



**ANA CRISTINA  
RODRIGUES SEIXAS  
MARTINS**

**BALANCEAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE  
MONTAGEM**





**ANA CRISTINA  
RODRIGUES SEIXAS  
MARTINS**

**BALANCEAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE  
MONTAGEM**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.



“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante”

Antoine de Saint-Exupéry



## **o júri**

presidente

**Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa**  
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

vogais

**Professor Doutor Bernardo Sobrinho Simões de Almada Lobo**  
Professor Associado, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia

**Professora Doutora Ana Maria Pinto de Moura**  
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

À Bosch Security Systems, em particular à Eng.<sup>a</sup> Cristina Brito e à Eng.<sup>a</sup> Lara Barbosa por todo o apoio na realização deste projeto.

À minha orientadora, a Prof.<sup>a</sup> Ana Moura, pela constante disponibilidade em me ajudar na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais e irmão pelo suporte incondicional a tornar este sonho realidade.

Ao Nicolás Neto pela amizade que me deu a conhecer desde que cheguei a Aveiro.

À Mimi pela capacidade que teve em me fazer sorrir e descomprimir no fim daquelas noitadas de trabalhos.



**palavras-chave**

Balanceamento de linhas de montagem, heurísticas, melhoria contínua, ergonomia.

**resumo**

Este projeto aborda o estudo de duas linhas de montagem de uma empresa. O desafio proposto foi solucionar um problema de capacidade produtiva de duas linhas de montagem.

O objetivo principal foi minimizar o tempo de ocupação das linhas, não só através do seu balanceamento, mas também o sequenciamento das tarefas e o próprio layout da linha, tendo em consideração aspetos de ergonomia dos postos de trabalho. Primeiramente começou-se por analisar o universo de produtos produzidos nas linhas em estudo, recolhendo todos os dados inerentes à sua produção, desde listas de tarefas e respetivas precedências e tempos de execução das mesmas, criando-se vários cenários. Na criação destes cenários recorreu-se à utilização de algumas regras heurísticas para definir a ordem de afetação das tarefas e obter assim cenários teóricos que depois foram alvo de uma análise crítica para a sua adaptação às condições reais de trabalho. Na elaboração destes balanceamentos foram tidos em conta, entre outros, aspetos de ergonomia no posto de trabalho.

Com este trabalho chegou-se a resultados interessantes, alguns dos quais foram objeto de implementação nas linhas em estudo. Contribuiu-se para a confirmação dos standards de trabalho e para o reforço da importância da aplicação de princípios ergonómicos.



**keywords**

Balancing of assembly lines, heuristics, continuous improvement, ergonomics.

**abstract**

This project addresses the study of two assembly lines of a company. The proposed challenge was to solve a problem of productive capacity of two assembly lines.

The main objective was to minimize the occupation time taken by the lines, not only through their balancing, but also the sequencing of the tasks and the line layout itself, taking into account the ergonomic aspects of the workstations.

Firstly, we began by analyzing the universe of products produced in the lines under study, collecting all the data inherent in their production, from task lists and their respective precedence and execution times, creating several scenarios. In the creation of these scenarios we resorted to the use of some heuristic rules to define the order of affectation of the tasks and to obtain theoretical scenarios that afterwards were the object of a critical analysis for their adaptation to the real conditions of work. In the preparation of these balances, ergonomics in the workplace was taken into account, among other things.

This work led to interesting results, some of which were implemented in the study lines. It contributed to the confirmation of the working standards and to the reinforcement of the importance of the application of ergonomic principles.



## Índice de conteúdos

1.	Introdução .....	1
1.1.	Motivação e contextualização do trabalho .....	1
1.2.	Objetivos e metodologia .....	1
1.3.	Estrutura do documento .....	2
2.	Revisão de literatura .....	3
2.1.	A produção lean e o Toyota production system .....	3
2.1.1.	Pull vs. Push .....	5
2.1.2.	Takt time, tempo de ciclo, lead time e throughput time .....	5
2.1.3.	Metodologia 5S .....	6
2.1.4.	Standardized work.....	9
2.1.5.	Desperdício na produção .....	9
2.2.	Linhas de produção .....	11
2.2.1.	Layouts de produção .....	18
2.2.2.	Medição de trabalho .....	18
2.2.3.	Balanceamento de linhas de produção .....	19
2.2.4.	Métodos para balanceamento de linhas de produção .....	21
2.2.5.	Classificação de produtos: curva ABC, diagrama de Pareto ou regra 80/20.....	23
2.3.	Ergonomia no posto de trabalho .....	24
3.	Estudo Prático .....	25
3.1.	Apresentação geral da empresa.....	25
3.1.1.	A Bosch Security Systems.....	25
3.1.2.	Bosch production system .....	25
3.2.	Enquadramento e descrição do estado inicial das linhas de montagem em estudo.....	27
3.3.	Análise inicial de dados e aplicação de conceitos teóricos à resolução do problema.....	28
3.3.1.	Análise dos dados.....	29
3.3.2.	Escolha dos produtos a analisar .....	29
3.3.3.	Cálculos iniciais para os balanceamentos .....	30
3.3.4.	Observação de características dos produtos .....	33
3.3.5.	Construção dos diagramas de precedências.....	35
3.3.6.	Criação de balanceamentos .....	37
3.3.7.	Comparação com os resultados do software.....	44
4.	Discussão de resultados e medidas implementadas.....	47
4.1.	Criação e análise crítica de cenários .....	47
4.2.	Análise de aspetos ergonómicos.....	58
4.3.	Resultados obtidos .....	59

4.4. Implementação das melhorias obtidas.....	60
4.5. Observação, estudo e sugestão de outras melhorias .....	63
5. Conclusões e considerações finais .....	67
5.1. Atividades futuras .....	68
Referências bibliográficas .....	69
Anexos.....	71

## Índice de figuras

Figura 1 - House of lean, adaptado de M. Alefari, K. Salonitis e Y. Xu (2017).....	3
Figura 2 - Métodos a aplicar na produção lean e consequentes melhorias obtidas (elaboração própria).....	4
Figura 3 - A evolução da logística, adaptado de Klaas (1997).....	4
Figura 4 - Conceito de produção pull, adaptado de Klaas (1997).....	5
Figura 5 - Explicação do conceito de lead time (elaboração própria).....	6
Figura 6 - Fases da metodologia DMAIC.....	7
Figura 7 - As 3 grandes classificações de desperdício, imagem adaptada de G. Easaw (2013).....	10
Figura 8 - Os 7 tipos de desperdício (adaptado de Bosch intranet, 2017).....	10
Figura 9 - Tipos de linhas de produção, fonte: C. Becker e A. Scholl (2006).....	12
Figura 10 - Layout em U (elaboração própria).....	18
Figura 11 - Diagrama de precedências ou diagrama de atividades exemplificativo (elaboração própria).....	21
Figura 12 - Representação da curva ABC (elaboração própria).....	23
Figura 13 - A interligação existente entre os objetivos do BPS (Bosch intranet, 2017).....	26
Figura 14 - Layout da L1 (Bosch, 2017).....	27
Figura 15 - Layout da L2 (Bosch, 2017).....	27
Figura 16 - Processo produtivo geral na Bosch em Ovar (Bosch intranet, 2017).....	28
Figura 17 - Diagrama de precedências do produto A.....	35
Figura 18 - Diagrama de precedências do produto I.....	35
Figura 19 - Diagrama de precedências do produto S.....	36
Figura 20 - Diagrama de precedências do produto D.....	36
Figura 21 - Diagrama de precedências do produto H.....	36
Figura 22 - Diagrama de precedências do produto X.....	36
Figura 23 - Diagrama de precedências do produto V.....	37
Figura 24 - Aspeto geral do software POM-QM com o tópico Assembly Line Balancing selecionado.....	44
Figura 25 - Preenchimento da tabela de tempos de execução e precedências do produto A.....	44
Figura 26 - Diagrama de precedências do produto A.....	45
Figura 27 - Tabela de balanceamento do produto A com a regra heurística “maior tempo de processamento”.....	45
Figura 28 - STAB do produto A antes.....	60
Figura 29 - STAB do produto A depois.....	61
Figura 30 - STAB do produto H antes.....	61
Figura 31 - STAB do produto H depois.....	62
Figura 32 - STAB do produto H otimizada.....	63



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Principais características dos produtos e seus aspectos positivos e negativos (elaboração própria).....	14
Tabela 2 - Objetivos concretos do Bosch production system (Bosch intranet, 2017) .....	26
Tabela 3 - Ferramentas BPS .....	26
Tabela 4 - Produtos selecionados .....	30
Tabela 5 - Valores do takt time para a L2.....	31
Tabela 6 - Valores do takt time para a L1.....	32
Tabela 7 - Cálculo do nº de operadores da L2.....	32
Tabela 8 - Cálculo do nº de operadores da L1.....	33
Tabela 9 - Tempos de ciclo teóricos para os produtos selecionados.....	33
Tabela 10 - Resumo das tarefas do produto A com respectiva duração e precedências.....	35
Tabela 11 - Cálculo do peso posicional de cada tarefa do produto A.....	37
Tabela 12 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 1 .....	38
Tabela 13 - Ordenação relativa à regra heurística 2 .....	38
Tabela 14 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 2 .....	39
Tabela 15 - Ordenação dada pela regra heurística 3 .....	39
Tabela 16 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 3 .....	40
Tabela 17 - Ordenação estabelecida pela regra heurística 4.....	40
Tabela 18 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 4 .....	41
Tabela 19 - Ordenação estipulada pela regra heurística 5.....	41
Tabela 20 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 5 .....	42
Tabela 21 - Resumo dos resultados dos balanceamentos para os restantes itens .....	43
Tabela 22 - Cenários teóricos do produto A para as regras heurísticas 1, 2, 3 e 5 .....	48
Tabela 23 - Criação de cenários práticos para o produto A.....	49
Tabela 24 - Análise crítica dos cenários do produto A.....	51
Tabela 25 - Cenários teóricos do produto I para as regras heurísticas 1, 2, 3, 4 e 5 .....	52
Tabela 26 - Melhor cenário prático encontrado para o produto I.....	52
Tabela 27 - Análise crítica do cenário do produto I .....	53
Tabela 28 - Melhor cenário prático encontrado para o produto S.....	54
Tabela 29 - Análise crítica do cenário do produto S.....	54
Tabela 30 - Melhor cenário prático encontrado para o produto D .....	55
Tabela 31 - Análise crítica do cenário do produto D.....	55
Tabela 32 - Melhor cenário prático encontrado para o produto H .....	56
Tabela 33 - Análise crítica do cenário do produto H.....	56
Tabela 34 - Melhor cenário prático encontrado para o produto X.....	57
Tabela 35 - Análise crítica do cenário do produto X .....	57
Tabela 36 - Melhor cenário prático encontrado para o produto V.....	58
Tabela 37 - Análise crítica do cenário do produto V .....	58
Tabela 38 - Súmula dos resultados obtidos .....	59
Tabela 39 - Cenário prático otimizado para o produto H .....	62
Tabela 40 - Recolha de tempos do contra fluxo do produto H.....	64
Tabela 41 - Cálculo do nº de horas úteis por dia .....	64



### **Índice de gráficos**

Gráfico 1 - Classificação dos produtos das linhas 1 e 2 de acordo com o diagrama de Pareto .....	29
Gráfico 2 - Percentagem de produtos em que produtividade altera por se ter mais 1 op.....	30

### **Índice de equações**

Equação 1 - Fórmula para o cálculo do takt time .....	5
Equação 2 - Fórmula de cálculo para o tempo de ciclo .....	6
Equação 3 - Fórmula para o cálculo do nº mínimo de postos de trabalho.....	20
Equação 4 - Fórmula para o cálculo da percentagem de tempo inativo .....	20
Equação 5 - Fórmula para o cálculo da eficiência .....	20
Equação 6 - Fórmula para o cálculo do tempo de ciclo teórico.....	33
Equação 7 - Fórmula para o cálculo da produtividade efetiva.....	50
Equação 8 - Fórmula para o cálculo do tempo de ciclo efetivo .....	50



## Lista de acrónimos e outros termos

SMED - *Single minute exchange of die*;

PDCA - *Plan, do, check, act*;

MTO - *Make-to-order*;

BPS - *Bosch production system* (sistema de produção da Bosch);

ERP - *Enterprise resource planning* (planeamento de recursos empresariais);

ST - *Security systems* (sistemas de segurança);

*Power tools* - ferramentas como, por exemplo, berbequins e aparafusadoras;

PCBA - *Printed circuit board assembly* (placa de circuito impresso assemblada);

SMT - *Surface-mount technology* (tecnologia de montagem superficial, trata-se de um método para produzir circuitos eletrónicos no qual os componentes são colocados, e soldados, diretamente na superfície de PCBs (*Printed circuit boards*, placas de circuito virgens));

THT - *Through-hole technology* (tecnologia de montagem *through-hole*, consiste na montagem de componentes eletrónicos cujos pinos atravessam a placa, sendo inseridos em buracos abertos nas PCBs e soldados do lado oposto da placa);

MOE - *Manufacturing operations and engineering*;

PoUP - *Point of use provider* (fornecedor de ponto de utilização, são colaboradores que fornecem diretamente as linhas de produção, retirando os materiais dos supermercados e colocando-os à disposição dos operadores de linha, no bordo de linha);

SM - Supermercado (estrutura metálica que acomoda as matérias-primas, que vêm maioritariamente em contentores de diversos tamanhos, encontrando-se organizado por níveis devidamente identificados);

qty - *Quantity* (quantidade);

PQI - *Production and quality instruction*;

STAB - *Standard work sheet*;

CAT - *Customer administration tool*;

*Rework* - Retrabalho da peça ou produto;

WIP - *Work in process*;

*Gemba* - Termo japonês que significa “o lugar real” e que, no contexto deste trabalho, significa o chão-de-fábrica, ou seja, o local onde a produção acontece;

*Kaizen* - Termo japonês que significa “melhoria” e refere-se a práticas que se focam na melhoria contínua;

CIP - *Continuous improvement process*;

*Fall-off* - Rejeição devido a erro do fornecedor (existem dois tipos de rejeição: a rejeição de processo, que é quando uma peça se estraga durante o processo produtivo; e rejeição de fornecedor, que é quando o defeito da peça já vinha do fornecedor);

*Hoshin kanri* - Termo japonês que significa “gestão de políticas / gestão de planeamentos” e trata-se de um processo usado no planeamento estratégico (que requer uma visão estratégica), em que os objetivos estratégicos são comunicados a toda a empresa e depois implementados. As palavras “*hoshin*” e “*kanri*”, individualmente, significam “direção” e “administração/gestão”, respetivamente;

*Kanban* - Termo japonês que significa “leiteiro” ou “quadro de avisos” (na empresa em estudo materializa-se na forma de cartões que acompanham e identificam a matéria-prima, o produto acabado, etc.);

*Andon* - Termo japonês que significa “lâmpada” (utiliza-se, por exemplo, para sinalizar que linhas de produção estão paradas, em paragens temporárias ou a funcionar);

MAE - equipamentos (nas linhas de montagem);

*Q-Tools* - *quality tools* (ferramentas da qualidade);

*Ship to Line* - é uma metodologia utilizada para reduzir os processos que não acrescentam valor, entre fornecedor e cliente, eliminando tarefas na receção de material, inspeções e armazenagem, ou seja, o objetivo principal é que, depois de dar entrada, o material seja enviado para o mais perto possível do local onde vai ser utilizado, preferencialmente a própria linha de produção. (D. Meireles, 2009);

*VV Management* - gestão através de verificação e validação;

QR - *Quick Response*, trata-se de um código de barras 2D (bidimensional);

FIFO - *first in first out*.

## 1. Introdução

Este projeto é elaborado numa empresa da indústria tecnológica e foca-se no desenvolvimento de um trabalho de pesquisa para aumentar a produtividade de duas linhas de montagem, otimizando:

- balanceamentos de alguns produtos dessas linhas,
- movimentação dos operadores,
- recursos materiais e humanos.

Para tal aplicam-se metodologias da literatura, construindo-se e analisando-se cenários e que visam ajustar o processo produtivo, por forma a aumentar a cadência do mesmo, minimizando o desperdício e tendo em conta aspetos de ergonomia no posto de trabalho.

### 1.1. Motivação e contextualização do trabalho

Tal como acontece em praticamente todas as organizações, tudo começa com o interesse do cliente em produzir um determinado produto na empresa. Posteriormente, é possível realizar previsões de vendas para o próximo ano, e de ano para ano. Conhecendo a previsão de vendas, nos seus processos internos, uma empresa consegue, sabendo quanto tempo demora a produzir certo produto, determinar a ocupação de linha. A ocupação de linha implica, para a empresa, um custo de oportunidade que, por si só, se traduz em custos diretos e indiretos de produção, mas também na escolha estratégica de estar a produzir aquele produto e não outro. A ocupação de linha é proporcional ao tempo que um produto demora a ser feito, isto é, depende das tarefas a executar. Por forma a minimizar o tempo necessário para a execução dessas tarefas, podem ser estudados aspetos como a ordem pela qual elas são realizadas, o seu agrupamento e a disposição da linha de produção - o seu *layout*. A melhor combinação destes parâmetros resulta no balanceamento da linha de produção.

Quando existem mais do que uma linha a produzir a mesma família de produtos, o balanceamento poderá não ser individual, mas poder-se-á estudar a integração de tarefas comuns, minimizando os tempos de *setup* (ou tempos de preparação), para casos em que existe comunalidade entre produtos em termos de equipamentos e matérias-primas.

Além da necessidade de otimizar os processos produtivos em termos de custos, outros aspetos que podem influenciar o tempo que uma tarefa demora a ser executada são, a motivação e o desempenho do operador. A ergonomia no posto de trabalho estuda maneiras de adaptar o ambiente laboral, para que melhore o bem-estar dos colaboradores e, assim, o desempenho da organização.

Por uma questão de confidencialidade de dados da empresa, ao longo deste trabalho, serão atribuídas designações genéricas a elementos da mesma, e omitidas informações que não sejam necessárias ao entendimento científico do trabalho.

### 1.2. Objetivos e metodologia

Os principais objetivos deste projeto são o desenvolvimento e estudo de cenários de balanceamento de linhas, com vista a solucionar um problema de capacidade produtiva e auxiliando a decisão da empresa, de acordo com o seu plano de negócio e as encomendas do cliente.

De forma a cumprir os objetivos propostos, é necessário realizar um conjunto de etapas:

- Conhecer e explorar o problema em estudo;
- Efetuar a revisão de literatura existente sobre o tema, maximizando a compreensão do problema e sustentando as soluções apresentadas;
- Proceder ao levantamento de todas as especificidades relacionadas com as tarefas produtivas;
- Avaliar cenários e identificar vantagens e desvantagens entre eles;
- Recorrer a metodologias que permitam projetar e modelar a solução proposta.

Na prática, torna-se necessário ajustar e implementar processos *standard* para a área, estudar formas de aumentar a produtividade, baixando as perturbações na produção, apurar as capacidades produtivas mensais, de acordo com a procura do cliente, eliminando desperdícios de linha e melhorando a ergonomia.

O trabalho será realizado no *gemba*, com uma avaliação inicial do estado atual e definição de ações a serem executadas, de forma a se atingirem os indicadores acima referidos. A identificação dos resultados esperados será obtida através do balanceamento/movimentação dos operadores na linha, do aumento de produtividade com a otimização de movimentos, que levará à redução de recursos e da criação de novos *layouts* produtivos.

### **1.3. Estrutura do documento**

Para o desenvolvimento deste tema, o atual documento apresenta-se estruturado em cinco capítulos principais. Neste primeiro capítulo fez-se a introdução e contextualização do tema, apresentando-se a motivação associada à pesquisa para o projeto elaborado, definem-se os objetivos e estipula-se a estrutura para o documento. O segundo capítulo apresenta o estado da arte, traduzindo-se numa revisão de literatura dos conceitos relacionados com o tema estudado.

O terceiro e quarto capítulos centram-se no desenvolvimento do projeto, dividindo-se fundamentalmente em quatro etapas: a apresentação da empresa; o enquadramento e descrição do estado inicial das linhas de montagem em estudo; a descrição da aplicação dos conceitos teóricos à resolução do problema com a apresentação e análise crítica de cenários criados, com os resultados obtidos e a implementação dos mesmos; e a observação, estudo e sugestão de outras melhorias.

Por fim, o quinto capítulo tece considerações finais e conclusões gerais do trabalho, assim como a possibilidade de aplicação a outros tipos de indústria e de estudos futuros.

## 2. Revisão de literatura

A revisão de literatura efetuada neste capítulo tem por fim perceber o que já existe feito na área do tema em estudo, obter um conhecimento mais aprofundado sobre o mesmo e identificar como esses tópicos teóricos podem ser aplicados à resolução de um problema de caso de estudo prático. Concretiza-se, assim, neste capítulo, uma abordagem aos principais tópicos teóricos relacionados com o tema deste projeto e respetivas metodologias aplicadas.

### 2.1. A produção *lean* e o Toyota *production system*

A produção *lean*, ou *lean manufacturing*, criada e desenvolvida pela Toyota (empresa japonesa com origem em 1926), surgiu para responder a necessidades específicas que ocorreram nessa organização. A *House of lean* (casa do *lean*, representada na Figura 1) mostra que o *lean* assenta em dois conceitos principais: *jidoka* e o *just-in-time*. Para se entender melhor a filosofia de produção *lean*, começa-se por se analisar o *jidoka*, que significa “automação autónoma (ou inteligente)”. Este conceito nasceu nos primórdios da Toyota, que inicialmente era uma empresa de teares, a *Toyoda Automatic Loom Works*, onde, desde logo, se implementaram mecanismos, que evitavam os erros (práticas *Poka-Yoke*) associados a falhas mecânicas, permitindo assim melhorar o processo, garantindo a sua qualidade. Exemplo disso era, nesta empresa, o tear que parava automaticamente cada vez que detetava um fio partido. O conceito *jidoka* abrange duas vertentes: garantir a qualidade do processo e permitir libertar o homem da máquina. Quanto a esta última vertente, os automatismos libertam os operadores de estarem a supervisionar as máquinas, o que lhes permite dedicarem-se a tarefas de maior valor acrescentado, refletindo respeito pelo operador e favorecendo a sua *performance* (Art of Lean, 2006).

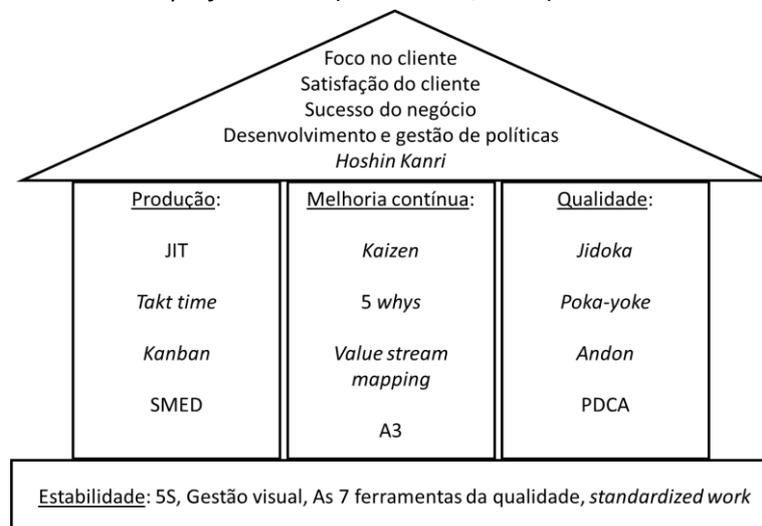


Figura 1 - *House of lean*, adaptado de M. Alefari, K. Salonitis e Y. Xu (2017)

Um outro elemento base do *lean* trata-se do conceito de *just-in-time* (JIT), inventado por Kiichiro Toyoda (filho do fundador da empresa de teares anteriormente mencionada), e que consiste em produzir e entregar os produtos certos, nas quantidades certas, no momento certo, usando os recursos mínimos necessários. Na Figura 2 é possível observar alguns dos métodos a aplicar na produção *lean*, assim como a sua inter-relação com os resultados que esta filosofia permite obter.

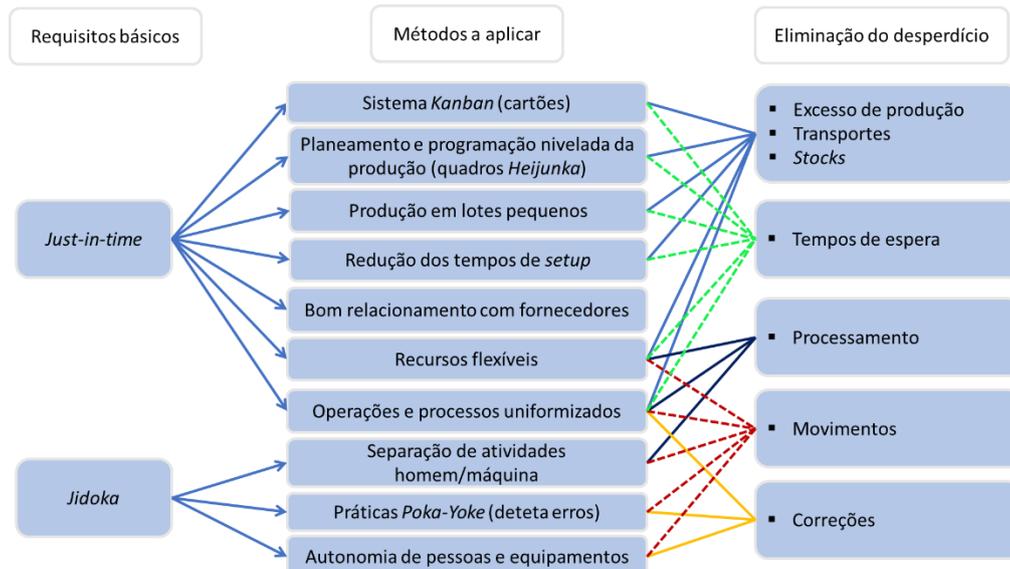


Figura 2 - Métodos a aplicar na produção *lean* e consequentes melhorias obtidas (elaboração própria)

Num sistema produtivo *just-in-time* existem *stocks* de matérias-primas reduzidos e, como a produção é feita somente na medida do necessário, os problemas são expostos mais depressa, o que, por outro lado, leva a oportunidades de melhoria contínua. Mas, para que se consigam níveis de inventário baixos, é necessário que haja uma elevada integração dos fornecedores da empresa no processo, para que estes entreguem as quantidades certas de determinado material quando a empresa os necessita (Art of Lean, 2006). A Figura 3 mostra a evolução dessa integração, sendo que a situação desejada será a da alínea d).

a) Logística "Intrafuncional":



b) Logística Integrada "Funcional" (1ª etapa):



c) Logística Integrada "Funcional" (2ª etapa):

Logística Intraorganizacional



d) Logística Integrada / Interorganizacional:

Gestão da Cadeia de Abastecimento



Figura 3 - A evolução da logística, adaptado de Klaas (1997)

Segundo K. Laudon e J. Laudon (2012) isto é possível, nos dias de hoje, através da partilha de informação, utilizando sistemas ERP que integram processos de negócio nas áreas de produção, financeira, contabilística, vendas, marketing e recursos humanos num único sistema de *software*. Um elemento chave do conceito *just-in-time* é o sistema *pull* (puxar) (Art of Lean, 2006).

