



Universidade de Aveiro
2023

**Pedro Miguel
Lopes Fernandes**

**Balanceamento de Linhas de Montagem de
Bicicletas**

Bicycle Assembly Line Balancing



**Pedro Miguel
Lopes Fernandes**

Balanceamento de Linhas de Montagem de Bicicletas

Bicycle Assembly Line Balancing

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Professor Doutor Pedro André Dias Prates, Professor auxiliar, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e de Professor Doutor Maria Alexandra Lopes da Fonseca, Professora auxiliar convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação teve o apoio dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145 FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

O júri / The jury

Presidente / President

Professor Doutor Victor Fernando Santos Neto
Professor Auxiliar c/ Agregação da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Doutor André Filipe Gomes Pereira
Investigador da *Universidade de Coimbra*

Professor Doutor Pedro André Dias Prates
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador principal)

Agradecimentos / Acknowledgements

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste relatório de estágio.

Primeiramente, agradeço ao meu supervisor, Filipe Santos, da entidade de acolhimento pelo acompanhamento constante, pelas dicas de programação e conselhos para a vida. A sua dedicação e gostos artísticos foram realmente inspiradores. Um obrigado também à Teresa Andías pela companhia nos almoços, histórias partilhadas e apoio prestado durante o período de estágio.

Gostaria também de agradecer aos meus orientadores, Prof. Pedro Prates e Prof. Maria Fonseca, pelo auxílio prestado nesta etapa final do mestrado.

Deixo também uma palavra de gratidão às instituições, nomeadamente a Universidade de Aveiro e a entidade de acolhimento, que forneceram os alicerces para o desenvolvimento deste relatório de estágio.

À minha família e aos amigos agradeço o incentivo e paciência durante esta fase. Foram todos essenciais para a manutenção da sanidade mental e finalização do curso de Engenharia Mecânica.

Aos melhores companheiros de casa, Catarina e Marley, um obrigado pelo carinho e companheirismo. Foram como família durante estes cinco anos.

Por último agradeço à minha namorada por partilhar comigo todas as dores de cabeça e ter paciência para me aturar não só nesta fase, mas o longo de todo o curso.

Este trabalho não teria sido possível sem o suporte e contribuições destas pessoas. O meu mais profundo agradecimento a todos vocês.

Keywords

Lean, agile, assembly lines, lines balancing, bicycles

Abstract

This study was carried out in a bicycle assembly company, more precisely on its assembly lines. This is a company that is in the process of transitioning from a family business to a company that wants to make a name for itself in the bicycle assembly market, and is therefore still at a very early stage.

One of the main obstacles to this company's growth is the lack of standardization of processes, both in terms of the sequencing of tasks and the balancing of lines. At the same time, poor record-keeping and data processing have hampered the assessment of the company's situation and, consequently, the improvement plan. This gave rise to the topic of this internship, which aims to respond to these difficulties and thus contribute to streamlining the process from contact with the customer to obtaining the final product, with the main emphasis on line balancing.

This report begins with an introductory note on the topic, followed by the framework of the proposal, explaining the company's background and what is intended by this internship. Subsequently, an analysis is made of the bibliography associated with the subject, which highlights the deepening of knowledge associated with the themes of line balancing, more precisely heuristic methods, and lean and agile tools. Next, a description of the case study is given, with a brief description of each of the factory's sectors, as well as the sectoral interdependence, with the main emphasis on the assembly lines. Once this process is complete, the line balancing study is carried out and the different improvements or suggestions for improvements developed throughout the internship are presented. Finally, comments and critical analyses are made on the work carried out.

As a result, the assembly line balancing process was established, culminating in a significant increase in production, as well as organizational and motivational improvements.

Palavras-chave

Lean, agile, linhas de montagem, balanceamento de linhas, bicicletas

Resumo

O presente estudo foi levado a cabo numa empresa de montagem de bicicletas, mais precisamente nas suas linhas de montagem de bicicletas. Esta é uma empresa que se encontra num processo transitório de negócio familiar, para uma empresa que se quer afirmar no mercado de montagem de bicicletas, pelo que ainda se encontra numa fase muito embrionária.

Um dos principais entraves no crescimento desta empresa prende-se com a falta de padronização dos processos quer a nível do sequenciamento das tarefas, quer a nível do balanceamento das linhas. Paralelamente, a deficiência nos registos e tratamento de dados tem prejudicado a avaliação da situação da empresa e, conseqüentemente, o plano de melhorias. Assim surgiu o tema deste estágio, que tem como objetivo dar resposta a estas dificuldades e assim contribuir para agilizar o processo desde o contacto com o cliente até à obtenção do produto final, com principal ênfase no balanceamento das linhas.

Neste relatório começa-se por fazer uma nota introdutória ao tema, seguida do enquadramento da proposta, onde é explicado o panorama em que a empresa se insere e o que é pretendido com a realização deste estágio. Posteriormente é feita uma análise da bibliografia associada à temática, onde se destaca o aprofundamento do conhecimento associado às temáticas do balanceamento de linhas e ferramentas lean e agile. De seguida, é feita uma descrição do caso de estudo, com uma breve descrição de cada um dos setores da fábrica, bem como da interdependência sectorial, com principal ênfase nas linhas de montagem. Em sequência, é feito o estudo de balanceamento de linhas e são apresentadas as diferentes melhorias ou sugestões de melhorias desenvolvidas ao longo de todo o estágio. Por fim, são feitos os devidos comentários e análises críticas sobre o trabalho desenvolvido.

Como resultado foi estabelecido o processo de balanceamento de linha de montagens, que culminou com um aumento de produção significativo, bem como melhorias a nível organizacional e motivacional.

Índice

I	Introdução	1
1	Introdução	3
1.1	Enquadramento	3
1.2	Objetivo	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura do documento	4
II	Estado da Arte	5
2	Estado da Arte	7
2.1	Lean	7
2.1.1	História do Lean	7
2.1.2	Definição da filosofia <i>Lean</i>	8
2.1.3	Princípios Lean	8
2.1.4	Ferramentas Lean	10
2.2	Agile	12
2.3	Linhas de montagem	14
2.4	Balanceamento de linhas	17
2.4.1	Procedimento	18
2.4.2	Métodos para balanceamento de linhas de montagem	20
2.4.3	Métodos heurísticos	20
2.4.4	Métodos de validação do balanceamento	21
III	Caso de Estudo	23
3	Caso de Estudo	25
3.1	Descrição geral da empresa	25
3.2	Descrição de setores e interdependência setorial	25
3.3	Descrição da linha de montagem	29
IV	Balanceamento das linhas de montagem	33
4	Balanceamento das linhas de montagem	35

4.1	Recolha de dados	35
4.2	Tratamento de dados	38
4.3	Balaceamento	39
4.4	Organização das linhas de montagem	42
4.5	Validação com software	43
4.6	Resultado e análise do balaceamento	44
V	Outros trabalhos	47
5	Outros trabalhos	49
5.1	Moldes para injeção de silicone	49
5.2	Proposta de layout da fabrica	50
5.3	Dashboards da qualidade	50
5.4	Instruções de trabalho	52
VI	Conclusões	55
6	Conclusões	57
6.1	Análise e discussão	57
6.2	Sugestões de melhoria	58
A	Anexo 1	59
A.1	Documento de registos de recolhas de tempos de produção	59
A.2	Tempos de produção	60
A.3	Matriz de polivalência	61
A.4	Tarefas improdutivas	62
A.5	Documento do balaceamento	63
B	Anexo 2	65
B.1	Modelos CAD	65
B.2	Layout original do chão de fábrica	67
B.3	Proposta de alteração do layout do chão de fábrica	68
	Referências	68

Lista de Tabelas

2.1	Variação do valor de Z de acordo com o nível de confiança	18
4.1	Lista de tarefas desempenhadas na linha de montagem	36
4.2	Tempos de produção recolhidos para cada uma das etapas (s)	36
4.3	Tempo de abastecimento e preparação dos componentes	37
4.4	Tabela de precedências	38

Página intencionalmente branca.

Lista de Figuras

2.1	Esquema representativo da linha de montagem em serie	14
2.2	Esquema representativo da linha de montagem em paralelo	15
2.3	Esquema representativo da linha de montagem lado a lado	15
2.4	Esquema representativo da linha de montagem em "U"	15
2.5	Esquema representativo da linha de montagem circulares	16
2.6	Diagrama de precedências	20
3.1	Fluxo de componentes dentro da fábrica	26
3.2	Fluxo de abastecimento de componentes no setor da montagem	27
3.3	Disposição dos consumíveis em linha de montagem	28
3.4	Carros para rodas	28
3.5	Carros para quadros	28
3.6	Carros para guiaadores	28
3.7	Zona de enraimento das rodas	29
3.8	Zona de calibração das rodas	29
3.9	Linha 1	30
3.10	Linha 3	30
3.11	Solução implementada na linha 3	30
3.12	Bancadas	31
3.13	Bolsas utilizadas pelos operadores de linha	31
4.1	Diagrama de precedências	37
4.2	Comparação entre os cenários finais e iniciais da atribuição de tarefas a postos de trabalho	41
4.3	a) <i>Display</i> original da linha de montagem; b) <i>Display</i> alterado da linha de montagem	43
4.4	Tabela de introdução de valores no software <i>POM QM</i>	44
4.5	Tabela do balanceamento no software <i>POM QM</i>	45
4.6	Vista mensal do resumo de produção diária	46
5.1	Molde para peça do tubo principal do quadro	49
5.2	Molde para peça do suporte do travão	49
5.3	Molde e respetiva peça para a área do tensor	50
5.4	Molde e respetiva peça para o tubo principal do quadro	50
5.5	Molde e respetiva peça para o suporte do travão	50
5.6	Resumo do <i>Power Query</i> das alterações efetuadas na base da dados	51
5.7	Apresentação do filtro de pesquisa	51
5.8	Apresentação do filtro de pesquisa	51
5.9	Exemplo de instrução de trabalho (pag 1)	52

5.10	Exemplo de instrução de trabalho (pag 2)	53
A.1	Documento de registos de recolhas de tempos de produção	59
A.2	Documento para tratamento de dados relativos aos tempos de produção	60
A.3	Matriz de polivalência	61
A.4	Documento para tratamento de dados relativos aos tempos das tarefas improdutivas	62
A.5	Documento utilizado no processo de balanceamento da linha de montagem	63
B.1	Molde de injeção da peça a inserir na área do tensor	65
B.2	Molde de injeção da peça a inserir no tubo principal	65
B.3	Molde de injeção da peça a colocar na zona de inserção de cabos no quadro	66
B.4	Molde de injeção da peça a inserir no suporte do travão	66
B.5	Layout original do chão de fábrica	67
B.6	Proposta de alteração do layout do chão de fábrica	68

Parte I

Introdução

Capítulo 1

Introdução

Este relatório descreve o estágio realizado numa empresa de assemblagem de bicicletas e foca-se no aumento da produtividade das linhas de montagem da mesma através do balanceamento das linhas, de melhorias de processos de montagem e da tentativa de implementação de um ambiente *lean* e/ou *agile*.

1.1 Enquadramento

Durante a crise pandémica enfrentada nos últimos anos, assistiu-se a um aumento considerável no mercado de venda de bicicletas. Devido a esse fenómeno, a entidade de acolhimento procurou evoluir no sentido de satisfazer esse aumento de procura, complementando então o processo de transição de um negócio familiar para uma empresa capaz de competir neste mercado em ascensão. Neste contexto, foi proposto este tema de estágio ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, para que um estudante pudesse integrar a equipa da empresa e difundir conhecimento que permita ultrapassar as dificuldades. Paralelamente, e contando com a integração no gabinete de engenharia da empresa, pretende-se o desenvolvimento das aptidões do estagiário nesta temática, mas também o ganho de experiência no chão de fábrica.

Posto isto, foi então estabelecido pela empresa que, para os produtos (bicicletas) previamente selecionados se pretende:

- Aquando da validação do protótipo, deve ser desenhado todo o processo de montagem da bicicleta, analisando de uma forma crítica os processos produtivos existentes e, se necessário, propor formas alternativas;
- Idealizar e concretizar ferramentas apropriadas de forma a melhorar os processos de montagem
- Otimizar o processo associado à montagem de cada um dos modelos de bicicletas, desde o abastecimento da linha à obtenção do produto acabado;
- Implementar novos procedimentos de montagem nos diferentes centros de trabalho, bem como indicadores capazes de medir e avaliar as melhorias implementadas.

1.2 Objetivo

O objetivo principal prende-se com a otimização da linha de montagem de bicicletas, tendo em conta a melhoria contínua dos processos associados. Neste contexto, deve ser criado um fluxo de produção devidamente justificado e ciente das várias etapas associadas ao processo de montagem de bicicletas. Para garantir esta finalidade conta-se com a implementação de medidas, principalmente direcionadas à linha de montagem, capazes de minimizar gastos e aumentar não só a produção, mas também a qualidade.

1.3 Metodologia

De forma a cumprir com os objetivos acima expostos, foi necessário definir uma metodologia. Revistos os conceitos teóricos inerentes a esta temática, foi iniciado o processo de balanceamento e melhoria de processos das linhas de montagem. Para isso, começou-se por acompanhar a oficina de protótipos de forma a conhecer o processo de montagem, os componentes utilizados e os modelos existentes. Feita esta análise, foram recolhidos os tempos das tarefas desempenhadas nas linhas, dados que servirão de base para a resolução do presente problema de balanceamento. Durante este processo, foram surgindo possíveis opções de melhoria, que foram registadas e devidamente discutidas com os profissionais responsáveis por cada um dos setores.

