo acabamento que a zona danificada pela “assinatura”. Esta situação foi resolvida através de diálogo com os colaboradores.

Implementação de 5S para o *stock* e *buffers*

Foram definidas zonas para alocação de paletes de artigos, quer em stock quer em buffers. Esta normalização será importante para o controlo do nível e da disposição do WIP, especialmente necessário no caso das células.

Ajudas visuais;

A criação da Ficha de Grenalhagem e da Tabela de Ganchos, apoiadas pela Ficha de Registos de Grenalhagem, concretizaram a implementação de ajudas visuais na célula de grenalhagem através de um procedimento simples, que pode ser realizado paralelamente ao processamento, não aumentando o *Lead Time*. Nos casos em que a ficha ainda não existe (primeira produção), o operador irá invariavelmente registar os dados dessa operação, pelo que nenhum artigo será produzido, de agora em diante, mais que um curto período baseado apenas na intuição momentânea e espontânea do operador responsável. Requer apenas que os dados registados pelos operadores, na Ficha Registos de Grenalhagem, sejam traduzidos numa nova Ficha de Grenalhagem para cada referência produzida.

Foi também sugerido o uso de *One Point Lessons* para endereçar a necessidade de instruções de trabalho simples e generalizadas nas células.

Definição do fluxo de material

Tendo em conta o objetivo de definir famílias de produtos e fluxos de materiais, especificamente na zona de acabamentos, foi realizada a definição e quantificação dos fluxos principais e, por consequência, do conjunto dos vários fluxos minoritários que se revelaram no caso de estudo.

A variabilidade de gamas operatórias é bastante elevada sendo que as minoritárias representam porções pouco significativas do *output* da produção. Esta informação é importante a nível de gestão e melhoria da produção, melhorias de *layout e na* implementação de futuras melhorias, como ocorreu na implementação dos postos de trabalho adicionais.

5.1.5 Melhoria do processo

O processo de validação de registos informáticos de produção foi automatizado, tal como descrito no capítulo 4.1.5.

Foram sugeridas outras melhorias de processo, no entanto, carecem, até à data, de implementação. Estas melhorias incluem a lubrificação automática, que reduziria o tempo de ciclo em cerca de 3% (cap. 4.3.2), o funcionamento do sistema em fluxo contínuo unitário “*One Piece Flow*” (cap. 2.1.3 e 3.2.4), uma melhor manutenção preventiva e a criação de equipas Kaizen.

5.1.6 Ergonomia

A nível ergonómico foi sugerida a elevação das bancadas por forma a não requerer que os trabalhadores se inclinem. O mesmo foi recomendado para as paletes de artigos. Isto permitiria reduzir o nível de fadiga e aumentar a produtividade.

Foram realizados diálogos de sensibilização para a utilização de equipamento de proteção que tiveram algum sucesso nas células, mas não no forno, por exemplo, onde a utilização do mesmo gera temperaturas desagradáveis e faz com que a taxa de utilização seja menor.

5.1.7 Aproximação da produção à filosofia *Lean*

Como tinha sido ilustrado inicialmente, no capítulo 3.7, a empresa apresentava diversas carências à luz da Casa TPS. As áreas sobre as quais se aspirava obter benefícios estão marcadas por círculos verdes (ver figura seguinte).

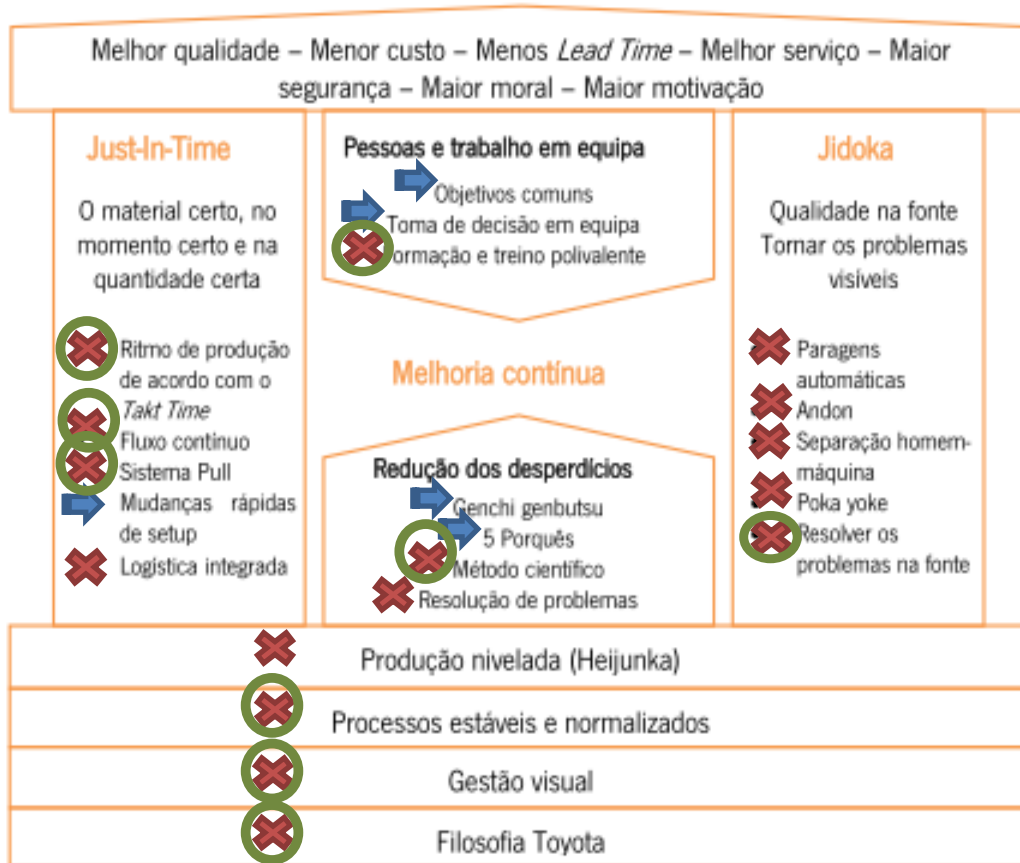


Figura 108 - Cumprimento atual e ação futura sobre os conceitos Lean representados sobre a Casa do TPS adaptada de Liker.