Para que a melhoria seja possível, começa-se pela ação, que muitas empresas deverão pôr em prática, que é o *gemba walk* (caminhar no chão de fábrica), conhecida como uma parte crucial da filosofia de produção *lean*. O *gemba walk* trata-se da ação de observar o processo real, conhecer e perceber as tarefas, fazer perguntas, e aprender. É no *gemba* que se cria valor para empresa. Segundo Taiichi Ohno, executivo da Toyota, que desenvolveu este conceito, o *gemba walk* é uma atividade que leva gestores (e não só, deve incluir todos os colaboradores, se possível) às linhas de produção para procurar desperdícios e oportunidades para pôr em prática o *gemba kaizen* (melhoria prática de chão de fábrica).

De seguida, apresentam-se outros conceitos do *lean*.

### 2.1.1. Pull vs. Push

Todos os processos numa cadeia de abastecimento caem dentro de uma de duas categorias: *push* ou *pull*, dependendo do seu tempo de execução em relação à procura do cliente final. Nos sistemas *pull* (Figura 4), a execução surge em resposta à encomenda do cliente. Nos sistemas *push* (empurrar), a execução é iniciada como antecipação das encomendas do cliente. Assim, na altura da execução num processo *pull*, os valores da procura são conhecidos, enquanto que num processo *push*, no momento de execução a procura não é conhecida e deve ser prevista (S. Chopra e P. Meindl, 2007).

Ao contrário dos sistemas tradicionais *push*, atualmente, com o aumento da concorrência que se caracteriza por uma oferta crescente, o sistema *pull* tende a ser uma estratégia mais acertada. (Art of Lean, 2006)

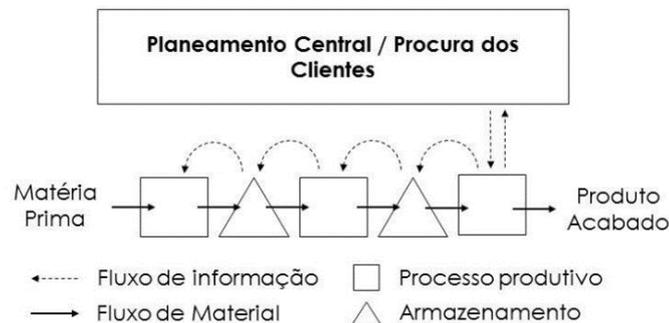


Figura 4 - Conceito de produção *pull*, adaptado de Klaas (1997)

Num sistema *pull* é frequente a utilização de *kanbans* (método para gerir trabalho, equilibrando a procura com a capacidade disponível) e supermercados (no entanto, o tamanho destes elementos deverá ser o menor possível). Um sistema *pull* caracteriza-se por menor tempo de reação, o que implica maior flexibilidade; inventários mais reduzidos e estáveis; tempo total estável e mais previsível; planeamentos e produção baseados na procura (dos clientes).

### 2.1.2. Takt time, tempo de ciclo, lead time e throughput time

*Takt time* é a taxa à qual tem que se produzir para responder à procura do cliente, cuja fórmula de cálculo é a apresentada na Equação 1.

$$\text{Equação 1 - Fórmula para o cálculo do } takt \text{ time}$$

$$Takt \text{ time} = \frac{\text{tempo disponível de produção}}{\text{procura do cliente}}$$

Na maior parte dos casos não é a melhor opção produzir-se exatamente a esta taxa, uma vez que podem existir problemas na produção, pelo que se recomenda conseguir-se um tempo inferior

de produção. Este será o tempo de ciclo, que é o tempo que se demora a produzir uma unidade. Na Equação 2 é fornecida a respetiva fórmula de cálculo.

$$\text{Equação 2 - Fórmula de cálculo para o tempo de ciclo} \\ \text{Tempo de ciclo} = \frac{\text{tempo disponível de produção}}{\text{quantidade produzida}}$$

Produzir a um tempo de ciclo constante mostra se o processo é estável e permite identificar desvios/erros rapidamente.

O tempo de espera (*lead time*, explicado na Figura 5) é o tempo que uma unidade de um produto demora a ser produzido, desde o primeiro posto produtivo até ao último.



Figura 5 - Explicação do conceito de *lead time* (elaboração própria)

Este conceito é útil porque:

- Se o produto é feito por encomenda (MTO) indica quanto tempo o cliente tem que esperar pelo mesmo;
- Pode ser uma medida da quantidade de *stock* intermédio que existe ao longo do processo produtivo. Se o tempo de espera é muito superior ao tempo de ciclo, significa que existe bastante *stock* intermédio.

*Throughput time*, ou tempo de atravessamento de linha, é o tempo médio durante o qual uma peça, ou um produto, demora a atravessar o sistema produtivo. Enquanto que o tempo de ciclo indica de quanto em quanto tempo sai um produto acabado, o *throughput time* é o tempo que demora um produto em particular do início ao fim da linha, ou seja, o somatório dos tempos de execução de todas as tarefas.

Uma vez que, num processo produtivo, existem normalmente tarefas que podem demorar mais tempo que outras, o ideal é encontrar essa(s) tarefa(s), identificando o(s) posto(s) gargalo. São estas tarefas que ditam o tempo que leva a obter uma unidade. Dependendo dos objetivos da empresa, existem duas possibilidades:

- Se a oferta vai de encontro à procura, é possível limitar os recursos dedicados e, por exemplo, pôr uma só pessoa a fazer mais do que uma tarefa (das tarefas que demoram menos tempo) de forma a equilibrar os tempos com a tarefa gargalo do processo produtivo - desta forma reduzem-se custos na produção;
- Se se pretende aumentar a oferta, ter-se-á de reduzir o tempo de ciclo, o que implica multiplicar os recursos na(s) tarefa(s) com o tempo de processamento mais longo. Esta paralelização tem que ser ajustada de acordo com aspetos económicos, de espaço físico e de mão de obra qualificada. (A. S. Simaria, 2001)

### 2.1.3. Metodologia 5S

Um dos princípios do ambiente atual de negócios é a redução de espaço em áreas de armazenamento, ou seja, melhor aproveitamento de espaços. A metodologia 5S promove o processo de melhoria contínua no que diz respeito à redução do consumo excessivo e de custos. Além destes aspetos, esta metodologia traduz-se em postos de trabalho mais organizados e arrumados, onde se consegue encontrar mais rapidamente o que se procura, maximizando desta

forma o tempo dedicado à produção. Os 5S apresentam um método para uma melhoria gradual da ordem e da limpeza no local de trabalho. Esta metodologia trata-se da primeira etapa para se poder implementar um sistema de qualidade total numa organização. Tendo tido a sua origem na cultura *lean* japonesa (e no *Toyota production system*), os 5S significam e têm os seguintes passos:

1. *Seiri* (separar, selecionar) - manter apenas o que é necessário;
2. *Seiton* (ordenar, organizar) - um sítio para cada objeto e cada objeto no seu sítio;
3. *Seisou* (limpar) - limpeza, procurando formas para manter o local limpo e organizado;
4. *Seiketsu* (padronizar) - manter e monitorizar estas primeiras três categorias;
5. *Shitsuke* (sustentar, autodisciplina, formação) - cumprindo as regras. (R. Russell e B. Taylor III, 2011)

Limpeza e organização conduzem também a uma melhoria na segurança, daí que existem empresas que associam um “S” de segurança, e designando esta ação de 6S, como é o caso da organização em estudo neste projeto.

Esta metodologia 5S está na base de outros conceitos e metodologias do *Toyota production system*, como o *total quality management* (TQM), o *total productive maintenance* (TPM) e o trabalho padronizado (*standardized work*).

N. Yousef & F. Yousef (2017) definem *total quality management* (TQM ou gestão da qualidade total) como sendo uma metodologia de gestão para melhorar continuamente a qualidade dos produtos e processos indo de encontro, ou excedendo, as expectativas dos clientes. Os mesmos autores indicam que seis sigma (*six sigma* ou  $6\sigma$ ) é uma estratégia de gestão de negócio que procura melhorar a qualidade dos *outputs* do processo. Esta gestão de negócio depende da utilização de um conjunto de ferramentas que são conhecidas como DMAIC (*Define* - definir, *Measure* - medir, *Analyze* - analisar, *Improve* - melhorar e *Control* - controlar) explicadas na Figura 6. (N. Yousef & F. Yousef, 2017)



Figura 6 - Fases da metodologia DMAIC<sup>1</sup>

Como consequência, integrando a estratégia *six sigma* com a metodologia *total quality management*, melhora-se o processo através de uma análise de informação mais detalhada, e torna os esforços da TQM mais bem-sucedidos. (T. Aized, 2012)

---

<sup>1</sup> *Five Phases of Six Sigma* - Maxim Consultants. Disponível em <http://maximconsultants.com/five-phases-of-six-sigma/>, em 2 de dezembro de 2017.

De acordo com W. Stevenson (2002), *Total Productive Maintenance* (TPM) trata-se de uma abordagem *just-in-time* onde são os próprios colaboradores que desempenham manutenção preventiva nas máquinas que operam. Ainda segundo o mesmo autor, esta metodologia é consistente com a produção *lean* uma vez que é dada maior responsabilidade aos operadores, no que diz respeito a qualidade, produtividade e funcionamento geral do sistema.

Citando R. Russell e B. Taylor III (2011), a qualidade em sistemas *lean* é baseada no conceito de *kaizen* (termo introduzido na lista de acrónimos e outros termos, que consta neste documento). Os mesmos autores indicam que, como um sistema prático de gestão baseado em experiências de tentativa-erro na eliminação de desperdício e simplificação de operações, o *lean* foi criado e é sustentado através do *kaizen*. A melhoria contínua não é algo que se possa delegar a um departamento de especialistas, é uma missão maior que requer a participação de todos os colaboradores a todos os níveis. A essência do sucesso do *lean* é a pré-disposição e vontade dos colaboradores para detetarem problemas de qualidade, pararem operações quando necessário, gerarem ideias para melhorias, analisarem processos, desempenharem diferentes funções e ajustarem as suas rotinas de trabalho (R. Russell e B. Taylor III, 2011).

Segundo R. Russell e B. Taylor III (2011), uma das chaves para um *kaizen* eficaz passa por encontrar a causa que está na raiz do problema e eliminá-la para que este não volte a acontecer (*Root Cause Analysis*). Uma técnica simples, no entanto, poderosa para encontrar a causa raiz do problema é a “5 *Why’s*” (“5 Porquês”), que se baseia na prática de perguntar “porquê?” repetidamente até que a causa subjacente seja identificada (normalmente requer cinco perguntas). Na empresa com o apoio da qual se realizou este projeto, esta técnica é frequentemente utilizada, pelo que foi interessante ver a aplicação da mesma na realidade.

Definido por R. Russell e B. Taylor III (2011), *Value stream mapping* (VSM) é uma ferramenta para analisar um fluxo de processo e eliminar desperdício. *Value stream design* (VSD) trata-se do passo inicial para a conceção de sistemas de produção sem desperdício. Estas ferramentas fundamentais analisam, mais concretamente, fluxos de materiais e de informação. (Bosch intranet, 2018). Enquanto que o VSM é dedicado a transpor a situação real alvo de estudo, o VSD é a representação da situação futura melhorada. Para desenhar a situação melhorada aplicam-se conceitos e métodos da produção *lean*. (R. Russell e B. Taylor III, 2011)

Outro método que é usado em sentido lato, na empresa em questão, para gestão, controlo e resolução de problemas, com rumo à melhoria contínua, é o ciclo PDCA. Também designado por roda de Deming ou ciclo de Shewhart, o ciclo PDCA, embora tenha sido originalmente formulado por Walter Shewhart, o seu desenvolvimento é atribuído a W. Edwards Deming. Trata-se de um processo de quatro etapas (planear, fazer, verificar e agir) para a melhoria contínua da qualidade. (R. Russell e B. Taylor III, 2011). O ciclo PDCA dá especial ênfase à prevenção de recorrência do erro, estabelecendo *standards* e a mudança frequente desses *standards*. Se os *standards* e os regulamentos não são revistos em seis meses, é prova de que ninguém está seriamente a usá-los (K. Ishikawa, 1985).

Um outro método da produção *lean* que é muito utilizado é o SMED, que serve para reduzir desperdício na produção, nomeadamente um dos sete tipos de desperdício (que serão apresentados à frente): tempo de espera, concretamente no processo de *setup* de uma máquina ou linha de produção, quando se altera a produção: de um produto para outro produto diferente. A ideia é que esse tempo de *setup* seja tão curto, que esta troca rápida se torne a chave para

tamanhos de lotes de produção mais pequenos e desta forma melhorar todo o fluxo (Y. Dave e N. Sohani, 2012). A necessidade do SMED tem se tornado cada vez maior devido à procura crescente por variabilidade de produtos, por ciclos de vida do produto reduzidos e por inventários significativamente reduzidos (Y. Dave e N. Sohani, 2012). Mais uma vez este foi um conceito *lean* desenvolvido na Toyota, por Taiichi Ohno em 1950 (Y. Dave e N. Sohani, 2012), e mais tarde consolidado por Shigeo Shingo.

#### **2.1.4. Standardized work**

Trabalho padronizado (ou *standardized work*) pode ser definido como a melhor forma, conhecida até à atualidade, para a execução do trabalho, assumindo que seja a maneira mais segura e eficiente de o fazer, indo simultaneamente de encontro aos níveis de qualidade requeridos. (T. Martin e J. Bell, 2016)

Segundo P. Dennis (2016), trabalho normalizado é um processo cujo objetivo é *kaizen* (melhoria). Se o *standardized work* não sofre alterações, estamos a regredir (P. Dennis, 2016). A ideia transmitida por este autor é muito pertinente, uma vez que salienta tanto a importância de padronizar tarefas e procedimentos como a necessidade de atualização, e melhoria, constante dos mesmos.

A noção de normalização de trabalho passa por descrever, com exatidão, os processos e as atividades, que se concluiu serem os mais bem-sucedidos, para que sejam realizados do mesmo modo e com a mesma qualidade, independentemente da pessoa e do tempo. Assim, com a utilização da padronização de trabalho, espera-se evitar erros, assegurando estabilidade na qualidade do produto; que a integração de novos colaboradores seja mais rápida e eficaz; e que a identificação de desvios e problemas fique mais transparente e precoce. (Bosch intranet, 2018)

Neste projeto, o resultado do estudo de balanceamento e otimização das linhas de montagem apresentar-se-á na forma de documentos de *standards* de trabalho, mais concretamente, esquemas (STABs) que definem as rotas, os tempos e a atribuição de tarefas para cada operador na linha, para um dado produto.

#### **2.1.5. Desperdício na produção**

Um dos passos mais importantes na filosofia *lean* é a constante identificação do que acrescenta valor ao sistema e do que não acrescenta. O que não acrescenta é considerado *muda* (palavra japonesa que significa desperdício). De acordo com o Toyota *production system*, de uma forma geral, os desperdícios encontrados numa organização podem ser de três categorias: *muda*, *mura* ou *muri*, representadas na Figura 7.

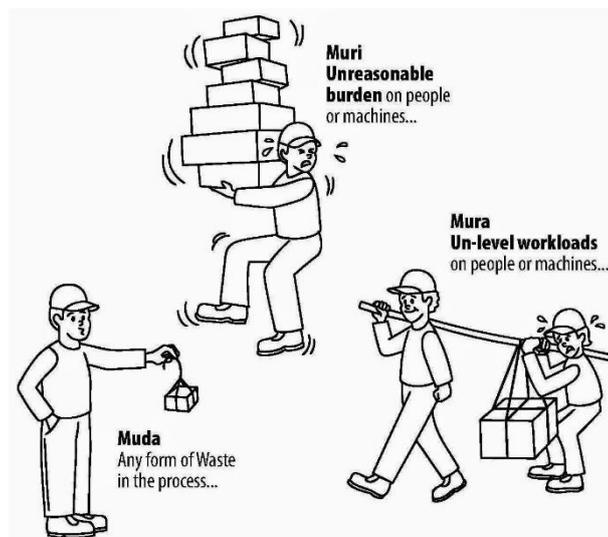


Figura 7 - As 3 grandes classificações de desperdício, imagem adaptada de G. Easaw (2013)<sup>2</sup>

Um dos maiores objetivos das empresas é, obviamente, minimizar e eliminar desperdícios porque isso significa na maior parte das vezes aumentar a produtividade. É, desta forma, conveniente ter-se uma ideia das principais formas de desperdício que existem (ver Figura 8).

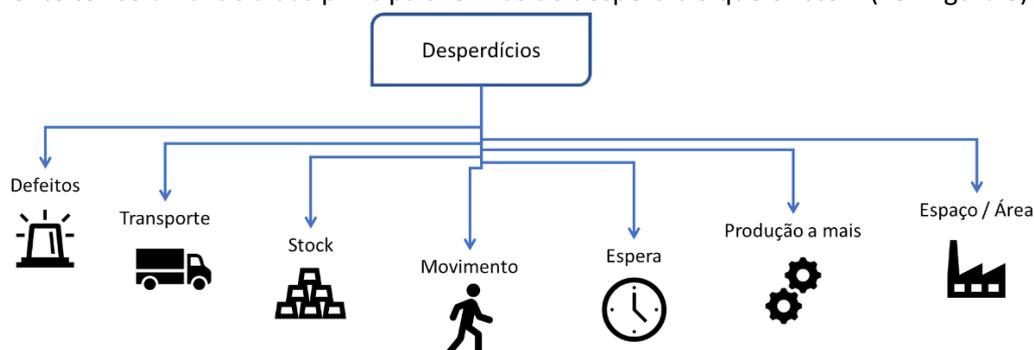


Figura 8 - Os 7 tipos de desperdício (adaptado de Bosch intranet, 2017)

Estas três categorias anteriormente apresentadas podem, ainda, ser especificadas em sete tipos de desperdício, apresentados na Figura 8, que refletem falhas no sistema produtivo da organização e pontos que podem ser melhorados.

- Espaço / área - ter área a mais que não esteja a render (a ser utilizada para fins lucrativos) é um desperdício;
- Transporte - trata-se de um desperdício porque não acrescenta valor ao produto, mas é um mal necessário;
- Excesso de produção - produzir a mais do que o cliente quer é um desperdício e põe em causa a qualidade do produto, traduz-se em custos adicionais e problemas de entrega;

<sup>2</sup> Musings 'n scribblings of a philanthrope - An excellent explanation for Muda, Mura and Muri. Disponível em <http://george-easaw.blogspot.pt/2013/04/an-excellent-explanation-for-muda-mura.html>, em 15 de abril de 2018.

- Stocks e WIP - acumular *stock* em armazém, ou mesmo ao longo do processo produtivo (WIP), é desperdício porque é produzir a mais do que o cliente irá pagar, no imediato, além de ser uma despesa (logística associada ao armazenamento de produtos);
- Erros / falhas / reparação - não produzir bem à primeira tem custos, implica pagar a um reparador e ter um posto de reparação ou, pelo menos, o material e equipamento necessário para reparar a falha;
- Excesso de movimentos - movimento também não acrescenta valor ao produto pelo que, otimizar trajetos, rotas ou mesmo a forma de disposição (*layouts*) deve ser uma medida de melhoria a considerar;
- Tempo de espera - enquanto o colaborador está parado não está a produzir e está a ser pago, na maior parte dos casos à hora, pelo que poderia estar a fazer outra tarefa qualquer (aproveitamento de recursos).

## 2.2. Linhas de produção

O conceito industrial de linha de montagem foi introduzido por Henry Ford no início do século XX (S. Ghutukade e S. Sawant, 2013).

Segundo C. Becker e A. Scholl (2006), linhas de montagem (ou linhas de produção) são sistemas de produção orientados por fluxo que ainda são típicos na produção industrial de grandes quantidades de objetos úteis padronizados, e também assumem importância no que toca a reduzidos volumes de produção e produtos personalizados. De acordo com os mesmos autores, C. Becker e A. Scholl (2006), numa abordagem mais pragmática, uma linha de montagem consiste em várias estações de trabalho organizadas ao longo de um tapete rolante. C. Becker e A. Scholl (2006) refere que as tarefas de trabalho são consecutivamente lançadas ao longo da linha e são transferidas de estação para estação. Em cada estação, certas operações são repetidamente desempenhadas, considerando o tempo de ciclo (C. Becker e A. Scholl, 2006).

Numa tentativa de caracterização dos vários tipos de linhas de produção existentes, C. Becker e A. Scholl (2006) indicam algumas classificações de tipos de linhas de produção (Figura 9). Quanto ao fator tempo, estes autores descrevem que uma linha de produção pode ter um tempo de duração fixa para cada estação de trabalho, sendo limitado pelo tempo de ciclo da linha como um valor máximo para cada unidade produzida. Devido à restrição do tempo de ciclo, este tipo de linhas têm uma taxa de produção fixa. Estas são linhas de montagem com determinado passo estipulado. Na ausência deste tempo de ciclo comum, todas as estações de trabalho operam a velocidades individuais, originando tempos de espera das peças na passagem de um posto para o seguinte ou tempo durante o qual os postos estão desocupados, enquanto esperam pela próxima peça (C. Becker e A. Scholl, 2006).

Estas dificuldades são parcialmente superadas pela existência de *buffers* entre estações de trabalho. *Buffers* são locais onde o material fica temporariamente em espera, garantindo a fluidez do processo produtivo. Nesta tipologia de linhas, designando-se de linhas de montagem com *buffer(s)* (ou sem passo estipulado), ao problema de balanceamento é ainda adicionado o problema de decisão de posicionamento e dimensionamento dos *buffers* (C. Becker e A. Scholl, 2006).

De acordo com os mesmos autores, quanto ao fator variedade de produtos que se pretendem produzir, estes podem ser todos idênticos, designando-se nesse caso por linha de modelo singular. Além desta classificação, duas outras disposições podem surgir: o modelo de linha mista que produz

unidades de diferentes produtos numa sequência arbitrária, enquanto que o modelo de linha múltiplo produz uma sequência por ramos (cada ramo constituído por unidades de um único modelo de produto, ou unidades de uma família de produtos) com operações de *setups* intermédias. Estas tipologias de linhas de produção são representadas na Figura 9, onde diferentes formas geométricas simbolizam diferentes produtos.

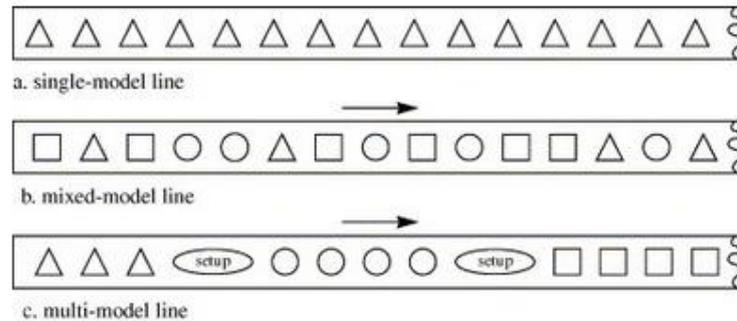


Figura 9 - Tipos de linhas de produção, fonte: C. Becker e A. Scholl (2006)

Encontrar aspetos comuns entre os produtos que se pretende produzir pode ser um ponto importante para tornar uma linha de produção mais eficiente. Em primeiro lugar em termos de equipamentos necessários a utilizar, uma vez que acarretam maior valor monetário de investimento a amortizar. Em segundo lugar em termos de matérias-primas que são necessárias para produzir determinado produto, pois implica a definição das melhores condições logísticas, nomeadamente espaço físico e arrumação, e dos tamanhos de encomendas mais otimizados aos fornecedores.

Numa linha de produção prefere-se que os produtos que lá são alocados utilizem o mais possível os mesmos equipamentos, os mesmos componentes e que os tempos de ciclo sejam semelhantes ou fáceis de se integrar uns nos outros, permitindo paralelismos na produção, ou seja tarefas simultâneas. Poderão, contudo, haver restrições que limitam o número de possibilidades de alocação das tarefas, ou seja, o número de postos aos quais as atividades a realizar podem ser atribuídas. Podem existir tarefas que não podem ser executadas num posto por questões de qualidade, ergonomia ou outras situações, assim como podem existir tarefas que têm que ser feitas no mesmo posto porque, por exemplo, têm que passar pela mesma máquina. Outro tipo de restrição tem a ver com o grau de formação dos colaboradores, havendo a necessidade de agrupar as tarefas de acordo com o nível de conhecimento necessário à sua execução.

Aquando da configuração de uma linha de produção, e da escolha de quais os produtos nela a serem produzidos, põe-se a questão de como efetuar essa escolha. Existe a necessidade de analisar um leque de parâmetros e os seus pontos positivos e negativos associados. Existem produtos dos quais se pretende produzir uma grande quantidade e outros produtos cujas quantidades a produzir são menores. Existem produtos com tempo de ciclo, ou seja, o tempo que demoram a ser produzidos, maiores do que outros. Há, ainda, o fator de diversidade que pode ser interpretado em várias abordagens:

- Diversidade de produtos dentro da mesma família de produtos;
- Diversidade de matérias-primas utilizadas;
- Diversidade dos processos produtivos.

E depois existem produtos que apresentam sazonalidade, ou seja, só são vendidos em determinados meses ou épocas do ano, e outros produtos que apresentam vendas constantes ao

longo do tempo, isto é, sem sazonalidade. A Tabela 1 teve como objetivo entender quais os aspetos positivos e negativos das variações destes fatores.