1.4 Estrutura do documento

Este documento encontra-se dividido em sete capítulos:

- O primeiro capítulo corresponde à introdução do projeto, onde são explicados o enquadramento e os objetivos do mesmo, bem como a metodologia adotada ao longo do processo.
- No segundo capítulo é feita uma revisão da bibliografia associada ao tema deste relatório. Este constitui a base de todo o estágio, tendo em conta que se partiu de um panorama de inexperiência.
- O capítulo 3 consiste numa descrição do caso de estudo, onde são apontadas as principais características de cada setor e a interdependência entre estes, com principal foco em tudo o que é afeto às linhas de montagem.
- No capítulo 4 é descrito todo o processo de balanceamento das linhas de montagem.
- No capítulo 5 são abordados outros trabalhos efetuados durante o período de estágio.
- Por fim, no capítulo 6 são retiradas as devidas conclusões.

Parte II
Estado da Arte

Capítulo 2

Estado da Arte

Realizada a introdução do tema de estágio e efetuado o seu devido enquadramento, procede-se à elaboração do estado da arte, que sustenta a base teórica a aplicar no decorrer do estágio. Inicia-se com a descrição da filosofia *Lean*, tendo em conta a necessidade de implementação de medidas organizacionais e de padronização no chão de fábrica. De seguida é abordada a filosofia *Agile*, considerando o contexto fabril relativamente à incidência de ocorrências que exigem a implementação de medidas urgentes e eficazes. Segue-se com o estudo da temática associada às linhas de montagem, sendo esta a área de atuação na empresa. Por último é abordada a principal temática deste relatório, o balanceamento de linhas.

2.1 Lean

2.1.1 História do Lean

A filosofia de gestão conhecida como *Lean* visa melhorar continuamente as operações através da redução de resíduos e do aumento da eficiência da produção. Esta estratégia foi criada pela *Toyota* nos anos 40 e desde então tem sido utilizada por outras empresas e indústrias em todo o mundo. As origens do *Lean* remontam ao Japão durante a Segunda Guerra Mundial, quando a *Toyota* lutava para se manter competitiva num mercado com oferta escassa e procura crescente. Neste ambiente, Taichi Ohno, um engenheiro da *Toyota*, criou o *Toyota Production Systems* (TPS), o sistema de produção que serviu de base ao movimento *Lean*. O TPS centrou-se na eliminação de desperdícios e excessos e representou um modelo alternativo ao da produção em massa com intensidade de capital. A implementação bem-sucedida desta estratégia permitiu que a *Toyota* superasse todos os concorrentes, assumindo a liderança na produção automóvel. Assim, esta estratégia começou a alastrar-se a outras empresas japonesas nos anos 70, e depois a empresas em todo o mundo e em diversos setores industriais.

Ainda assim, o interesse pelo *Lean* por parte da comunidade industrial ocidental foi limitado até que as lacunas de desempenho entre a *Toyota* e outros fabricantes de automóveis foram destacadas pelo livro “*The Machine that Changed the World*”, que também cunhou o termo *lean production*. O desenvolvimento do modelo empresarial, das infra-estruturas e das práticas que apoiam a produção *Lean*, promoveu a sua transferência e a procura pela adaptação às restantes indústrias (não automóveis) e aos restantes países, sob a premissa de que os problemas e tecnologias de fabrico eram problemas universais

enfrentados pela gestão. Apesar do esforço, os fabricantes ocidentais tiveram dificuldades em introduzir a cultura e a mentalidade organizacional, registrando alterações aquém do pretendido. Neste período de consciencialização, as principais fraquezas do *lean manufacturing* foram a sua visão baseada na produção automóvel e as suas limitações relativamente à variabilidade da procura. Adicionalmente, esta tentativa de implementação foi centrada em ferramentas e, de um ponto de vista generalista, negligenciou os aspetos humanos.

Depois de 1990, ultrapassadas as dificuldades da adaptação da filosofia *lean* em empresas ocidentais, houve um alargamento gradual do foco para longe do chão de fábrica. Resumidamente, o foco começou por ser a qualidade (no início dos anos 90), passou para qualidade, custo e entrega (no final da década de 90) e culminou com o cliente como sendo a principal prioridade (a partir do ano 2000). Mais tarde, fruto do desenvolvimento do conceito de fluxo de valor, que se estendeu das necessidades do cliente até às fontes de matéria-prima, foi feita a ligação entre as ferramentas *lean* e as cadeias de abastecimento [1], [2], [3].

2.1.2 Definição da filosofia *Lean*

O *Lean* é uma técnica que se tem provado muito promissora e vantajosa para as empresas, que conta com uma grande variedade de ferramentas capazes de contribuir para a manutenção nos mercados cada vez mais competitivos, sem grandes dificuldades na sua implementação. Isto porque estas ferramentas se direcionam para a redução de custos, tempo e esforço, aumentando assim a produção e a eficiência dos processos [4]. Analisando o conceito por outras palavras, o *lean* tem como objetivo a eliminação de desperdícios. Estes desperdícios podem ser definidos, segundo Fujio Cho, da *Toyota*, como sendo “tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamento, materiais, peças, espaço e mão-de-obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto”, ou até mesmo, seguindo a afirmação de Henry Ford “Se não acrescenta valor, é desperdício”. Assim, identificam-se as principais fontes de desperdícios: sobreprodução, espera, transporte, processo, stock, movimento e defeitos [5].

2.1.3 Princípios *Lean*

Os princípios *lean* a seguir apresentados, focam-se então na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua dos processos e são utilizados em empresas de todo o mundo [6].

1. Basear as decisões de gestão numa filosofia de longo prazo: enfatiza a importância de uma abordagem estratégica em relação às decisões de gestão. A adoção de uma filosofia de longo prazo pode exigir sacrifícios financeiros imediatos, mas pode contribuir para a sustentabilidade e sucesso da empresa a longo prazo;
2. Criar um fluxo contínuo de processo para identificar problemas: incentiva as empresas a adotar um fluxo de trabalho contínuo e eficiente para reduzir o tempo de ciclo e minimizar o desperdício. A implementação deste princípio pode ajudar a detetar problemas e desafios no processo de produção

3. Usar sistemas de *pull* para evitar a sobreprodução: enfatiza a importância de produzir apenas o necessário, eliminando a produção excessiva que pode levar a custos adicionais. Os sistemas de *pull* permitem que a produção seja iniciada apenas quando há uma necessidade real, reduzindo assim o desperdício e aumentando a eficiência
4. Equilibrar a carga de trabalho: incentiva a implementação de um processo de produção equilibrado que permita atender à demanda de forma consistente. A adoção deste princípio pode ajudar a reduzir a pressão sobre os funcionários e aumentar a qualidade do produto final;
5. Criar uma cultura de paragem para corrigir problemas, a fim de obter qualidade certa à primeira: enfatiza a importância da qualidade do produto e da correção imediata de problemas. As empresas devem criar uma cultura que encoraje os funcionários a identificar e resolver problemas de qualidade em todas as etapas do processo de produção;
6. As tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e capacitação dos funcionários: incentiva a padronização dos processos e a criação de um ambiente de trabalho em que os funcionários possam contribuir para a melhoria contínua
7. Usar o controlo visual para que nenhum problema fique oculto: enfatiza a importância de tornar visíveis os processos e problemas do sistema de produção. O controlo visual pode ajudar a identificar problemas e a tomar decisões informadas;
8. Utilizar apenas tecnologias fiáveis e amplamente testadas que sirvam as pessoas e os processos: enfatiza a importância de escolher tecnologias que sejam confiáveis e que atendam às necessidades das pessoas e processos. A adoção de tecnologias inadequadas pode levar a falhas no sistema e a problemas de produção;
9. Desenvolver líderes que entendam completamente o trabalho, vivam a filosofia e a ensinem aos outros: Enfatiza a importância de desenvolver operadores que entendam profundamente o trabalho e a empresa para que possam liderar pelo exemplo, com sabedoria, e inspirar outros a fazer o mesmo;
10. Desenvolver pessoas e equipas excecionais que sigam a filosofia da empresa: incentiva a formação de equipas altamente qualificadas e motivadas, que compartilhem a filosofia da empresa, de forma a aumentar a eficiência e a qualidade da produção;
11. Respeitar a rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar: enfatiza a importância de desenvolver relações de confiança e respeito com parceiros e fornecedores. As empresas devem trabalhar em colaboração com seus parceiros e fornecedores para identificar áreas de melhoria e desenvolver soluções conjuntas;
12. Ver por si mesmo para entender completamente a situação: incentiva as empresas a ir ao local de produção e ver as operações em primeira mão, para que possam entender melhor as condições e identificar problemas. A adoção deste princípio pode ajudar as empresas a tomar decisões informadas e melhorar a eficiência;

13. Tomar decisões por consenso, considerando cuidadosamente todas as opções: enfatiza a importância de tomar decisões informadas e implementá-las rapidamente. As empresas devem buscar o consenso e considerar todas as opções antes de tomar uma decisão, para minimizar a resistência à mudança e garantir uma implementação bem-sucedida;
14. Procurar criar uma organização de aprendizagem através da reflexão contínua (*Hansei*) e melhoria contínua (*Kaizen*): incentiva as empresas a adotar uma abordagem de melhoria contínua, refletindo sobre o desempenho passado e identificando oportunidades de melhoria. A adoção deste princípio pode ajudar as empresas a permanecerem competitivas e inovadoras.

2.1.4 Ferramentas Lean

Uma das características mais relevantes do *lean* é o uso de ferramentas específicas que auxiliam na implementação da metodologia. Consequentemente, um grande entrave na aplicação desta filosofia é a seleção das ferramentas mais adequadas a cada caso específico, bem como a definição da melhor altura para o fazer, principalmente quando se trata de alterações mais profundas na organização da empresa [7], [4]. Posto isto, serão expostos alguns exemplos de ferramentas comumente utilizadas:

5S

Método japonês de organização do espaço de trabalho de forma limpa, eficiente e segura, a fim de alcançar um ambiente de trabalho produtivo. Este é o ponto de partida para qualquer empresa que queira ser reconhecida como produtora responsável, digna de status de classe mundial. O nome desta ferramenta deriva de cinco palavras japonesas iniciadas pela letra “S”: “*Seiri*” (classificação), “*Seiton*” (ordenação), “*Seiso*” (limpeza), “*Seiketsu*” (padronização) e “*Shitsuke*” (disciplina), [8], [9], [10]. Cada uma destas palavras representa uma etapa de utilização desta metodologia:

- *Seiri* - Envolve a identificação de itens desnecessários e obsoletos no ambiente de trabalho e respetiva eliminação ou realocação;
- *Seiton* - Organização dos itens necessários de uma maneira que facilite o acesso. Os itens devem ser rotulados e colocados em locais que sejam facilmente encontrados, de forma a reduzir o tempo gasto na procura dos mesmos;
- *Seiso* - Manutenção da higiene e organização o ambiente de trabalho. Inclui a limpeza regular do espaço, equipamentos e ferramentas;
- *Seiketsu* - Padronização do ambiente de trabalho. Este inclui a criação de procedimentos que contribuam para a manutenção da organização e limpeza do posto de trabalho;
- *Shitsuke* - Refere-se à manutenção das práticas anteriormente referidas. Envolve a adoção de uma cultura de melhoria contínua, em que os funcionários são incentivados a manter o ambiente de trabalho.

Standard Work

Tal como o nome indica, esta ferramenta baseia-se na padronização de operações, correspondendo a um conjunto de procedimentos e diretrizes documentadas que descrevem as melhores práticas para realizar uma tarefa ou processo específico de forma eficiente e segura. O objetivo é garantir que todos os membros da equipa sigam os mesmos passos e padrões, resultando num produto final consistente e de alta qualidade. Paralelamente, contribui para a melhoria contínua dos processos produtivos, já que permite uma rápida identificação de problemas e a implementação de soluções efetivas. Esta é uma prática comum em empresas de manufatura e produção, mas pode ser aplicada numa ampla variedade de setores e organizações.

Para implementar esta ferramenta, é necessário realizar uma análise detalhada dos processos envolvidos e definir quais são as melhores práticas a serem seguidas. Recolhida essa informação, é possível elaborar um documento que descreva detalhadamente como as tarefas devem ser realizadas, incluindo o tempo estimado para cada uma delas, as ferramentas necessárias, as etapas a serem seguidas, entre outros aspetos relevantes. É importante que as diretrizes sejam claras e objetivas, de forma que todos os colaboradores possam compreendê-las facilmente.

Com uso do *Standard work*, as empresas podem melhorar a sua eficiência e a produtividade, reduzir o desperdício e o retrabalho e garantir que os produtos ou serviços finais atendam aos requisitos de qualidade. No entanto, é importante referir que esta não se resume a uma lista rígida e imutável de procedimentos. Pelo contrário, deve ser uma ferramenta dinâmica que é atualizada regularmente para refletir as mudanças nas práticas e tecnologias [11].

Gestão Visual

A gestão visual é uma técnica que consiste em usar elementos visuais de forma a facilitar a compreensão de informações. Esta é uma forma de comunicação muito valiosa, uma vez que permite que a informação seja transmitida de forma clara, concisa e rápida. É uma técnica usada em ambientes de trabalho, como fábricas e escritórios, para ajudar a melhorar a eficiência, reduzir tempo de inatividade e aumentar a produtividade.