As melhorias sugeridas e implementadas tiveram a visão a longo prazo da empresa em consideração (cap. 1.2). A nível de fundamentos (base da casa TPS) foram conseguidos benefícios a nível de conhecimento da filosofia Toyota por parte dos operadores, a nível de gestão visual, estabilidade e normalização de processo. No que toca a produção JIT foram identificados os índices de *takt time* e tempo de ciclo, sendo que o tempo de ciclo foi drasticamente reduzido e adequado ao primeiro graças à implementação de postos de trabalho adicionais. O conhecimento do *lead time* permite trabalhar sobre um dos mais importantes KPI's para a perseguição da filosofia *Lean*. Isto colocou a empresa um passo mais perto da implementação de um sistema de produção *Pull*. A nível de *Jidoka* foi possível resolver algumas causas-raiz de problemas, como no caso “Zorro”.

5.2 Resultados esperados e obtidos

Tabela 15 - Análise dos resultados obtidos face aos objetivos definidos.

Objetivo	Resultados
Registos de operação	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Registos</u> de trabalho <ul style="list-style-type: none"> - Maior quantidade e qualidade dos registos; - Sistema informático com informação crucial em futuras análises; - Colaboradores com maior nível de informação. • <u>Validação</u> de informações de produção referentes a centenas de artigos • <u>Validação automática</u> dos tempos de produção no sistema informático
Definição de KPI's	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Dados de produção</u> recolhidos (ex: WIP) • <u>KPI's</u> relevantes definidos e quantificados. <ul style="list-style-type: none"> - Tempo de Ciclo - <i>Takt Time</i> - <i>Lead time</i>
Balanceamento das células	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Informação</u> exata sobre o desempenho e limitações das operações e postos de trabalho das células; • <u>Balanceamento</u> • <u>Implementação</u> de dois <u>postos de trabalho</u> completando uma nova célula independente
Normalização	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Base de dados</u> com o conhecimento empírico dos operadores; • <u>Processamento normalizado</u> nas células e na grenhadora. • <u>Instruções de trabalho</u> <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento das variáveis e objetivos pretendidos por parte dos colaboradores; - Fichas de instrução de trabalho. • <u>Ajudas Visuais</u> <ul style="list-style-type: none"> - <i>One Point Lesson</i>; - Ecrãs digitais;

	<ul style="list-style-type: none"> - Operação, controlo e gestão facilitados por ferramentas visuais. - Mapa quantificado de fluxos; • <u>Definição do Fluxo de Materiais</u> <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento dos fluxos de materiais nas células; - Quantificação da relevância de cada família de produtos.
Melhoria do processo	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Sugestões</u> de melhoria do processo a nível de produção e da qualidade do fluxo de valor.
Melhorias ergonómicas	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Análise</u> das condições ergonómicas de trabalho; • <u>Sugestões</u> de melhorias ergonómicas

5.3 Trabalhos futuros

Um caminho de melhoria contínua é o único caminho viável, a longo prazo, para uma organização. Contudo, a visão de organização *Lean* é ainda uma visão muito distante para a organização em questão. O projeto desenvolvido permitiu direcionar significativamente o rumo da mesma nesse sentido. Trabalhos futuros poderiam focar-se em recalcular os novos índices resultantes das melhorias implementadas, em aumento da normalização e do balanceamento não só das células, mas de todo o sistema, e no estabelecimento de fluxo contínuo, *Pull*, *Just in Time*, *Jidoka*, entre outros pilares da produção *Lean*. Formação nesta filosofia de produção seria também altamente benéfica para a empresa, em todos os cargos da mesma, sem exceção.

6 CONCLUSÃO

A realização deste projeto acrescentou um valor inestimável para a formação do investigador, tanto na produção e gestão fabril de acordo com os princípios *Lean*, como em todas as vertentes profissionais e pessoais.

O facto de a empresa ter deixado a cargo do investigador definir, dentro da produção, a área física e conceptual de atuação, assim como os métodos para atingir a visão da empresa e os objetivos concretos a curto prazo, gerou um elevado sentido de responsabilidade e autonomia. Exigiu também uma extensa investigação literária a nível de conceitos e práticas para definir, com pertinência, a prioridade de alocação dos recursos disponíveis para este projeto. Esta avaliação inicial, embora não diretamente necessária para o desenvolvimento do caso de estudo posteriormente definido, proporcionou uma visão holística da organização e do seu funcionamento e potencializou a qualidade das melhorias implementadas no caso diretamente sobre estudo: as células de acabamento em artigos em alumínio fundido.

O nível embrionário de normalização e informação de produção foram, sem dúvida, os maiores entraves à caracterização e análise do sistema, identificação e quantificação de problemas, desperdícios e índices de produção, e à implementação de melhorias de diversos géneros. Foi também notável uma falta de incentivo ao desenvolvimento, experimentação e implementação de melhorias por parte dos colaboradores, com exceção dos cargos mais elevados de chefia da organização. Ao longo do desenvolvimento do projeto, os operadores, principalmente, mostraram uma evolução significativa na disposição para colaborar na investigação.

Foi extremamente gratificante ter sido possível: aumentar o nível de informação e de normalização da fábrica; automatizar processos de validação de dados; identificar corretamente medidas sem custo ou de baixo custo que permitiram aumentar significativamente o balanceamento e a qualidade do sistema de células e diminuir simultânea e drasticamente o seu tempo de ciclo; quantificar o ritmo de procura, o *lead time* e estabelecer uma equação que traduz o *Lead Time* de uma encomenda com base na quantidade de artigos. Foi ainda mais gratificante conseguir atingir estes objetivos enquanto se estabeleceu um ambiente que fomenta e fomentará *Kaizen* em diversos níveis e aproximará a empresa da sua visão de seguir uma produção *Lean*, por ter criado uma base sólida para a implementação de futuras medidas consequentes.

Cumprir estes objetivos foi uma experiência validadora da formação providenciada pelo curso de MIEGI e altamente motivadora para o futuro profissional.