Tabela 1 - Principais características dos produtos e seus aspetos positivos e negativos (elaboração própria)

Parâmetro	Aspetos positivos (Prós)	Aspetos negativos (Contras)
<p>Quantidade (volume de produção) elevada (<i>high volume production</i> ou produtos <i>high volume</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Custos unitários de produção menores (de matérias-primas, mão de obra, etc.);</li> <li>→ Recuperação de investimento rápida;</li> <li>→ Poder de negociação com os fornecedores;</li> <li>→ Tendência para a modernização / automatização;</li> <li>→ Padronização de processos, tarefas, etc.</li> <li>→ Possibilidade de melhoria na qualidade dos produtos (uma vez que o custo unitário é altamente dependente dos materiais que estão a ser usados, quando esse custo já é baixo, pode-se escolher melhores materiais e melhorar o produto, atribuindo valor ao mesmo e criando a ideia de qualidade no cliente, cobrando depois mais pelo “mesmo” produto).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Alocação de recursos a tarefas específicas e normalmente fixas;</li> <li>→ Elevado investimento inicial;</li> <li>→ Oscilações na procura de mercado (aquilo que se quer hoje, pode não se querer amanhã);</li> <li>→ Grande dependência das variações cambiais de mercado;</li> <li>→ Impactos socioeconómicos e ambientais.</li> </ul>
<p>Quantidade (volume de produção) baixa (<i>low volume production</i> ou produtos exóticos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Personalização dos produtos;</li> <li>→ Sentimento de adquirir um “produto único”;</li> <li>→ Maior flexibilidade de design (com prototipagem 3D, etc.);</li> <li>→ Garantir um tempo de chegada ao mercado mais rápido;</li> <li>→ Por vezes serve como uma produção intermédia, para verificar a aceitação do produto no mercado, algures entre a prototipagem e a produção em série.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Processos de produção, opções de design e de criatividade estética do produto são limitadas;</li> <li>→ Maior peso dos custos dos equipamentos, das ferramentas, dos materiais, entre outros;</li> <li>→ Os vendedores tendem a ser menos sensíveis às encomendas de pequenas quantidades, a não ser que sejam especializados nesse contexto;</li> </ul>

Parâmetro	Aspetos positivos (Prós)	Aspetos negativos (Contras)
		→ A obtenção de componentes pode ser mais difícil pois não são feitas encomendas de elevado volume pelo que ter-se-á que pagar mais ou esperar mais tempo até à receção dos mesmos.
Tempo de ciclo elevado	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Uma vez que são produzidos menos produtos, os que são efetivamente produzidos têm um maior valor e por isso são vendidos a um preço superior (eventual margem de lucro maior);</li> <li>→ Aspetos de qualidade ainda mais valorizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Menor número de produtos produzidos, no mesmo total número de horas disponíveis de trabalho;</li> <li>→ Representa um maior custo para a empresa produzi-los.</li> </ul>
Tempo de ciclo baixo	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ A empresa produz mais produtos no mesmo espaço de tempo disponível para produção, rentabilizando os seus mesmos equipamentos e o valor-hora pago em mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Maior número de <i>setups</i> nas linhas de produção.</li> </ul>
Diversidade elevada de produtos dentro da mesma família	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Oferta mais diversificada para o cliente;</li> <li>→ Maior probabilidade de o cliente comprar os produtos;</li> <li>→ Aspeto de personalização pode ser tido em conta, o que cliente aprecia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Complexidade na gestão de atribuição de um maior número de produtos às linhas, ter em conta comunalidades de equipamentos, de materiais, de conjugação de tempos de ciclo, entre outros fatores.</li> </ul>
Diversidade baixa de produtos dentro da mesma família	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Menor complexidade de gestão;</li> <li>→ Maior rentabilização dos equipamentos investidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Pouca diversidade na oferta para o cliente;</li> <li>→ Menor probabilidade de o cliente comprar os (poucos) produtos que a empresa fabrica.</li> </ul>

<b>Parâmetro</b>	<b>Aspetos positivos (Prós)</b>	<b>Aspetos negativos (Contras)</b>
Diversidade elevada de matérias-primas utilizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Maior variedade de materiais disponíveis que, quando alocados, possibilitam um maior leque de produtos a ser produzidos nas mesmas linhas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Necessidade de ter espaço físico em SMS para tantos materiais diferentes, ocupação de espaço;</li> <li>→ Menor poder negocial com fornecedores por se encomendar menores quantidades de cada matéria-prima diferente.</li> </ul>
Diversidade baixa de matérias-primas utilizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Rentabilização de espaços físicos em supermercados, utiliza-se o mesmo espaço para materiais de mais do que um produto, assumindo que há comunalidade de matérias-primas;</li> <li>→ Possibilidade de maior poder negocial com fornecedores por se encomendarem maiores quantidades do mesmo material, assumindo também comunalidade;</li> <li>→ Menor probabilidade de erro por parte dos operadores de linhas e PoUPs na seleção dos materiais corretos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Tendência para fixação de espaços quando se vê que se usa os mesmos materiais e, quando um produto termina o seu ciclo de vida há a necessidade de reestruturação total do espaço o que pode ser um processo complexo;</li> <li>→ Podem haver outros aspetos negativos, dependendo dos materiais em questão, no que diz respeito a ergonomia, saúde, entre outros.</li> </ul>
Diversidade elevada dos processos produtivos (equipamentos, tarefas, entre outros)	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Operadores mais habilitados a desempenhar um maior número de tarefas diferentes, o que os torna versáteis, sendo um aspeto positivo para a empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Maior propensão de erros por uma questão de habituação e tratarem-se de tarefas rotineiras em qualquer caso.</li> </ul>
Diversidade baixa dos processos produtivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Tendência para uma maior produtividade, devido à rotina do processo e consequente rapidez em desempenhar o mesmo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Problemas de ergonomia no posto de trabalho.</li> </ul>

<b>Parâmetro</b>	<b>Aspetos positivos (Prós)</b>	<b>Aspetos negativos (Contras)</b>
Com sazonalidade	→ Utilização dos espaços/equipamentos para outros proveitos, quando se sabe que não vão ser usados para a produção daquele produto.	→ Só tem lucro maioritariamente naquela(s) época(s) do ano, ou naqueles meses, tendo que gerir os recursos.
Sem sazonalidade	→ Processos sem interrupção, em contínuo, havendo maiores possibilidades de melhoria do mesmo.	→ Questões de marketing e de ciclo de vida do produto: quando um produto não tem sazonalidade segue o ciclo de vida do produto habitual, sendo difícil fugir a isso. Quando um produto tem sazonalidade é mais fácil criar novas campanhas de marketing, contrariando a tendência do ciclo de vida do produto.

Depois de analisar as características específicas dos produtos a produzir, e dos aspetos positivos e negativos associados, torna-se mais fácil integrar essa informação com as especificidades da própria linha produtiva, ou linhas produtivas, para uma melhor alocação de produtos às linhas e consequentemente adquirir uma maior produtividade. Alguns exemplos de aspetos específicos das linhas, que se relacionam com os anteriormente analisados: linhas com máquinas que sejam possíveis mover (diversidade dos processos produtivos), prateleiras destacáveis (diversidade de matérias-primas), dar formação aos colaboradores para terem cada vez mais capacidade e celeridade no processo de *setups* (tempos de ciclo baixos), entre outros.

### 2.2.1. Layouts de produção

De acordo com C. Huawei et. al (2016), *layout* de uma linha de produção é a forma como se localiza em termos físicos equipamentos (máquinas) e instalações logísticas tendo em conta considerações gerais de problemas como a poupança de recursos, a possibilidade de alteração desse *layout*, a racionalização de transporte dos componentes, as condições de segurança, o ambiente operacional e a melhor conveniência na gestão da produção.

Segundo os mesmos autores, um bom ou mau *layout* influenciará diretamente o desempenho global da logística de materiais, do fluxo de informação, a capacidade produtiva, a eficiência, os custos, a segurança, entre outros aspetos. De uma forma pragmática, o *layout* de produção corresponderá à disposição física mais eficiente de equipamentos e postos de trabalho.

Segundo J. Pinto (2006), considera-se que existem quatro tipos básicos de *layouts*:

- Layout por produto: a disposição é feita da forma mais apropriada a que se produza um determinado produto ou família de produtos;
- Layout por processo ou funcional (job shop): este sistema consiste em organizar a fábrica em setores compostos por máquinas similares;
- Layout em célula ou em forma de “U”: representado na Figura 10, este *layout* promove o facto de os operadores poderem realizar mais do que uma tarefa durante o processo produtivo, facilitando também a comunicação e o espírito de entre ajuda na equipa de trabalho. Isto facilita o próprio balanceamento da linha de produção. Na empresa, com a ajuda da qual este projeto foi realizado, este tipo de *layout* é muito utilizado.

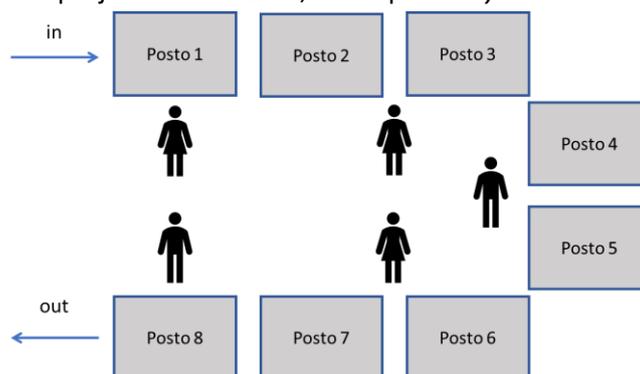


Figura 10 - Layout em U (elaboração própria)

- Layout de posição fixa: como o próprio nome indica, a posição de produção do produto é fixa e aplica-se a projetos de grandes dimensões, em que todos os recursos se posicionam em redor do objeto a produzir.

### 2.2.2. Medição de trabalho

De acordo com W. Stevenson (2002), a medição do trabalho consiste na determinação do período de tempo necessário para se concluir o trabalho. O conhecimento dos tempos de trabalho é um *input* importante uma vez que permite à empresa planejar recursos humanos, estimar custos de laboração, planejar a produção e projetar sistemas de incentivos a atribuir aos colaboradores. A criação de *standards* de tempos de trabalho permite prever o *output* esperado. Estes *standards* incluem, no fundo, o tempo que demora a realizar a tarefa e ainda uma margem para eventuais atrasos. (W. Stevenson, 2002)

O tempo padrão é definido como a quantidade de tempo que um trabalhador qualificado leva para completar uma tarefa especificada, laborando a uma taxa sustentável, utilizando os métodos que lhe foram indicados, bem como as ferramentas e equipamentos, matérias-primas, e um local de trabalho apropriado (W. Stevenson, 2002).

Quando se define um *standard* de tempo a um operador devem-lhe também ser comunicadas quais as tarefas exatas que este tem que executar durante esse período. Qualquer alteração às tarefas requer novo ajuste de tempos. (W. Stevenson, 2002)

Neste projeto, o método utilizado foi o estudo de tempos recolhidos por cronómetro, sendo este tratado de uma forma mais detalhada. Existem, porém, outros métodos. Segundo W. Stevenson (2002) os métodos de medição de trabalho mais comuns são:

- Estudo de tempos por cronómetro;
- Histórico de tempos;
- Informação pré-determinada;
- Amostragem de trabalho.

O estudo de tempos por cronómetro é especialmente apropriado, segundo o autor W. Stevenson (2002), quando se tratam de tarefas de curta duração e repetitivas, adequando-se às características do objeto de estudo deste projeto.

Para o autor W. Stevenson (2002) os passos básicos num estudo de tempos são:

1. Definir as tarefas a serem estudadas e informar o colaborador que será alvo do estudo;
2. Determinar o número de ciclos a observar;
3. Determinar o tempo de trabalho e a taxa de desempenho do operador;
4. Calcular o tempo padrão.

No caso deste trabalho, uma vez que as linhas de montagem, e os seus tempos de trabalho, já se encontravam previamente definidos, não se seguiram tão à risca estas etapas, procedendo-se apenas à recolha de tempos para atualização e ajuste dos mesmos (uma vez que houve melhoramentos nos tempos de testes funcionais e finais das linhas), focando o estudo na redistribuição de tarefas, criação de balanceamentos melhorados, movimentações dos operadores e observação, e quantificação, de melhorias, com vista ao aumento da produtividade nas linhas.

### **2.2.3. Balanceamento de linhas de produção**

O balanceamento de linhas de produção consiste na afetação de um conjunto de tarefas a um conjunto de postos de trabalho, com o objetivo de minimizar o número de postos ou o tempo de ciclo da linha (ambos são equivalentes a minimizar o tempo em que a linha de produção está parada) (A. Simaria, 2001), assegurando que a produção é feita de forma contínua e nivelada. O balanceamento de linhas de produção tem por objetivo atenuar o efeito do recurso gargalo, reorganizando recursos e definindo novas ordens de produção, de forma a aumentar a produtividade.

W. Stevenson (2002) define que o balanceamento de linhas de produção é o processo de atribuição de tarefas a postos de trabalho de tal maneira que os postos de trabalho têm, aproximadamente, os mesmos requisitos temporais. Este mesmo autor refere que linhas de produção desbalanceadas são indesejáveis em termos de utilização ineficiente de força de trabalho e equipamentos, porque estas podem causar problemas morais nos colaboradores dos postos de trabalhos mais lentos, uma vez estes trabalham continuamente.

Define-se como tarefa a unidade de trabalho que acrescentar valor ao produto e que não é divisível (A. Simaria, 2001). Balancear uma linha de produção é, no fundo, equilibrar a utilização dos recursos necessários à produção de um determinado produto, nomeadamente tempo e recursos (operadores e máquinas).

O número mínimo de postos de trabalho ( $n^{\circ}$  operadores) pode ser calculado através da fórmula da Equação 3.

Equação 3 - Fórmula para o cálculo do  $n^{\circ}$  mínimo de postos de trabalho

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C}$$

Na Equação 3, K é o número de postos de trabalho ou número de operadores, N é o número de tarefas,  $t_i$  é o tempo de execução de cada tarefa "i" e C é o tempo de ciclo ou o *takt time*, consoante o sentido que se queira interpretar deste indicador. Pode ainda ser calculada a percentagem de tempo inativo numa linha de produção (D) utilizando a fórmula da Equação 4.

Equação 4 - Fórmula para o cálculo da percentagem de tempo inativo

$$D = \frac{\sum \text{tempos inativos em cada posto}}{K \times C}$$

Por sua vez, a eficiência (E) associada pode ser obtida pela Equação 5.

Equação 5 - Fórmula para o cálculo da eficiência

$$E = 1 - D$$

De entre os problemas de decisão que surgem na gestão de linhas de produção, os problemas de balanceamento constituem tarefas importantes no planeamento de produção a médio prazo (C. Becker e A. Scholl, 2006).

C. Becker e A. Scholl (2006) definem que, a conceção de um produto numa linha de produção requer repartir a carga total de trabalho num conjunto elementar de operações, designadas de tarefas (ou atividades). Para desempenhar cada tarefa é necessário o tempo e os equipamentos, ou máquinas, apropriados, bem como as aptidões dos colaboradores. Devido às condições tecnológicas e organizacionais, as restrições de precedências entre as tarefas têm que ser observadas. Estes elementos podem ser sumarizados e visualizados num gráfico (ou diagrama) de precedências (exemplificado na Figura 11), também por vezes designado de diagrama de atividades. Estes contêm um nodo para cada tarefa, pesos atribuídos aos nodos para cada tempo de execução de cada atividade e os arcos representam as restrições de precedências entre estas.

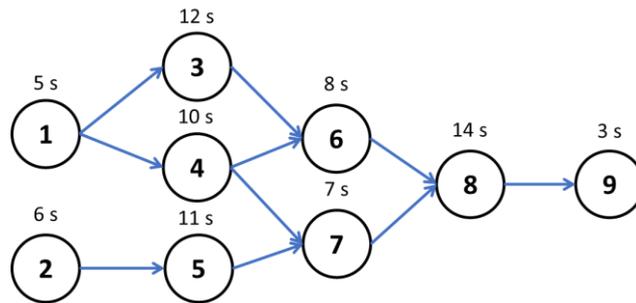


Figura 11 - Diagrama de precedências ou diagrama de atividades exemplificativo (elaboração própria)

Devido à elevada diversidade das condições dos ambientes industriais, os sistemas de linhas de montagem e correspondentes problemas de balanceamento são, também eles, multifacetados (C. Becker e A. Scholl, 2006).

Se vários produtos (ou modelos) são produzidos na mesma linha o problema de balanceamento está interligado ao problema de sequenciamento, no qual se tem que decidir a sequência (ou ordem) de produção das unidades produtivas. A sequência assume um papel importante porque mexe com a eficiência da linha de produção, uma vez que os tempos de tarefa podem diferir consideravelmente de produto para produto. A dada altura neste estudo, torna-se também evidente que o balanceamento e sequenciamento estejam relacionados com um problema de tamanho da ordem de encomenda (ou tamanho de lote de produção), no caso do modelo de linha múltiplo.

Recentemente, têm sido desenvolvidos alguns *softwares* que auxiliam na gestão de toda a informação envolvida. Um exemplo desses *softwares* é o sistema integrado de gestão empresarial SAP ERP®, utilizado na empresa do caso de estudo, e sobre o qual, regularmente, são dadas formações promovendo aprendizagem dos colaboradores.

#### 2.2.4. Métodos para balanceamento de linhas de produção

Cada linha de produção deve ser estudada de forma individual. Aliás, segundo W. Stevenson (2002) as linhas de produção podem variar de muito longas a muito curtas e a complexidade da resolução dos problemas de balanceamento de linhas de produção pode ser considerado dentro da categoria *NP-hard*, cujas soluções só podem ser aproximadas através de heurísticas (G. Reginato et al., 2016). Estes últimos autores caracterizam, também, os métodos de balanceamento de linhas de produção em quatro categorias:

- Métodos de classificação e atribuição (*Rank and Assign Methods*) - nestes métodos as tarefas são ordenadas com base em critérios ou regras de prioridade e atribuídas aos postos, seguindo uma ordem que não viole a relação de precedências e as restrições do tempo de ciclo;
- Métodos de pesquisa em árvore (*Tree Search Methods*) - estes métodos são essencialmente de programação inteira, baseando-se no método *Branch and Bound*, sendo que as abordagens nesta categoria também podem ser designadas como métodos de enumeração;
- Métodos de amostragem aleatória (*Random Sampling Methods*) - estes métodos atribuem as tarefas aleatoriamente aos postos de trabalho, atendendo às restrições de precedência e tempo de ciclo;

→ Outros métodos - métodos de agregação (elementos de tarefas são agrupados em tarefas compostas), métodos de aproximação sucessiva (um algoritmo ótimo é aplicado sucessivamente como uma heurística numa versão mais simples do problema) e métodos de aprendizagem (baseados na premissa de que a experiência adquirida na resolução de problemas menores é usada para resolver problemas maiores).

Neste projeto, as regras heurísticas utilizadas enquadram-se na primeira categoria (métodos de classificação e atribuição) e foram: maior peso posicional (RPW - *ranked positional weight*), maior tempo de processamento ou regra do maior candidato (LCR - *largest candidate rule*), maior número de tarefas sucessoras, menor tempo de processamento e menor número de tarefas sucessoras.

Segundo G. Reginato et al. (2016), a primeira regra heurística, RPW, consiste em calcular o peso posicional de cada tarefa baseando-se no diagrama de precedências, previamente construído. O peso posicional é o somatório do tempo de execução da própria tarefa com o tempo de execução das tarefas que a sucedem. As tarefas são depois ordenadas por ordem decrescente do seu peso posicional, ou seja, do maior para o menor.

No caso das regras heurísticas de maior ou menor tempo de processamento, as tarefas são simplesmente organizadas por ordem decrescente ou crescente, respetivamente, em relação a este fator, para criar a ordem de afetação das tarefas aos postos. De forma análoga, as regras heurísticas de maior ou menor número de tarefas sucessoras são, também, assim organizadas, mas no que diz respeito ao parâmetro “número de tarefas sucessoras”. O número de tarefas sucessoras é calculado pela soma do número de todas as tarefas que a sucedem, inclusive as tarefas paralelas.

Geralmente não existe uma técnica disponível que garanta uma afetação ótima. Contudo, os gestores aplicam regras heurísticas (intuitivas) que fornecem boas soluções, ou até ótimas (W. Stevenson, 2002). Isto deve-se ao facto de existir a possibilidade de criar outras regras heurísticas que se considere que melhor se adequem às características da linha de montagem, às especificidades do produto ou à estratégia da empresa.

Após a ordenação, as tabelas de balanceamento são construídas escolhendo uma das regras heurísticas e atribuindo as tarefas aos postos, sendo que cada posto é definido pela soma do tempo das tarefas que o compõem. Começa-se por identificar, olhando para o diagrama de precedências, quais as tarefas disponíveis. Destas, escolhe-se a tarefa tendo em conta a ordem definida pela regra heurística. Repete-se este passo enquanto couberem tarefas no posto, isto é, não ultrapasse o tempo de ciclo. Caso existam duas, ou mais, tarefas disponíveis e a que é indicada pela ordem da heurística não caiba no tempo remanescente, tenta-se atribuir outra, rentabilizando ao máximo o tempo de cada posto.

Visto que a aplicação das regras heurísticas pode ser por vezes exaustivo, têm sido desenvolvidos alguns *softwares* que ajudam no problema de balanceamento de linhas de montagem, como é o caso do *software* POM-QM, desenvolvido por Howard J. Weiss<sup>3</sup>, que se trata

---

<sup>3</sup> *Prentice Hall and Howard Weiss' Decision Science Software Support Site*. Disponível em [https://wps.prenhall.com/bp\\_weiss\\_software\\_1/](https://wps.prenhall.com/bp_weiss_software_1/), em 15 de abril de 2018.

de um *software* adequado à gestão das operações da produção, à aplicação de métodos quantitativos e à investigação operacional. No entanto, nesta espécie de problemas continua a ser crucial a sensibilidade da análise humana, na ponderação de todos os aspetos, considerando a natureza dos problemas.

### 2.2.5. Classificação de produtos: curva ABC, diagrama de Pareto ou regra 80/20

Quando se está a estudar uma (ou mais do que uma) linha de produção é interessante, numa primeira abordagem, conhecer os produtos que lá são produzidos. Apesar de existirem várias formas de os conhecer, umas mais exaustivas do que outras, optou-se por analisar de acordo com conceitos que a empresa em estudo, habitualmente, utiliza.

Vilfredo Pareto foi um sociólogo e economista italiano que, em 1897, publicou um estudo sobre a distribuição de renda, no qual percebeu que a repartição da riqueza não se apresentava de modo uniforme, havendo grande concentração (80%) nas mãos de uma pequena parte da população (20%). Surgiu assim o conceito da curva ABC, diagrama de Pareto ou simplesmente regra 80/20, tratando-se de uma das sete ferramentas da qualidade, é uma metodologia muito simples que classifica produtos em três categorias ou classes:

- Produtos classe A - produtos de maior importância para a empresa, em que cerca de 20% dos produtos representam 80% do volume;
- Produtos classe B - artigos de importância intermédia, sendo que cerca de 30% dos produtos representam 15% do volume;
- Produtos classe C - são os de menor importância, em que 50% dos produtos representam apenas 5% do volume.

Na Figura 12 observa-se a representação gráfica desta ferramenta.

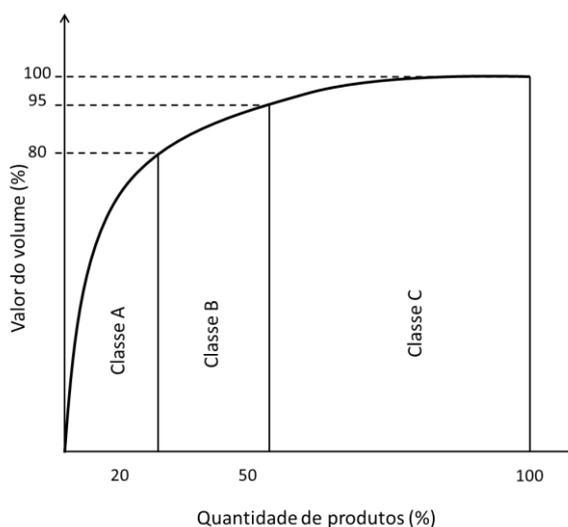


Figura 12 - Representação da curva ABC (elaboração própria)

De acordo com o autor P. Zermati (2000) para aplicar o método ABC classifica-se os artigos em *stock* por ordem dos valores decrescentes dos consumos anuais e acrescenta-se, ao nível de cada um deles, o montante do seu consumo anual com os montantes dos consumos anuais dos artigos a montante, seguindo os seguintes passos:

1. Os artigos em *stock* são ordenados por ordem decrescente dos valores, do maior para o menor;

2. Dividem-se os valores acumulados para cada um dos artigos pelo valor total, calculando a sua percentagem;
3. Faz-se a acumulação desses valores, acrescentando ao valor de cada um o montante dos valores dos artigos que o precedem.

Esta análise, apesar de simplista, continua a ser bastante adotada nas empresas nos dias que correm para classificação dos produtos que assumem maior valor para a organização, que apresentam maior procura por exemplo, e sobre os quais devem ser adotadas estratégias de gestão adequadas.

### 2.3. Ergonomia no posto de trabalho

A Associação Internacional de Ergonomia (2003) definiu ergonomia (ou fatores humanos) como sendo a disciplina científica que diz respeito à compreensão das interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema, e à profissão que aplica teoria, princípios, informação e métodos de conceção, com o objetivo de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema.

Enquanto que, no passado, a ergonomia foi impulsionada pela tecnologia (abordagem de conceção reativa), no futuro, a ergonomia é que deverá conduzir a tecnologia (abordagem de conceção proactiva). A tecnologia pode ser definida como todo o sistema constituído por pessoas e organizações, conhecimento, processos e equipamentos, que ajudam a criar e a operacionalizar artefactos tecnológicos, bem como os artefactos eles mesmos. (Bosch intranet, 2017)

Dito de outra forma, ergonomia trata-se da ciência que estuda a interação entre o homem e os elementos dos quais ele faz uso no seu posto de trabalho, adaptando-os a ele. É o estudo da organização do trabalho e dos métodos, aplicando-os na elaboração e desenvolvimento de formas para prevenir acidentes de trabalho e quaisquer danos à saúde (física ou psicológica) que as atividades e/ou os locais de trabalho podem ocasionar. A finalidade da ergonomia é a otimização do bem-estar dos trabalhadores e dos postos de trabalho. (Bosch intranet, 2017)

Faz sentido que, cada empresa, procure encontrar as suas próprias soluções ergonómicas, adequadas à sua especificidade/ramo de negócio e condições físicas reais do local de trabalho. Na empresa, no âmbito da qual foi efetuado este projeto, pesquisou-se na documentação interna e as soluções ergonómicas criadas categorizam-se, de uma maneira geral, da seguinte forma:

- Soluções para desvios de postura, de coluna, de punho e de membros superiores;
- Melhorias de *layout*;
- Manuseamento de cargas;
- Melhoria do conforto ergonómico. (Bosch intranet, 2017)

Existem, no entanto, outros parâmetros que influenciam a qualidade destas soluções como aspetos físicos dos próprios colaboradores (altura, peso, problemas de saúde, entre outros). Como tal, idealmente, as soluções, ao serem criadas, deveriam de se apresentar ajustáveis.

Neste projeto é dada relevância à ergonomia quando se criam cenários de balanceamentos das linhas de produção, procurando ter-se em conta os aspetos ergonómicos dos operadores, uma vez que nos dias que correm é um fator cada vez mais valorizado nas empresas que apostam num crescimento sustentável, como a do caso em estudo.

### 3. Estudo Prático

O estudo prático realizado neste capítulo pretende ir de encontro aos objetivos concretos deste trabalho, através da aplicação das metodologias teóricas anteriormente abordadas e do uso de uma análise crítica própria, de forma a resolver o desafio proposto e apresentando soluções de melhoria que possam ser implementadas.

#### 3.1. Apresentação geral da empresa

A empresa na qual se realizou este projeto, pertencente ao grupo Bosch, foi a *Bosch Security Systems* – Sistemas de segurança, S.A., localizada em Ovar. O grupo possui 4 setores de negócio: soluções de mobilidade, tecnologia industrial, bens de consumo e tecnologia de energia e edifícios.

##### 3.1.1. A *Bosch Security Systems*

A *Bosch Security Systems* enquadra-se no setor de negócio de tecnologia de energia e edifícios, mais concretamente na área de sistemas de segurança. A *Bosch Security Systems* (ST) instalou-se em Ovar em 2002, com a compra da unidade SPVV (Sistemas Profissionais de Visão e Vigilância) à multinacional Philips. Os produtos produzidos na *Bosch Security Systems* dividem-se em quatro subgrupos: videovigilância, comunicação, deteção de incêndio e fornecedora de outros segmentos como termotecnologia e *power tools*.

A Bosch de Ovar caracteriza-se por ser uma fábrica de alta diversidade e baixo volume no que se refere aos seus produtos, posicionando-se bem por possuir *know-how* na montagem de placas de circuito impresso (PCBA), através de SMT e de THT, permitindo-lhe uma grande vantagem competitiva uma vez que são capazes de acompanhar as evoluções nessa área.