Os elementos visuais utilizados incluem gráficos, tabelas, diagramas, ícones, quadros brancos ou murais, etiquetas, placas, tabelas *kanban*, entre outros. Para implementar esta ferramenta é necessário recorrer a softwares e ferramentas que permitam a monitorização do processo e indicadores de forma automatizada. Além disso, é fundamental que os colaboradores sejam treinados e capacitados para entender e utilizar as informações apresentadas de forma visual. Assim, a gestão visual promove um ambiente de trabalho mais colaborativo em que todos recebem o mesmo tipo de informação, abrindo caminho para um trabalho coletivo com objetivos comuns [12].

Kaizen

Filosofia japonesa associada a melhoria contínua, que se baseia na ideia de que pequenas mudanças graduais podem levar a grandes melhorias ao longo do tempo. *Kaizen* é então uma abordagem sistemática para melhorar processos, produtos e serviços numa organização, com o objetivo de aumentar a eficiência e a qualidade, reduzir o desperdício e aumentar a satisfação do cliente.

Esta ferramenta foca-se no envolvimento coletivo num processo de melhoria contínua, incentivando a procura incessante por formas de aprimorar o trabalho e de trabalhar em conjunto para resolver problemas e implementar soluções.

A filosofia *Kaizen* é frequentemente associada à indústria automóvel japonesa, onde foi amplamente utilizada para melhorar a eficiência e a qualidade. No entanto, ela pode ser aplicada a qualquer setor ou organização que procure melhorar continuamente os seus processos e produtos.

Uma aplicação bem-sucedida desta filosofia pode trazer inúmeros benefícios, incluindo aumento da produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade, aumento da satisfação do cliente e melhoria do ambiente de trabalho [13].

JIT

Filosofia de gestão focada em eliminar o desperdício de todos os aspetos da produção e atividades que lhe dizem respeito. O termo JIT (*just in time* significa produzir apenas o que é necessário, no momento e na quantidade necessária [5]. O JIT envolve uma série de práticas e técnicas que procuram otimizar a produção, como é o caso da *pull production*, em que a produção é iniciada somente quando um pedido é recebido do cliente, do *kanban*, um sistema de controlo de stock baseado em cartões, e da produção em células, em que as tarefas são agrupadas em células de produção autónomas para reduzir o tempo de produção. Esta é uma abordagem amplamente utilizada, especialmente em empresas que valorizam a eficiência e a qualidade e procuram reduzir custos e desperdícios. No entanto, o JIT também apresenta desvantagens, uma vez que, a implementação desta ferramenta pode significar vulnerabilidade relativamente a interrupções no fornecimento de materiais e uma maior dependência de fornecedores confiáveis e eficientes [14].

2.2 Agile

O *Agile* surgiu no final dos anos 90 como resposta às metodologias de desenvolvimento de software tradicionais por serem consideradas muito burocráticas e inflexíveis. Em 2001, foi criado um conjunto de princípios, que ficou conhecido como Manifesto *Agile* e, desde então, várias metodologias *Agile* foram desenvolvidas, cada uma das suas próprias práticas e princípios. Este movimento tem sido adotado em vários setores além do desenvolvimento de software, como marketing, gestão de projetos e design. A sua abordagem colaborativa e centrada no cliente tem sido elogiada pela sua capacidade de fornecer resultados mais rápidos e eficientes.

Agile manufacturing é uma metodologia que atribui grande foco no desenvolvimento de uma resposta rápida ao cliente, transformando velocidade e agilidade em vantagem competitiva. Gunasekaran, [15], descrevia esta estratégia como sendo “a capacidade de sobreviver num meio competitivo de constantes e inesperadas mudanças através de uma reação rápida e eficiente na troca de mercados, impulsionado por produtos e serviços projetados pelo cliente”. Goldman, [16], tinha um ponto de vista ligeiramente diferente, assumindo esta como sendo uma ferramenta que permite que as empresas sejam capazes de operar de forma lucrativa num ambiente competitivo e com possíveis clientes em constante e imprevisível mudança. Esta estratégia defende lançamentos frequentes e soluções boas o suficiente para o efeito desejado, contribuindo assim para a validação dos recursos do produto antecipadamente e permitindo a obtenção de feedback adicional dos

clientes [17]. Os objetivos desta metodologia podem ser alcançados através do aproveitamento do conhecimento dos funcionários, formando parcerias e empregando tecnologias de fabricação flexível para desenvolver novos mercados com produtos sem futuro [18], [19].

As ferramentas *agile* assentam em 12 princípios :

1. A principal prioridade é satisfazer o cliente através de uma entrega rápida e contínua de material valioso;
2. Aceitar a mudança e usá-la para aumentar a competitividade;
3. Entregar produtos funcionais frequentemente, com preferência no menor intervalo de tempo;
4. Empresários e desenvolvedores devem trabalhar diariamente em conjunto;
5. Melhorar o ambiente de trabalho, dar condições de trabalho e confiar nos operários para fazerem o trabalho. Construir projetos com pessoas motivadas;
6. O melhor método de reunir informação numa equipa é com uma conversa cara-a-cara;
7. Produto funcional é a principal medida de progresso
8. Os processos *agile* promovem o desenvolvimento sustentável. Os patrocinadores, desenvolvedores e usuários devem ser capazes de manter um ritmo constante indefinidamente;
9. Atenção contínua à excelência técnica e ao bom *design* aumenta a agilidade;
10. Simplicidade é essencial;
11. As melhores arquiteturas, *designs* e requisitos surgem de equipas auto-organizadas;
12. Em intervalos regulares, a equipa deve refletir sobre como se tornar mais eficaz, em seguida, sintonizar e ajustar o seu comportamento de acordo.

Tanto neste caso, como no caso do *lean manufacturing*, a busca agressiva por um sistema que traga novos produtos para o mercado, com função, valor e qualidade superiores, exigirá um novo sistema de produção. Tal sistema de produção exigirá fundamentos em fatores humanos, engenharia biomédica, engenharia industrial, ciência da computação e psicologia. Por isso, é sempre muito importante garantir que o sistema de produção seja desenvolvido em conjunto com a força de trabalho [18].

Atualmente, a metodologia *Agile* tornou-se uma das principais abordagens de gestão de projetos e é amplamente utilizado em todo o mundo em empresas de todos os tamanhos e setores, não apenas no desenvolvimento de *software*. No entanto, algumas empresas argumentam que a falta de documentação e planeamento pode levar a problemas no futuro e que a ênfase na entrega rápida pode prejudicar a qualidade do produto final. Além disso, a implementação em organizações com cultura de trabalho tradicional pode ser desafiadora.

2.3 Linhas de montagem

As linhas de montagem consistem em estações de trabalho dispostas ao longo de uma correia transportadora ou de um equipamento de manuseamento de materiais semelhantes. As peças são transportadas ao longo da linha e movimentadas de estação de trabalho em estação de trabalho. Em cada estação, são realizadas repetidamente certas operações, tendo em conta o tempo de ciclo, e permitindo assim a montagem de produtos complexos por operadores que receberam um curto período de treino. Estas continuam a ser um meio atraente de produção em massa e em grande escala. A sua origem remonta aos tempos de Henry Ford, mas desde então, têm sofrido enúmeras evoluções até ao ponto em que se encontram atualmente, tornando-se numa ferramenta mais flexível e adaptável a cada produção.

Existem vários tipos de linhas de montagem. Neste ponto do relatório são apresentados os vários tipos de linhas existentes e que são implementadas pelas empresas consoante o tipo de produto e sua complexidade, e o *layout* pretendido. As linhas de montagem podem ser orientadas por produto, em que a disposição da mesma é feita de forma mais apropriada a que se produza um determinado produto ou família de produtos, ou por processo, caso em que o defende uma organização da fábrica em setores compostos por maquinaria similar. As linhas podem ainda ser classificadas de acordo com o seu *layout*. Sendo que este se encontra relacionado com a eficiência de linha, é importante utilizar o tipo de *layout* mais vantajoso tendo em conta o processo de cada linha [20]:

- Linhas em série

As estações de trabalho estão dispostas numa linha reta única, e as peças movimentam-se com uma direção linear ao longo da linha, figura 2.1. Este tipo de *layout* é particularmente adequado para produtos que requerem um alto volume de produção;

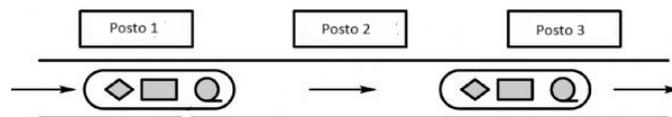


Figura 2.1: Esquema representativo da linha de montagem em série

- Linhas paralelas

As estações de trabalho são dispostas em duas ou mais linhas paralelas, permitindo que vários operadores trabalhem simultaneamente na mesma peça, figura 2.2. Isso reduz o tempo de espera dos operadores, melhorando o uso de recursos partilhados;

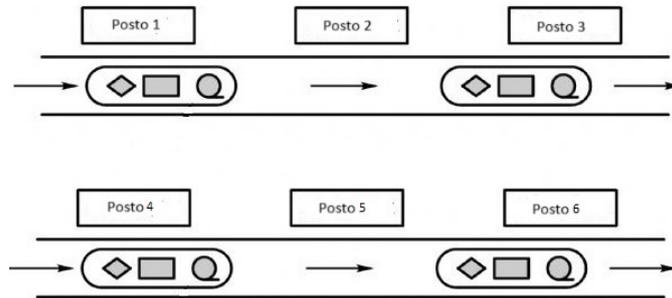


Figura 2.2: Esquema representativo da linha de montagem em paralelo

- Linhas lado a lado

Esta é útil para a produção de produtos mais largos, como autocarros, em que as estações de trabalho são dispostas lado a lado, figura 2.3;



Figura 2.3: Esquema representativo da linha de montagem lado a lado

- Linhas em "U"

Layout muito útil quando se pretende que um mesmo operador realize tarefas em mais do que um posto de trabalho. Neste caso, as estações de trabalho são dispostas em forma de U e as peças movem-se através da linha numa direção circular, figura 2.4. Este tipo de *layout* é adequado para produtos que requerem uma produção mais diversificada ou quando as peças têm de ser inspecionadas em diferentes pontos da linha;

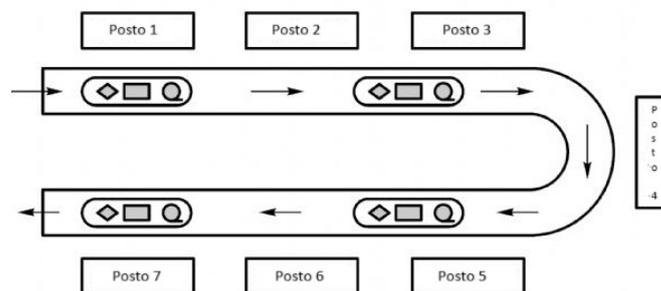


Figura 2.4: Esquema representativo da linha de montagem em "U"

- Linhas de posição fixa

Tal como o 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;

- Linhas circulares

Os postos de trabalho são instalados numa mesa rotativa, que é utilizada para carga, descarga e movimentação do produto de um posto de trabalho para outro, figura 2.5. Relativamente ao número de voltas, se apenas um dos lados do produto é trabalhado em cada posto, e de uma única vez, então a linha com transferência circular única é suficiente para finalizar o produto. Esta configuração é equivalente a uma linha reta básica. Se várias partes do produto podem ser tratadas simultaneamente, esta configuração é equivalente a uma linha com multi-postos de trabalho paralelas. Para este ultimo caso, o conjunto de operações atribuídas a cada posto de trabalho, tem de ser dividido em diferentes ciclos, que correspondem ao número de voltas da mesa.

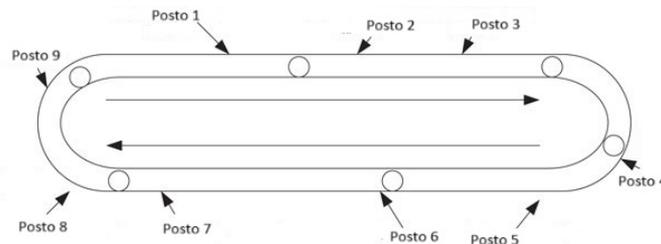


Figura 2.5: Esquema representativo da linha de montagem circulares

Desde a introdução da linha de montagem móvel por Henry Ford, muitos outros conceitos e filosofias, como o JIT, a automação e a indústria 4.0 levaram à criação ou adaptação das linhas de montagem, levando esta a divergir em vários tipos consoante alguns parâmetros.

Segundo Sharma, [21], existem 5 níveis para a caracterização de linhas de montagem que influenciam a formulação do problema de balanceamento:

1. Número de modelos

- Modelo único: se é montado apenas um modelo e todas as peças são iguais;
- Modelo misto: quando são produzidos diferentes modelos numa sequência arbitrária mista;
- Multi-modelo: quando são produzidos diferentes modelos, mas com uma sequência de unidades do mesmo modelo, seguido de uma operação de *setup* para adaptação da linha.

2. Controlo da linha

- Ritmada: é estabelecido um tempo de ciclo comum que restringe o tempo de processamento em todas as estações. O ritmo é mantido por um dispositivo de manuseamento de materiais continuamente em movimento, como uma correia transportadora, que força os operadores a terminar as suas operações antes que a peça alcance o final da respetiva estação;

- Livre assíncrona: as peças são transferidas sempre que as operações necessárias são concluídas e a estação sucessiva já não está bloqueada, em vez de serem vinculadas a um determinado intervalo de tempo;
- Livre síncrona: todas as estações esperam que a estação mais lenta termine todas as operações antes que as peças sejam transferidas na mesma altura. Este tipo de movimento é útil quando as operações em diferentes estações de trabalho interdependentes e necessitam de ser sincronizadas.