7 REFERÊNCIAS

- Al Smadi, S. (2009). Kaizen strategy and the drive for competitiveness: challenges and opportunities. *Competitiveness Review*, 19(3), 203–211. <https://doi.org/10.1108/10595420910962070>
- Alves, Anabela C., & Carmo-Silva, S. (2009). Design Methodologies for Product Oriented Manufacturing Systems. *The First International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for Innovation, IDEMIO9*, 1–12.
- Alves, Anabela Carvalho. (2018). U-shaped cells operating modes: A review and a hands-on simulation comparison. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 87–97.
- Alves, Anabela Carvalho, & Carmo-Silva, S. (2008). Production Systems Design - A Product Oriented Approach and Methodology. *Business Sustainability I*, 248–253.
- Alves, Anabela Carvalho, Monforte, P. M., Oliveira, U. R., & Rocha, H. M. (2007). Projecto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto. *Universidade Do Minho Escola de Engenharia*, 12(1), 354. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2015.v12.n1.a12>
- Angelis, J., & Fernandes, B. (2012). Innovative lean: Work practices and product and process improvements. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 74–84. <https://doi.org/10.1108/20401461211223740>
- Apreutesei, M., Suci, E., Arvinte, I. R., & Munteanu, D. (2010). Application of Kanban System for Managing Inventory. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 3(52), 6.
- Araújo, M., Amaral, G., & Varela, L. (2017). Improving productivity and standard time updating in an industrial company - A case study. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2017(1), 139–144. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63091-5_25
- Arya, A. K., & Choudhary, S. (2015). Assessing the application of Kaizen principles in Indian small-scale industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(4), 369–396. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2014-0033>
- Badham, R., & Couchman, P. (1996). Implementing team-based cells in Australia: A configurational process approach. *Integrated Manufacturing Systems*, 7(5), 47–59. <https://doi.org/10.1108/09576069610129919>
- Bartholdi, J. J., & Eisenstein, D. D. (1996). Bucket brigades: a self-organizing scheme for sharing work. *Artificial Intelligence and Manufacturing Research Planning Workshop*, 9–13. Retrieved from http://www2.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/bucket-brigades/papers/bbrigade.pdf
- Bartholdi, J. J., Eisenstein, D. D., Jacobs-Blecha, C., & Ratliff, H. D. (1995). *Design of bucket brigades production lines*. 1–17. Retrieved from http://www2.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/bucketbrigades/%0Apapers/tss.pdf
- Bell, S. (2005). Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement. In *Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement*. <https://doi.org/10.1002/0471756466>
- Bell, S. (2006). Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement. In *John Wiley & Sons, Inc.* <https://doi.org/10.1002/0471756466>
- Berger, A. (1997). Continuous improvement and kaizen: Standardization and organizational designs. *Integrated Manufacturing Systems*, 8(2), 110–117. <https://doi.org/10.1108/09576069710165792>
- Bhat, S. (2008). Cellular manufacturing - the heart of Lean Manufacturing. *Advances in Production Engineering & Management*, 3, 171–180.
- Black, J., & Hunter Steve. (2003). Lean manufacturing system and cell design. In *Society of Manufacturing Engineers*.

- Black, J. T., & Chen, J. C. (1995). The role of decouplers in JIT pull apparel cells. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 7(1), 17–35. <https://doi.org/10.1108/09556229510080693>
- Black, J. T., & Schroer, B. J. (1988). Decouplers in Integrated Cellular Manufacturing Systems. *Journal of Engineering for Industry*, 110(1), 77. <https://doi.org/10.1115/1.3187846>
- Bradley, J. R., & Willett, J. (2004). Cornell students participate in Lord Corporation's kaizen projects. *Interfaces*, 34(6), 451–459. <https://doi.org/10.1287/inte.1040.0103>
- Caffyn, S. (1999). Development of a continuous improvement self-assessment tool. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(11), 1138–1153. <https://doi.org/10.1108/01443579910291050>
- Cardoso, A., Arezes, P., Alves, A., & Carmo, S. (2008). Reconfiguração De Sistemas De Produção Orientados Ao Produto: Estudo De Um Caso Industrial. *2º Congresso de Engenharia de Moçambique*, 2–4.
- Carvalho, D. (2006). Fundamentos da Dinâmica da Produção. *Dinis Carvalho*, 1–5.
- Cesani, V. I., & Steudel, H. J. (2005). A study of labor assignment flexibility in cellular manufacturing systems. *Computers and Industrial Engineering*, 48(3), 571–591. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2003.04.001>
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 71–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.021>
- Chaudhari, S., & Thakkar, H. (2014). Review on Analysis of Foundry Defects for Quality Improvement of Sand Casting. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(3), 615–618.
- Dennis, P. (2015). *Lean Production Simplified, Third Edition, A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System* (2nd ed.). CRC Press.
- do Carmo-Silva, S., Alves, A. C., Novais, P., Costa, M., Carvalho, C., Costa, J., & Marques, M. (2007). Distributed design of product oriented manufacturing systems. *IFIP International Federation for Information Processing*, 243, 593–600. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73798-0_64
- Erlandson, R. F., Noblett, M. J., & Phelps, J. A. (1998). Impact of a poka-yoke device on job performance of individuals with cognitive impairments. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 6(3), 269–276. <https://doi.org/10.1109/86.712222>
- Feld, W. M. (2001). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*.
- Fonseca, M. (2013). *Sistema integrado de balanceamento de linhas de produção na indústria do calçado*. Retrieved from <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/57575>
- Grant, R. M. (1991). The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. *California Management Review*, 33(3), 114–135. <https://doi.org/10.4135/9781506374598.n9>
- Greene, T. J., & Sadowski, R. P. (1984). A Review of Cellular Manufacturing Assumptions, Advantages and Design Techniques. *Journal of Operations Management*, 4(2), 85–97. [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(84\)90025-1](https://doi.org/10.1016/0272-6963(84)90025-1)
- Grout, J. R., & Toussaint, J. S. (2009). Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start. *Business Horizons*, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2009.10.007>
- Harris, Chris, Harris, R. (2008). *Lean Connections: Making Information Flow Efficiently and Effectively*. In *CRC Press* (Vol. 67).
- Herrmann, C., Thiede, S., Stehr, J., & Bergmann, L. (2008). An environmental perspective on Lean Production. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, 83–88. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8_16
- Hirano, H. (2009). *JIT Implementation Manual – The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing*. In *JIT Implementation Manual – The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing*.