Este projeto foi desenvolvido no departamento de produção, operações e engenharia (MOE), que inclui tudo o que tem a ver com a produção e apoio ao seu correto funcionamento. Esta equipa trata essencialmente questões de logística interna, de engenharia industrial e de engenharia mecânica. A engenharia industrial, onde se enquadra este projeto, é responsável pela definição e melhoramento dos procedimentos dentro das linhas de produção, como balancear as linhas, estabelecer os melhores movimentos dos operadores nas linhas, definir a ordem de tarefas e equilibra-las pelo número de operadores e pelo tempo que demora cada tarefa, entre outros.

##### 3.1.2. *Bosch production system*

Durante o estágio na *Bosch Security Systems* houve a oportunidade de ter formação sobre o *Bosch production system*. Uma vez que a produção, e a forma como se operacionaliza nesta empresa, se relaciona diretamente com o tema deste projeto, achou-se interessante abordar alguns dos conceitos aprendidos para ajudar a perceber o que já está otimizado e o que pode ainda ser melhorado no sistema produtivo.

O *Bosch production system* define os conceitos e metodologias para conceber sistemas de produção e fornecimento de produtos ágeis e sem desperdício, que garantam o crescimento, saúde financeira e sustentabilidade da organização a longo prazo. (Bosch intranet, 2017)

A abordagem BPS implica ter o material certo, na quantidade certa, no momento certo, na qualidade certa e no local certo para ser produzido, assembled e transportado (abordagem semelhante com o conceito *just-in-time*). Mais do que o necessário nestes parâmetros é desperdício. Trata-se de uma visão global (integrando: fornecedor, fábrica, centro de distribuição, vendedor e cliente) para conceber sistemas de produção sem desperdício. Os principais objetivos

do BPS dizem respeito a objetivos concretos de qualidade, de entrega e de custo (Figura 13 e Tabela 2). (Bosch intranet, 2017)

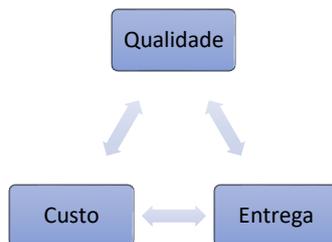


Figura 13 - A interligação existente entre os objetivos do BPS (Bosch intranet, 2017)

Tabela 2 - Objetivos concretos do *Bosch production system* (Bosch intranet, 2017)

Qualidade	Entrega	Custo
Redução de: <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Rejeição;</li> <li>→ <i>Rework</i>;</li> <li>→ Testes;</li> <li>→ Falhas de CAT;</li> <li>→ <i>Fall-off</i>.</li> </ul>	Redução de: <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Tempo de entrega/resposta;</li> <li>→ Tempo total de produção;</li> <li>→ <i>Stocks</i> de matéria-prima;</li> <li>→ <i>Stocks</i> de WIP;</li> <li>→ <i>Stocks</i> de produto final;</li> <li>→ Tamanho dos lotes (<i>lot size</i>).</li> </ul>	Redução de: <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Investimentos;</li> <li>→ Custos da não qualidade;</li> <li>→ Custos com serviços;</li> <li>→ Custos com material;</li> <li>→ Horas extra;</li> <li>→ Rejeição.</li> </ul>

Os 8 princípios do BPS são:

- Orientação para os processos - desenhar, melhorar e controlar os processos;
- Qualidade perfeita - evitar erros e falhas através de ações preventivas para entregar a qualidade perfeita ao cliente;
- Sistema pull - produzir apenas de acordo com os requisitos dos clientes;
- Flexibilidade - possuir flexibilidade em volume e variações de produtos;
- Standardização - atingir *standards "best in class"*, melhorar processos e standardizar;
- Processos transparentes - os processos produtivos e do negócio devem ser auto controláveis e transparentes, havendo visibilidade imediata de desvios;
- Melhoria contínua (CIP) - eliminação de desperdício, focar constantemente no processo de melhoria contínua (orientação CIP);
- Envolvimento global e empowerment - clara definição de responsabilidades e autoridade a nível de processos. (Bosch intranet, 2017)

Para que estes princípios se operacionalizem são necessárias algumas ferramentas (Tabela 3).

Tabela 3 - Ferramentas BPS

<i>Visual Management</i>	<i>Quick Change Over</i>	<i>Q-Tools</i>	<i>Pull System (Kanban)</i>
5S	<i>Value Stream Design</i>	<i>Policy Deployment</i>	<i>Standardized Work</i>
TPM	<i>Poka-Yoke</i>	<i>TOP - Team Oriented Production</i>	<i>Flexible Work</i>

<i>Ship to Line</i>	<i>Quick Response System</i>	<i>VV Management</i>	<i>Kaizen Workshops</i>
<i>Supplier Development</i>	<i>Low Cost Automation</i>	<i>Flow Oriented layout</i>	<i>Holistic Production Plan</i>
<i>Design for Assembly (DFA)</i>	<i>Ergonomic Work Design</i>	<i>Toolbox MAE</i>	<i>Technology Planning</i>
<i>Life Cycle oriented MAE and Production Planning</i>	<i>Supplier Integration</i>		

A ideia é correlacionar as ferramentas do BPS com os seus princípios, verificando quais se adequam melhor à realização de cada princípio. As ferramentas BPS servem para garantir que os oito princípios do sistema produtivo Bosch são postos em prática. Algumas destas ferramentas já foram abordadas ao longo deste documento, sendo que outras só foram conhecidas através desta formação em BPS, permitindo alargar o leque de conhecimentos relacionados com a produção *lean*.

### 3.2. Enquadramento e descrição do estado inicial das linhas de montagem em estudo

As duas linhas de montagem em estudo são a linha 1 (a partir de agora denominada L1) e a linha 2 (a partir de agora denominada L2). Localizadas lado a lado, a L2 funciona no sentido dos ponteiros do relógio, ou seja, o posto 1 é o mais à esquerda na Figura 15 e a L1, por sua vez, funciona no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, tendo o seu posto 1 no extremo direito da Figura 14.

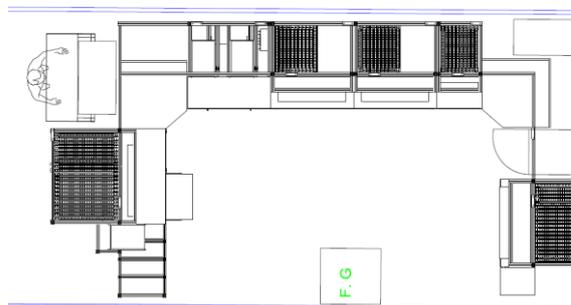


Figura 14 - *Layout* da L1 (Bosch, 2017)



Figura 15 - *Layout* da L2 (Bosch, 2017)

Como se pode observar, pelas Figuras 14 e 15, o tipo de *layout* destas linhas é o *layout* em U, tornando-as flexíveis e promovendo o trabalho de equipa. A Bosch Security Systems de Ovar possui implementados documentos específicos que ajudam na criação de *standards* de trabalho. Encontram-se dispostos nas linhas os PQI, para consulta dos operadores, que lhes permite saber as tarefas a realizar e a ordem das mesmas, por produto. Dado que cada posto de trabalho possui tarefas diferentes, há a necessidade de haver um PQI por posto, de modo a evitar o erro. Outro documento é a STAB tratando-se da definição do *layout* da linha, acompanhado dos movimentos de cada operador de forma mais otimizada, do tempo de ciclo e do tempo de deslocação, sendo possível adaptar o número de operadores à procura prevista ou às necessidades da empresa. Como a linha não se altera, existe a necessidade de se definir quais as tarefas a realizar por cada operador, para cada um dos produtos.

Nestas linhas, tal como na maioria das linhas de produção da fábrica, os processos produtivos têm, tipicamente, as operações apresentadas na Figura 16.

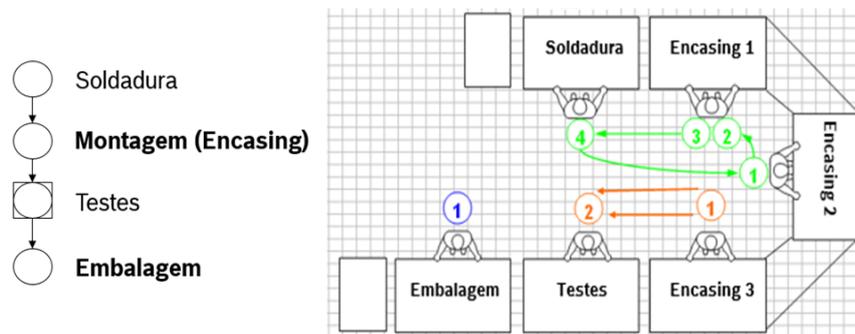


Figura 16 - Processo produtivo geral na Bosch em Ovar (Bosch intranet, 2017)

Como se pode observar na Figura 16, do processo produtivo, as operações apresentadas do lado esquerdo seguem a ordem de execução indicada pelas setas. Podemos observar (Figura 16), as posições onde se localizam habitualmente essas operações. É de salientar que, por vezes, a seguir ao posto de soldadura existe um teste funcional, antes da montagem. O que aqui no esquema é designado de 'Testes' trata-se normalmente do teste final ao produto, antes da embalagem. Além destes processos, é ainda, *à posteriori*, realizado um teste designado por CAT que tem como objetivo atuar como sendo o cliente, onde se testa o produto ao pormenor, se averigua se a caixa contém todos os componentes e se a(s) etiqueta(s) da caixa está(estão) correta(s).

No total, nestas duas linhas, são produzidos 74 produtos diferentes, dos quais 17 podem ser produzidos na L1 e 61 podem ser produzidos na L2. Existem 4 produtos que tanto podem ser produzidos numa linha como na outra. Os produtos agrupam-se por famílias, dada a sua semelhança, por diferirem apenas em pequenos detalhes, perfazendo um total de 23 famílias. Estas duas linhas não estão sempre a produzir todos estes itens ao mesmo tempo, havendo associado um planeamento de produção que estabelece prioridades (em termos de encomendas de clientes), interligando essa informação com outros fatores, como, por exemplo, a disponibilidade de matérias-primas em termos de fornecedores internos (fornecedores de PCBA's, que são produzidas na própria fábrica).

Nestas linhas são fabricados produtos de baixa cadência (taxa de produção ou cadência de produção). A L1 tem poucos produtos, que são tanto *high volume* (HV) como exóticos, embora maioritariamente exóticos, e é uma linha que se caracteriza por ter tempos máquina elevados, o que significa que os equipamentos da linha, os testes por exemplo, demoram muito tempo a executar a sua tarefa. Já a L2 compreende a produção de um muito maior número diferente de produtos, dos quais uma pequena percentagem são *high volume*, sendo a maioria exóticos. Esta última linha caracteriza-se por ter elevados tempos de *setup* e muitas paragens de linha (devido a problemas técnicos, entre outros). A procura no ano de 2017 para estas duas linhas foi de 41811 unidades e no ano de 2018 estão previstas 34145 unidades, com um decréscimo de cerca de 18%. Este valor inclui a introdução de novos produtos nas linhas e, como tal, o negócio apresenta perspectiva de crescimento.

### 3.3. Análise inicial de dados e aplicação de conceitos teóricos à resolução do problema

No decorrer do desenvolvimento deste projeto estar-se-á a aplicar a metodologia DMAIC, sendo que a primeira fase - *Define* - definir o problema - já foi efetuada. A segunda fase - *Measure* - passa por medir e mapear o processo, que é isso que se irá apresentar nos próximos subcapítulos, com a recolha de tempos das tarefas diretamente nas linhas. A terceira fase da metodologia -



operador, a produtividade não aumenta. Esta informação foi simplesmente consultada numa pesquisa e recolha inicial de dados, sobre o universo de produtos, das linhas em estudo. No Gráfico 2 observa-se a percentagem de produtos em que a produtividade altera por se ter mais 1 operador.

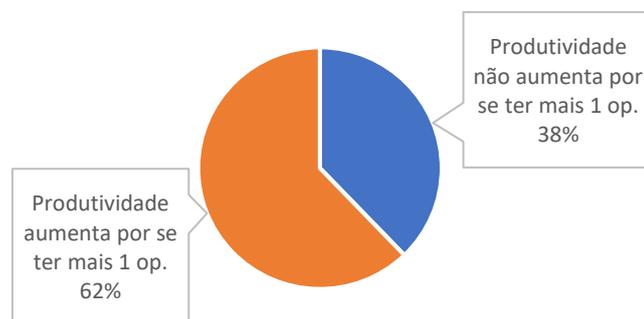


Gráfico 2 - Percentagem de produtos em que produtividade altera por se ter mais 1 op.

A percentagem que estes produtos, cuja produtividade não aumenta por se ter mais 1 operador, representam ainda é considerada significativa (38% o que corresponde a 28 produtos), sendo importante analisá-los para verificar onde melhorar no processo produtivo antes de avançar para o melhoramento do fator máquina, dado que é mais dispendioso.

Os produtos a acompanhar foram escolhidos de acordo com as observações anteriores e considerando, também, os seguintes critérios:

- apresentar potencial de melhorias;
- ter valor de procura mais elevado;
- produtos da mesma família.

Posto isto, optou-se pela escolha dos produtos para acompanhamento presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Produtos selecionados

Linha	Produto	Família
L1	A	Grupo 1
L2	I	Grupo 5
	S	Grupo 5
	D	Grupo 12
	H	Grupo 17
	X	Grupo 17
	V	Grupo 19

### 3.3.3. Cálculos iniciais para os balanceamentos

Mesmo já se tendo procedido à escolha dos produtos, continuou-se a análise inicial de informação relacionada com as duas linhas e os seus produtos, recolhendo dados necessários junto da documentação da empresa. Para a elaboração dos balanceamentos, percebeu-se que havia necessidade de primeiro se calcular, teoricamente, o tempo de ciclo. Este cálculo foi feito tendo em conta os dados disponíveis na empresa e a orientação dada pela mesma.

Para o cálculo do tempo de ciclo, começou-se pelo cálculo do *takt time* (Tabela 5) que, de acordo com a Equação 1, precisa de saber o tempo disponível de produção que, para o mês de janeiro por exemplo, para a L2, é 1719768 segundos, ou seja, o tempo diário de produção teórico (78600 segundos, que já é o tempo diário de produção teórico total) a multiplicar pelo nº de dias úteis do mês. Para este cálculo considerou-se que:

- as linhas funcionam a 3 turnos, excluindo fins de semana e feriados;
- existem pausas para almoço, lanches, reuniões de grupo e limpeza;
- janeiro tem 21,88 dias úteis.

Tudo o que se relaciona com:

- paragens de linha para manutenções;
- tempo de espera logístico (espera de componentes, de operadores, ou outras situações não planeadas);
- uma percentagem de descanso do pessoal (como idas à casa de banho ou ao posto médico);
- paragens para ajuste (*setup*) da produção, quando se muda a produção de um produto para outro produto diferente;
- paragens técnicas (problemas/erros nos testes funcional ou final)

são questões internas, da empresa, e não é considerado no cálculo do *takt time*, pois o cliente nada tem a ver com estas situações. O tempo diário de produção efetivo já considera estes últimos 5 aspetos e é a soma do tempo diário de produção efetivo de cada turno, sendo o tempo diário de produção efetivo total = 73983 segundos.

Tabela 5 - Valores do *takt time* para a L2

mês 2018	dias úteis	procura	<i>takt time</i>
jan	21,88	1159	1483,8
fev	18,84	1098	1348,7
mar	20,87	1038	1580,3
abr	17,93	853	1652,2
mai	21,88	853	2016,1
jun	20,79	1342	1217,7
jul	20,87	1342	1222,3
ago	22,81	853	2101,8
set	19,86	1583	986,1
out	21,97	1702	1014,6
nov	20,79	1642	995,2
dez	18,85	1253	1182,5

A coluna da procura foi calculada somando a procura de todos os produtos da L2 para aquele mês, e fez-se assim para os restantes meses. A coluna do *takt time* foi calculada multiplicando sempre os 78600 pelo nº de dias úteis desse mês e dividindo este produto pelo valor da procura correspondente a esse mês. Fez-se os mesmos cálculos para a L1 (Tabela 6). O tempo diário de produção e o nº de dias úteis do mês mantem-se, mudando apenas os valores da procura. A unidade do *takt time* será segundos/peça.

Tabela 6 - Valores do *takt time* para a L1

mês 2018	dias úteis	procura	<i>takt time</i>
jan	21,88	1753	981,0
fev	18,84	1753	844,7
mar	20,87	1034	1586,4
abr	17,93	1034	1363,0
mai	21,88	1034	1663,2
jun	20,79	1674	976,2
jul	20,87	1674	979,9
ago	22,81	1034	1733,9
set	19,86	1674	932,5
out	21,97	2320	744,3
nov	20,79	2345	696,8
dez	18,85	2085	710,6

Necessário também para o cálculo do tempo de ciclo, na sequência deste raciocínio, foi calculado de seguida o nº teórico de operadores ( $K^T$ ) (Tabela 7) de acordo com a Equação 3 introduzida no capítulo 2, na secção 2.2.3. Nesta equação tem-se o somatório dos tempos de execução de todas as tarefas, ou seja, o *throughput time* no numerador e o *takt time* no denominador. Para o cálculo do *throughput time* obtiveram-se os *throughput times* individuais de cada produto, para cada linha, e calculou-se o *throughput time* médio por linha. Para os produtos selecionados, procedeu-se à recolha (por cronómetro) de tempos reais de todas as tarefas (ver anexo III). Alguns dos valores dos *throughput times* podem ser consultados no anexo II.

Tabela 7 - Cálculo do nº de operadores da L2

mês 2018	<i>takt time</i>	nº op. teórico ( $K^T$ )	nº op. real	
jan	1483,8	1,45	2	
Fev	1348,7	1,60	2	
mar	1580,3	1,36	2	
abr	1652,2	1,30	2	
mai	2016,1	1,07	2	
jun	1217,7	1,77	2	
jul	1222,3	1,76	2	
ago	2101,8	1,02	2	
set	986,1	2,18	3	
out	1014,6	2,12	3	
nov	995,2	2,16	3	
dez	1182,5	1,82	2	
		Média	2,25	3

Para se obter o nº teórico de operadores ( $K^T$ ), para cada mês, dividiu-se o *throughput time* médio dessa linha pelo *takt time* desse mês. Arredondou-se este valor teórico para o nº inteiro superior mais próximo, sendo este o nº efetivo de operadores (nº op. real) necessário para aquele mês. No fim fez-se uma média, destes últimos valores, para obter o nº médio de operadores para a linha em questão. De forma análoga fez-se o mesmo cálculo para a L1 (Tabela 8).

Tabela 8 - Cálculo do nº de operadores da L1

mês 2018	takt time	nº op. teórico (K <sup>T</sup> )	nº op. real	
jan	981,0	1,49	2	
fev	844,7	1,73	2	
mar	1586,4	0,92	1	
abr	1363,0	1,07	2	
mai	1663,2	0,88	1	
jun	976,2	1,50	2	
jul	979,9	1,49	2	
ago	1733,9	0,84	1	
set	932,5	1,57	2	
out	744,3	1,96	2	
nov	696,8	2,10	3	
dez	710,6	2,06	3	
		Média	1,92	2

Por fim, calcularam-se os tempos de ciclo teóricos (em segundos) para os produtos selecionados (Tabela 9). A fórmula que se usou para este cálculo, diferente da mencionada na Equação 2, foi a indicada pela empresa e que faz sentido na sequência destes cálculos, tendo sido a da Equação 6.

$$\text{Equação 6 - Fórmula para o cálculo do tempo de ciclo teórico} \\ \text{tempo de ciclo teórico do produto} = \frac{\text{throughput time do produto}}{\text{nº op. real da linha}}$$

Tabela 9 - Tempos de ciclo teóricos para os produtos selecionados

Linha	Produto	Tempo de ciclo
L1	A	682,97
L2	I	589,7
	S	800
	D	439
	H	784
	X	630,3
	V	383,7

### 3.3.4. Observação de características dos produtos

De seguida, e antes de se avançar para a construção dos diagramas de precedências, achou-se necessário conhecer melhor os produtos a estudar. Como tal, procedeu-se à observação, no *gemba*, da sua produção. Registaram-se as principais características dos produtos anteriormente selecionados:

- Produto A: é produzido na L1, a produção foi observada com 2 operadores, e este produto é o que tem a maior procura. O seu gargalo está na parte automática do teste funcional (posto 2);
- Produto I: é produzido na L2 e foi observada a produção com 3 operadores. O seu gargalo está na parte manual do teste final (posto 6), exigindo muita interação entre o operador e a máquina;

- Produto S: é produzido na L2, foi observada a produção com 2 operadores e o seu gargalo está na parte automática do teste funcional (posto 2). Este produto contém duas placas (PCBA's), que designamos por 1ª PCBA e 2ª PCBA, e ambas têm que passar pelo teste funcional. Assim, existe a necessidade de fazer o *setup* das máquinas de testes funcionais (trocar o teste no posto 2) e, como isto demora tempo, determinou-se que o *setup* é feito de 4 em 4 PCBA's. Desta forma, quando se fizeram as medições dos tempos de *setup*, dividiu-se por 4 para se obter o valor por unidade produzida. As medições em anexo já aparecem com o valor/peça. O posto 3 não é utilizado. No posto 6 (teste final) a parte automática e a parte manual são muito intercaladas, mantendo o operador no posto;
- Produto D: é produzido na L2, foi observada a produção com 3 operadores e o seu gargalo está no posto 5, que é um posto manual;
- Produto H: é produzido na L2, foi observada a produção com 3 operadores e o seu gargalo está no teste funcional (posto 2). Este produto tem duas placas (PCBA's), que designamos por 1ª PCBA e 2ª PCBA. Só a 2ª PCBA passa pelo teste funcional. No posto 6 (teste final) a parte automática e a parte manual são muito intercaladas, prendendo o operador a este posto;
- Produto X: é produzido na L2, foi observada a produção com 3 operadores e o seu gargalo está no posto 5, que é um posto manual. Este produto tem duas placas (PCBA's), que designamos por 1ª PCBA e 2ª PCBA, em que só a 2ª PCBA passa no teste funcional (posto 2). Neste posto 2 a parte automática é toda seguida. No posto 6 (teste final) é requerida a presença do operador, dado que a componente manual é muito forte;
- Produto V: é produzido na L2, foi observada a produção com 3 operadores e o seu gargalo está no posto 5, sendo este um posto de trabalho manual. Este produto incorpora duas placas (PCBA's), designadas de 1ª PCBA e de 2ª PCBA, em que só a 2ª PCBA passa pelo teste funcional (posto 2). O posto 6 (teste final) requer a presença de um operador, uma vez que a componente manual é acentuada.

Como mencionado anteriormente, para os produtos selecionados houve a recolha de tempos reais por cronómetro e, por vezes, fizeram-se medições das “n” primeiras tarefas de um posto por várias razões: porque o operador consegue fazer essas tarefas “debaixo” da parte automática de um teste (enquanto o teste está a decorrer), ou porque poderia ser, por hipótese, a forma “ideal” de divisão de tempo das tarefas pelos operadores, ou com o intuito de constatar e contrariar outras situações que estariam a atrasar a produção (observação de melhorias).

Elaboraram-se, de seguida, as listas de tarefas de cada produto selecionado. Como exemplo, pode ser consultada a lista de tarefas do produto A no anexo IV. Contudo, há que realçar alguns aspetos que se consideram importantes mencionar acerca das listas:

- Quando se indica subtarefa 1, 2, etc., significa que essas subtarefas têm que ser feitas de forma sequencial, umas após as outras. Agruparam-se essas tarefas dando-lhes a designação de uma letra, como se isso fosse uma só tarefa, dado que têm que ser sequenciais;
- Indicam-se letras às tarefas que podem corresponder a tarefas unitárias ou a grupos de tarefas, mas que têm associadas a ideia de precedência;
- Existem tarefas que podem ser feitas em simultâneo com outras.

### 3.3.5. Construção dos diagramas de precedências

De forma a se ter todos os dados iniciais necessários, e a informação estruturada, para se poder avançar para a criação dos balanceamentos, e após um maior conhecimento dos produtos e das suas tarefas, procedeu-se à construção dos seus diagramas de precedências respetivos. Para se construir, por exemplo, o diagrama de precedências relativo ao produto A, aglomerou-se primeiro a informação relevante da maneira representada na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo das tarefas do produto A com respetiva duração e precedências

Descrição	Tarefa	Tempo de execução (seg.)	Precedências
Soldadura	A	69	-
Parte manual do teste funcional	B	20	A
Parte automática do teste funcional	C	393	B
2 primeiras subtarefas da Montagem	D	33	B
Da subtarefa 3 até à 22 da Montagem	E	273	C, D
1ª parte manual do teste final	F	19	E
Parte automática do teste final	G	103	F
3 primeiras subtarefas da embalagem	H	35	F
2ª parte manual do teste final	I	60	G, H
Terminar embalagem	J	91	I

Com a informação organizada desta forma, como apresentada na Tabela 10, foi fácil gerar o respetivo diagrama de precedências (Figura 17).

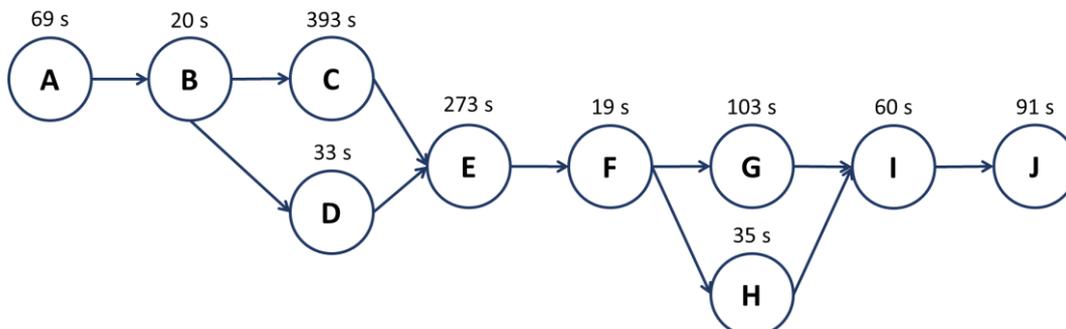


Figura 17 - Diagrama de precedências do produto A

Fizeram-se, da mesma forma (representada na Tabela 10), os resumos das tarefas para os restantes produtos, obtendo-se os respetivos diagramas de precedências (Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23).