3. Frequência

- Primeira instalação: o problema de balanceamento da linha é resolvido através da análise de todos os processos alternativos que levam aos produtos desejados, que são posteriormente transmitidos para o problema de balanceamento;
- Reconfiguração: a reconfiguração torna-se necessária sempre que houver uma mudança substancial na estrutura do programa de produção.

4. Nível de automação

- Manuais: utilizadas quando as peças de trabalho são frágeis ou precisam de ser seguradas com frequência e os robôs industriais não possuem a precisão necessária;
- Automáticas: implementadas principalmente onde o ambiente de trabalho é de alguma forma hostil aos seres humanos ou onde os robôs industriais são capazes de executar tarefas de forma mais económica e com maior precisão.

5. Área de negócio

- Setor automóvel: montagem final de automóveis é principalmente realizada em linhas mistas, com modelo sincronizado e alta proporção de mão de obra manual;
- Outros.

2.4 Balanceamento de linhas

O balanceamento de linhas é uma técnica que visa minimizar o desequilíbrio entre os trabalhadores e as cargas de trabalho, a fim de atingir a taxa de execução necessária. Ou seja, o objetivo é a alocação de tarefas para estações de trabalho de linhas de montagem, de forma equilibrada, a fim de minimizar o custo operacional ou outros critérios de gerenciamento relacionados ao tempo de ciclo [22] [23].

Para implementar o balanceamento de linha, é necessário analisar cuidadosamente cada etapa e a sequência de tarefas do processo de produção, bem como o número de funcionários disponíveis. Além disso, é importante identificar quais tarefas podem ser agrupadas e atribuídas a um único trabalhador e ter em consideração as habilidades e capacidades de cada trabalhador para garantir que as tarefas sejam realizadas com eficiência [24].

2.4.1 Procedimento

O processo de balanceamento de linhas agrupa uma série de tarefas ordenadas, sendo a primeira destas o desenvolvimento de uma lista de operações. Com esta pretende-se obter uma discretização competente do processo de montagem que permita uma recolha dos tempos de produção de cada uma das tarefas elementares inerentes ao processo. Neste passo pretende-se que os dados recolhidos se enquadrem o mais possível com a realidade do setor produtivo da empresa. Ou seja, devem ser feitas várias medições do tempo necessário para desempenhar cada uma das tarefas, incluindo deslocamentos, falhas por parte do operador, atrasos causados por defeitos nos componentes ou na operação, etc.

É também necessário definir níveis de confiança e precisão associadas a este estudo. O primeiro refere-se à probabilidade de que a diferença entre o tempo de ciclo previsto e o tempo de ciclo real não exceda um determinado limite. O segundo refere-se à capacidade do estudo em medir e quantificar com precisão as atividades e tempos de cada etapa do processo. Estes valores podem ser variados, sendo que são influenciados por vários fatores, tais como a qualidade dos dados coletados, a variabilidade do processo, a precisão das ferramentas de medição utilizadas, entre outros [25]

Recolhidos os dados e definidos os níveis de confiança e precisão necessários para o estudo, é necessário proceder ao cálculo do número mínimo de recolhas de tempos de produção para cada uma das tarefas, de forma a garantir uma boa representatividade da realidade. Para tal é utilizada a fórmula (2.1) abaixo apresentada [24] [26]:

$$n = \left(\frac{Z \cdot S}{\mathcal{E} \cdot M} \right)^2 \quad (2.1)$$

Em que,

- n = número mínimo de recolhas a realizar;
- Z = coeficiente de distribuição normal para o nível de confiança;
- \mathcal{E} = precisão da amostra;
- S = desvio padrão;
- M = média dos valores das observações

O valor de Z advém do valor do nível de confiança previamente definido, e pode ser obtido por consulta a um gráfico de distribuição normal ou, de uma forma simplificada, a partir da tabela 2.1.

Tabela 2.1: Variação do valor de Z de acordo com o nível de confiança

Probabilidade	70%	75%	80%	85%	90%	95%	97%	98%	99%
Z	1.040	1.150	1.282	1.440	1.645	1.960	2.170	2.330	2.576

Para calcular o número de postos de trabalhos é necessário iniciar pelo cálculo do tempo de ciclo, T_c , através da fórmula:

$$T_c = \frac{\text{tempo de produção diária}}{\text{n}^\circ \text{ de peças produzidas diariamente}} \quad (2.2)$$

Com este valor é então possível calcular o número de postos de trabalho, N_{pt} , necessários para o estudo em questão, através de:

$$N_{pt} = \frac{\sum \text{tempo das operações}}{T_c} \quad (2.3)$$

Para dar seguimento ao processo de balanceamento é necessário introduzir duas novas métricas essenciais a uma gestão eficiente do processo produtivo que permitam identificar oportunidades de melhoria e maximizar a eficiência da produção: *takt time* e *lead time*. Relativamente ao *lead time*, este pode ser classificado como sendo o tempo necessário para que um produto seja produzido e entregue ao cliente, incluindo todas as etapas do processo produtivo, desde a entrada do pedido até à entrega do produto final. Já o *takt time*, pode ser visto como o tempo máximo disponível para produzir uma unidade de produto, de forma a atender à demanda do mercado [22]. Caso o objetivo seja avaliar a produção atual (por exemplo, no caso de linhas de montagem sem estudos prévios de balanceamento ou em que ainda não são consideradas métricas de avaliação do processo), o *takt time* corresponde ao tempo decorrido na realização da tarefa ou processo com maior duração.

Outro indicador relevante é a percentagem de tempo de inatividade da linha de montagem, sendo o cálculo da mesma baseado nos valores anteriormente calculados e segundo a fórmula 2.4 [26]:

$$D = \frac{\sum \text{tempos inativos em cada posto}}{N_{pt} \cdot \text{Takt time}} \quad (2.4)$$

Com o intuito de prosseguir com o processo de balanceamento e tendo em consideração todos os indicadores supracitados, é imprescindível estabelecer as precedências de cada uma das tarefas, de modo a cumprir as condições tecnológicas, organizacionais e de processo. Para tal, podem ser utilizadas ferramentas como o diagrama de precedências, que resume e esquematiza este mesmo critério. Este diagrama engloba um nó para cada tarefa, pesos atribuídos aos nós para o tempo de execução de cada atividade, e arcos que representam as restrições de precedência entre estas (figura 2.6) [27].

Obtida toda esta informação e tendo consciência das restrições características de cada modelo produtivo (de mão de obra, de ferramentas, de infraestruturas, etc.), é finalmente possível iniciar o processo de atribuição de tarefas por postos de trabalho e por operadores.

Atualmente é possível ter uma abordagem diferente relativamente a este tipo de problemas uma vez que já foram desenvolvidos softwares capazes de desempenhar com-

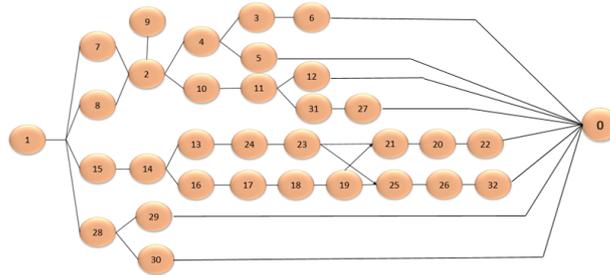


Figura 2.6: Diagrama de precedências

petentemente o processo manual acima apresentado.

2.4.2 Métodos para balanceamento de linhas de montagem

Consoante a complexidade do problema, é possível categorizar os métodos utilizados para o balanceamento de linhas de montagem: Métodos de Classificação e Atribuição (*Rank and Assign Methods*), Métodos de Pesquisa em Árvore (*Tree Search Methods*) e Métodos de Amostragem Aleatória (*Random Sampling Methods*) [26].

No primeiro grupo, as tarefas são dispostas numa ordem com base em critérios ou regras de prioridade e, posteriormente, atribuídas às estações, seguindo uma sequência que não viole as relações de precedência e as restrições do tempo de ciclo. Relativamente ao segundo caso são, essencialmente, algoritmos de programação inteira, sendo que também podem ser designados de métodos enumerativos. Já no caso dos métodos de amostragem aleatória, as tarefas são designadas aleatoriamente, mas levando em consideração as restrições de precedência.

Além dos métodos supramencionados, existem outros três que também podem ser utilizados para o balanceamento de linhas de montagem. O primeiro deles é denominado “Métodos de Agregação”, no qual os elementos das tarefas são agrupados em tarefas compostas. Já o método de “Aproximação Sucessiva” consiste em aplicar repetidamente um algoritmo ótimo como uma heurística numa versão mais simples do problema. Por fim, os Métodos de Aprendizagem são baseados na premissa de que a experiência adquirida na resolução de problemas menores pode ser utilizada para resolver problemas maiores [28].

2.4.3 Métodos heurísticos

Os métodos heurísticos são técnicas de resolução de problemas de balanceamento que utilizam regras empíricas, intuição e experiência para encontrar soluções aproximadas. Estes são utilizados em situações onde não é possível aplicar técnicas analíticas convencionais, ou quando as restrições de tempo ou recursos tornam difícil a aplicação de métodos exatos. Embora os métodos heurísticos não garantam a obtenção da melhor solução possível, são amplamente utilizados em diversas áreas, principalmente em problemas de otimização complexos, em que se procura encontrar a melhor solução possível em condições de incerteza ou complexidade. Para a utilização desses métodos, é necessário um conhecimento profundo do problema em questão e a capacidade de selecionar e

ajustar os métodos heurístico mais apropriados para cada caso [29].

Posto isto, existe uma grande variedade de métodos heurísticos provenientes dos mais diversos casos práticos de aplicações reais, no entanto existem alguns exemplos de métodos que são mais utilizados [29], [28]:

- Método dos Pesos Posicionais (*Ranked Positional Weight - RPW*): baseia-se no cálculo posicional de cada tarefa, que corresponde à soma do tempo da tarefa com o tempo das tarefas que a antecedem, tendo em conta o diagrama de precedências. Para o processo de atribuição de tarefas a cada posto de trabalho, segundo este método, os pesos posicionais devem ser organizados por ordem decrescente;
- Método de Kilbridge & Wester (KWM): seleciona os elementos de trabalho para designar as estações de acordo com a coluna de posição do diagrama de precedência e organiza-as por ordem decrescente de tempo de processamento. Note-se que, para a aplicação desta metodologia, o diagrama de precedências deve ser organizado por colunas, de acordo com o nível de precedência;
- Regra do maior candidato (*Largest Candidate Rule - LCR*): lista as tarefas em ordem decrescente de tempo de processamento e atribuí-as a cada posto respeitando as precedências e o tempo de ciclo;
- Método Hoffmann: envolve a criação de uma matriz de prioridades para as estações de trabalho, onde as tarefas são atribuídas com base no tempo de processamento e em possíveis restrições do processo (ex: maquinaria). Este método engloba uma primeira organização das tarefas por ordem decrescente do tempo de processamento, seguida da atribuição das tarefas a cada estação, com respeito ao tempo de ciclo;
- Método de Moddie & Young: envolve a criação de uma tabela que apresente as operações, os seus tempos de processamento e as estações de trabalho disponíveis. As tarefas são alocadas aos postos por ordem decrescente do tempo de processamento.

2.4.4 Métodos de validação do balanceamento

Para validar resultados obtidos, podem ser calculadas algumas métricas, tais como a perda de balanceamento da linha de montagem, a eficiência da mesma e a produção total diária, através das seguintes fórmulas:

$$LB = \frac{N_{pt}T_c - \sum C_0}{N_{pt}T_c} \quad (2.5)$$

$$LE = (1 - LB) \quad (2.6)$$

$$PA = \frac{T}{T_c} \quad (2.7)$$

Onde LB é a perda de balanceamento (loss of balance), LE a eficiência da linha (line efficiency) e C_0 o tempo médio do posto de trabalho [29].

Como forma de validação pode-se também recorrer a processos computadorizados, como é o caso do software POM QM (*Production and Operations Management - Quantitative Methods*). Este é uma ferramenta utilizada para a análise quantitativa de decisões em operações e gestão de projetos. Ou seja, combina diversas técnicas de modelação e análise quantitativa para resolver problemas relacionados com operações e tomada de decisões, contando com uma grande variedade de módulos [30].

Parte III

Caso de Estudio

Capítulo 3

Caso de Estudo

Neste capítulo vai ser feita uma descrição detalhada da empresa, atribuindo principal ênfase à descrição da linha de montagem, alvo do estudo. Esta localiza-se em Portugal e é especializada no fabrico OEM (*Original Equipment Manufacturer*) de bicicletas e *E-bikes* de marcas *premium*. Os serviços prestados englobam montagem, pintura e logística.

3.1 Descrição geral da empresa

A entidade de acolhimento nasceu em 2018, fruto da identificação de uma oportunidade no mercado europeu, que consistia na produção de bicicletas elétricas e na pintura personalizada de quadros de carbono. Tal oportunidade surgiu devido à elevada demanda verificada no mercado europeu, em que a indústria e o comércio locais não conseguiram suprir satisfatoriamente. Com a introdução de novas regulamentações na comunidade europeia, nomeadamente impostos alfandegários sobre a importação de bicicletas elétricas e componentes da Ásia, juntamente com o crescente interesse pela mobilidade urbana e preocupação ambiental, Portugal tornou-se um país extremamente atraente e relevante para a produção de bicicletas elétricas. De entre as vantagens, destaca-se a localização geográfica favorável para a receção marítima de componentes e entrega de produtos acabados em qualquer local da Europa num prazo máximo de 48 horas, bem como mão de obra a preços competitivos.