- <https://doi.org/10.1201/b10229>
- Hoerl, R. W., & Gardner, M. M. (2010). Lean Six Sigma, creativity, and innovation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 30–38. <https://doi.org/10.1108/20401461011033149>
- Hutchins, D. (2008). Hoshin Kanri: The Strategic Approach to Continuous Improvement. In *Gower Publishing Limited*. <https://doi.org/10.1007/s00146-009-0203-8>
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*. *Journal of Management Consulting*, page 68.
- Jurgen Wettig. (2002). New developments in standardisation in the past 15 years - product versus process related standards. *Safety Science*, 40, 51–56.
- Kono, H. (2000). *Characteristics and Problems of Cell Manufacturing System in Assembly Processes — A Viewpoint as an Enabler of Improvement —*.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan Management Review*, Vol. 31, pp. 41–52.
- Lee, J., & Jang, Y. (1998). Factors influencing the success of management consulting projects. *International Journal of Project Management*, 16(2), 67–72.
- Lee, L. C., & Seah, K. H. W. (1988). JIT and the Effects of Varying Process and Set-Up Times. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(1), 19–35. <https://doi.org/10.1108/eb054811>
- Liker, Jeffrey, Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*.
- Liker, Jeffrey K.; Lamb, T. (2000). *Lean Manufacturing Principles*. *University of Michigan*. <https://doi.org/10.1002/9780470291207.ch2>
- Liker, J. K. (2004). The Toyota Way - 14 Management Principles from the World's greatest manufacture. In *CWL Publishing Enterprises, Inc., Madison*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- 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>
- Lillrank, P. (1995). The Transfer of Management Innovations from Japan. *Organization Studies*, 16(6), 971–989. <https://doi.org/10.1177/017084069501600603>
- Losonci, D., Demeter, K., & Jenei, I. (2011). Factors influencing employee perceptions in lean transformations. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.12.022>
- Malloch, H. (1997). Strategic and HRM aspects of kaizen: A case study. *New Technology, Work and Employment*, 12(2), 108–122. <https://doi.org/10.1111/1468-005X.00028>
- Matzka, J., Di Mascolo, M., & Furmans, K. (2012). Buffer sizing of a Heijunka Kanban system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(1), 49–60. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0317-3>
- 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>
- Miltenburg, J. (2001). U-shaped production lines: A review of theory and practice. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 201–214. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00064-5)
- Misiurek, B. (2016). Standardized Work with TWI. In *Standardized Work with TWI*. <https://doi.org/10.1201/b19696>
- Monden, Y. (1994). Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time. In *The Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.2307/2584544>
- Monden, Y. (2012). Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time. In *CRC Press*.
- Montabon, F. (2005). Using kaizen events for back office processes: The recruitment of frontline

- supervisor co-ops. *Total Quality Management and Business Excellence*, 16(10), 1139–1147. <https://doi.org/10.1080/14783360500235876>
- Nicholas, J., & Nicholas, J. (2019). Workcells and Cellular Manufacturing. *Lean Production for Competitive Advantage*, 283–318. <https://doi.org/10.4324/9781351139083-12>
- Niepce, W., & Molleman, E. (1996). Characteristics of work organization in lean production and sociotechnical systems: A case study. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(2), 77–90. <https://doi.org/10.1108/01443579610109857>
- Ohno, Taiichi; Bodek, N. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*.
- Oliveira, A. R. S., & Alves, A. C. (2009). Operating modes in manufacturing cells – an Action Research study. *Proceedings International Conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems IML2009 and Symposium on Group Technology and Cellular Manufacturing GTCM2009, Feb 16-18*.
- Ortiz, C. A. (2006). Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line. In *Assembly Automation* (Vol. 27). <https://doi.org/10.1108/aa.2007.03327aae.001>
- Pattanaik, L. N., & Sharma, B. P. (2009). Implementing lean manufacturing with cellular layout: A case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(7–8), 772–779. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1629-8>
- Paul Brunet, A., & New, S. (2003). Kaizen in Japan: an empirical study. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(12), 1426–1446. <https://doi.org/10.1108/01443570310506704>
- Ramos, C. A. O. (2014). *Análise e diagnóstico da secção de pintura da MoldartPóvoa e desenvolvimento de propostas de melhoria*. Universidade do Minho.
- 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. *22nd International Conference on Production Research, ICPR 2013*. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929380306&partnerID=tZ0tx3y1>
- Rother, M. (2009). *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness, and Superior Results* (1st ed.; McGraw-Hill Education, Ed.).
- Rother, Mi., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*.
- Rui Miguel Bastos Pires Gonçalves. (2013). *Reconfiguração de um sistema de produção tradicional num sistema de produção Lean*. Universidade do Minho.
- Saurin, T. A., Ribeiro, J. L. D., & Vidor, G. (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.001>
- Schonberger, R. J. (1983). Work Improvement Programmes: Quality Control Circles Compared with Traditional Western Approaches. *International Journal of Operations & Production Management*, 3(2), 18–32. <https://doi.org/10.1108/eb054692>
- Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. In *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. <https://doi.org/10.4324/9781315136479>
- Shingo, S. (1987). The Sayings of Shigeo Shingo: Key Strategies for Plant Improvement. In *The Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd.* (Vol. 6).
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*.
- Slack, Nigel, Chambers, Stuart, Johnston, R. (2010). Operations Management. In *Operations management*. <https://doi.org/10.1079/9781845935030.0068>
- Sousa, E. (2015). *Aplicação de ferramentas Lean e gestão da manutenção numa metalomecânica*. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/39298>
- Stewart, D. M., & Grout, J. R. (2001). The human side of mistake-proofing. *Production and Operations Management*, 10(4), 440–459. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00086.x>

- Styhre, A. (2001). Kaizen, Ethics, and Care of the Operations: Management After Empowerment. *Journal of Management Studies*, 38(6), 795–810. <https://doi.org/10.1111/1467-6486.00259>
- Suárez-Barraza, M. F., Ramis-Pujol, J., & Estrada-Robles, M. (2012). Applying *Gemba*-Kaizen in a multinational food company: A process innovation framework. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 4(1), 27–50. <https://doi.org/10.1108/17566691211219715>
- Suárez-Barraza, M. F., Ramis-Pujol, J., & Kerbache, L. (2011). Thoughts on kaizen and its evolution: Three different perspectives and guiding principles. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 288–308. <https://doi.org/10.1108/20401461111189407>
- Suárez-Barraza, M. F., & Ramis-Pujol, J. (2012). An exploratory study of 5S: a multiple case study of multinational organizations in Mexico. *Asian Journal on Quality*, 13(1), 77–99. <https://doi.org/10.1108/15982681211237842>
- Sullivan, W. G., McDonald, T. N., & Van Aken, E. M. (2002). Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3–4), 255–265. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00016-9)
- Treurnicht, N.F., Blanckenberg, M.M., Niekerk, H. G. van. (2011). USING POKA-YOKE METHODS TO IMPROVE EMPLOYMENT POTENTIAL OF INTELLECTUALLY DISABLED WORKERS. *South African Journal of Industrial Engineering*, 22(May 2011), 213–224.
- Ungan, M. C. (2006). Standardization through process documentation. *Business Process Management Journal*, 12(2), 135–148. <https://doi.org/10.1108/14637150610657495>
- Van Scyoc, K. (2008). Process safety improvement–Quality and target zero. *Journal of Hazardous Materials*, 159(1), 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.036>
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 11(Iceei), 1292–1298. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Ward, P. T., Shah, R., & Ward, P. T. (2002). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management* 21, 129–149. *Journal of Operations Management*, 43221(August), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Warnecke, H.J., Huser, M. (1995). Lean production. *International Journal of Production Economics*, 41, 37–43.
- Womack, James; Jones, Daniel; Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. 347.
- Womack, James; Jones, D. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Free Press*, 18(1–2), 9–22. <https://doi.org/10.1007/BF01807056>
- Womack, James P., Jones, D. T. (1994). *From Lean Production to the Lean Enterprise*. 1–9. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>

ANEXO I - GLOSSÁRIO

Operação - Atividade ou atividades realizadas por uma única pessoa ou máquina (Womack, James; Jones, 1996).