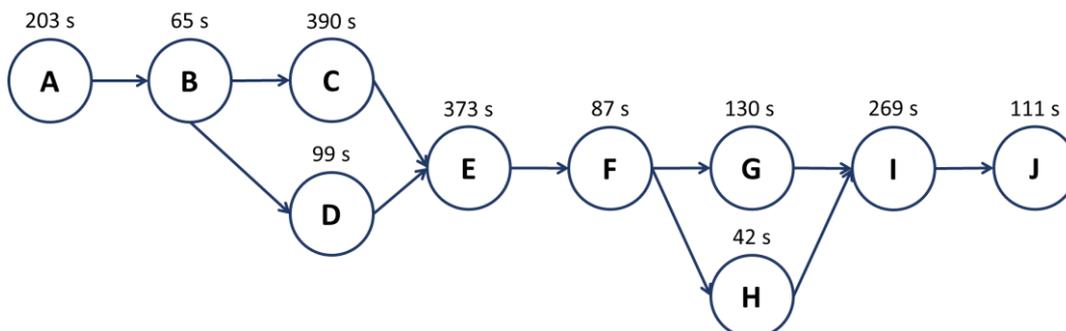


Figura 18 - Diagrama de precedências do produto I

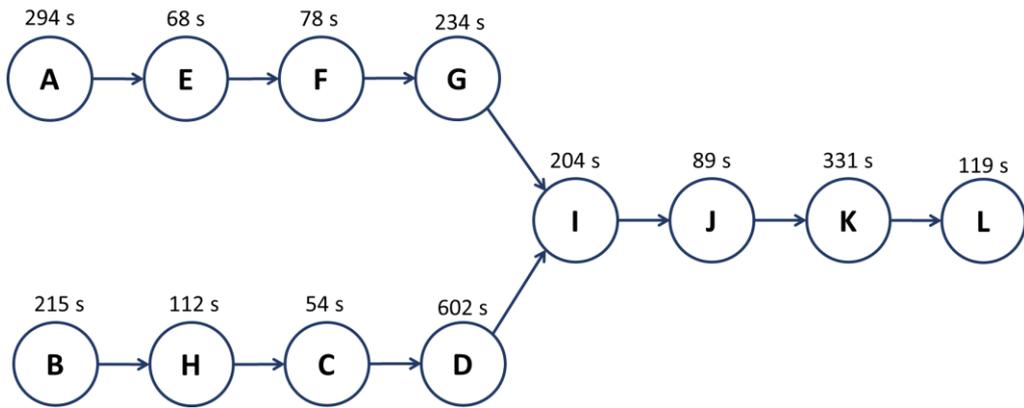


Figura 19 - Diagrama de precedências do produto S

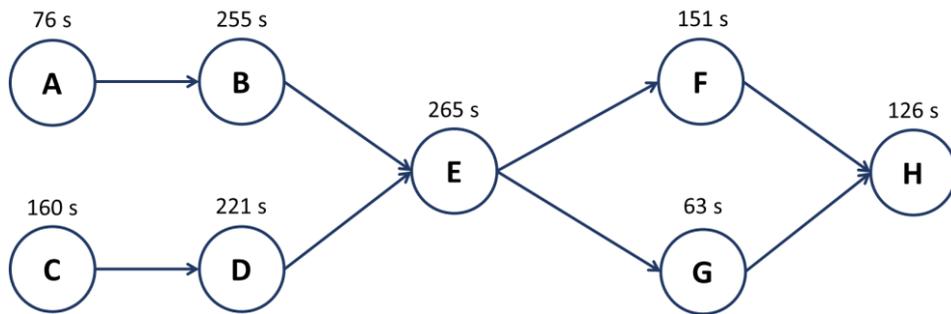


Figura 20 - Diagrama de precedências do produto D

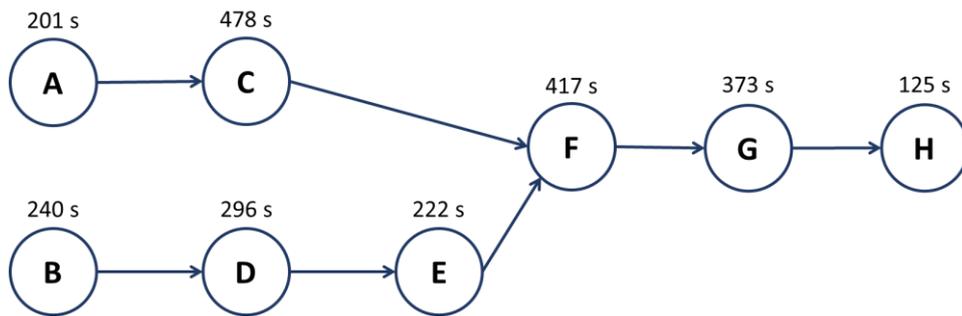


Figura 21 - Diagrama de precedências do produto H

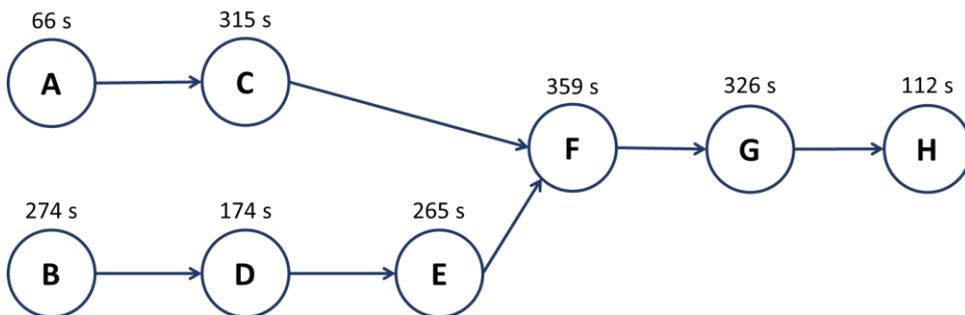


Figura 22 - Diagrama de precedências do produto X

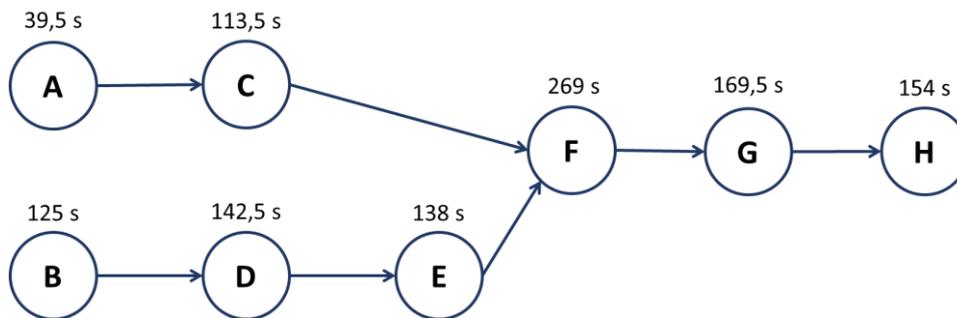


Figura 23 - Diagrama de precedências do produto V

### 3.3.6. Criação de balanceamentos

Findada a criação dos diagramas de precedências, estavam reunidas as condições iniciais para se começar a aplicar as regras heurísticas e a criar os balanceamentos associados. Para a criação dos balanceamentos e respectivos cenários, usaram-se 5 regras heurísticas distintas que foram aplicadas a cada um dos produtos. Dar-se-á o exemplo de aplicação para o produto A.

#### Regra heurística 1

A primeira regra heurística (designar-se-á esta como regra heurística 1) foi a do maior peso posicional (RPW – *ranked positional weight*), em que o que se chama de “peso” é o somatório do tempo da tarefa com o tempo das tarefas que a sucedem. Por exemplo, para a tarefa A, tem-se que o seu peso posicional será  $69 + 20 + 393 + 33 + 273 + 19 + 103 + 35 + 60 + 91 = 1096$ . Para o produto A obtiveram-se os resultados que constam na Tabela 11.

Tabela 11 - Cálculo do peso posicional de cada tarefa do produto A

Tarefa	Peso posicional
A	1096
B	1027
C	974
D	614
E	581
F	308
G	254
H	186
I	151
J	91

Destes resultados da Tabela 11, obteve-se a ordenação definida pela heurística 1: A - B - C - D - E - F - G - H - I - J. A partir daqui, e tendo em conta que o tempo de ciclo teórico para este produto é 682,97 segundos, fez-se o balanceamento (Tabela 12).

Tabela 12 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 1

Posto	Tarefas disponíveis	Tarefa afetada	Tempo de ciclo disponível
1	A	A	613,97
	B	B	593,97
	C, D	C	200,97
	D	D	167,97
2	E	E	409,97
	F	F	390,97
	G, H	G	287,97
	H	H	252,97
	I	I	192,97
	J	J	101,97

Obtiveram-se os indicadores:  $K^* = 2$  (número mínimo de operadores) obtido diretamente da Tabela 12,  $D = \frac{2 \cdot 682,97 - 1096}{2 \cdot 682,97} = 0,198$  (percentagem de tempo inativo dos operadores), ou seja,  $D = 19,8\%$  e  $E = 1 - 0,198 = 0,802$  (80,2% de eficiência dos mesmos). O *throughput time* (T) usado na fórmula do D é o deste produto (A) que é 1096 segundos, conforme dado no anexo II. Note-se que no numerador, e tal como indica a Equação 4, introduzida no capítulo 2 na secção 2.2.3., tem-se o equivalente ao somatório de tempos inativos pois a diferença entre o tempo de ciclo (multiplicado pelo nº postos) e o somatório de tempos de execução de todas as tarefas, dá-nos o tempo de inatividade.

### Regra heurística 2

Aplicou-se a regra heurística 2: maior tempo de processamento (em que tempo de processamento = tempo de execução de cada tarefa) cuja ordenação consta na Tabela 13.

Tabela 13 - Ordenação relativa à regra heurística 2

Tarefa	Tempo de execução
C	393
E	273
G	103
J	91
A	69
I	60
H	35
D	33
B	20
F	19

Daqui obteve-se a ordenação estabelecida por esta heurística: C - E - G - J - A - I - H - D - B - F. Tendo em conta o mesmo tempo de ciclo, uma vez que se trata do mesmo produto, construiu-se a tabela de balanceamento (Tabela 14) considerando agora a ordenação dada por esta regra.

Tabela 14 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 2

Posto	Tarefas disponíveis	Tarefa afetada	Tempo de ciclo disponível
1	A	A	613,97
	B	B	593,97
	C, D	C	200,97
	D	D	167,97
2	E	E	409,97
	F	F	390,97
	G, H	G	287,97
	H	H	252,97
	I	I	192,97
	J	J	101,97

Os indicadores, calculados da mesma forma, apresentam os seguintes valores:  $K^* = 2$ ,  $D = 0,198$  (19,8%) e  $E = 0,802$  (80,2%).

### Regra heurística 3

Aplicou-se então a regra heurística 3: maior nº (total) de tarefas sucessoras (Tabela 15), onde se foi contar quantas tarefas sucessoras cada tarefa tem, não incluindo ela própria. Por exemplo, para este produto A se se olhar para o seu diagrama de precedências, vê-se que a tarefa A tem 9 tarefas sucessoras no total.

Tabela 15 - Ordenação dada pela regra heurística 3

Tarefa	Nº de tarefas sucessoras
A	9
B	8
C	6
D	6
E	5
F	4
G	2
H	2
I	1
J	0

Em caso de empate, considerou-se a ordem alfabética. A ordenação obtida desta heurística foi a seguinte: A - B - C - D - E - F - G - H - I - J. Com o mesmo tempo de ciclo, fez-se a tabela de balanceamento associada (Tabela 16).

Tabela 16 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 3

Posto	Tarefas disponíveis	Tarefa afetada	Tempo de ciclo disponível
1	A	A	613,97
	B	B	593,97
	C, D	C	200,97
	D	D	167,97
2	E	E	409,97
	F	F	390,97
	G, H	G	287,97
	H	H	252,97
	I	I	192,97
	J	J	101,97

Quanto aos indicadores, estes deram exatamente os mesmos valores que para as duas heurísticas anteriores.

#### Regra heurística 4

Seguidamente, aplicou-se a regra heurística 4: menor tempo de processamento. Desta vez, a ordenação resultante foi F - B - D - H - I - A - J - G - E - C, tal como se pode conferir pela Tabela 17.

Tabela 17 - Ordenação estabelecida pela regra heurística 4

Tarefa	Tempo de execução
F	19
B	20
D	33
H	35
I	60
A	69
J	91
G	103
E	273
C	393

Construiu-se o balanceamento respetivo (Tabela 18), considerando o mesmo tempo de ciclo.

Tabela 18 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 4

Posto	Tarefas disponíveis	Tarefa afetada	Tempo de ciclo disponível
1	A	A	613,97
	B	B	593,97
	C, D	D	560,97
	C	C	167,97
2	E	E	409,97
	F	F	390,97
	G, H	H	355,97
	G	G	252,97
	I	I	192,97
	J	J	101,97

Ao se calcular os indicadores para este balanceamento, verifica-se que são iguais aos anteriores.

#### Regra heurística 5

Por fim, adotou-se a regra heurística 5: menor nº de tarefas sucessoras. Calculou-se o nº de tarefas sucessoras tal como se calculou na regra heurística 3 e considerou-se a mesma regra de desempate. A ordenação obtida foi J - I - G - H - F - E - C - D - B - A, tal como se pode observar pela Tabela 19.

Tabela 19 - Ordenação estipulada pela regra heurística 5

Tarefa	Nº de tarefas sucessoras
J	0
I	1
G	2
H	2
F	4
E	5
C	6
D	6
B	8
A	9

Com o mesmo tempo de ciclo, fez-se o balanceamento (Tabela 20) considerando esta regra heurística 5.

Tabela 20 - Balanceamento para o produto A com regra heurística 5

Posto	Tarefas disponíveis	Tarefa afetada	Tempo de ciclo disponível
1	A	A	613,97
	B	B	593,97
	C, D	C	200,97
	D	D	167,97
2	E	E	409,97
	F	F	390,97
	G, H	G	287,97
	H	H	252,97
	I	I	192,97
	J	J	101,97

Ao calcular os indicadores  $K^*$ , D e E, verifica-se que continuam a ter os mesmos valores que os indicadores calculados anteriormente. Algo que se pode reparar é que este produto (A) é produzido na L1, onde, tal como calculado no início ( $K^I$ ), só são precisos, no mínimo, 2 operadores/postos e o valor efetivo deste indicador,  $K^*$ , confirmou exatamente isso nestes balanceamentos teóricos.

#### **Restantes produtos**

Fez-se o mesmo raciocínio para todos os restantes produtos em análise, sendo que todos estes produtos são da L2. Apresenta-se, de seguida, o quadro resumo dos resultados obtidos (Tabela 21).

Tabela 21 - Resumo dos resultados dos balanceamentos para os restantes itens

Produto	Tempo de ciclo	Regra heurística	Ordenação	Throughput time (T)	Indicadores		
					K*	D	E
I	589,7	1	A - B - C - D - E - F - G - H - I - J	1769	4	0,25	0,75
		2	C - E - I - A - G - J - D - F - B - H		4	0,25	0,75
		3	A - B - C - D - E - F - G - H - I - J		4	0,25	0,75
		4	H - B - F - D - J - G - A - I - E - C		4	0,25	0,75
		5	J - I - G - H - F - E - C - D - B - A		4	0,25	0,75
S	800	1	B - H - A - C - D - E - F - G - I - J - K - L	2400	4	0,25	0,75
		2	D - K - A - G - B - I - L - H - J - F - E - C		4	0,25	0,75
		3	A - B - E - H - C - F - D - G - I - J - K - L		4	0,25	0,75
		4	C - E - F - J - H - L - I - B - G - A - K - D		4	0,25	0,75
		5	L - K - J - I - D - G - C - F - E - H - A - B		4	0,25	0,75
D	439	1	C - A - B - D - E - F - G - H	1317	5	0,40	0,60
		2	E - B - D - C - F - H - A - G		4	0,25	0,75
		3	A - C - B - D - E - F - G - H		5	0,40	0,60
		4	G - A - H - F - C - D - B - E		5	0,40	0,60
		5	H - F - G - E - B - D - A - C		4	0,25	0,75
H	784	1	B - A - D - C - E - F - G - H	2352	4	0,25	0,75
		2	C - F - G - D - B - E - A - H		4	0,25	0,75
		3	B - A - D - C - E - F - G - H		4	0,25	0,75
		4	H - A - E - B - D - G - F - C		4	0,25	0,75
		5	H - G - F - C - E - A - D - B		4	0,25	0,75
X	630,3	1	B - D - A - C - E - F - G - H	1891	4	0,25	0,75
		2	F - G - C - B - E - D - H - A		4	0,25	0,75
		3	B - A - D - C - E - F - G - H		4	0,25	0,75
		4	A - H - D - E - B - C - G - F		4	0,25	0,75
		5	H - G - F - C - E - A - D - B		4	0,25	0,75
V	383,7	1	B - D - A - E - C - F - G - H	1151	4	0,25	0,75
		2	F - G - H - D - E - B - C - A		4	0,25	0,75
		3	B - A - D - C - E - F - G - H		4	0,25	0,75
		4	A - C - B - E - D - H - G - F		4	0,25	0,75
		5	H - G - F - C - E - A - D - B		4	0,25	0,75

Como se pode observar na Tabela 21, com exceção do produto D (que tem os seus valores de K\* a oscilar entre 4 e 5 e os de E entre 75% e 60%), todos os produtos têm o K\* = 4 (nº mínimo de postos de trabalho/operadores) e a inatividade a 25%, com a respetiva

eficiência nos 75%. Esta semelhança de valores acaba por fazer sentido uma vez que os produtos são todos da mesma linha - L2.

### 3.3.7. Comparação com os resultados do software

Achou-se interessante proceder à confirmação dos valores, dos balanceamentos obtidos, através de um software. Após alguma pesquisa, encontrou-se o software POM-QM, anteriormente apresentado no capítulo 2 na secção 2.2.4. Ao entrar no software, na barra de ferramentas (em cima), em “Module” selecionou-se “Display ALL Modules”. Depois, do lado esquerdo escolheu-se o tópico “Assembly Line Balancing” onde se indica o número de tarefas, a unidade de tempo das mesmas, o seu nome e fez-se “Ok”. Depois preencheram-se os tempos de execução de cada tarefa, as respetivas precedências e o tempo de ciclo. Na Figura 24 pode ser observado o aspeto geral do software POM-QM. Na Figura 25 tem-se a tabela onde se preenche os tempos de execução e precedências das tarefas.

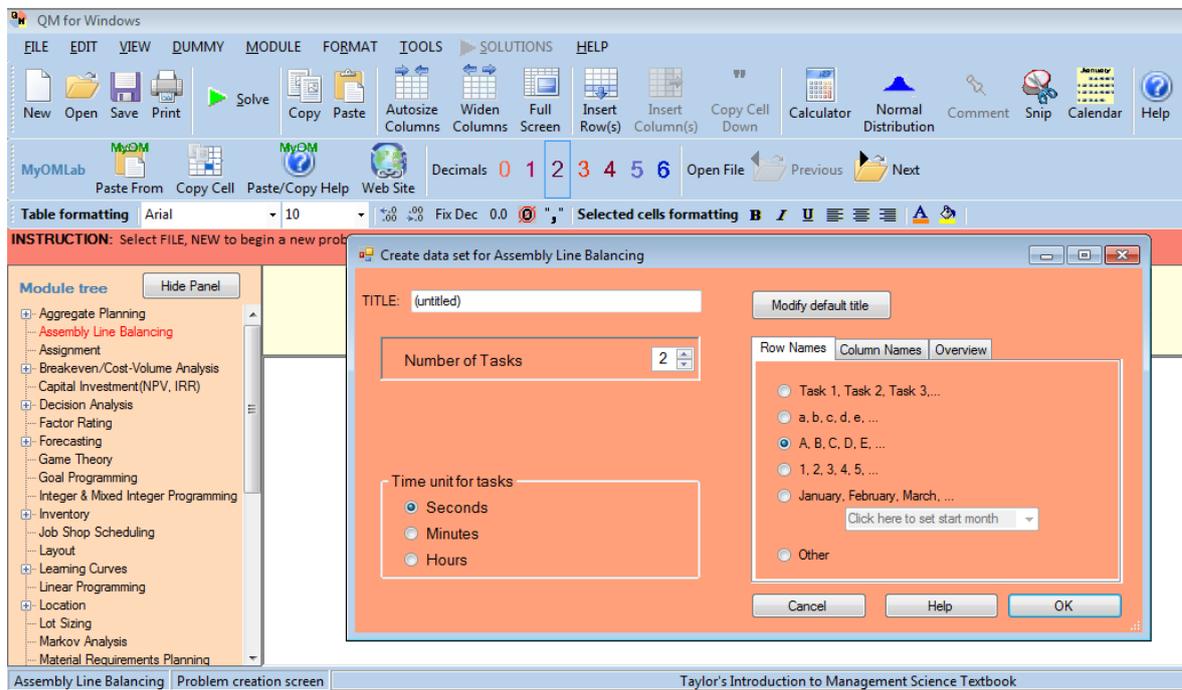


Figura 24 - Aspeto geral do software POM-QM com o tópico *Assembly Line Balancing* selecionado

TASK	Seconds	Predecessor 1	Predecessor 2
A	69		
B	20	a	
C	393	b	
D	33	b	
E	273	c	d
F	19	e	
G	103	f	
H	35	f	
I	60	g	h
J	91	i	

Figura 25 - Preenchimento da tabela de tempos de execução e precedências do produto A

Após este passo, na barra de ferramentas carregou-se em “Solve” e o software resolveu o problema de balanceamento. Também na barra de ferramentas, em “Solutions” tem-se diversas opções: escolhendo a opção “4 Graphs” pode-se observar o diagrama de precedências desse

produto (Figura 26) e na opção “1 Assembly Line Balancing results” obtêm-se as tabelas de balanceamento (Figura 27). Simultaneamente, em “Method” pode-se escolher a regra heurística que se pretende aplicar.

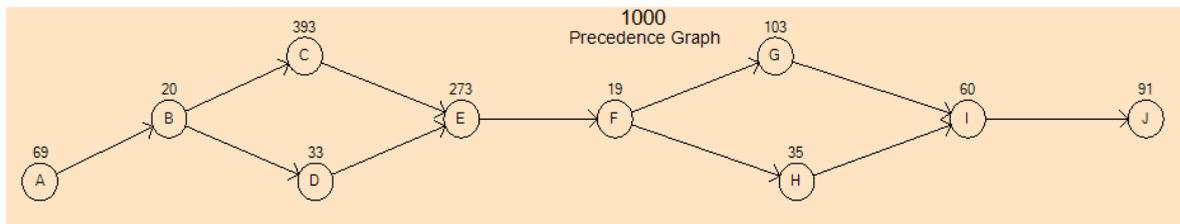


Figura 26 - Diagrama de precedências do produto A

Method		Cycle time computation		Task time unit
Longest operation time		<input checked="" type="radio"/> Given	682	Seconds
		<input type="radio"/> Computed		

1000 Solution				
Station	Task	Time (Seconds)	Time left (Seconds)	Ready tasks
1	A	69		B
	B	20		C,D
	C	393		D
	D	33		E
2	E	273		F
	F	19		G,H
	G	103		H
	H	35		I
	I	60		J
	J	91		

Figura 27 - Tabela de balanceamento do produto A com a regra heurística “maior tempo de processamento”

As regras heurísticas disponíveis no *software* são exatamente as mesmas cinco que se utilizou na resolução manual. Desta forma, foi possível confirmar os resultados obtidos e os dos indicadores, os quais são aproximados. Os resultados coincidiram com exceção de um caso: na situação de empate nas regras heurísticas “maior (e menor) nº de tarefas sucessoras”, em que se considerou para regra de desempate (regra heurística secundária) a ordem alfabética e o *software* considerou o tempo de execução.

Por um lado, achou-se interessante esta perspectiva da regra heurística secundária escolhida pelo *software* ser esta, dado que acaba por cruzar/juntar a ideia de duas regras: a do nº de tarefas sucessoras com a do tempo de processamento. Por outro lado, na abordagem utilizada, na resolução manual, isolou-se a aplicação da regra “maior/menor nº de tarefas sucessoras” e tentou-se que esta fosse aplicada de forma independente do critério das restantes regras, diferenciando-as.

Constatou-se que, com a utilização de um *software*, obter resultados teóricos de balanceamentos torna-se muito menos exaustivo, e muito mais rápido, focando-se a atenção na análise dos mesmos.



#### **4. Discussão de resultados e medidas implementadas**

Terminada a aplicação teórica, prosseguiu-se para a análise e adaptação às necessidades do sistema real. Para que os balanceamentos teóricos anteriormente criados pudessem ser implementados, houve numa primeira fase a transposição o mais fiel possível do resultado do nº de postos e das tarefas afetadas teoricamente, para postos reais e introduzindo algumas premissas essenciais para rentabilizar recursos, como tarefas em simultâneo com outras. Posteriormente, foram sendo introduzidas otimizações até se chegar ao melhor cenário.

##### **4.1. Criação e análise crítica de cenários**

Foi necessário adaptar os resultados (nº de postos teóricos) aos constrangimentos físicos das linhas de produção (nº de operadores, nº postos físicos, *layout* da linha, nº postos máquina disponíveis), de forma a que estes resultados se traduzissem em cenários efetivamente possíveis de implementar. Esta transformação dos balanceamentos teóricos em cenários adaptados às limitações reais da linha (de agora em diante designados por cenários práticos) advém, também, de ser preciso confirmar se estes refletem uma maior produtividade ou não, conjugando-se simultaneamente com outros melhoramentos pretendidos, como por exemplo ergonómicos.

##### **Cenários teóricos para o produto A**

Começando pelo produto A, para as regras heurísticas 1, 2, 3 e 5 construiu-se a Tabela 22 adaptando diretamente o resultado das tabelas de balanceamento, criando em primeira instância o que se designa de cenários teóricos.

Tabela 22 - Cenários teóricos do produto A para as regras heurísticas 1, 2, 3 e 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura	A	69			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 682,97 segundos
	2 - manual	B	20				
	2 - auto	C	393				
	3 - Montagem 1	D		33	482		esta tarefa D é executada em simultâneo com a tarefa C
2	4, 5 - Montagem 2	E	273			Op2	não está incluído nos valores o deslocamento dos operadores na linha
	6 - 1ª parte manual	F	19				
	6 - auto	G	103				
	7 - 1ª parte embalagem	H		35			esta tarefa H é executada em simultâneo com a tarefa G
	6 - 2ª parte manual	I	60				
	7 - 2ª parte embalagem	J	91		546		esta tarefa J depende que todas as anteriores estejam concluídas

Conforme descrito anteriormente, estas duas linhas têm um *layout* pré-definido em que todos os produtos têm que seguir uma sequência de tarefas como, por exemplo, executar um teste funcional após a soldadura da PCBA. Dado que estas duas tarefas não podem ser feitas no mesmo sítio implica ter um nº de postos superior ao definido teoricamente. Na realidade, nestas duas linhas existem 7 postos físicos reais. Tendo como base os balanceamentos teóricos respetivos, fez-se a atribuição dos postos/tarefas reais aos postos teóricos. De seguida, considerando o nº de operadores inicialmente calculado para esta linha (L1), o tempo de ciclo, as precedências e o facto de ser possível executar tarefas manuais em simultâneo com tarefas automáticas, atribuíram-se as tarefas a cada operador, tentando sempre equilibrar os tempos totais de cada operador para que fossem o mais semelhantes possível.

O cenário obtido para regra heurística 4 é idêntico com a exceção da ordem das tarefas C e D e G e H, que, neste caso, não interfere com a afetação.

### Cenários práticos para o produto A

O que se fez de seguida foi transformar estes cenários teóricos em cenários práticos, com vista à melhoria. Para tal, considerou-se ainda que a linha está molhada (ou seja, que a produção já está a decorrer de forma estável, existindo mais do que uma unidade a ser produzida em simultâneo, na linha) e a possibilidade de partilha de postos. Neste processo, para este produto, identificou-se o posto mais lento (o gargalo) por forma a associar as tarefas a cada operador da maneira mais equilibrada. É de salientar que foram feitos diversos cenários (Tabela 23), que foram sendo comparados entre si, até chegar à melhor solução encontrada.