3.2 Descrição de setores e interdependência setorial

Tal como apresentado na figura 3.1, a empresa encontra-se dividida em dois setores: a pintura e a montagem. Neste primeiro, é onde ocorre a pintura dos quadros, forquetas, entre outros componentes, dependendo do modelo. Esses produtos não só abastecem o setor de montagem, mas, no caso dos quadros, também são comercializados como produto acabado. Dentro do setor da pintura, os modelos convencionais são transportados por uma linha automatizada que transporta os componentes pelas salas de pintura a pó ou líquida, dependendo do modelo. Os modelos mais sofisticados, como os quadros em carbono, são meticulosamente pintados à mão em salas especialmente designadas para esse propósito. A montagem como o nome sugere, é onde ocorre todo o processo de assemblagem dos componentes até obtenção do produto final, ou seja, uma bicicleta

montada, funcional e embalada. Este engloba os setores do armazém, dos consumíveis, da pré-montagem, das linhas de montagem e da oficina de protótipos, e é deste que resulta a maioria da faturação da empresa.

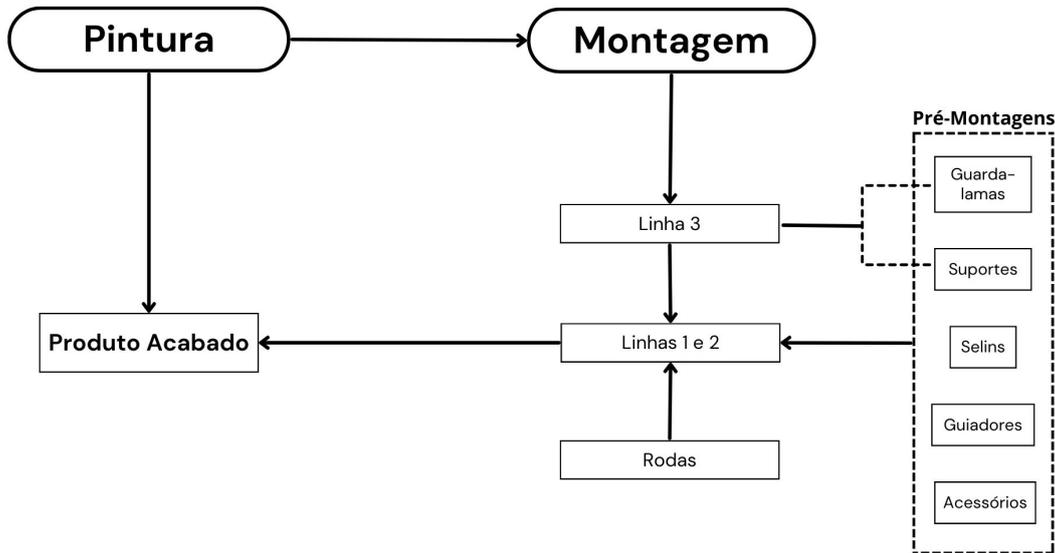


Figura 3.1: Fluxo de componentes dentro da fábrica

É relevante ressaltar que o setor de pintura não constitui o foco principal deste estágio e, portanto, não foi possível realizar um acompanhamento tão aprofundado dos processos produtivos e da organização do mesmo. Como tal, e sabendo que mesmo dentro da fábrica existe uma distinção clara entre os setores de pintura e montagem, a pintura não será abordada de forma significativa ao longo do presente documento.

A oficina de protótipos é o local onde são validados os componentes, de forma a detetar possíveis erros na BOM (*Bill of Materials*). Assim, é obrigatório montar um protótipo antes de iniciar cada produção para garantir que os possíveis erros não sejam detetados apenas num processo mais a jusante que comprometa a produção. Caso seja detetada alguma falha, esta é então registada, a BOM é corrigida e, no final do processo, a informação é partilhada com os representantes de cada um dos setores e é passada para o departamento de planeamento que se encarrega de comparar os materiais necessários com os disponíveis. Este processo permite ainda especificar algumas características necessárias, tais como o comprimento das varetas de fixação dos suportes, o número de elos da corrente, o comprimento da fição, entre outros.

O armazém representa atualmente um desafio significativo devido à grande quantidade e diversidade de componentes inerentes à montagem de bicicletas, totalizando aproximadamente 55 peças por bicicleta. Como agravante adicional, as peças são fornecidas pelo cliente e a entidade de acolhimento possui um stock próprio muito limitado. Fruto dessa relação, surgem constantemente incongruências nos componentes que, associado a um registo pouco automatizado e ainda com algumas falhas, torna a gestão do armazém e de todos os processos a jusante na cadeia de valor algo muito complexo e

problemático.

A figura 3.2 mostra o fluxo de abastecimento de componentes para os diversos setores da montagem. Como se pode analisar, o armazém estabelece comunicação direta com os setores das rodas, oficina de protótipos, pré-montagem e linhas de montagem. No caso do setor das rodas, o abastecimento deve ocorrer com antecedência em relação ao início da produção em linha, dado que a cadência desse setor é inferior à dos restantes e uma vez que a oficina de protótipos depende do fornecimento de rodas para a montagem dos protótipos. Da mesma forma, o armazém separa antecipadamente os componentes destinados à oficina de protótipos, permitindo que esta valide e/ou corrija a *BOM* antes do início da produção. Em relação ao abastecimento das linhas de montagem, uma vez que não existe um "supermercado" responsável pela conexão entre o armazém e os restantes setores da montagem, a pré-montagem assume a responsabilidade de distribuir os componentes. Ou seja, a pré-montagem desempenha um papel semelhante ao de um "supermercado", recebendo os componentes do armazém para abastecer as linhas de montagem. No entanto, é importante notar que esse processo não abrange desembalagem nem preparação dos componentes, sendo essa tarefa incumbida aos operadores de linha. No caso dos consumíveis e baterias, entre outros componentes, o armazém entrega diretamente às linhas de montagem.

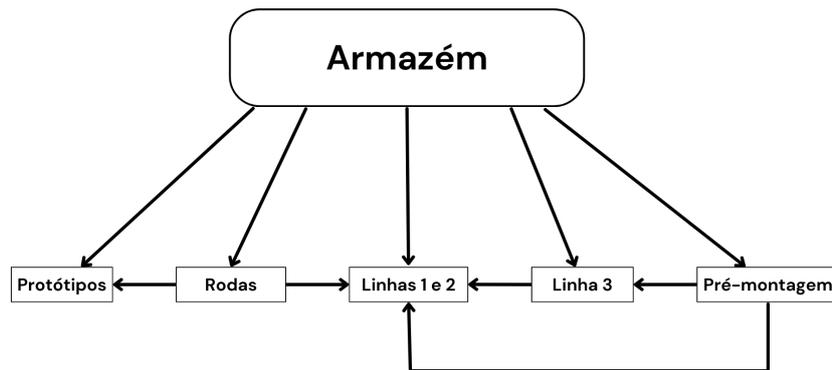


Figura 3.2: Fluxo de abastecimento de componentes no setor da montagem

No âmbito dos consumíveis, existe um local designado à sua separação e armazenamento, bem como do material excedente das linhas, tais como parafusos, anilhas, porcas, borrachas, entre outros. No caso do material de proteção para embalagem, como espumas e fitas adesivas, estas são fornecidas pelo armazém diretamente às linhas de montagem, figura 3.3.



Figura 3.3: Disposição dos consumíveis em linha de montagem

Relativamente à pré-montagem, esta é responsável por desempenhar algumas das etapas produtivas mais demoradas, mais complexas, que necessitam de ferramentas adicionais e que possam ser feitas separadamente. Os componentes pré-ensamblados são posteriormente transportados para as linhas de montagem com recurso a "carros" construídos propositadamente para o efeito (figuras 3.4, 3.5 e 3.6), sendo essa movimentação responsabilidade da própria pré-montagem.



Figura 3.4: Carros para rodas

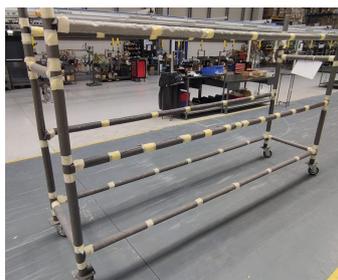


Figura 3.5: Carros para quadros



Figura 3.6: Carros para guiadores

O departamento da pré-montagem engloba a assemblagem de guiadores, forquetas (conjunto de direção), rodas, suportes, guarda-lamas, selins e cablagens. No entanto, e devido à estrutura organizacional da fábrica, a linha de montagem das cablagens (linha 3) e a das rodas, são vistas como setores separados não integrantes da pré-montagem.

No caso das rodas, este é o setor mais robotizado da zona de montagem, figuras 3.7 e 3.8, sendo dividido em duas zonas: a zona de enraiamento e calibração e a zona de montagem da câmara de ar, pneus e acessórios. Tal como foi anteriormente mencionado, este setor inicia a produção antes de todos os setores porque apresenta uma cadência menor do que a da linha de montagem, pelo que é necessário criar um *buffer* para evitar paragens da produção. A maior dificuldade surge quando são necessárias poucas unidades de rodas para um modelo diferente ou quando é necessário produzir rodas apenas para os protótipos e/ou amostras, uma vez que cada modelo tem as suas características e, portanto, as máquinas têm de ser calibradas para tal. Sendo a programação da máquina um processo complexo, a troca constante de modelo implica um aumento considerável do tempo de ciclo do setor das rodas.



Figura 3.7: Zona de enraiamento das rodas



Figura 3.8: Zona de calibração das rodas

Já no caso das cablagens, é utilizada uma linha de montagem (linha 3) muito semelhante às restantes linhas 1 e 2, mas invertida, onde são feitos os primeiros passos da montagem de componentes no quadro já pintado. Aqui são colocados todos os componentes elétricos (no caso das bicicletas elétricas), exceto a bateria e a luz frontal. Esta terceira linha é responsável por abastecer duas linhas de montagem iguais (as linhas 1 e 2), pelo que é comum que estejam a ser montados dois modelos distintos ao mesmo tempo, e é necessária uma cadência alta (ou seja, suficiente para alimentar ambas as linhas).

3.3 Descrição da linha de montagem

As linhas de montagem 1, 2 e 3 são linhas típicas da montagem das bicicletas, o OCS (*Overhead Conveyor System*). Neste sistema (ver figuras 3.9 e 3.10), as bicicletas são penduradas e movimentadas de forma automática ao longo da linha, facilitando o trabalho dos operadores. No entanto, é necessário ressaltar que a orientação da bicicleta é única para cada linha, ou seja, caso se pretenda pendurar a bicicleta com as rodas voltadas para cima, é necessário ter um sistema que o permita, e vice-versa. No caso da entidade de acolhimento, na linha 3, para facilitar a montagem dos componentes, foi improvisada uma solução que permite acoplar a bicicleta “de cabeça para baixo” numa linha que originalmente não o permitiria, figura 3.11.

A transformação de linhas de montagem tradicionais numa solução suspensa automatizada permite não só aumentar a capacidade de produção, como também melhorar o



Figura 3.9: Linha 1

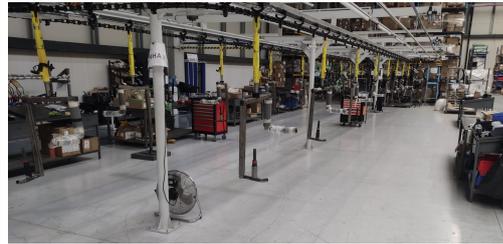


Figura 3.10: Linha 3



Figura 3.11: Solução implementada na linha 3

ambiente de trabalho. Este sistema liberta espaço valioso no chão de fábrica e possibilita a equipa de montagem de se movimentar em torno das bicicletas, facilitando o trabalho [15, 16].

Características do OCS:

- Acionado por fricção;
- Baixo ruído;
- Modular e altamente flexível para atender a outros produtos;
- Permite acessibilidade total para as bicicletas em 360°;
- Permite ajustar a altura para cada utilizador;
- Segue os princípios *lean*, permitindo alta produtividade;
- Permite uma produção *Just-In-Time*;
- Estações de trabalho sequenciais e/ou paralelas, de acordo com as necessidades;
- Layout inteligente para otimização e utilização do espaço.

As linhas de montagem 1 e 2 são linhas circulares (equivalentes a linhas com multi-postos de trabalho em série), ritmadas e de multi-modelo, onde é feita a maior parte do processo de assemblagem das bicicletas, sendo estas fisicamente iguais. Daqui, o produto sai embalado e organizado em paletes, pronto a expedir.

Tal como referido anteriormente, o abastecimento das linhas ainda tem muito espaço para melhoria. Para além do desafio de logística do armazém, no caso dos componentes que são transportados diretamente para as linhas de montagem sem passar em nenhum posto da pré-montagem, o abastecimento é realizado em paletes com caixas ainda fechadas. Estas são colocadas próximas da linha e são os próprios operadores os responsáveis pelo desempacotamento dos componentes e abastecimento das bancadas das linhas de montagem.

As bancadas, figura 3.12 variam a sua organização consoante a zona da linha em que estão e em conformidade com os componentes utilizados em cada posto, dando lugar, em alguns casos, a carrinhos de rodas, quadros, selins ou guiadores e a cestos para componentes a granel.