Processo - Um processo é um conjunto de operações, materiais, pessoas e métodos necessários para a concepção, fabrico ou entrega de um produto ou encomenda (Womack, James; Jones, 1996).

Fluxo - É a conclusão consecutiva de tarefas ao longo do fluxo de valor, de forma a que um produto siga do design para o lançamento, da ordem para a entrega ou da matéria-prima às mãos do cliente sem que ocorrem paragens, sucata ou fluxos inversos (Womack, James; Jones, 1996).

Produção em lotes - Produção associada tipicamente à produção em massa em que são operadas grandes quantidades de produtos em cada operação e que são, posteriormente, transportados passando a aguardar a próxima operação (Womack, James; Jones, 1996).

Causa-raiz de um problema - Frequentemente a causa de um problema tem, por sua vez, razões ou causas mais fundamentais que a primeira. Para resolver o problema, e prevenir a sua reincidência e a de restantes problemas, é muito mais eficaz identificar previamente a verdadeira causa fundamental do problema que queremos resolver (Ohno, Taiichi; Bodek, 1988).

Bottleneck - significa “gargalo de garrafa”, é um termo inglês para definir um estrangulamento físico do fluxo de produção que pode ser causado por uma pessoa, equipamento ou espaço. Limita a cadência de produção do sistema (Pinto, 2006). Tal como a quantidade de água que uma garrafa pode verter por unidade de tempo é limitada pelas características do gargalo, o mesmo acontece com um sistema de produção.

A melhoria de *bottlenecks* traz, normalmente, um elevado retorno e auxilia na deteção de outros problemas que eram antes parcial ou totalmente camuflados. Por estes e outros motivos, as operações que constituem *bottlenecks* merecem especial consideração (Cesani & Steudel, 2005).



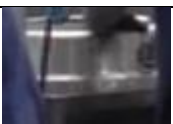
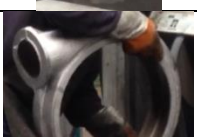


Buffer - é um inventário, especificamente intermédio a dois postos de trabalho, que tem por objetivo colmatar variabilidades no processo.








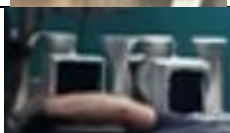
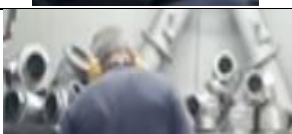
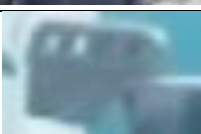
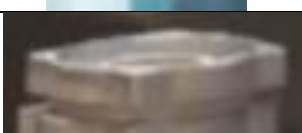
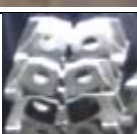
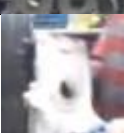
Família de produtos - um conjunto de produtos similares a nível de produção e que podem, nomeadamente, ser produzidos na mesma célula de produção (Womack, James; Jones, 1996).


Gama operatória - Ao conjunto de operações executadas no produto na sequência correta de execução, dá-se o nome de gama operatória. (Fonseca, 2013)

ANEXO II- PEÇAS ANALISADAS

Tabela 16 - Peças analisadas

Nº	Imagem	Código	Tipo	Tamanho
1		AM_1	Anel	Média
2		AM_2	Anel	Média
3		AM_3	Anel	Média
4		AM_4	Anel	Média
5		AM_5	Anel	Média
6		AM_6	Anel	Média
7		AG_1	Anel	Grande
8		AG_2	Anel	Grande
9		VG_1	Ventilador	Grande
10		VG_2	Ventilador	Grande
11		TP_1	Tampa	Pequena

12		CP_1	Cubo	Pequena
13		CP_2	Cubo	Pequena
14		CG_1	Caixa	Grande
15		OP_1	OP_1	Pequena
16		OP_2	OP_2	Pequena
17		OP_3	OP_3	Pequena
18		OP_4	OP_4	Pequena
19		OP_5	OP_5	Pequena
20		OP_6	OP_6	Pequena
21		OP_7	OP_7	Pequena
22		OP_8	OP_8	Pequena
23		OP_9	OP_9	Pequena
24		OP_10	OP_10	Pequena

25		OM_1	OM_1	Média
26		OM_2	OM_2	Média
27	P_G_1	PG_1	PG_1	Grande
28	P_G_2	PG_2	PG_2	Grande
29	P_G_3	PG_3	PG_3	Grande

ANEXO III – ANÁLISE AO LAYOUT DAS ZONAS DE FABRICO: CORELAP

Escala VGR

Indica a importância da proximidade dos diferentes departamentos através de um “peso ponderado” (VGR) de 1 a 6. Esta escala, apresentada na tabela abaixo, será utilizada, numericamente, na figura seguinte, na parte de cima do losango de cada relação.

Diagrama de relacionamento

Tabela 17 - Escala VGR

GR	PROXIMIDADE	PESO (VGR)
A	NECESSÁRIO	6
E	MUITO IMPORTANTE	5
I	IMPORTANTE	4
O	DESEJÁVEL	3
U	NÃO IMPORTANTE	2
X	NÃO DESEJÁVEL	1

Os três fluxos que a Toyota ensina aos seus colaboradores são materiais, informação e pessoas/processos (M. Rother, 2009)

Na parte de baixo do losango encontra-se indicação do tipo de fluxo envolvido nas relações, definido da seguinte forma: letra “P” para pessoas, letra “I” para informações e “M” para materiais (Slack, Nigel, Chambers, Stuart, Johnston, 2010). Nos casos em que não existe fluxo, é atribuída a letra “S”. A utilização do diagrama dos relacionamentos referidos pretendia adaptar o método de TCR de Muther à prestação de serviços, classificando o tipo de relação ou fluxo entre os departamentos. Revelou-se igualmente útil em ambiente fabril.