Tabela 23 - Criação de cenários práticos para o produto A

Cenário 1			Cenário 2		
Posto	op1	op2	Posto	op1	op2
1	69		1	69	
2 - auto		393	2 - auto	393	
2 - manual		20	2 - manual	20	
3		33	3	33	
4		199	4	199	
5		74	5	20	
6 - auto	103		5		54
6 - manual	79		6 - auto		103
7	126		6 - manual		79
gargalo	393		7		126
tempo op.	342	413	tempos totais	<b>413</b>	<b>327</b>
deslocam.	10				
tempos totais	<b>352</b>	<b>413</b>			

Cenário 3			Cenário 4		
Posto	op1	op2	Posto	op1	op2
1	69		1	69	
2 - auto	393		2 - auto	393	
2 - manual	20		2 - manual	20	
3	33		3	33	
4	199		4	199	

5		74
6 - auto		103
6 - manual		79
7		126
tempos totais	<b>413</b>	<b>347</b>

5	74	
6 - auto		103
6 - manual		79
7		126
tempos totais	<b>413</b>	<b>273</b>

Para se entender como foi escolhido o melhor cenário existem alguns aspetos a ter em conta. Teve-se acesso a documentos internos, da empresa, próprios para balanceamentos onde se introduziram os valores destes cenários com vista a obter e a comparar os resultados dos mesmos. Neste sentido, há aqui a necessidade de esclarecer dois conceitos: o conceito de produtividade e o conceito de desbalanceamento. Começando pelo conceito de produtividade, este pode-se distinguir entre:

- produtividade teórica - é baseada na procura do cliente (que é um valor médio anual), desse produto, ou seja, naquilo que o cliente quer (mínima capacidade que tem que se atingir);
- produtividade efetiva - é baseada no melhor cenário, para esse produto, ou seja, a máxima capacidade que se consegue obter, através do balanceamento e nos tempos das tarefas. Esta será a produtividade real da linha de determinado produto (ou seja, a capacidade requerida desse produto, nessa linha), estando dependente do somatório de tempos das tarefas do operador “mais lento”. Esta produtividade é inversamente proporcional ao maior dos tempos dos operadores, num determinado cenário. Assim, dos cenários será escolhido sempre o que apresenta o menor valor máximo dos tempos dos operadores. A fórmula para calcular a produtividade efetiva é apresentada na Equação 7.

Equação 7 - Fórmula para o cálculo da produtividade efetiva

$$\text{Produtividade efetiva} = \frac{\text{tempo diário de produção efetivo}}{\text{tempo de ciclo do operador}}$$

Na Equação 7, o “tempo diário de produção efetivo” é o tempo disponível para a produção no turno observado (é uma parcela do “tempo diário de produção efetivo total”, mencionado no capítulo 3 na secção 3.3.3.). O “tempo de ciclo do operador” é a soma dos tempos das tarefas desse operador (referido como “tempos totais” nos cenários práticos).

Claro que uma linha não vai estar sempre a produzir o mesmo produto, aliás produzem-se muitos produtos na mesma linha. Assim, cabe ao departamento do planeamento da produção estabelecer prioridades em relação às encomendas do cliente. Da mesma forma que existe produtividade teórica e produtividade efetiva, também existe o tempo de ciclo teórico (apresentado e calculado no capítulo 3 na secção 3.3.3.) e o tempo de ciclo efetivo, cuja fórmula é a da Equação 8.

Equação 8 - Fórmula para o cálculo do tempo de ciclo efetivo

$$\text{tempo de ciclo efetivo} = \frac{\text{tempo diário de produção efetivo}}{\text{produtividade efetiva}}$$

Por sua vez, o conceito de desbalanceamento é o rácio entre o nº real de operadores (maior) e o nº teórico de operadores (menor). Quanto menor o desbalanceamento, maior a produtividade para a empresa, ou seja, existe uma utilização mais eficiente dos recursos.

O melhor cenário é aquele que apresente, simultaneamente, a maior produtividade e o menor desbalanceamento, na situação ideal. No caso de a produtividade ser mais elevada, mas o

desbalanceamento ser também mais elevado ou se manter, escolhe-se pela produtividade, sendo este o fator prevaiente.

Após a conceção destes cenários procedeu-se à análise dos pontos positivos e negativos dos mesmos, apresentando-se ainda sugestões de melhoria (Tabela 24).

Tabela 24 - Análise crítica dos cenários do produto A

Cenário	Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
1	- O op. 1 não executa as tarefas todas consecutivas o que implica maior dependência com o op. 2; - O tempo de trabalho manual do op. 2 >> tempo de trabalho manual do op.1.	- Maior movimentação para o op.1, o que é bom em termos ergonómicos; - É o cenário com melhor taxa de desbalanceamento.	- Alternar os operadores com frequência, visto existir disparidade entre o trabalho manual de cada um; - Teste final muito dependente do trabalho do op.: encontrar soluções automáticas com recurso à tecnologia.
2	- Desbalanceamento maior em relação ao cenário anterior; - O tempo de trabalho manual do op. 1 >> op. 2, apresentando uma diferença maior que o cenário anterior.	- Dependência entre operadores é minimizada, porque as tarefas são todas seguidas; - Menor risco de acidente uma vez que o op. 1 já não tem que cruzar a linha de produção.	
3	- Desbalanceamento ainda maior em relação aos anteriores.	- Maior equivalência na distribuição do trabalho manual, em relação aos anteriores; - Tal como no anterior, dependência entre operadores é minimizada, porque as tarefas são todas seguidas.	
4	- É o cenário com maior desbalanceamento.		

Desta forma, o cenário que apresentou melhor resultado foi o cenário 1 pois, neste caso, todos apresentam a mesma produtividade embora com desbalanceamentos diferentes, sendo este o que apresenta o menor.

#### **Cenários teóricos para o produto I**

Para o produto I, os cenários teóricos coincidem para as cinco regras heurísticas utilizadas e encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Cenários teóricos do produto I para as regras heurísticas 1, 2, 3, 4 e 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador
1	1 - Soldadura	A		203		Op1
	2 - manual	B	65			
	3 - Montagem 1	D	99			
2	2 - auto	C	390		554	
3	4, 5 - Montagem 2	E	373			Op2
	6 - 1ª parte manual	F	87			
	7 - 1ª parte embalagem	H	42		502	
4	6 - auto	G	130			Op3
	6 - 2ª parte manual	I	269			
	7 - 2ª parte embalagem	J	111		510	

Na elaboração da Tabela 25 teve-se em consideração que o tempo de ciclo de cada operador não pode exceder o tempo de ciclo (589,7 segundos), e que enquanto a parte automática do teste funcional decorre o operador pode executar postos manuais, como é o caso do op. 1 (que faz a tarefa A enquanto decorre a C). Pode-se observar neste cenário que os postos 6 e 7 são partilhados pelos op. 2 e 3. Como o nº de postos teóricos, à partida, é superior ao nº de operadores disponíveis houve a necessidade de se considerar logo algumas otimizações (como a linha molhada).

É possível se observar que os tempos dos operadores já estão muito equilibrados entre si, no entanto este cenário não é prático de implementar, devido às movimentações nos postos 6 e 7.

#### Cenários práticos para o produto I

Procedeu-se, então, à criação de cenários práticos, fazendo o mesmo raciocínio que no caso do produto anterior, tendo-se obtido o melhor cenário apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Melhor cenário prático encontrado para o produto I

cenário 3				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	*			203
2 - auto	390			390
2 - manual	65			65
3	*			74
4		281		281
5		117		117

6 - auto			130	130
6 - manual			356	356
7		153		153
tempos totais	<b>455</b>	<b>551</b>	<b>486</b>	

O operador 1 faz os mesmos postos que no cenário teórico, no entanto colocou-se também o trabalho manual do posto 3 “debaixo” do automático do posto 2 (o símbolo \* significa que está “debaixo” de uma tarefa automática) e a 4ª subtarefa do posto 3 (tarefa D) é realizada pelo op. 2 no posto 4 (tarefa E), isto é imposto pela empresa, ou seja, esta tarefa faz parte do posto 4, na realidade. Por outro lado, deve-se, por norma, sempre evitar que os operadores se encontrem no mesmo posto, uma vez que pode originar conflitos de espera. Esta diferença deve-se ao facto de, para a criação dos balanceamentos teóricos, ter que se criar a listagem de tarefas e as respetivas precedências. Como dito anteriormente, esta listagem é suscetível a constrangimentos físicos. Quanto aos operadores 2 e 3, neste cenário prático já não partilham os postos 6 e 7, não só pela questão da partilha de postos, mas também para que seja só um operador a executar o teste final do início ao fim, evitando distrações. Na Tabela 27 fez-se a análise crítica a este cenário.

Tabela 27 - Análise crítica do cenário do produto I

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
- Op. 3 passa o tempo todo sentado, existindo desigualdade em relação aos outros operadores em termos ergonómicos.	- O facto de não haver partilha de postos agiliza o processo produtivo; - Os tempos dos operadores não são muito desequilibrados, sendo este o cenário com menor desbalanceamento.	- Maior rotatividade dos operadores pelos postos (para não ser sempre o mesmo sentado); - Como consequência positiva haverá aumento da agilidade de cada operador em cada posto.

### Cenários teóricos para o produto S

Contrariamente ao que acontece para este último produto, para o produto S os cenários teóricos (que podem ser consultados no anexo V) são todos diferentes e, em todos, ao atribuir as tarefas aos operadores excede-se o tempo de ciclo. Estes cenários não contemplam a possibilidade de partilha de postos, nem postos paralelos, assim como também não contemplam a realidade da linha estar molhada. De entre os cenários obtidos, o menos exequível seria o cenário 5, enquanto que o cenário mais próximo do exequível seria o 2. Na prática, estes cenários serão exequíveis, considerando que os tempos do posto 1 podem ficar “por baixo” dos tempos automáticos do posto 2, ou seja, enquanto se executa o teste funcional às placas 1ª PCBA, o operador estará a soldar placas da 2ª PCBA e vice-versa. Aliás, na prática, os tempos de ciclo são determinados pelo tempo das tarefas do operador que demora mais tempo. Este produto é o produto mais complexo de analisar, por ter duas PCBA’s em que ambas são sujeitas ao teste funcional e requerem tempos de *setup* desta máquina. Como, atualmente, não há a possibilidade no *layout* da linha de pôr os dois testes funcionais, das duas placas, a decorrerem ao mesmo tempo (postos paralelos), este é o exemplo do tipo de produto que prova que a análise humana é importante.

### Cenários práticos para o produto S

Fez-se o mesmo raciocínio para a criação de cenários práticos e o melhor cenário obtido foi o que se apresenta na Tabela 28.

Tabela 28 - Melhor cenário prático encontrado para o produto S

cenário 1				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	509			509
2 - auto		836		836
2 - manual		312		312
3	-	-	-	-
4			204	204
5			89	89
6 - auto				
6 - manual			331	331
7	119			119
tempos totais	<b>628</b>	<b>1148</b>	<b>624</b>	

Este cenário, mostrado na Tabela 28, apresenta as características que constam na Tabela 29.

Tabela 29 - Análise crítica do cenário do produto S

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
<ul style="list-style-type: none"> <li>- O op. 2 está sujeito a longos períodos de espera em pé (os dois tempos do automático dos testes funcionais);</li> <li>- Existe elevado desbalanceamento em termos de trabalho atribuído a cada op. (pelo facto de não se conseguir separar os testes no posto 2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No caso dos op. 1 e 3 existe uma maior equidade no tempo em que estão em pé e sentados, o que é benéfico em termos ergonómicos;</li> <li>- Ter uma pessoa dedicada ao gargalo (posto 2) é um aspeto positivo, minimizando tempos de inatividade do posto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação de postos paralelos no posto 2 para se poder testar ambas as PCBA's, ao mesmo tempo;</li> <li>- Em termos ergonómicos, poderia ser colocado um banco para op. 2 repousar durante o automático do posto 2, minimizando doenças de circulação sanguínea, por exemplo.</li> </ul>

Este é um produto que apresenta poucas margens para melhoria, sem investimento na parte dos testes: colocar os dois testes (funcionais) em paralelo, a decorrerem ao mesmo tempo, e/ou reduzir o tempo de duração desses testes.

#### **Cenários teóricos para o produto D**

Quanto ao produto D, tal como este último produto, apresenta os cenários teóricos todos diferentes (podendo ser consultados no anexo VI), porém estes acabam por diferir apenas em pequenos aspetos. O que é de realçar nestes cenários é que o gargalo se localiza num posto manual (ao contrário dos produtos anteriores, em que este estava sempre num posto máquina) o que limita a produtividade ao ritmo do operador e não permite pôr tarefas “debaixo” desta, ou esta “debaixo” de uma tarefa automática. Assim, os tempos de cada tarefa são elevados, para um tempo de ciclo relativamente baixo e podemos observar que teoricamente, à partida, se têm 4 a 5 postos/operadores que vão ser condicionados a uma linha com 3 operadores. O passo seguinte, nestes cenários teóricos, seria confirmar na linha que, com a partilha do posto 7, os operadores nunca se encontram no posto, originando perda de tempo/espera.

#### **Cenários práticos para o produto D**

Feita essa confirmação, optou-se por não dividir o posto 7 porque originava perda de tempo. Fez-se o mesmo raciocínio de criação de cenários práticos e o melhor cenário obtido foi o que se visualiza na Tabela 30.

Tabela 30 - Melhor cenário prático encontrado para o produto D

cenário 4				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1			76	76
2 - auto	230			230
2 - manual	25			25
3	160			160
4	*			221
5			265	265
6 - auto		16		16
6 - manual		135		135
7		189		189
tempos totais	<b>415</b>	<b>340</b>	<b>341</b>	

Ao contrário dos anteriores produtos, neste, o melhor cenário foi elegido por apresentar maior produtividade, embora apresente também o maior índice de desbalanceamento. A respetiva análise crítica está na Tabela 31.

Tabela 31 - Análise crítica do cenário do produto D

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
<ul style="list-style-type: none"> <li>- O op1 nunca está sentado, podendo criar situações de fadiga ou problemas de circulação sanguínea;</li> <li>- As tarefas do op3 não são sequenciais o que envolve a questão de “cruzar” a linha (risco de acidentes) e situações de dependência de tarefas com outro operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor produtividade;</li> <li>- Melhor aproveitamento do tempo da tarefa automática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por questões de ergonomia no posto de trabalho, rodar os operadores com frequência.</li> </ul>

Este é um produto cuja montagem depende muito de trabalho manual, o que pode provocar oscilações no tempo de ciclo de cada peça, o que não acontece quando o gargalo é numa máquina. É neste tipo de produtos que outros aspetos, relacionados com comportamento organizacional, não devem ser descurados.

#### Cenários teóricos para o produto H

Para o produto H, os cenários teóricos também resultaram em 5 cenários distintos, presentes no anexo VII. De uma forma geral, nem todos os cenários que se apresentam exequíveis são possíveis de ser implementados na prática, nesta linha. Os constrangimentos físicos começam no posto de soldadura, em que na maioria dos cenários, as tarefas desse posto, estão replicadas em dois postos, traduzindo-se em investimento (para ter dois postos para a mesma funcionalidade) ou partilha de postos (acontece no cenário teórico das regras heurísticas 2 e 3). Alguns cenários acabam por ser muito idênticos entre si.

#### Cenários práticos para o produto H

Continuando a adaptação dos resultados teóricos às condições reais, fez-se o mesmo raciocínio criando cenários práticos em que o melhor cenário obtido foi o da Tabela 32.

Tabela 32 - Melhor cenário prático encontrado para o produto H

cenário 2				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	441			441
2 - auto	*			429
2 - manual	49			49
3		296		296
4		222		222
5			417	417
6 - auto			9	9
6 - manual			364	364
7		125		125
tempos totais	<b>490</b>	<b>643</b>	<b>790</b>	

Apesar de, tal como dito anteriormente na apresentação dos produtos, o gargalo deste produto ser no posto 2, individualmente, na prática, o tempo automático do teste funcional é inferior ao tempo do posto 1. Pode-se também analisar que, neste produto e ao contrário da análise dos anteriores, como os tempos manuais são superiores aos tempos automáticos, considera-se o tempo da tarefa automática “debaixo” da tarefa manual, com exceção dos 9 seg. do teste final, por este tempo ser muito reduzido. Mesmo na situação em que a máquina fica à espera do operador, este cenário foi o que apresentou maior produtividade. Fez-se a respetiva análise crítica (Tabela 33).

Tabela 33 - Análise crítica do cenário do produto H

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
<ul style="list-style-type: none"> <li>- O op2 tem maior atividade física e está sempre de pé;</li> <li>- A distribuição de tarefas, por não ser sequencial, implica dependência entre operadores;</li> <li>- Op2 tem que “cruzar” a linha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cenário que apresentou um significativo aumento de produtividade;</li> <li>- Pela natureza das tarefas, associar determinados postos ao mesmo operador evita situações desfavoráveis à produção (assunto que será abordado mais à frente).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por questões de ergonomia no posto de trabalho, rodar os operadores com frequência.</li> </ul>

O cenário conseguido para este produto apresenta elevado desbalanceamento, que só pode ser corrigido através de uma análise ponderada das tarefas e subtarefas respetivas. Nestas situações, por forma a conseguir um equilíbrio na distribuição dessas subtarefas, recorre-se à partilha de postos sendo um processo que requer um maior acompanhamento.

#### Cenários teóricos para o produto X

Para o produto X, os cenários teóricos resultaram em 4 cenários com pequenas variações, apresentados no anexo VIII. Pode verificar-se que a ordem das tarefas, resultante dos balanceamentos teóricos, altera de cenário para cenário sendo que a atribuição das mesmas aos

operadores é sempre a mesma. Isto deve-se ao facto da maioria das tarefas ter tempos elevados o que, com outras configurações, excedia o tempo de ciclo.

### Cenários práticos para o produto X

Prosseguindo com a adaptação dos resultados teóricos à situação real, elaborou-se o mesmo raciocínio, e procedeu-se à criação de cenários práticos sendo que o melhor cenário conseguido foi o da Tabela 34.

Tabela 34 - Melhor cenário prático encontrado para o produto X

cenário 3				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	66			340
2 - auto	276			276
2 - manual	39			39
3			174	174
4		265		265
5			359	359
6 - auto		78		78
6 - manual		248		248
7	112			112
tempos totais	<b>493</b>	<b>591</b>	<b>533</b>	

Note-se na Tabela 34 que, para o op1, os 274 (340-66=274) do posto 1 ficam “debaixo” do automático do posto 2. Este produto, em semelhança aos anteriores, apresenta uma componente de trabalho manual acentuada, ou seja, o tempo das tarefas manuais é elevado, principalmente no posto 5, o que reforça a importância de treino dos operadores na linha, bem como o acompanhamento das tarefas com vista à possibilidade de divisão de postos. A análise crítica pode ser vista na Tabela 35.

Tabela 35 - Análise crítica do cenário do produto X

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
- As tarefas, para os operadores, não são sequenciais implicando dependência entre os mesmos; - O op. 3 passa o tempo todo em pé, podendo originar situações de cansaço.	- É o cenário que se traduz em maior produtividade.	- Rotatividade das posições dos operadores na linha, frequentemente, por questões ergonómicas no posto de trabalho.

Este cenário apresenta um desbalanceamento considerável, visto que existe uma grande diferença, cerca de 1,5 min, entre o operador com o maior tempo (591) e o operador com o menor tempo (493).

### Cenários teóricos para o produto V

Por último, para o produto V, fizeram-se os cenários teóricos que resultaram em 3 cenários diferentes (anexo IX). Os primeiros dois cenários obtidos (Cenário para as regras heurísticas 1 e 2 e Cenário para a regra heurística 3) são idênticos, variando a ordem das tarefas nos postos teóricos 1 e 2 e a atribuição das mesmas, refletindo-se numa pequena diferença nos tempos dos operadores. Por sua vez, do cenário da regra heurística 3 para o cenário das regras heurísticas 4 e

5, muda, não só a ordem das tarefas nos postos teóricos 1 e 2, como a sua atribuição aos mesmos. Apesar disto, a atribuição das tarefas aos operadores acaba por ser a mesma, traduzindo-se em tempos iguais.

#### Cenários práticos para o produto V

De seguida, realizou-se o mesmo raciocínio, que nos produtos anteriores, para a criação de cenários práticos e o melhor cenário encontrado apresenta-se na Tabela 36.

Tabela 36 - Melhor cenário prático encontrado para o produto V

cenário 1				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	125			164,5
2 - auto	78,5			78,5
2 - manual	35			35
3	142,5			142,5
4		138		138
5		269		269
6 - auto			5,5	5,5
6 - manual			164	164
7			154	154
tempos totais	<b>381</b>	<b>407</b>	<b>323,5</b>	

Repare-se na Tabela 36 que, para o op1, os 39,5 ( $164,5 - 125 = 39,5$ ) do posto 1 ficam “debaixo” do automático do posto 2. É de salientar que este cenário já era o cenário que estava implementado na linha e que também coincide com os cenários dos balanceamentos teóricos, resultantes das regras heurísticas 3, 4 e 5, embora o tempo de ciclo aumente em relação ao previsto teoricamente. É um produto que, apenas pela atualização de tempos, melhorou bastante a produtividade, o que reforça a importância de treino e acompanhamento dos operadores nas linhas. Pode ser observada a análise crítica na Tabela 37.

Tabela 37 - Análise crítica do cenário do produto V

Pontos negativos	Pontos positivos	Sugestões
- O op. 2 passa o tempo todo em pé, o que pode ser cansativo e causar doenças de circulação.	- Tempos equilibrados entre os operadores; - Operadores com postos sequenciais, minimizando a dependência entre eles.	- Rodar operadores dentro deste cenário por forma a garantir o equilíbrio do esforço físico e a agilidade da execução das tarefas entre todos.

Este produto apresenta pouca flexibilidade em colocar tempos “debaixo” de tarefas automáticas, uma vez que o tempo destas é baixo. Por outro lado, os tempos das tarefas manuais são consideravelmente altos. Verificou-se, também, que o valor do desbalanceamento é significativamente inferior ao valor anterior, tendo havido aqui uma melhoria.

#### 4.2. Análise de aspetos ergonómicos

Existem alguns aspetos a ter em conta, no que diz respeito à ergonomia no posto de trabalho e à forma como é tratada, na sua aplicação prática, neste trabalho: nas tabelas de análise crítica dos cenários, quando se menciona questões ergonómicas, nos pontos negativos, positivos e

sugestões, todas estas se enquadram, principalmente, na categoria (das que foram mencionadas no capítulo 2 na secção 2.3.) de “Melhoria do conforto ergonómico”. Contudo, no posto de soldadura observou-se que, variando de operador para operador, havia a tendência para uma postura curvada para a frente, quando estavam a soldar, que poderia vir a causar desvios de postura e/ou problemas de coluna. Esta observação enquadra-se na categoria “Soluções para desvios de postura, de coluna, de punho e de membros superiores”. Para esta constatação, sugere-se a formação dos operadores no sentido de alertar para a importância de uma postura correta, até porque, observaram-se operadores que já adotam a postura apropriada.

Outra observação efetuada foi que, no posto de embalagem, por vezes existem produtos mais pesados que os operadores têm que manusear, e mesmo carregar, colocando-o no carro de produto acabado ali ao lado. Esta observação, por sua vez, enquadra-se na categoria “Manuseamento de cargas”. Para esta, sugere-se a incorporação de plataformas elevatórias no posto, de forma a substituir os movimentos de manuseamento do produto, que requerem o operador suportar o peso, ou a introdução de um braço hidráulico para colocar o produto no carro de produto acabado.

É ainda de referir que, antes de se optar por esta abordagem, ao tema de ergonomia no posto de trabalho, pensou-se noutras abordagens com o uso de *software*, já utilizado pela empresa para quantificar esforços e cargas, através do cálculo dos limites de carga e força, servindo para avaliar ergonomicamente linhas de produção, postos de trabalho, tarefas, rotas de *Milk-run*, entre outros. Porém, uma vez que o *layout* das linhas já se encontra pensado nesse sentido (sendo feita a avaliação ergonómica periodicamente, de acordo com os *standards* da empresa) e, como o ponto central deste trabalho é o balanceamento das linhas, pensou-se principalmente em soluções focadas em aumentar a produtividade com pequenas sugestões para o melhoramento da ergonomia no posto de trabalho, achando-se que isso deve ser parte integrante da filosofia de melhoria contínua adotada em qualquer empresa.

### 4.3. Resultados obtidos

Depois de toda a análise efetuada, apresenta-se de seguida a Tabela 38 com o sumário dos resultados obtidos para os vários produtos. Note-se que a produtividade e o tempo de ciclo que são apresentados na Tabela 38, referem-se, respetivamente, à produtividade efetiva e ao tempo de ciclo efetivo, obtidos dos documentos internos da empresa ao serem introduzidos os melhores cenários criados. Os resultados apresentados são para 2 operadores para a L1, e 3 operadores para a L2.

Tabela 38 - Símula dos resultados obtidos

Produtos		L1	L2					
		A	I	S	H	X	V	D
Produtividade (peças/dia)	atual (antes)	59	40	22	27	60	49	67
	melhor cenário (depois)	66	50	24	35	46	67	66
Tempo de ciclo (seg./peça)	atual (antes)	463	687	1270	1000	460	562	407
	melhor cenário (depois)	413	551	1148	790	591	407	415

Pode-se observar, na Tabela 38, que se conseguiu uma melhoria na maior parte dos produtos com a criação destes cenários. Os valores “antes” correspondem aos valores obtidos dos documentos dos balanceamentos da empresa, para estes produtos, aquando do início deste

estudo. Houve produtos, tal como mencionado antes, que só por atualização de tempos melhoraram a sua taxa de produção. A verde identificam-se os produtos que aumentaram a sua produtividade, ou seja, diminuíram o seu tempo de ciclo, e a amarelo aqueles em que não se verificou esse aumento. De seguida, para os produtos em que houve melhoria, procedeu-se à atualização das respetivas STABs, para 1, 2, 3 e 4 operadores, para se avançar com a implementação, na linha, das mesmas. A razão pela qual se fez sempre para 1, 2, 3 e 4 operadores, para todos estes produtos, é que de facto, pode-se ter esse número de operadores na linha se a empresa assim o entender, pelo que estes documentos têm de estar disponíveis para consulta.

O passo seguinte foi o acompanhamento das linhas, com as novas STABs, fazendo a confirmação dos melhores cenários. Esta confirmação consistiu na recolha de novos tempos, agora com o cenário “ótimo” a ser realizado pelos operadores, analisando-os depois para se garantir se realmente, na prática, os cenários se refletiam, ou não, em maior produtividade.

#### 4.4. Implementação das melhorias obtidas

Após ser feita a confirmação no *gemba*, de todos os produtos que apresentaram melhoria, apenas dois (A e H), por decisão da empresa, prosseguiram para a implementação, por se ter confirmado o aumento de produtividade, e este ser razoável e vantajoso de ser implementado. Nas Figuras 28 e 29 tem-se, respetivamente, a STAB do produto A antes e a STAB do produto A depois. Nas Figuras 30 e 31 tem-se, respetivamente, a STAB do produto H antes e a STAB do produto H depois.