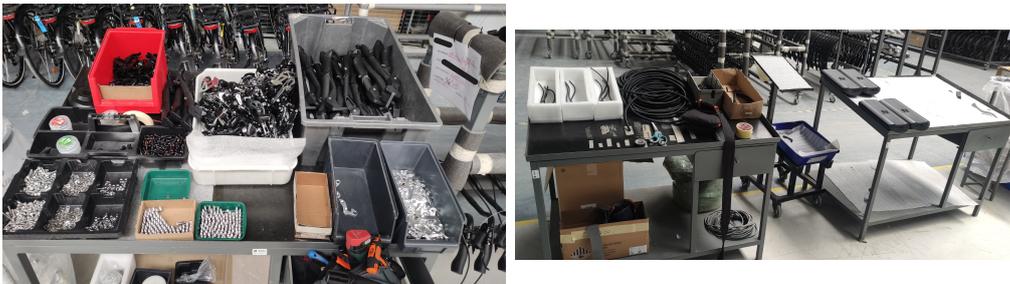


Figura 3.12: Bancadas

Para facilitar o trabalho e diminuir deslocamentos, os operadores usam uma bolsa na cintura para colocar as diversas ferramentas e, em alguns casos, até mesmo componentes, figura 3.13.



Figura 3.13: Bolsas utilizadas pelos operadores de linha

Até à data, nenhuma das linhas sofreu um processo de balanceamento, pelo que o destacamento de profissionais aos diversos postos e tarefas foi um processo baseado na experiência dos próprios operadores e de quem os distribuiu. Tal método favorece a ajuda intra-linha, o que, por sua vez, contribui para o conhecimento de todo o processo

de montagem por parte de todos os operadores de linha. De outro ponto de vista, a distribuição balanceada da carga de trabalho é comprometida e a atribuição física de postos de trabalhos é desrespeitada. Como consequência, ocorrem aglomerados de colaboradores em certas zonas da linha, ao ponto de prejudicar o desempenho dos colaboradores e aumentar as distrações.

Parte IV

Balanceamento das linhas de montagem

Capítulo 4

Balanceamento das linhas de montagem

Neste capítulo vai ser feita uma descrição detalhada do processo prático de balanceamento de linhas, iniciando com o processo de recolha de dados, seguido do tratamento dos dados recolhidos e do balanceamento em si. Depois é explicada a proposta de reorganização da linha de montagem e é feita a validação do estudo com recurso ao software POM QM. Por fim são tecidos comentários e é feita uma análise crítica de todo este capítulo.

4.1 Recolha de dados

A primeira etapa do processo de balanceamento prende-se com a recolha de dados junto da linha de produção. Para este efeito foi necessário começar por definir quais os dados a recolher, seleccionar os modelos de bicicletas mais críticos e estabelecer um método de recolha.

Foram seleccionados vários parâmetros considerados fundamentais para garantir proximidade entre os dados e a realidade. Como tal, foi recolhido não só o tempo necessário para desempenhar cada tarefa, como também o tempo associado a deslocamentos dos operadores ao longo da própria linha e o tempo gasto no abastecimento das bancadas e preparação de componentes. Para além destas medições, foi ainda necessário definir as precedências de cada um dos passos inerentes ao processo de montagem de cada modelo estudado, bem como as aptidões de cada um dos operadores face a cada tarefa.

Para iniciar o processo de recolha, foram definidos como alvo os modelos mais produzidos, decisão essa que foi condicionada pelas produções efetuadas ao longo do estágio. Ou seja, apenas em produções grandes é que se reuniam condições e tempo suficientes para uma recolha completa e competente dos dados de produção, pelo que foi necessário adaptar a necessidade à realidade e priorizar não só os modelos mais produzidos, mas principalmente os modelos com grandes produções durante o período do estágio.

Numa primeira abordagem, e ainda durante a fase de integração na empresa, iniciou-se pelo acompanhamento do processo de recolha de tempos de produção para fins de cálculo do OEE dos diferentes setores. Esta análise era feita com base no tempo que cada operador demorava na realização do grupo de tarefas pelas quais era responsável,

sendo feita apenas uma única recolha, caso o processo decorre-se dentro da normalidade. Este método era tido como ineficiente, tendo em conta que seria pouco representativo da realidade da produção. Assim, para fins de balanceamento, optou-se por fazer uma recolha dos tempos de produção de cada uma das tarefas desempenhadas pelos operadores de linha, independentemente de quem era responsável por cada uma delas, de forma a conseguir obter não só uma lista de todas as etapas necessárias para a assemblagem de uma bicicleta, tabela 4.1, mas também o tempo necessário para a realização de cada uma delas. De forma a aproximar os valores da realidade foi definido um mínimo de seis recolhas para cada tarefa, tabela 4.2, de modo a obter um tempo médio de produção para cada uma delas. Para esta finalidade, foi criado um documento de forma a agilizar o registo dos dados recolhidos em linha, anexo A.1

Tabela 4.1: Lista de tarefas desempenhadas na linha de montagem

Passo	Tarefa
1	Colocar seat post clamp
2	Colocar bicicleta no carril
3	Desapertar stem + colocar guiador + apertar stem
4	Fixar travão frt + prender fio na forqueta
5	Colocar drop out
6	Colocar alinhador de corrente
7	Colocar descanso
8	Conectar display
9	Passar cabo de aço do alinhador de corrente
10	Fazer conexão do hidráulico (travão trs)
11	Colocar suporte do carter
12	Colocar chain wheel + fazer aperto
13	Colocar luz frt
14	Colocar guarda lamas frt
15	Fixar varetas do g. lamas frt
16	Fazer aperto da fixação luz - g. lamas frt
17	Abrir pastilhas travão trs
18	Colocar roda trs
19	Abrir pastilhas travão frt
20	Colocar roda frt
21	Colocar e apertar pedaleira
22	Colocar corrente
23	Afinar travão trs
23	Afinar travão frt
24	Afinar alinhador de corrente
25	Colocar carter
26	Fazer ligação motor-bateria
27	Colocar tampa no conector da bateria
28	Colocar mangas na zona de conexão com a bateria + fixar no quadro
29	Colocar mangas no cabo de luz frontal + fazer ligação + colocar manga térmica na conexão
30	Colocar mangas na fliação do guiador
31	Colocar bateria no suporte
32	Testagem
33	Colocar fitas de proteção
34	Colocar sensor na roda
35	Retirar SN + imprimir etiquetas + colar etiquetas
36	Abrir stem + rodar guiador + fechar stem + rodar travão eq
37	Colocar proteção no guiador e luz
38	Colocar espuma e acessórios no suporte + fixar
39	Colocar espuma de proteção no alinhador de corrente + fixar com abraçadeira
40	Colocar selim
41	Colar etiquetas na caixa
42	Colocar bicicleta na caixa
43	Colocar triângulos de cartão na caixa
44	Selar a caixa e guardar

Tabela 4.2: Tempos de produção recolhidos para cada uma das etapas (s)

Passo	Unid por Medição	Nº Medições	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6
1	1	6	14	17	14	18	10	14
2	1	6	12	24	14	15	24	23
3	1	6	34	28	52	32	34	45
4	1	6	13	14	12	19	15	24
5	1	6	26	15	11	17	13	14
6	1	6	7	8	9	13	10	9
7	1	6	18	18	17	26	20	17
8	1	6	8	13	9	12	7	6
9	1	6	15	13	18	12	15	16
10	1	6	94	102	93	99	114	100
11	1	6	31	27	25	24	26	31
12	1	6	21	22	31	22	19	21
13	3	6	23	26	26	32	25	30
14	1	6	15	12	14	21	11	15
15	1	6	17	22	20	21	17	21
16	1	6	11	11	15	12	11	11
17	1	6	10	17	13	8	7	11
18	1	6	42	31	27	44	39	37
19	1	6	8	9	10	12	10	14
20	1	6	34	46	29	40	30	35
21	1	6	40	39	46	43	46	49
22	1	6	36	38	33	37	35	34
23	1	6	17	82	50	20	25	75
24	1	6	17	62	25	20	31	42
25	1	6	77	35	56	37	58	55
26	1	6	40	38	49	41	46	48
27	1	6	30	27	28	35	27	29
28	1	6	46	54	28	49	55	47
29	1	6	36	59	57	71	42	72
30	1	6	70	68	86	76	93	94
31	1	6	109	112	100	107	102	138
32	1	6	13	8	14	21	10	15
33	1	6	127	157	110	148	85	118
34	1	6	32	20	25	29	28	26
35	1	6	26	16	20	18	22	13
36	1	6	117	111	102	100	127	175
37	1	6	36	36	41	54	47	40
38	1	6	19	18	22	28	24	25
39	1	6	2	25	27	28	25	20
40	1	6	20	25	18	13	15	17
41	1	6	10	12	10	14	13	9
42	1	6	31	36	35	40	30	33
43	1	6	42	40	33	34	36	38
44	1	6	8	5	6	7	10	9
45	1	6	32	43	34	37	39	40

Relativamente às aptidões individuais, esta informação foi recolhida e avaliada com recurso a matrizes de polivalência, anexo A.3, onde se agruparam as tarefas em três grupos A, B e C, que representam tarefas críticas, tarefas simples e tarefas básicas (de conhecimento obrigatório), respetivamente. A capacidade de cada operador foi categorizada de 0 a 4, correspondente a sem qualificação, com alguma qualificação, com qualificação, com muita qualificação e especialista, respetivamente.

No que se refere aos tempos de abastecimento e preparação dos componentes, apesar

de serem ações que não acrescentam valor ao produto final, foram incorporadas no processo como uma tarefa, dado que a responsabilidade recai sobre os operadores de linha. Na prática, procedeu-se à medição do tempo despendido pelos operadores no abastecimento de cada um dos componentes, tabela 4.3, registando-se no também a frequência com que cada componente era abastecido num dia típico de produção. A conjunção desses dados, aliada ao número de bicicletas produzidas diariamente, possibilita a obtenção de um indicador representativo do tempo alocado ao abastecimento por unidade de bicicleta produzida. O documento utilizado para o registo destes dados encontra-se representado no anexo A.4

Tabela 4.3: Tempo de abastecimento e preparação dos componentes

Passo	Tarefa	Unid por Medição	Nº Medições	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Nº abastecimentos
1	Seat post clamp	1	2	18	20				4
2	Drop out	1	2	27	25				2
3	Descanso	1	3	15	18	22			3
4	Alinhador de corrente	1	3	150	202	177			3
5	Luz frontal	1	4	152	137	148	175		3
6	Suporte do carter	1	2	344	362				2
7	Chain wheel	1	3	131	141	151			3
8	Pedaleira	1	5	141	92	100	97	103	13
9	Corrente	1	3	36	32	35			3
10	Carter	1	3	67	93	85			3
11	Tampa bateria	1	1	24					0.2
11	Quadros	1	4	46	47	53	45		5
15	Desempacotar baterias	2	2	70	74				1
16	Parafusos p\ g.lamas fit	4	5	38	25	22	27	23	1
17	luz fit	5	5	40	35	37	45	38	1
18	Cortar mangas	5	1	90					1

Relativamente às precedências, foram elaboradas tabelas de precedências, tabela 4.4, e gráficos de precedências, figura 4.1 para cada modelo analisado onde, tal como o nome sugere, foi definida a ordem pela qual cada tarefa ou grupo de tarefas deve ser efetuada ao longo de todo o processo de montagem, com base no conhecimento adquirido com o acompanhamento do mesmo.

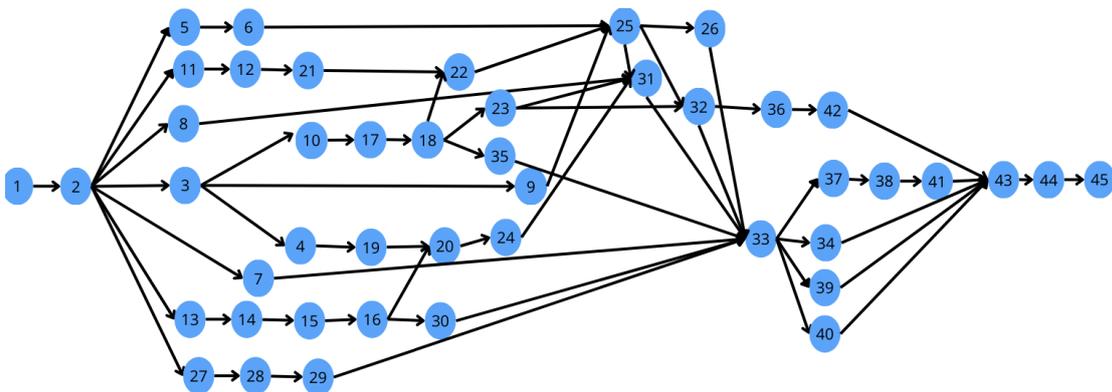


Figura 4.1: Diagrama de precedências

Tabela 4.4: Tabela de precedências

Passo	Tarefa	Precedências
1	Colocar seat post clamp	
2	Colocar bicicleta no carril	1
3	Desapertar stem + colocar guiador + apertar stem	2
4	Fixar travão frt + prender fio na forqueta	3
5	Colocar drop out	2
6	Colocar alinhador de corrente	5
7	Colocar descanso	2
8	Conectar display	3
9	Passar cabo de aço do alinhador de corrente	3
10	Fazer conexão do hidráulico (travão trs)	3
11	Colocar suporte do carter	2
12	Colocar chain wheel + fazer aperto	11
13	Colocar luz frt	2
14	Colocar guarda lamas frt	13
15	Fixar varetas do g. lamas frt	14
16	Fazer aperto da fixação luz - g.lamas frt	15
17	Abriir pastilhas travão trs	10
18	Colocar roda trs	6 17
19	Abriir pastilhas travão frt	4
20	Colocar roda frt	16 19
21	Colocar e apertar pedaleira	12
22	Colocar corrente	18 21
23	Afinar travão trs	18
24	Afinar travão frt	20
25	Afinar alinhador de corrente	6 9 22
26	Colocar carter	25
27	Fazer ligação motor-bateria	2
28	Colocar tampa no conector da bateria	27
29	Colocar mangas na zona de conexão com a bateira + fixar no quadro	28
30	Colocar mangas no cabo de luz frontal + fazer ligação + colocar manga térmica na conexão	16
31	Colocar mangas na fição do guiador	8 23 24 25
32	Colocar bateria no suporte	23 25
33	Testagem	7 26 30 31 32 35
34	Colocar fitas de proteção	33
35	Colocar sensor na roda	18
36	Retirar SN + imprimir etiquetas + colar etiquetas	32
37	Abriir stem + rodar guiador + fechar stem + rodar travão esq	33
38	Colocar proteção no guiador e luz	37
39	Colocar espuma e acessórios no suporte + fixar	33
40	Colocar espuma de proteção no alinhador de corrente + fixar com abraçadeira	33
41	Colocar selim	39
42	Colar etiquetas na caixa	36
43	Colocar bicicleta na caixa	34 38 40 41 42
44	Colocar triângulos de cartão na caixa	43
45	Selar a caixa e guardar	44
46	Abastecimento	
47	Juntar, cintar e arrumar caixas de produto acabado	45

Paralelamente, devido a este sistema de recolha, foi possível acelerar a integração no chão de fábrica e adquirir conhecimentos relativos ao modo de funcionamento da empresa, do setor e até mesmo de cada um dos operadores. Assim, conseguiu-se uma visão abrangente e completa de todo o processo e possíveis detalhes a este associado, configurando uma base sólida para as seguintes fases do balanceamento.