Abaixo, o diagrama de Muther unidade fabril.

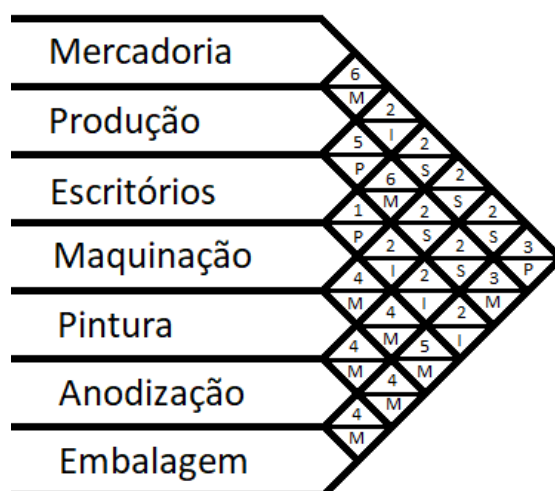


Figura 109 - Diagrama de Muther da fábrica

Características muito importantes como, por exemplo, a sensibilidade de algumas zonas ao ruído ou calor pelos escritórios também podem ser introduzidas como condicionantes ou variáveis numéricas na definição do peso de cada relação entre as diferentes zonas. Neste caso, os escritórios são realmente a única secção que apresenta este tipo de restrições. Como tal, a proximidade dos últimos à zona de Maquinação (zona de maior ruído) é “indesejável”, facto que será traduzido pelo valor 1 na escala VGR.

Esta relação é extremamente importante garantir, dado que pode comprometer o bom ambiente de trabalho nos escritórios, e será confirmada durante a análise à simulação de implantação.

São de realçar relações essenciais (valor 6) como as que existem entre a mercadoria e produção e entre produção e maquinação, principais interfaces de fluxo de materiais. Nas situações da pintura e anodização foi atribuído o valor 4 dado que apenas algumas peças são submetidas a esses tratamentos. A secção de embalagem partilha o valor 4 com os acabamentos e 5 com a maquinação pelo mesmo motivo: cada peça poderá passar, em diferentes quantidades, por diferentes secções entre a maquinação e a embalagem. Foi atribuído valor 5 à relação entre os escritórios e a produção pelas razões de constante fluxo de pessoas e informação supracitados. Foram atribuídos valores de 3 quando a proximidade não é muito importante: as movimentações entre elas são pouco frequentes. No entanto, não será sensato descartar essa importância classificando com 2, “não importante”. Em vários casos o fluxo é muito esporádico e apenas de informação pelo que a proximidade física não é um parâmetro importante e foram classificados com valor 2.

A classificação de proximidade é independente do tipo de fluxo (e ter este parâmetro em conta num passo mais à frente). No entanto, é equivalente no caso em estudo, pela sua simplicidade e natureza: o grau de VGR atribuído acaba por refletir o tipo e frequência de fluxos, exceto no caso peculiar da relação entre os Escritórios e Maquinação em que existe fluxo de informação e, esporadicamente, de pessoas, mas questões ergonómicas definem o VGR de 1.

As áreas utilizadas são estimativas feitas a partir das plantas da unidade fabril.

Calculando o TCR para cada secção do 1º piso da empresa, obtemos a seguinte matriz:

Tabela 18 - Tabela de TCR e área por secção

Zona	Mercadoria	Produção	Escritórios	Maquinação	Pintura	Anodização	Embalagem	TCR	Área
Mercadoria	-	6	2	2	2	2	3	17	250
Produção	6	-	5	6	2	2	3	24	850
Escritórios	2	5	-	1	2	2	2	14	150
Maquinação	2	6	1	-	4	4	5	22	350
Pintura	2	2	2	4	-	4	4	18	100
Anodização	2	2	2	4	4	-	4	18	150
Embalagem	3	3	2	5	4	4	-	21	300

Algoritmo CORELAP

A primeira secção a implementar seria a Produção, por ter maior TCR. Em seguida e lado a lado, a secção que tem maior relação com a produção, que é a Maquinação. Em terceiro lugar seria a secção com maior grau de relacionamento com as zonas já alocadas pelo que seriam a Mercadoria e a Embalagem, ambas com valor de VGR combinado de 8 (6+2 e 3+5, respetivamente) em relação à Produção e Maquinação, mas, como a Embalagem tem maior TCR (21), tem prioridade seguido da Mercadoria. A Embalagem deve ser adjacente à Produção (VGR 3) e mais importante, à Maquinação (VGR 5) enquanto a Mercadoria tem de ser adjacente à Produção (VGR 6) e é desejável que seja próxima da Embalagem.

Recapitulando, a ordem seria: Produção, Maquinação Embalagem e, em quarto, Mercadoria. Em quinto lugar selecionaríamos ou a secção de Pintura ou a de Anodização por terem um VGR combinado em relação as secções implementadas de 12, enquanto os escritórios têm apenas 10. Para além do mesmo valor de VGR combinado têm também o mesmo TCR não permitindo tomar uma decisão, no entanto, a secção de anodização tem maior área que a Pintura o que lhe confere prioridade na alocação. Em quinto lugar é então alocada a Anodização e em sexto, a Pintura. Por último, são alocados os Escritórios numa posição adjacente à Produção e afastada da Maquinação.

Concluindo, uma sequência para efetuar o *layout* resultante deste algoritmo seria: Produção, Maquinação, Embalagem, Mercadoria, Anodização, Pintura e Escritórios.

Abaixo segue uma ilustração da ordem descrita de colocação ótima das secções, segundo o algoritmo utilizado assim como setas que indicam a sua relação com as secções já implementadas (desde que com VGR maior que 2: “não importante”).