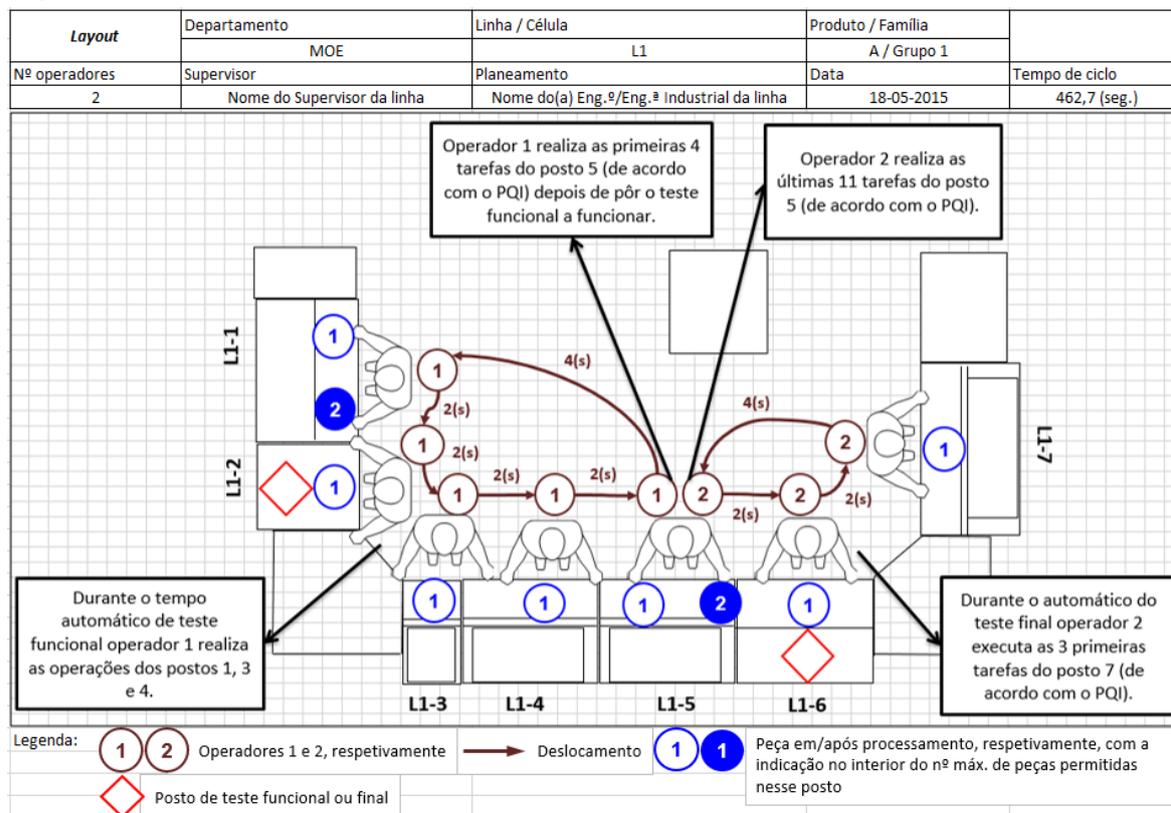


Figura 28 - STAB do produto A antes

Layout	Departamento		Linha / Célula	Produto / Família	Tempo de ciclo
	MOE		L1	A / Grupo 1	
Nº operadores	Supervisor	Planeamento	Data	Tempo de ciclo	
2	Nome do Supervisor da linha	Nome do(a) Eng.º/Eng.ª Industrial da linha	31-01-2018	413,1 (seg.)	

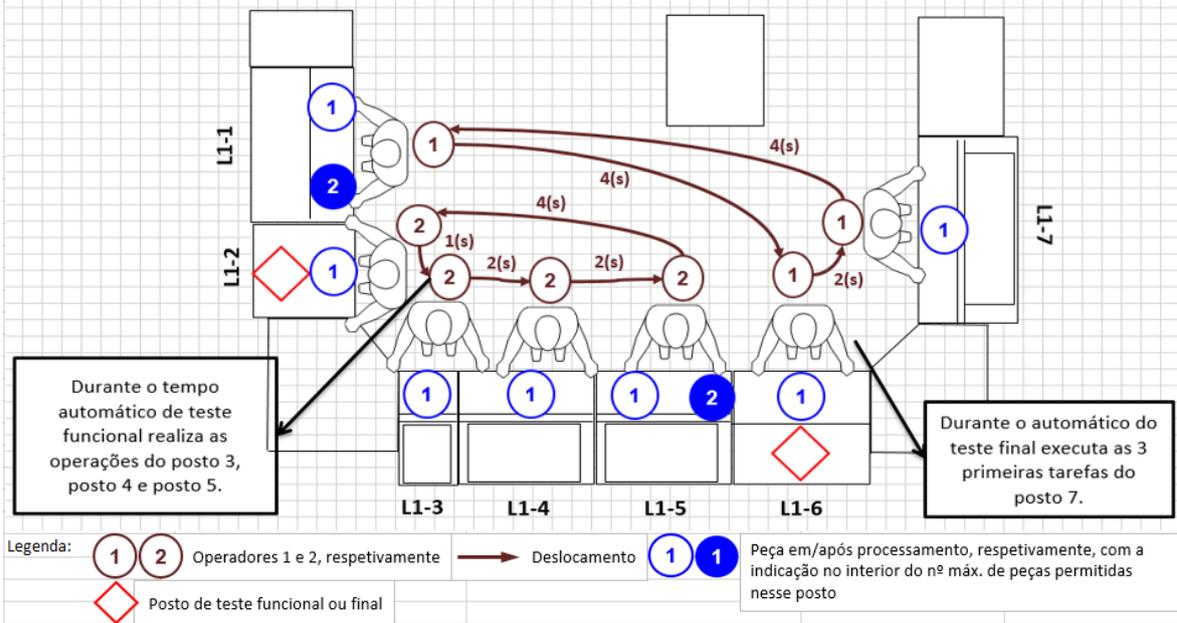


Figura 29 - STAB do produto A depois

Layout	Departamento		Linha / Célula	Produto / Família	Tempo de ciclo
	MOE		L2	H / Grupo 17	
Nº operadores	Supervisor	Planeamento	Data	Tempo de ciclo	
3	Nome do Supervisor da linha	Nome do(a) Eng.º/Eng.ª Industrial da linha	02-06-2017	999,8 (seg.)	

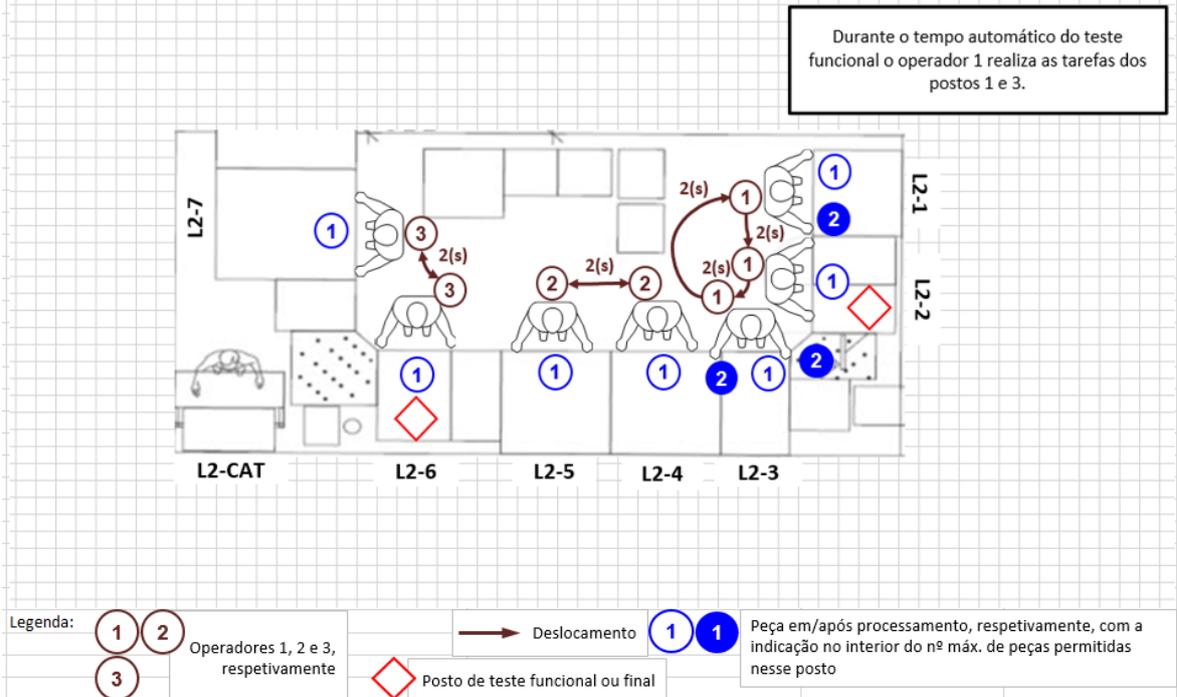


Figura 30 - STAB do produto H antes

Layout	Departamento	Linha / Célula	Produto / Família	
	MOE	L2	H / Grupo 17	
Nº operadores	Supervisor	Planeamento	Data	Tempo de ciclo
3	Nome do Supervisor da linha	Nome do(a) Eng.º/Eng.ª Industrial da linha	22-01-2018	790 (seg.)

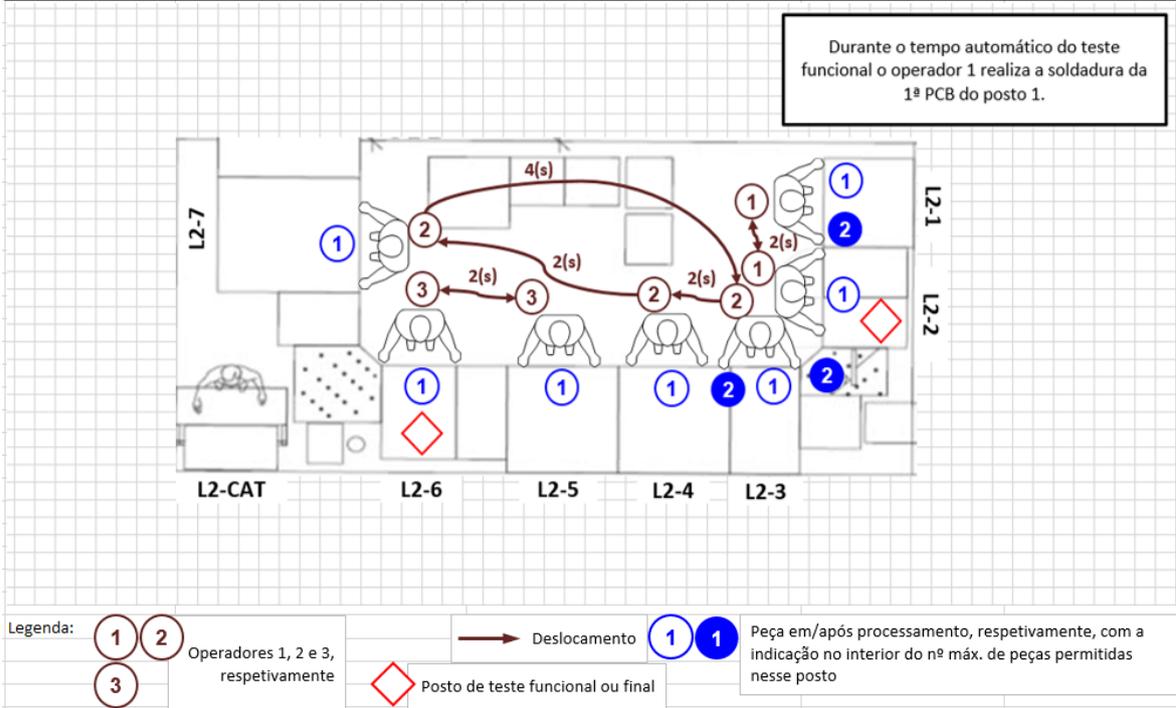


Figura 31 - STAB do produto H depois

Quanto a este último produto (H), aquando da observação da linha para confirmação do melhor cenário, achou-se que ainda se conseguia melhorar mais: encontrando um equilíbrio quase perfeito dos tempos dos operadores. Após mais algumas tentativas, chegou-se ao cenário da Tabela 39.

Tabela 39 - Cenário prático otimizado para o produto H

cenário 3 (cenário versão otimizada)				
	op1	op2	op3	tempo tarefa
1	441			441
2 - auto	*			429
2 - manual	49			49
3	146,6	149,4		296
4		222		222
5		147	270	417
6 - auto			9	9
6 - manual			364	364
7		125		125
tempos totais	<b>636,6</b>	<b>643,4</b>	<b>643,0</b>	

Este cenário subiu a produtividade, passando de 35 peças/dia para 43 peças/dia, reduzindo o tempo de ciclo de 790 seg. para 643,5 seg., e diminuiu o desbalanceamento para um valor aproximadamente nulo. É de se reparar que se dividiram as tarefas dos postos 3 e 5 para se encontrar este cenário otimizado. Restava, então, ir para a linha identificar onde terminavam os

146,6 e os 147 (em que subtarefas concretamente) e começavam os 149,4 e os 270. Assinaladas as subtarefas de divisão dos postos, e com auxílio do PQI, fez-se a respetiva STAB (Figura 32).

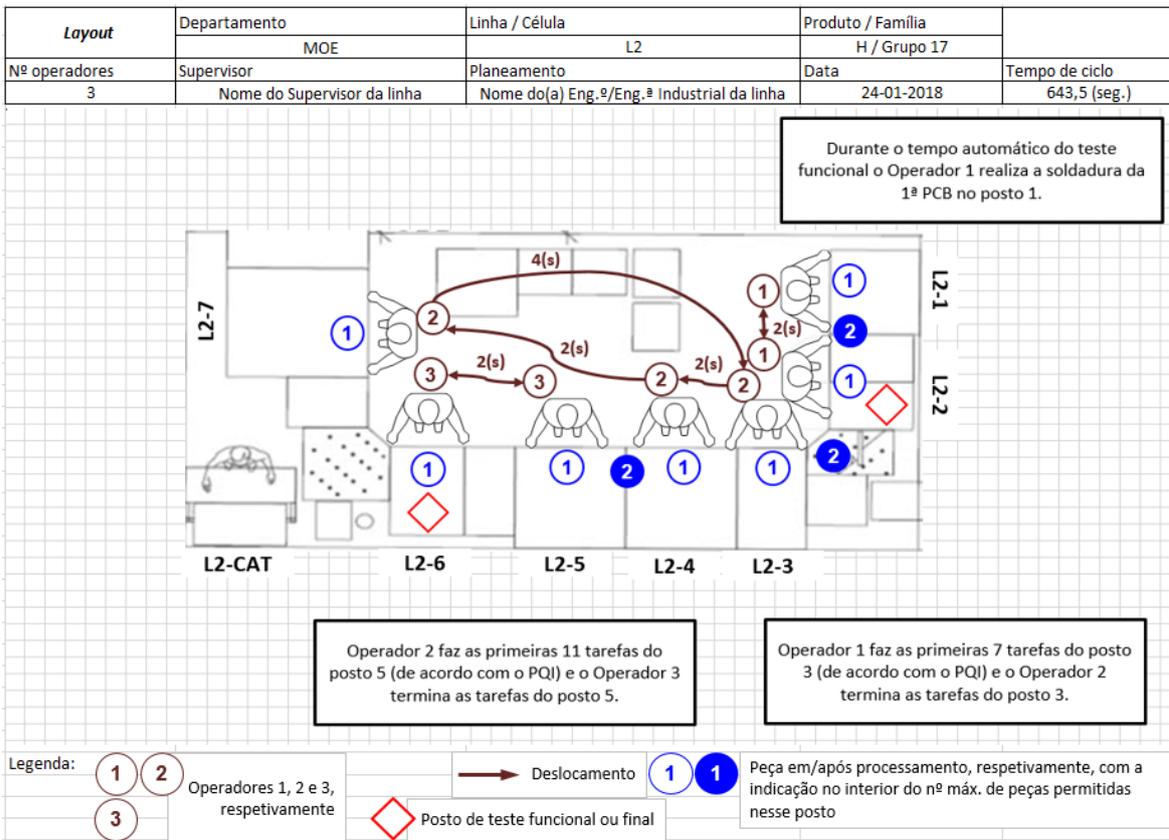


Figura 32 - STAB do produto H otimizada

Quanto aos outros produtos, foi implementada a atualização de tempos. Para todos os produtos, em que se conseguiu melhoria (ver Tabela 38), houve atualização da produtividade/hora nas linhas de montagem.

#### 4.5. Observação, estudo e sugestão de outras melhorias

Durante a observação das linhas, no *gemba*, e após terem sido introduzidas as melhorias já mencionadas, observaram-se outras possíveis melhorias que poderiam ser objeto de estudo. A primeira melhoria que foi possível identificar foi no produto I, no posto 7 (embalagem), onde se reparou que o operador gastava uma média de 23 seg. a endireitar a película, que é requerida que vá a proteger o ecrã do produto pois, ao colocar o produto num saco, esta não ficava direita. Sugeriu-se solicitar ao fornecedor um saco ligeiramente mais largo, evitando que isto aconteça e eliminando este tipo de desperdício: tempo de espera.

Outra situação que foi registada verificou-se nos produtos H e X, ambos pertencentes à mesma família. Entre os postos 5 e 6, observou-se que existia um tempo de espera, isto é, um contra fluxo de produção, pois só após o teste final terminar de testar uma peça, é que se podia picar o produto que está a ser assemblado no posto 5, cujo o código QR está numa etiqueta colada na PCBA, e após picar ainda tinha que fechar o produto para poder passar ao teste final (posto 6). Ou seja, inicialmente o posto 5 espera pelo posto 6 (para picar o produto) e depois o posto 6 espera pelo posto 5 (pelo final da montagem do produto). Uma vez que se constatou que este contra fluxo afetava vários produtos e até famílias de produtos, não só estes dois em particular, determinou-se

que merecia um estudo mais aprofundado. Como tal, tentou-se quantificar esta perda de produtividade. Assim, procedeu-se à recolha de várias medições dos tempos de espera entre estes dois postos (Tabela 40). O produto observado foi o H.

Tabela 40 - Recolha de tempos do contra fluxo do produto H

	Contra fluxos (seg.)					
	1ª m.	2ª m.	3ª m.	4ª m.	5ª m.	médias
1º tipo	134	154	159	298	328	214,6
2º tipo	154	123	200	128	143	149,6
total esperas						<b>364,2</b>

Na Tabela 40 os seguintes termos têm o seguinte significado:

- 1º tipo - refere-se ao 1º tipo de contra fluxo, ou seja, ao tempo que o posto 5 espera pelo posto 6;
- 2º tipo - refere-se ao 2º tipo de contra fluxo, ou seja, ao tempo que o posto 6 espera pelo posto 5;
- 1ª m. - indica a 1ª medição recolhida, e assim sucessivamente.

Tendo-se obtido a média de tempo que se perde (em seg./peça), passou-se à análise. Em primeiro lugar, foi necessário determinar o nº de horas úteis por dia (Tabela 41).

Tabela 41 - Cálculo do nº de horas úteis por dia

Turno	H. teóricas	H. reais produtivas
1º t	5,5	4,68
2º t	9	7,62
3º t	9,5	8,26
	24	<b>20,56</b>

O que distingue horas teóricas (H. teóricas) de horas reais produtivas (H. reais produtivas) são os tópicos já mencionados no capítulo 3 na secção 3.3.3. Considerou-se para estes cálculos a produtividade no melhor cenário obtido (antes da otimização) ou seja 35 peças/dia. Tendo em conta que aquilo que se perde é precisamente aquilo que se poderia estar a ganhar, quantificaram-se as perdas baseadas nessa produtividade através do seguinte cálculo: perdas = 35 peças/dia × 364,2 seg./peça = 12747 seg./dia, sendo este o tempo de atraso devido ao contra fluxo neste produto, por dia. Depois, se numa hora existem 3600 seg., a 20,56 horas úteis por dia correspondem 20,56 h/dia × 3600 seg./h = 74016 segundos úteis por dia. A seguir, fez-se a proporção  $\frac{12747 \text{ seg./dia}}{74016 \text{ seg./dia}} = 0,172$ , adimensional. Ou seja, existe uma perda de 17,2% diária, neste produto (H), devido a este contra fluxo, que são  $0,172 \times 35 \text{ peças/dia} = 6,03 \text{ peças/dia}$ , o que é significativo e, por isso, merece a devida avaliação de soluções.

Só para se perceber melhor a importância desta perda, analisemos o impacto monetário. Nesta linha (L2) que tem 3 operadores, suponha-se que o custo por hora, para a empresa, de cada operador são 20€. O nº de horas perdidas por dia são  $\frac{12747 \text{ seg./dia}}{3600 \text{ seg./h}} = 3,54 \text{ h/dia}$ . Ou seja, a empresa está a perder  $3,54 \text{ h/dia} \times 20 \text{ €/h} \times 3 \text{ op.} = 212,45 \text{ €/dia}$ , além da perda monetária das 6 peças/dia não fabricadas.

Eventuais soluções para este problema passam por, por exemplo, introduzir um ecrã auxiliar no posto 5 que, segundo ordem do operador, grava a imagem do código QR, permitindo-lhe não ter que esperar e avançar com o fecho da peça. Por sua vez, o operador do posto 6 termina o teste

final da peça que estava a testar e dá indicação para que a imagem gravada no ecrã seja registada pelo sistema, avançando para o teste da peça seguinte. Assume-se que as peças são colocadas fisicamente, pelo operador, em ordem FIFO à espera para entrar no teste final. Dependendo da tecnologia implementada será ou não preciso o ecrã auxiliar. A ideia passa por um registo (temporário) da imagem do código QR, mantendo-a em memória e eliminando as esperas. Esta solução carece da quantificação do investimento associado, comparando-o com o valor da perda atual, para se avaliar se vale a pena avançar com a implementação da melhoria ou não.

Sendo esta melhoria levada a cabo ou não, conclui-se, de acordo com a confirmação feita na linha, que o facto de ser o mesmo operador a fazer os dois postos, 5 e 6, contraria o efeito do contra fluxo uma vez que depende de si próprio, e só quando termina o teste no posto 6 é que vai começar as tarefas do posto 5 podendo levá-las até ao fim sem interrupções, pois já pode picar o produto. O melhor cenário apresentado para este produto H, a STAB da Figura 31, já tem em conta esta situação e foi precisamente através da confirmação da mesma que se verificou este facto.



## 5. Conclusões e considerações finais

Dada a atual conjuntura de negócio, baseada na globalização, e enfrentando-se um ambiente concorrencial cada vez mais agressivo, o tópico de melhoria contínua, dia após dia, é o foco prático das empresas. No caso concreto da empresa na qual se realizou este trabalho, este conceito já se encontra incorporado há muito tempo, favorecendo o seu aumento de competitividade. Claro que o seu grande atrativo como empresa, não está só na perspectiva operacional, mas principalmente no investimento em desenvolvimento tecnológico adotando uma posição vanguardista, com a criação de produtos tecnológicos e, sobretudo na constante procura do aumento de qualidade dos mesmos. Mas para haver manobra para investimento, tem que existir como base uma boa gestão de recursos no chão de fábrica.

Este projeto apresentou uma abordagem diferente para balancear linhas de montagem, que assenta em conceitos teóricos, mas que dá maior ênfase à vertente prática e interativa do processo de melhoria. É de salientar que cada um dos produtos apresentados teve a sua análise, confirmando a individualidade de cada caso, ou seja, produtos diferentes requerem estudos diferentes, envolvendo a análise cognitiva humana, na identificação dos detalhes de cada um.

Com isto, compreendeu-se que para balancear uma linha de montagem é necessário conhecer, principalmente todo o processo produtivo, assim como os objetivos da organização, com vista a atingir o equilíbrio da carga de trabalho, sem esquecer os aspetos de ergonomia no posto de trabalho. A estratégia usada neste trabalho foi que as questões ergonómicas devem ser pensadas aquando do processo de decisão do melhor cenário do balanceamento a ir para a linha. Aliás, exemplo de um detalhe aprendido neste projeto é tentar minimizar as alterações de ritmo de trabalho, visto que estas causam atraso durante a sua transição (efeito de inércia), isto é, a produtividade acaba por não ser afetada, à partida, quando a natureza do movimento é semelhante.

As soluções de ergonomia apresentadas funcionam com o devido acompanhamento, o que também vai ao encontro da ideia de melhoria contínua. Tal como se mostrou neste trabalho, quando já se tem um cenário comprovadamente melhor poderá haver forma de o melhorar ainda mais, como foi o exemplo do produto H, até o desbalanceamento ser nulo e principalmente até esse cenário “ideal” conseguir ser posto em prática na perfeição, assim como a sua produtividade alcançada. A ideia de melhoria contínua assenta precisamente neste processo iterativo. Com uma visão holística, integrando produtividade e ergonomia, é possível uma melhoria sustentável se fizer parte de um processo continuado.

Uma das maiores dificuldades em implementar as melhorias reside no fator humano, ou seja, em questões de comportamento organizacional. Uma boa gestão dos recursos humanos, apelando à compreensão, dedicação e cooperação de todos os colaboradores, é um dos fatores chave para atingir o sucesso num projeto de melhoria desta natureza.

Um dos objetivos principais deste projeto era aumentar a produtividade em itens de duas linhas do chão de fábrica, objetivo esse que foi conseguido. Implementaram-se nas linhas dois novos documentos de *standardized work* (2 novas STABs foram para a linha graças à elaboração deste projeto). Para além disto, documentação *standard* da empresa foi atualizada.

Outro objetivo que foi pedido para este projeto foi observar possíveis melhorias a serem introduzidas nas linhas, eliminando-se desperdícios, meta esta que também foi atingida.

Percebeu-se ainda, que existem múltiplas vantagens de um bom balanceamento de uma linha produtiva: aumentar a produtividade da linha e aumentar a eficiência da utilização dos recursos humanos e materiais, reduzindo assim, os custos de produção e ampliando o lucro para a empresa.

Com este projeto comprovou-se que qualquer melhoria começa pela saída do escritório e ida para o chão de fábrica observar e estudar os processos, pondo em prática o *gemba walk*, devendo ser feito de forma regular, tornando-se num hábito de melhoria bem-sucedido. Reconhece-se que foi um trabalho exaustivo, devido às inúmeras iterações levadas a cabo, e aqui documentadas, mas resultou em melhores níveis de equilíbrio entre os postos de trabalho, assim como na maximização da melhor utilização dos recursos, compensatório a médio prazo.

### **5.1. Atividades futuras**

Sugere-se que, futuramente, o trabalho de balanceamento comece com uma base teórica agilizando esse processo com a utilização do *software* POM-QM usado neste projeto e, desta forma, focar mais a atenção no processo de análise de criação de cenários práticos e no processo iterativo de ir para a linha confirmar e encontrar formas de melhorar o já obtido.

Apesar de serem, à partida, situações a evitar, a divisão de postos faz parte de um caminho de melhoria contínua e pode ser a chave para cenários “ótimos” de balanceamento de linhas de montagem, o que não pode ser feito sem o devido acompanhamento.

Idealmente, deveria existir uma equipa na empresa que fizesse este trabalho de otimização dos balanceamentos de todas as linhas da fábrica, de forma regular. Isto implicaria os engenheiros industriais das linhas andarem a observar as mesmas diariamente. Na realidade, nem sempre existe essa disponibilidade na maioria das empresas, precisamente pela necessidade de controlo de custos em recursos humanos. No entanto, isto acaba por ser feito nas melhores empresas, como é o caso da empresa onde se fez este estágio, o qual foi uma experiência muito enriquecedora.

Este trabalho é transversal à indústria, pelo que seria interessante a comparação com resultados de outras áreas semelhantes, como por exemplo, da área *automotive* ou da indústria cerâmica doméstica.