4.2 Tratamento de dados

Após a conclusão da fase de recolha de dados, deu-se início à etapa de tratamento, na qual se procedeu à organização, transformação e análise dos dados recolhidos, com vista no balanceamento de linha de montagem. Nesse contexto, a ferramenta que se destacou como a mais valiosa e eficaz foi o Microsoft Excel.

No que diz respeito aos tempos de produção, e usando como referência a folha de registo de tempos até então utilizada pela empresa, foi elaborado um documento dedicado ao registo e tratamento dos dados recolhidos, anexo A.2. Neste documento procedeu-se à inserção dos valores recolhidos e, de acordo com a quantidade de medições, n_m , realizadas e com a quantidade de operações, n_o , realizada por medição, efetuou-se o cálculo da média de tempo, \bar{t} , necessário para a conclusão de cada uma das tarefas (equação 4.1). Esta média, expressa em minutos, foi posteriormente convertida para valores unitários, $t_{unitario}$ utilizando a fórmula 4.2.

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{n_m \cdot n_o} \quad (4.1)$$

$$t_{unitario} = \frac{\bar{t}}{60} \quad (4.2)$$

Este processo foi aplicado a todas as tarefas, possibilitando assim a obtenção de informações relativas ao tempo de ciclo e *takt time*. Neste caso prático, o tempo de ciclo

corresponde à soma das médias de tempo de todas as etapas, ao passo que o *takt time* se refere ao tempo necessário para concluir a tarefa de maior duração.

É relevante ressaltar que o processo de recolha e processamento de dados foi realizado de igual forma não apenas para as linhas 1 e 2, que são duas linhas idênticas com objetivos congruentes, mas também para a linha 3, que, tal como referido anteriormente, é responsável pela componente elétrica das bicicletas produzidas. O estudo foi ainda alargado para mais modelos de bicicletas, num total de 5 modelos. É de notar que o processo foi em tudo análogo ao descrito, pelo que os restantes 4 modelos não são abordados neste relatório.

4.3 Balanceamento

Finalizado o tratamento dos dados recolhidos, iniciou-se o processo de balanceamento das linhas de montagem, respeitando o objetivo inicial de diminuir o desequilíbrio entre os trabalhadores e as cargas de trabalho. Para tal começou-se pela definição dos níveis de confiança e precisão junto da entidade de acolhimento, de onde resultou a imposição da utilização do maior tempo recolhido em cada uma das tarefas, e não do tempo médio.

Com o propósito de assegurar a conformidade no processo de equilíbrio da produção e uma vez que este foi o primeiro estudo de balanceamento realizado na fábrica, o cálculo do *takt time* não se baseou nos dados coletados, mas sim nos objetivos estabelecidos pela empresa. Por outras palavras, ao definir uma meta de produção diária e ao conhecer o tempo total de produção num dia típico de trabalho, é possível calcular o *takt time* através da aplicação da equação 4.3, abaixo apresentada. Neste caso prático, para cumprir com o objetivo diário de 140 bicicletas em cada uma das linhas 1 e 2, durante um período de oito horas (480 minutos), é necessário que, a cada 3.43 minutos, se considere concluída a produção de uma bicicleta.

$$\text{takt time} = \frac{T}{\text{objetivo de produção}} \quad (4.3)$$

Aprofundado o conhecimento de todo o processo de montagem em cada uma das linhas e recolhida toda a informação necessária, iniciou-se o processo de atribuição de tarefas a postos de trabalho. Dada a incerteza e complexidade associadas a este caso de estudo, optou-se pela aplicação de métodos heurísticos, em detrimento dos métodos analíticos. Tal como referido na secção 2.4, existe uma grande variedade de métodos heurísticos devido á individualidade de cada caso. Como tal, e sendo este um caso muito específico que apresenta muitas flutuações na produção, as tarefas foram atribuídas com base no *takt time* definido, nas capacidades, habituação e preferências dos operadores de cada linha de montagem, na disponibilidade de mão-de-obra e respeitando as precedências de cada tarefa. No agrupamento das tarefas foi ainda valorizada a zona da bicicleta alvo de alterações em cada posto, de forma a evitar deslocamentos desnecessários por parte dos operadores e também para facilitar o trabalho simultâneo de dois operadores na mesma bicicleta, sem obstaculizar o processo de montagem. Para contribuir para um ambiente inclusivo e para a difusão de conhecimento, os chefes de linha foram não só incluídos no processo de seleção dos operadores mais indicados para cada posto de trabalho, mas também foram questionados relativamente à atribuição de tarefas. Assim, o processo de

balanceamento propriamente dito foi um processo iterativo que procurou minimizar e igualar o tempo livre em cada posto de trabalho, de cada linha de montagem.

Tal como já foi referido, o abastecimento da linha de montagem foi considerado como uma atividade independente, apesar de não contribuir para o valor agregado do produto. Esta foi atribuída a um operador, cuja a única responsabilidade era desembalar e abastecer todos os postos de trabalho com os componentes e materiais necessários para a produção, retirando assim essa responsabilidade aos restantes operadores. Ou seja, contrariamente ao que havia sido estipulado pela empresa, em que os próprios operadores tinham de se deslocar às paletes que continham as caixas de componentes, desempacotá-los, abastecer as bancadas e gerir a reciclagem de resíduos, essa responsabilidade foi confiada a um outro operador que não participa no processo de montagem. De forma análoga, a tarefa de juntar, cintar e arrumar o produto acabado em paletes foi delegada a um colaborador que não desempenha mais funções em linha. Ao realocar mão-de-obra que participava na montagem de bicicletas, para tarefas improdutivas, procurou-se um melhor aproveitamento do tempo de trabalho dos operadores que se mantiveram no processo.

O número de postos de trabalho necessários, não foi um valor calculado, mas sim uma consequência do processo de balanceamento, com consideração na distribuição temporal, no processo de abastecimento da linha de montagem e nas tarefas atribuídas ao posto.

Para auxiliar no processo, foi desenvolvido um documento que permite visualizar de forma intuitiva a atribuição das tarefas e a distribuição temporal pelos diversos postos de trabalho, contribuindo assim na vertente iterativa, em que a técnica da tentativa-erro foi muito utilizada. Este ficheiro, apresentado no anexo A.5 resume-se a uma tabela onde se registou manualmente as tarefas e os respetivos tempos de produção que, por sua vez, foram subtraídos ao *takt time*.

Na figura 4.2, são comparados os cenários inicial, para uma produção de 140 bicicletas, e final, para uma produção de 100 bicicletas, da distribuição de tarefas por posto de trabalho. No estado final do balanceamento conseguiu-se uma distribuição temporal por posto de trabalho mais homogênea e uma atribuição de tarefas mais seletiva. Testemunhou-se ainda uma diminuição do número de postos de trabalho. É de notar que, na configuração inicial, para alguns casos, tinham sido atribuídos mais do que um operador para cada posto de trabalho, condição que não foi aplicada ao balanceamento final, demonstrando uma redução ainda maior de necessidade de MOD.

Cenário final				Cenário inicial				
Posto	Tarefa	Tempo (s)	Tempo livre (s)	Posto	Tarefa	Tempo (s)	Tempo livre (s)	
1	3	0,87	2,56	1	3	0,87	3,93	
	4	0,4	2,16		4	0,4	3,53	
	8	0,22	1,94		5	0,43	3,10	
	9	0,3	1,64		6	0,22	2,88	
	13	0,18	1,46		7	0,43	2,45	
	14	0,35	1,11		8	0,22	2,23	
	15	0,37	0,74		9	0,3	1,93	
	16	0,25	0,49					
2	10	1,9	1,53	2	13	0,18	4,62	
	11	0,52	1,01		14	0,35	4,27	
	12	0,52	0,49		15	0,37	3,90	
	5	0,43	0,06		16	0,25	3,65	
3	17	0,28	3,15	3	10	1,9	2,90	
	18	0,73	2,42					
	20	0,77	1,65		4	11	0,52	4,28
	21	0,82	0,83			12	0,52	3,76
	35	0,43	0,40			17	0,28	3,48
6	0,22	0,18	18	0,73		2,75		
4	22	0,63	2,80	5	19	0,23	4,57	
	23	1,37	1,43		20	0,77	3,80	
	24	1,03	0,40		21	0,82	2,98	
5	25	1,28	2,15	6	22	0,63	2,35	
	27	0,58	1,57		23	1,37	3,43	
	28	0,92	0,65		24	1,03	2,40	
	7	0,43	0,22		25	1,28	1,12	
6	26	0,82	2,61	7	26	0,82	3,98	
	31	2,3	0,31		27	0,58	3,40	
7	29	1,2	2,23		28	0,92	2,48	
	30	1,57	0,66		29	1,2	1,28	
	32	0,35	0,31	30	1,57	3,23		
8	33	2,62	0,81	8	31	2,3	0,93	
					32	0,35	0,58	
9	36	2,92	0,51	9	35	0,43	4,37	
					33	2,62	1,75	
10	34	0,53	2,90	10	36	2,92	1,88	
	37	0,9	2,00					
	38	0,47	1,53		11	37	0,9	3,90
	39	0,47	1,06			38	0,47	3,43
	40	0,42	0,64			34	0,53	4,27
11	41	0,23	3,20	12	39	0,47	3,80	
	42	0,67	2,53		40	0,42	3,38	
	43	0,7	1,83					
	44	0,17	1,66		13	41	0,23	4,57
	45	0,72	0,94			42	0,67	3,90
	1	0,3	0,64			43	0,7	3,20
2	0,4	0,24	44	0,17		3,03		
12	46	0,59	2,84	45	0,72	2,31		
	47	2,28	0,56	1	0,3	2,01		
				2	0,4	1,61		

Figura 4.2: Comparação entre os cenários finais e iniciais da atribuição de tarefas a postos de trabalho

4.4 Organização das linhas de montagem

Finalizado o processo de alocação de tarefas aos postos de trabalho, procedeu-se ao estudo da disposição física desses postos ao longo da linha de montagem. Começando pela análise dos elementos que circundam e compõem a linha de montagem, tal como foi referido na secção 3.3, observa-se que esta está equipada com várias bancadas designadas para a colocação das ferramentas necessárias, bem como para a disposição dos próprios componentes. Os restantes componentes, particularmente aqueles que passaram por um processo prévio de transformação na pré-montagem, são introduzidos na linha de montagem por meio de carrinhos. No que diz respeito aos consumíveis e às baterias, estes são abastecidos diretamente a partir do armazém, sendo os consumíveis acondicionados em caixotes e as baterias em paletes. O resíduo gerado durante o desembalamento dos componentes e ao longo do processo de montagem é devidamente separado para fins de reciclagem, sendo depois recolhido pela equipa de logística do armazém.

No âmbito desta investigação, foram devidamente contemplados os seguintes elementos: o espaço disponível e o espaço necessário, as margens destinadas a eventuais atrasos, as tarefas desempenhadas em cada posto de trabalho e as implicações decorrentes do abastecimento de componentes e da gestão de resíduos. Como tal, procurou-se estabelecer uma organização que garantisse uma distribuição eficaz do espaço de forma a minimizar deslocamentos e distrações, e assim aumentar a eficiência da linha. Neste caso prático, dado que a linha de montagem dispões de várias tomadas elétricas, e é alimentada por um sistema de ar pressurizado em toda a sua extensão, foi possível reorganizar a distribuição espacial dos postos de trabalho e de todos os elementos constituintes da linha.

Avaliados todos estes parâmetros, foi elaborado uma proposta e um esquema a afixar na linha para servir de guia para todos os operadores, figura 4.3 b). Numa análise comparativa com o original, figura 4.3 a), e tendo em conta que a distribuição previamente utilizada se baseava apenas na experiência dos colaboradores, foram feitas numerosas alterações. No caso dos caixotes de resíduos, foi adicionado um, uma vez que apenas existia um numa das pontas da linha, longe do local de desembalamento dos componentes. Foram removidas duas bancadas consideradas desnecessárias e outra foi atribuída ao departamento de qualidade para facilitar o controlo em linha. Os restantes elementos, foram movimentados de forma a cumprir com as necessidades do processo produtivo.