Comparando agora este *layout* ótimo teórico, obtido pelo método de CORELAP com a implantação efetiva

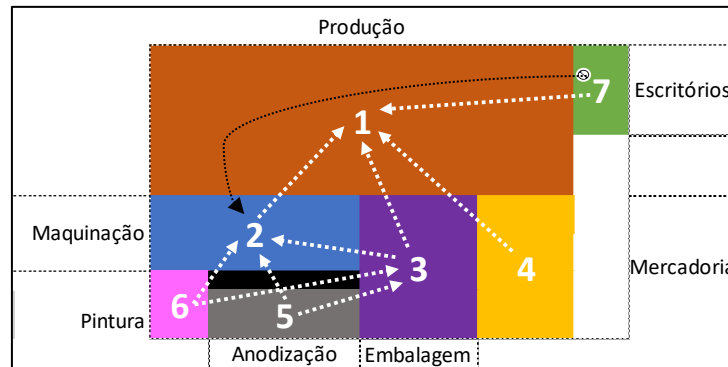


Figura 110 - Ilustração do resultado da aplicação do CORELAP

da fábrica podemos concluir que o *layout* garante o cumprimento das relações de proximidade consideradas relevantes nesta iteração nomeadamente a relação negativa de proximidade entre os Escritórios e a Maquinação que tentamos, com sucesso, traduzir no modelo pelo valor de VGR 1, “Indesejável”.

Segundo o método de CORELAP, a implantação das zonas fabris está otimizada. É importante realçar que pequenas *mudanças* que poderiam ser consideradas melhorias à luz do método, na prática não o seriam devido a fatores de maior detalhe como, por exemplo, a direção do fluxo de material dentro das próprias secções. O método não teria em conta a vantagem de colocar a Mercadoria (4) do lado direito da Produção (1) já que é desse lado que se encontra a torre fusora. Outro fator não considerado é a localização real dos Escritórios permitir também acesso facilitado ao segundo andar da fábrica, cuja relação não é contabilizada. O mesmo é verdade para a máquina de tratamento térmico que é o único processo na gama operatório de alguns artigos e se encontra na zona de fundição mas, no entanto, não se encontra adjacente à Embalagem e sim no lado esquerdo da Produção de acordo com a figura. São assim evidentes as possíveis falhas referentes a negligenciar o *layout* interno das secções em qualquer modelo, no entanto, o método foi desenvolvido para novas implantações não considerando limitações inerentes a *layouts* internos já definidos.

ANEXO IV – DIAGRAMAS BPMN

A. Processos de fundição e acabamento

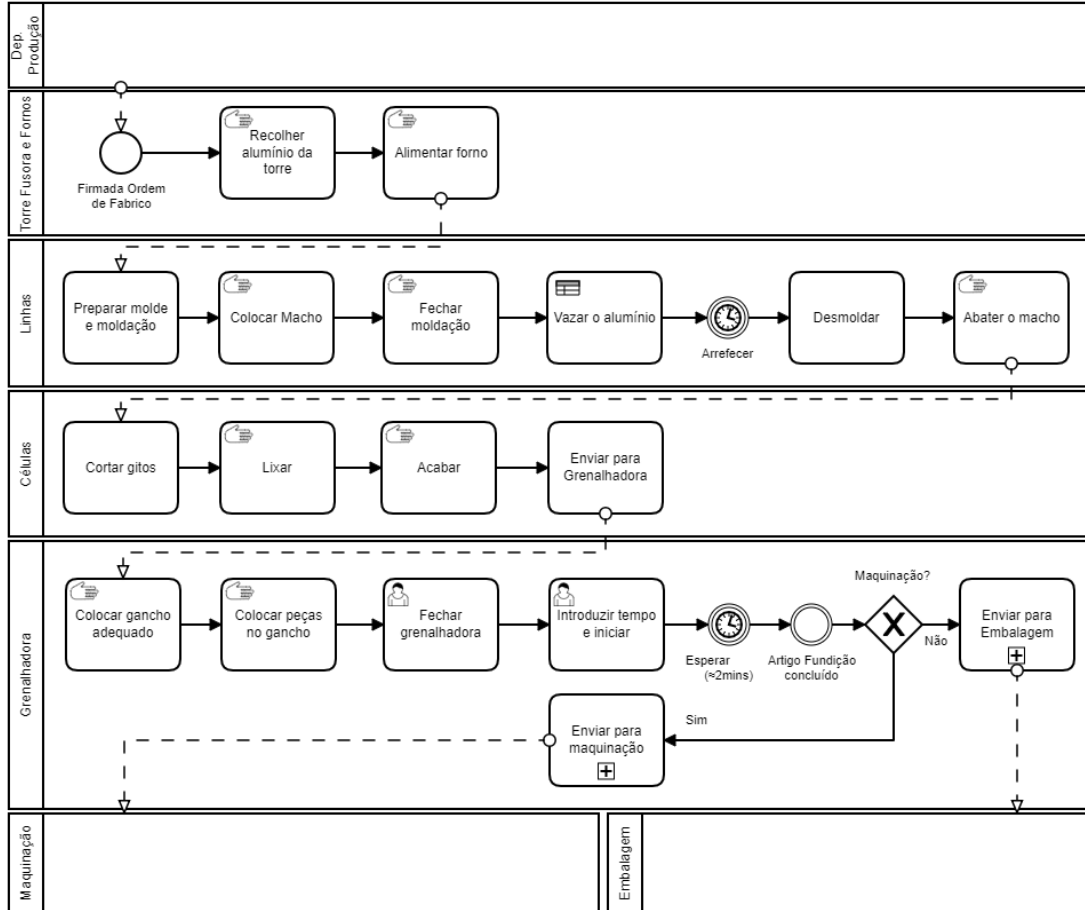


Figura 111 - BPMN do processo de fundição.