## Referências bibliográficas

- Alefari, M., Salonitis, K. e Xu, Y. (2017). The role of leadership in implementing lean manufacturing. *Procedia CIRP*, vol. 63, 756-761.
- Art of Lean (2006). *Toyota Production System Basic Handbook*.
- Becker, C. e Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, vol. 168, 694-715.
- Chopra, S. e Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Consultants, M. (2015, março 23). *Five Phases of Six Sigma*. Consultado em dezembro 2, 2017 em: <http://maximconsultants.com/five-phases-of-six-sigma/>.
- Dave, Y. e Sohani, N. (2012). Single Minute Exchange of Dies: Literature Review. *International Journal of Lean Thinking*, vol. 3, 27-37.
- Dennis, P. (2016). *Lean Production Simplified, Third Edition: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. Boca Raton, Flórida: CRC Press.
- Easaw, G. (2013, abril 10). *Musings 'n scribblings of a philanthrope - An excellent explanation for Muda, Mura and Muri*. Consultado em abril 15, 2018 em: <http://george-easaw.blogspot.pt/2013/04/an-excellent-explanation-for-muda-mura.html>.
- Ghutukade, S. & Sawant, S. (2013). Use of ranked position weighted method for assembly line balancing. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, vol. Julho-Setembro, 1-3.
- Huawei, C., Guoping, L., Haining, T., Aimin, W. & Ruxin, N. (2016). Layout adjustment of cellular production line based on material logistic analysis. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 87, 1409-1420.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Nova Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Klaas, T. (1997). Push- vs. Pull-Concepts in Logistics Chains. In *Proceedings of the III. CEMS Academic Conference 'Management in Europe in the 21st Century' at the Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, 7-9 May 1997*.
- Laudon, K. & Laudon, J. (2012). *Management Information Systems – Managing the Digital Firm*. Upper Saddle River, Nova Jersey: Pearson.
- Martin, T. & J. Bell (2016). *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*. Boca Raton, Flórida: CRC Press.
- Meireles, D. (2009). *Ship-to-line na Bosch Car Multimedia Portugal, Lda*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Pinto, J. (2006). *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços*. Lisboa: Lidel.
- Reginato, G., Anzanello, M. J., Kahmann, A. & Schmidt, L. (2016). Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos. *Gestão & Produção*, vol. 23, 294-307.
- Russell, R. & Taylor III, B. (2011). *Operations Management – Creating Value Along the Supply Chain*. Nova Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

- Simaria, A. S. (2001). *Uma Metodologia para o Balanceamento de Linhas de Montagem*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Stevenson, W. (2002). *Operations Management*. Nova Iorque: McGraw-Hill.
- Weiss H. (1995). *Prentice Hall and Howard Weiss' Decision Science Software Support Site*. Consultado em abril 15, 2018 em: [https://wps.prenhall.com/bp\\_weiss\\_software\\_1/](https://wps.prenhall.com/bp_weiss_software_1/).
- Yousef, N. & Yousef, F. (2017). Using total quality management approach to improve patient safety by preventing medication error incidences. *BMC Health Services Research*, vol. 17, 1-16.
- Zermati, P. (2000). *A gestão de stocks*. Lisboa: Editorial Presença.

## Anexos

Anexo I - Excerto da lista dos produtos das linhas 1 e 2 com os seus valores de procura (já ordenados por ordem decrescente).

Linha	Nome do produto	Família	Procura ou qty 2018	% qty	% acumulada qty
L1	A	Grupo 1	5 857	17,15	17,15
L1	B	Grupo 1	3 921	11,48	28,64
L1	C	Grupo 2	3 715	10,88	39,52
L2	D	Grupo 12	1 819	5,33	44,84
L1	E	Grupo 7	1 721	5,04	49,88
L1	F	Grupo 2	1 665	4,88	54,76
...	...	...	...	...	...
L1	BV	Grupo 8	0	0,00	100,00
		Total	34 145		

Anexo II - Excerto da lista dos *throughput times* (em segundos) de todos os produtos, organizados por linha. Considerou-se que os produtos que tanto podem ser produzidos numa linha como noutra, são produzidos na L2. Alguns valores de *throughput times* não foram possíveis de se obter por serem produtos novos e ainda não existirem valores efetivos.

Linha	Produto	Throughput time
L2	V	1151,00
L2	I	1769,00
L2	S	2400,00
L2	D	1317,00
L2	H	2352,00
L2	X	1891,00
...	...	...
	Média L2	2152,61

Linha	Produto	Throughput time
L1	T	
L1	A	1096,00
L1	B	2112,51
L1	M	2112,51
L1	F	2091,96
L1	K	1365,94
...	...	...
	Média L1	1461,84

Anexo III - Recolha de tempos (por cronómetro) para os produtos seleccionados.

Devido às diferentes características dos produtos, alguns apresentam, por baixo da sua respetiva tabela, pequenas tabelas com medições auxiliares. Tentou-se obter sempre pelo menos 3 medições, no entanto isso nem sempre foi possível.

Produto A					
	Medições (tempo, segundos)				
Postos	1ª	2ª	3ª	Médias	Somas
(1)	70	69	68	69	
(2) - auto	385	402	391	393	412
(2) - manual	19	19	21	20	
(3)	33	34	32	33	
(4)	195	213	190	199	
(5)	70	77	74	74	
(6) - auto	105	98	106	103	182

(6) - manual	67	95	75	79	
(7)	135	127	117	126	

Produto I					
Postos	Medições (tempo, segundos)			Médias	Sombras
	1ª	2ª	3ª		
(1)	222	200	186	203	
(2) - auto	381	392	398	390	455
(2) - manual	63	61	70	65	
(3)	70	71	81	74	
(4)	311	263	269	281	
(5)	108	125	117	117	
(6) - auto	126	136	129	130	486
(6) - manual	369	311	387	356	
(7)	171	133	155	153	

Produto S					
Postos	Medições (tempo, segundos)			Médias	Sombras
	1ª	2ª	3ª		
(1)	532	546	449	509	
(2) - auto	797	879	831	836	967
(2) - manual	143	136	115	131	
(2) Setup 1ª - 2ª	272	272	271	272	
(2) Setup 2ª - 1ª	448	449	448	448	
(3)	-	-	-	-	
(4)	247	181	185	204	
(5)	82	73	113	89	
(6) - auto	39	36	30	35	331
(6) - manual	272	305	312	296	
(7)	119	117	121	119	

Posto 1	1ª PCBA	2ª PCBA	Somas
1ª med.	222	310	532
2ª med.	231	315	546
3ª med.	192	257	449
Médias	215	294	

Posto 2 - auto	1ª PCBA	2ª PCBA	Somas
1ª med.	585	212	797
2ª med.	643	236	879
3ª med.	578	253	831
Médias	602	234	

Posto 2 - hand.	1ª PCBA	2ª PCBA	Somas
1ª med.	61	82	143
2ª med.	52	84	136
3ª med.	48	67	115
Médias	54	78	

Posto 4	Tarefas		Somas
	2 primeiras	Restantes	
1ª med.	114	133	247
2ª med.	36	145	181
3ª med.	24	161	185
Médias	58	146	

Produto D					
Postos	Medições (tempo, segundos)			Médias	Somas
	1ª	2ª	3ª		
(1)	82	75	72	76	
(2) - auto	230	230	230	230	255
(2) - manual	29	26	21	25	
(3)	183	145	152	160	
(4)	278	201	184	221	
(5)	301	260	235	265	
(6) - auto	6	20	21	16	151
(6) - manual	153	132	121	135	
(7)	180	175	211	189	

Produto H					
Postos	Medições (tempo, segundos)			Médias	Somas
	1ª	2ª	3ª		
(1)	441			441	
(2) - auto	429	419		424	473
(2) - manual	49			49	
(3)	296			296	
(4)	222			222	
(5)	417			417	
(6) - auto	9			9	373
(6) - manual	364			364	
(7)	125			125	

Posto 1	1ª PCBA	2ª PCBA	Soma
1ª med.	240	201	441

Produto X					
	Medições (tempo, segundos)				
Postos	1ª	2ª	3ª	Médias	Somas
(1)	354	326		340	
(2) - auto	361	191		276	315
(2) - manual	32	45		39	
(3)	152	195		174	
(4)	280	250		265	
(5)	387	331		359	
(6) - auto	102	54		78	326
(6) - manual	252	243		248	
(7)	125	99		112	

Posto 1	1ª PCBA	2ª PCBA	Somas
1ª med.	306	48	354
2ª med.	242	84	326
Médias	274	66	

Produto V					
	Medições (tempo, segundos)				
Postos	1ª	2ª	3ª	Médias	Somas
(1)	164	165		165	
(2) - auto	78	79		79	113,5
(2) - manual	26	44		35	
(3)	124	161		142,5	
(4)	178	98		138	
(5)	275	263		269	
(6) - auto	5	6		6	169,5
(6) - manual	156	172		164	
(7)	158	150		154	

Posto 1	1ª PCBA	2ª PCBA	Somas
1ª med.	132	32	164
2ª med.	118	47	165
Médias	125	39,5	

#### Anexo IV - Listas de tarefas do produto A

##### Produto A

Tarefa	Descrição
A	<b>Soldadura</b>
	Inserir componentes, soldar
	<b>Teste Funcional</b>

B	Manual (parte manual do teste funcional)
C	Auto (parte automática do teste funcional)
	<b>Montagem - Assemblagem</b>
D	Subtarefas da 1 à 2
E	Subtarefa 3 (que já implica ter o PCBA que passou pelo teste funcional)
	Subtarefas da 4 à 22
	<b>Teste Final</b>
F	1ª parte manual
G	Parte automática
I	2ª parte manual e colar etiqueta
	<b>Embalagem</b>
H	Subtarefas da 1 à 3
J	Subtarefa 4 (em que já é necessário ter o produto)
	Subtarefas da 5 à 10

Anexo V - Cenários teóricos do produto S

Cenário teórico do produto S para a regra heurística 1

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - 1ª PCBA	B	215			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 800 segundos
	2 - Setup 2ª-1ª	H	112				
	1 - 2ª PCBA	A	294				
	2 - Manual 1ª	C	54				
	2 - Setup 1ª-2ª	E	68		743		
2	2 -Auto 1ª	D	602			Op2	Op2 não pode fazer tarefas debaixo da tarefa automática, devido às precedências
	2 - Manual 2ª	F	78		680		
3	2 - Auto 2ª	G	234			Op3	
	3 - Montagem 1	I	204				
	4, 5 - Montagem 2	J	89				
4	6 - Teste Final	K	331				esta tarefa L depende que todas as anteriores estejam concluídas (não pode ser feita em simultâneo com tarefas automáticas anteriores)
	7 - Embalagem	L	119		977		
							Nota: como 977>800, ou o tempo de ciclo para produzir este produto aumentava ou teria que se adicionar um 4º operador, aumentando os custos. Ultrapassando o tempo de ciclo, teoricamente, este cenário não é exequível

Cenário teórico do produto S para a regra heurística 2

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - 2ª PCBA	A	294			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 800 segundos
	1 - 1ª PCBA	B	215				
	2 - Setup 2ª-1ª	H	112				
	2 - Setup 1ª-2ª	E	68				
	2 - Manual 2ª	F	78		767		este operador tem atribuídas ambas as tarefas de setup, sendo que nunca as executa sem fazer os respetivos testes, entre os <i>setups</i> . Na realidade as tarefas nunca serão atribuídas desta forma
2	2 - Auto 2ª	G	234			Op2	
	2 - Manual 1ª	C	54		288		
3	2 - Auto 1ª	D	602		602		
4	3 - Montagem 1	I	204			Op3	
	4, 5 - Montagem 2	J	89				
	6 - Teste Final	K	331				
	7 - Embalagem	L	119		743		esta tarefa L depende que todas as anteriores estejam concluídas (não pode ser feita em simultâneo com tarefas automáticas anteriores)
							Nota: Op2 (288+602 = 890 > 800). Ultrapassa o tempo de ciclo, sendo que teoricamente, este cenário não é exequível

Cenário teórico do produto S para a regra heurística 3

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - 2ª PCBA	A	294			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 800 segundos
	1 - 1ª PCBA	B	215				
	2 - Setup 1ª-2ª	E	68				
	2 - Setup 2ª-1ª	H	112				
	2 - Manual 1ª	C	54		743		
2	2 - Manual 2ª	F	78			Op2	
	2 - Auto 1ª	D	602		680		
3	2 - Auto 2ª	G	234			Op3	
	3 - Montagem 1	I	204				
	4, 5 - Montagem 2	J	89		527		
4	6 - Teste Final	K	331				esta tarefa L depende que todas as anteriores estejam concluídas (não pode ser feita em simultâneo com tarefas automáticas anteriores)
	7 - Embalagem	L	119		450		
							Nota: Op3 (527+450=977 > 800). Ultrapassa o tempo de ciclo, sendo que teoricamente, este cenário não é exequível

Cenário teórico do produto S para a regra heurística 4

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - 1ª PCBA	B	215			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 800 segundos
	2 - Setup 2ª-1ª	H	112				
	2 - Manual 1ª	C	54				
	1 - 2ª PCBA	A	294				
	2 - Setup 1ª-2ª	E	68		743		
2	2 - Manual 2ª	F	78			Op2	
	2 - Auto 2ª	G	234		312		
3	2 - Auto 1ª	D	602		602		
4	3 - Montagem 1	I	204			Op3	esta tarefa L depende que todas as anteriores estejam concluídas (não pode ser feita em simultâneo com tarefas automáticas anteriores)
	4, 5 - Montagem 2	J	89				
	6 - Teste Final	K	331				
	7 - Embalagem	L	119		743		
							Nota: Op2 (312+602=914 > 800). Ultrapassa o tempo de ciclo, sendo que teoricamente, este cenário não é exequível

Cenário teórico do produto S para a regra heurística 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - 2ª PCBA	A	294			Op1	tempo de ciclo de cada operador não pode ser maior do que 800 segundos
	2 - Setup 1ª-2ª	E	68				
	2 - Manual 2ª	F	78				
	2 - Auto 2ª	G	234		674		
2	1 - 1ª PCBA	B	215			Op2	
	2 - Setup 2ª-1ª	H	112				
	2 - Manual 1ª	C	54		381		
3	2 - Auto 1ª	D	602		602		
4	3 - Montagem 1	I	204			Op3	esta tarefa L depende que todas as anteriores estejam concluídas (não pode ser feita em simultâneo com tarefas automáticas anteriores)
	4, 5 - Montagem 2	J	89				
	6 - Teste Final	K	331				
	7 - Embalagem	L	119		743		
							Nota: Op2 (381+602=983 > 800). Ultrapassa o tempo de ciclo, sendo que teoricamente, este cenário não é exequível

Anexo VI - Cenários teóricos do produto D

Cenário teórico do produto D para a regra heurística 1

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	3 - Montagem 1	C	160	160			Op1	
	1 - Soldadura	A	76		236			
2	2 - Teste Funcional	B	255		255		Op1	enquanto tarefa B automática decorre (230 seg), Op1 vai fazer a tarefa C
3	4 - Montagem 2	D	221		221		Op2	
4	5 - Montagem 3	E	265				Op3	
	6 - Teste Final	F	151		416	372	Op2	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
5	7 - Embalagem 1	G	63			394	Op1	
	7 - Embalagem 2	H	126		189	391	Op3	este cenário parte de uma base bastante equilibrada, mas carece de avaliação na linha (ser implementado), por forma a verificar a divisão de tarefas e a melhorar essa atribuição, em termos de cardinalidade de tarefas de cada operador

Cenário teórico do produto D para a regra heurística 2

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	3 - Montagem 1	C	160	160			Op1	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
	4 - Montagem 2	D	221		381		Op2	
2	1 - Soldadura	A	76				Op3	
	2 - Teste Funcional	B	255		331		Op1	enquanto tarefa B automática decorre (230 seg), Op1 vai fazer a tarefa C
3	5 - Montagem 3	E	265				Op3	
	6 - Teste Final	F	151		416	372	Op2	
4	7 - Embalagem 1	G	63			404	Op3	
	7 - Embalagem 2	H	126		189	381	Op1	embora os tempos estejam mais desbalanceados/desequilibrados, em relação ao cenário anterior, a cardinalidade de tarefas atribuídas (carga de trabalho) passará a ideia de estar mais bem distribuída. (anterior: 1op com 4 tarefas e 2op com 2 tarefas; atual: 1op com 2 tarefas e 2op com 3 tarefas)

Cenário teórico do produto D para a regra heurística 3

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura	A	76				Op1	
	3 - Montagem 1	C	160	160	236			
2	2 - Teste Funcional	B	255		255			enquanto tarefa B automática decorre (230 seg), Op1 vai fazer a tarefa C
3	4 - Montagem 2	D	221		221		Op2	
4	5 - Montagem 3	E	265				Op3	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
	6 - Teste Final	F	151		416	372	Op2	
5	7 - Embalagem 1	G	63			394	Op1	
	7 - Embalagem 2	H	126		189	391	Op3	este cenário (3) é coincidente com o resultado do cenário 1. O nº de postos é o mesmo, mas a ordem das tarefas no posto 1 altera. Como este posto é atribuído ao mesmo op., não tem diferenças

Cenário teórico do produto D para a regra heurística 4

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura	A	76				Op1	
	3 - Montagem 1	C	160	160	236			
2	4 - Montagem 2	D	221		221		Op2	
3	2 - Teste Funcional	B	255		255		Op1	enquanto tarefa B automática decorre (230 seg), Op1 vai fazer a tarefa C
4	5 - Montagem 3	E	265				Op3	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
	7 - Embalagem 1	G	63		328	394	Op1	
5	6 - Teste Final	F	151			372	Op2	
	7 - Embalagem 2	H	126		277	391	Op3	este cenário (4) é coincidente com o resultado dos cenários 1 e 3. O nº de postos é o mesmo, mas a ordem das tarefas muda. Como os postos/tarefas são atribuídos/as ao mesmo op., não tem diferenças

Cenário teórico do produto D para a regra heurística 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura	A	76				Op1	enquanto tarefa B automática decorre (230 seg), Op1 vai fazer a tarefa C
	2 - Teste Funcional	B	255		331			
2	3 - Montagem 1	C	160	160			Op1	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
	4 - Montagem 2	D	221		381		Op2	
3	5 - Montagem 3	E	265				Op3	
	6 - Teste Final	F	151		416	372	Op2	
4	7 - Embalagem 1	G	63			394	Op1	
	7 - Embalagem 2	H	126		189	391	Op3	esta atribuição coincide com as atribuições dos cenários com 5 postos, o que mostra que com 4 postos também é possível obter os mesmos resultados

Anexo VII - Cenários teóricos do produto H

Cenário teórico do produto H para a regra heurística 1

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1- 1ª PCBA	B	240				Op1	tempo de ciclo de cada posto não pode ser maior do que 784 segundos
	1- 2ª PCBA	A		201				
	3- Montagem 1	D	296		737		Op2	
2	2- Teste Funcional	C	478			718	Op1	enquanto o teste funcional automático executa, o Op1 realiza a tarefa soldar 2ª PCBA no posto 1
	4- Montagem 2	E	222		700		Op2	
3	5- Montagem 3	F	417		417		Op3	
4	7- Embalagem	H	125			643	Op2	
	6- Teste Final	G	373		498	790	Op3	na prática, esta é a atribuição das tarefas dada aos operadores, sendo que o tempo de ciclo efetivo é de 790, limitado pelo tempo do operador 3, em vez dos 784 teoricamente calculado. Isto permite-nos perceber que apesar dos cálculos teóricos, os constrangimentos e limitações práticas irão sempre sobrepor-se, mas também otimizar (os operadores fazerem tarefas simultâneas) o cenário teórico

Cenário teórico do produto H para a regra heurística 2

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1- 1ª PCBA	B	240				Op1	tempo de ciclo de cada posto não pode ser maior do que 784 segundos
	3- Montagem 1	D	296					
	4- Montagem 2	E	222		758	758		
2	1- 2ª PCBA	A		201			Op2	enquanto o teste funcional automático executa, o Op2 realiza a tarefa soldar 2ª PCBA no posto 1
	2- Teste Funcional	C	478		679			
3	5- Montagem 3	F	417		417		Op3	
4	6- Teste Final	G	373			790		
	7- Embalagem	H	125		498	603	Op2	na prática, esta é a atribuição das tarefas dada aos operadores, sendo que o tempo de ciclo efetivo é de 790, limitado pelo tempo do operador 3, em vez dos 784 teoricamente calculado. Isto permite-nos perceber que apesar dos cálculos teóricos, os constrangimentos e limitações práticas irão sempre sobrepor-se, mas também otimizar (os operadores fazerem tarefas simultâneas) o cenário teórico

Cenário teórico do produto H para a regra heurística 3

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1- 1ª PCBA	B	240				Op2	tempo de ciclo de cada posto não pode ser maior do que 784 segundos
	1- 2ª PCBA	A		201			Op1	
	3- Montagem 1	D	296		737			
2	2- Teste Funcional	C	478			774		enquanto o teste funcional automático executa, o Op1 realiza a tarefa soldar 2ª PCBA no posto 1
	4- Montagem 2	E	222		700		Op3	
3	5- Montagem 3	F	417		417		Op2	
4	6- Teste Final	G	373			595	Op3	
	7- Embalagem	H	125		498	782	Op2	em termos teóricos este cenário é exequível, porque todos os tempos (dos operadores) estão dentro do tempo de ciclo

Cenário teórico do produto H para a regra heurística 4

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1- 2ª PCBA	A		201			Op1	tempo de ciclo de cada posto não pode ser maior do que 784 segundos
	1- 1ª PCBA	B	240					
	3- Montagem 1	D	296		737			
2	4- Montagem 2	E	222			758	Op3	
	2- Teste Funcional	C	478		700			
3	5- Montagem 3	F	417		417		Op2	
4	6- Teste Final	G	373			790		
		7- Embalagem	H	125		498	603	Op3

Cenário teórico do produto H para a regra heurística 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1- 2ª PCBA	A		201			Op1	tempo de ciclo de cada posto não pode ser maior do que 784 segundos
	2- Teste Funcional	C	478		679			enquanto o teste funcional automático executa, o Op1 realiza a tarefa soldar 2ª PCBA no posto 1
2	1- 1ª PCBA	B	240			718	Op3	
	3- Montagem 1	D	296					
3	4- Montagem 2	E	222		758		Op2	
	5- Montagem 3	F	417		417			
4	6- Teste Final	G	373			669	Op3	
	7- Embalagem	H	125		498	764	Op2	em termos teóricos este cenário é exequível, porque todos os tempos (dos operadores) estão dentro do tempo de ciclo

Anexo VIII - Cenários teóricos do produto X

Cenário teórico do produto X para as regras heurísticas 1 e 2

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	274	274			Op1	
	3 - Montagem 1	D	174					
	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	66		514			
2	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	315			555		enquanto tarefa C automática decorre (276 seg), Op1 vai fazer a tarefa B
	4 - Montagem 2	E	265		580		Op2	
3	5 - Montagem 3	F	359		359		Op3	
4	6 - Teste Final	G	326			591	Op2	
	7 - Embalagem	H	112		438	471	Op3	

Cenário teórico do produto X para a regra heurística 3

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	274	274			Op1	a diferença para o cenário anterior é apenas a ordem das tarefas do posto teórico 1. Como as precedências entre as tarefas são definidas <i>a priori</i> , a atribuição pode ser a mesma
	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	66					
	3 - Montagem 1	D	174		514			
2	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	315			555		enquanto tarefa C automática decorre (276 seg), Op1 vai fazer a tarefa B
	4 - Montagem 2	E	265		580		Op2	
3	5 - Montagem 3	F	359		359		Op3	
4	6 - Teste Final	G	326			591	Op2	
	7 - Embalagem	H	112		438	471	Op3	

Cenário teórico do produto X para a regra heurística 4

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	66				Op1	a diferença para o cenário anterior é apenas a ordem das tarefas dos postos teóricos 1 e 2. Como as precedências entre as tarefas são definidas <i>a priori</i> , a atribuição pode ser a mesma
	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	274	274				
	3 - Montagem 1	D	174		514			
2	4 - Montagem 2	E	265				Op2	
	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	315		580	555	Op1	enquanto tarefa C automática decorre (276 seg), Op1 vai fazer a tarefa B
3	5 - Montagem 3	F	359		359		Op3	
4	6 - Teste Final	G	326			591	Op2	
	7 - Embalagem	H	112		438	471	Op3	

Cenário teórico do produto X para a regra heurística 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	66				Op1	
	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	315		381			enquanto tarefa C automática decorre (276 seg), Op1 vai fazer a tarefa B
2	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	274	274				
	3 - Montagem 1	D	174		448	555		
3	4 - Montagem 2	E	265				Op2	
	5 - Montagem 3	F	359		624		Op3	
4	6 - Teste Final	G	326			591	Op2	
	7 - Embalagem	H	112		438	471	Op3	

Anexo IX - Cenários teóricos do produto V

Cenário teórico do produto V para as regras heurísticas 1 e 2

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	125				Op1	
	3 - Montagem 1	D	142,5					
	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	39,5	39,5	307		Op2	a partilha de postos implica confirmação na linha para assegurar que os operadores nunca se encontram nos postos, originando perdas de tempo/esperas
2	4 - Montagem 2	E	138			405,5	Op1	
	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	113,5		251,5		Op2	enquanto tarefa C automática decorre (78,5 seg), Op2 vai fazer a tarefa A
3	5 - Montagem 3	F	269		269	382,5		
4	6 - Teste Final	G	169,5				Op3	
	7 - Embalagem	H	154		323,5	323,5		

Cenário teórico do produto V para a regra heurística 3

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	125				Op1	a diferença para o cenário anterior é apenas a ordem das tarefas dos postos teóricos 1 e 2. Como as precedências entre as tarefas são definidas <i>a priori</i> , embora a atribuição aos op. seja diferente (as tarefas atribuídas são diferentes), o objetivo manteve-se o mesmo que é equilibrar os tempos dos operadores
	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	39,5	39,5				
	3 - Montagem 1	D	142,5		307			
2	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	113,5			381	Op2	enquanto tarefa C automática decorre (78,5 seg), Op1 vai fazer a tarefa A
	4 - Montagem 2	E	138		251,5			
3	5 - Montagem 3	F	269		269	407		
4	6 - Teste Final	G	169,5				Op3	
	7 - Embalagem	H	154		323,5	323,5		

Cenário teórico do produto V para as regras heurísticas 4 e 5

Postos teóricos	Postos reais	Tarefas	Tempos de tarefas	Tempo de tarefas manuais simultâneas a tarefas automáticas	Tempo das tarefas do posto	Tempo das tarefas do operador	Operador	Comentários
1	1 - Soldadura 2ª PCBA	A	39,5	39,5			Op1	a diferença para o cenário anterior é que as tarefas C e D são atribuídas a postos diferentes, trocando entre si
	2 - Teste Funcional 2ª PCBA	C	113,5					enquanto tarefa C automática decorre (78,5 seg), Op1 vai fazer a tarefa A
	1 - Soldadura 1ª PCBA	B	125		278			
2	3 - Montagem 1	D	142,5			381	Op2	
	4 - Montagem 2	E	138		280,5			
3	5 - Montagem 3	F	269		269	407		
4	6 - Teste Final	G	169,5				Op3	
	7 - Embalagem	H	154		323,5	323,5		