B. Processo de encomenda

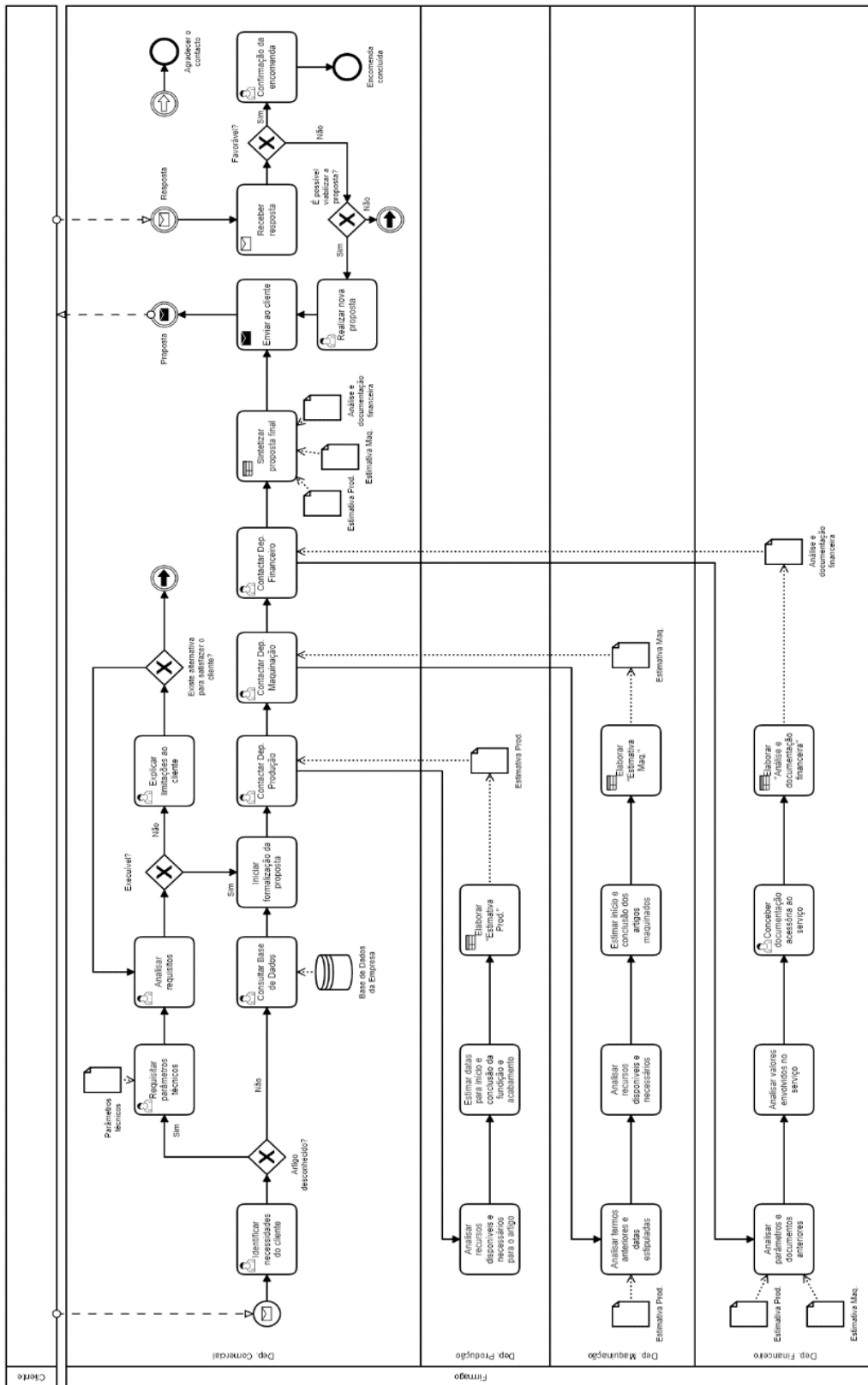


Figura 112 - BPMN do processamento de encomendas.

C. Processo de Fabrico

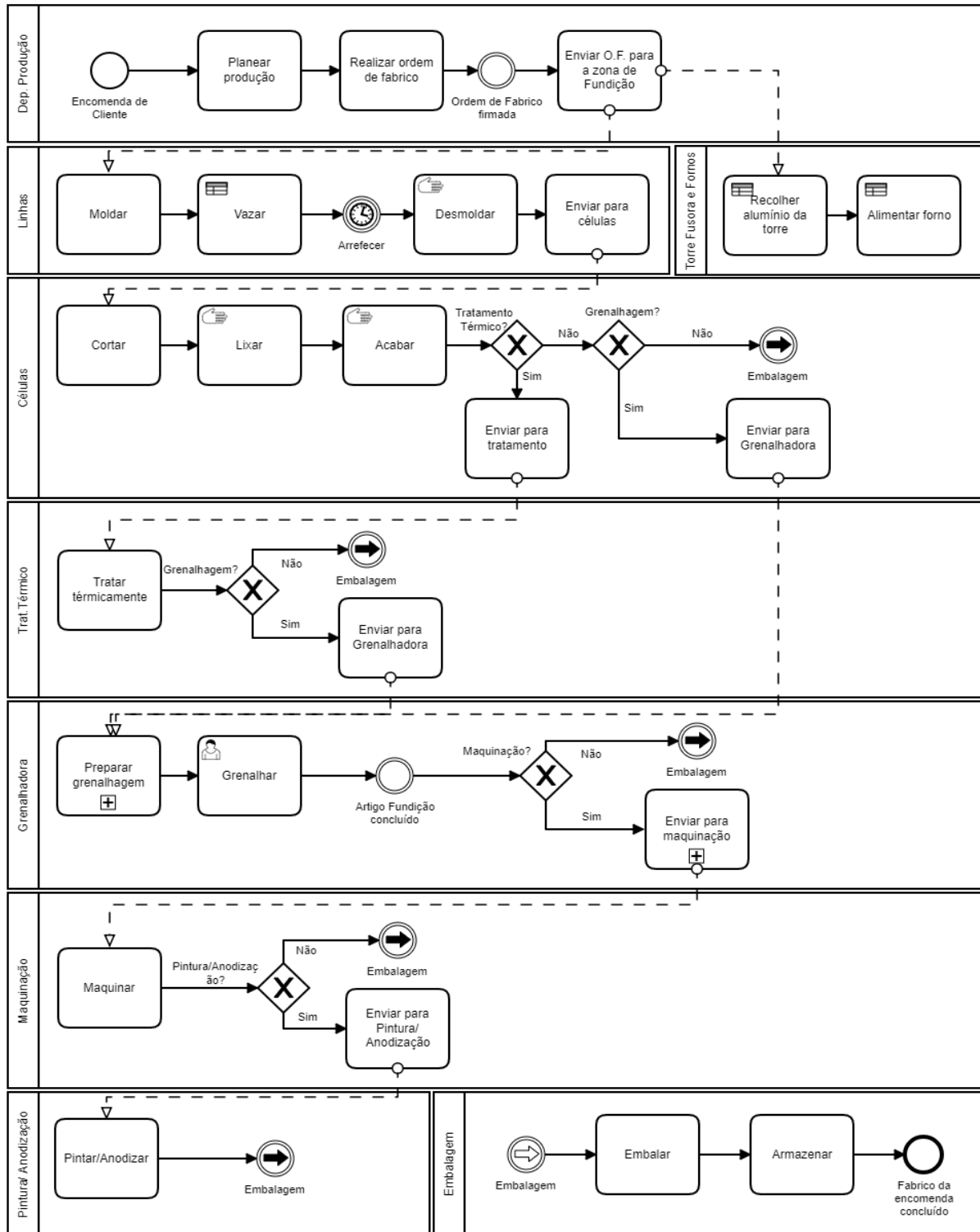


Figura 113 - BPMN do processo de fabrico.