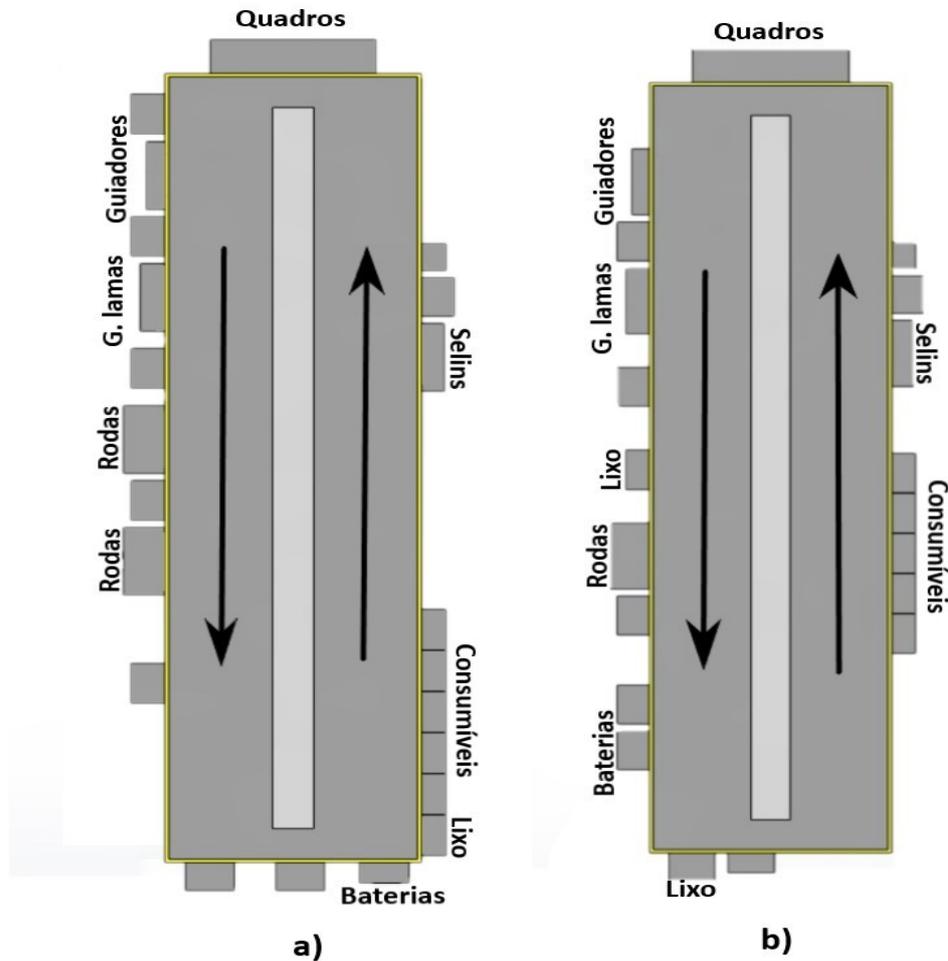


Figura 4.3: a) *Display* original da linha de montagem; b) *Display* alterado da linha de montagem

4.5 Validação com software

De forma a comparar e validar o estudo desenvolvido, foi utilizado o software supracitado, denominado de POM QM, que apresenta enúmeras funcionalidades, sendo uma delas a do balanceamento de linhas. A utilização deste baseia-se na introdução dos dados recolhidos referentes ao número de tarefas e ao tempo e precedência de cada uma delas, figura 4.4. Isto, juntamente com o tempo disponível de produção e quantidade de bicicletas a produzir, permite obter uma proposta completa de balanceamento baseada no método heurístico selecionado para reger a resposta do software.

Introduzidos os dados e calculada uma solução, é obtida uma tabela com a distribuição das tarefas por cada posto de trabalho, figura 4.5, e são calculados vários parâmetros relevantes para o processo de balanceamento. Particularizando, é definido o número de

Decision Rule		Cycle time computation				Work element	
Longest work element		Given	140	units per	480	seconds	minutes
		Computed				minutes	hours
WORK ELEMENT	Minutes	Predessor 1	Predessor 2	Predessor 3	Predessor 4	Predessor 5	Predessor 6
1	.3						
2	.4	1					
3	.87	2					
4	.4	3					
5	.43	2					
6	.22	5					
7	.43	2					
8	.22	3					
9	.3	3					
10	1.9	3					
11	.52	2					
12	.52	11					
13	.18	2					
14	.35	13					
15	.37	14					
16	.25	15					
17	.28	10					
18	.73	17	6				
19	.23	4					
20	.77	19	16				
21	.62	12					
22	.63	21	18				
23	1.37	18					
24	1.03	20					
25	1.28	6	9	22			
26	.82	25					
27	.58	2					
28	.92	27					
29	1.2	28					
30	1.57	16					
31	2.3	6	23	24	25		
32	.35	23	25				
33	2.62	7	26	30	31	32	35
34	.53	33					
35	.43	18					
36	2.92	32					
37	.9	33					
38	.47	37					
39	.47	33					
40	.42	33					
41	.23	39					
42	.67	36					
43	.7	34	38	40	41	42	
44	.17	43					
45	.72	44					
46	.59						
47	2.28	45					

Figura 4.4: Tabela de introdução de valores no software *POM QM*

postos de trabalho e são calculados o tempo atribuído através da fórmula 4.4, o tempo necessário através da fórmula 4.5, e a eficiência final da linha através do quociente entre estes dois (fórmula 4.6).

$$\text{tempo atribuído} = \text{takt time} \cdot n^{\circ} \text{ de postos} \quad (4.4)$$

$$\text{tempo necessário} = \sum t_{\text{tarefas}} \quad (4.5)$$

$$\text{eficiência da linha} = \frac{\text{tempo necessário}}{\text{tempo atribuído}} \quad (4.6)$$

Os valores obtidos permitem fazer uma análise comparativa com o processo manual até então desenvolvido, apesar de serem dados que não correspondem inteiramente à realidade da fábrica devido às limitações do próprio software. Serve de exemplo a atribuição de tarefas por postos de trabalho, em que fatores pessoais e físicos não são considerados.

4.6 Resultado e análise do balanceamento

Após apresentação das propostas, validação com recurso ao software e discussão junto da entidade de acolhimento, foi selecionado uma produção para a realização do teste experimental referente ao estudo de balanceamento. Como tal, contando com a colaboração

Station	Work element	Time (minutes)	Time left (minutes)	Ready work elements
1	46	,59	2,84	1
	1	,3	2,54	2
	2	,4	2,14	3, 5, 7, 11, 13,
	3	,87	1,27	5, 7, 11, 13,
	27	,58	,69	5, 7, 11, 13, 4,
	11	,52	,17	5, 7, 13, 4, 8,
2	10	1,9	1,53	5, 7, 13, 4, 8,
	28	,92	,61	5, 7, 13, 4, 8,
	12	,52	,09	5, 7, 13, 4, 8,
3	29	1,2	2,23	5, 7, 13, 4, 8,
	21	,82	1,41	5, 7, 13, 4, 8,
	5	,43	,98	7, 13, 4, 8, 9,
	7	,43	,55	13, 4, 8, 9, 17,
	4	,4	,15	13, 8, 9, 17, 6,
4	9	,3	3,13	13, 8, 17, 6,
	17	,28	2,85	13, 8, 6, 19
	19	,23	2,62	13, 8, 6
	8	,22	2,4	13, 6
	6	,22	2,18	13, 18
	18	,73	1,45	13, 22, 23, 35
	23	1,37	,08	13, 22, 35
5	22	,63	2,8	13, 35, 25
	25	1,28	1,52	13, 35, 26, 32
	26	,82	,7	13, 35, 32
	35	,43	,27	13, 32
	13	,18	,09	32, 14
6	32	,35	3,08	14, 36
	36	2,92	,16	14, 42
7		42	,67	2,76
		14	,35	2,41
		15	,37	2,04
		16	25	1,79
		30	1,57	,22
8		20	,77	2,66
		24	1,03	1,63
9		31	2,3	1,13
10		33	2,62	,81
		34	,53	,28
11		37	,9	2,53
		39	,47	2,06
		38	,47	1,59
		40	,42	1,17
		41	,23	,94
		43	,7	,24
		44	,17	,07
12		45	,72	2,71
		47	2,28	,43
Summary Statistics				
Cycle time	3,43	minutes		
Min (theoretical) # of stations	11			
Actual # of stations	12			
Time allocated (cycle time * # stations)	41,14	minutes/cycle		
Time needed (sum of task times)	36,66	minutes/unit		
Idle time (allocated-needed)	4,48	minutes/cycle		
Efficiency (needed/allocated)	89,1%			
Balance Delay (1-efficiency)	10,9%			

Figura 4.5: Tabela do balanceamento no software POM QM

dos responsáveis do departamento da montagem, bem como dos operadores e chefes de linha, foi possível aplicar todas as alterações físicas e organizacionais sugeridas numa das linhas de montagem.

De modo geral, apesar da existência de limitações e flutuações a nível do MOD disponível e do período de experimentação não ser tão longo quanto expectável, o processo de balanceamento de linhas desenrolou-se sem complicações muito significativas, culminando num teste prático considerado um sucesso. Do ponto de vista do aproveitamento do MOD, conseguiu-se uma boa distribuição do volume de trabalho pelos diferentes postos. Esta, juntamente com o cuidado de delegar tarefas pelos operadores de acordo com as suas preferências e aptidões individuais, resultou num ambiente profissional de motivação e cooperação, favorável para produção. Devido ao ajuste do abastecimento de acordo com as necessidades de cada posto de trabalho, à implementação de um sistema melhorado de recolha de resíduos da linha e à atribuição da responsabilidade de abastecimento das bancadas a um operador externo ao processo de montagem, conseguiu-se uma diminuição do deslocamento por parte dos profissionais. Consequentemente, verificou-se uma diminuição na ocorrência de distrações ao longo de cada dia de trabalho, uma redução do nível de cansaço individual e um melhor aproveitamento do tempo disponível para produção. Paralelamente, alcançou-se um ambiente mais organizado da linha de montagem, com uma divisão mais clara do posicionamento de cada posto de trabalho.

Como resultado, conseguiu-se um aumento generalizado da moral, em que os operadores se sentiram valorizados, uma vez que todos tiveram envolvimento no processo de balanceamento, as necessidades expressas durante este período foram todas atendidas e o trabalho foi distribuído de forma semelhante por todos. Os responsáveis ficaram também moralizados com a aplicação do estudo uma vez que se testemunhou um ambiente de concentração e, acima de tudo, organizado.

Como consequência das alterações, durante o período de testes, testemunhou-se um aumento na produção diária de bicicletas face ao restante mês, representado no gráfico da figura 4.6, onde é possível visualizar um pico de produção nos dias 27, 28 e 29. De um ponto de vista quantitativo, durante esse período, testemunhou-se um aumento de

40.68% da produção diária da linha 2 e um aumento de 32.6% na produção diária geral da unidade fabril, face à média de produção dos primeiros 16 dias do mesmo mês.

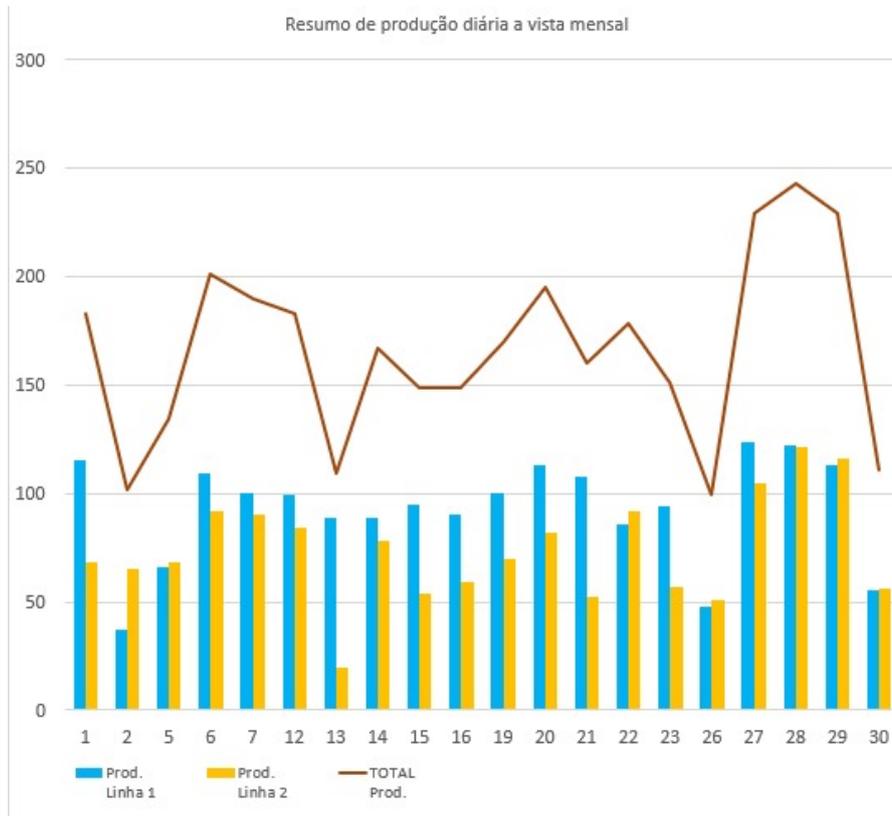


Figura 4.6: Vista mensal do resumo de produção diária

Parte V

Outros trabalhos

Capítulo 5

Outros trabalhos

Neste capítulo vão ser abordados os restantes trabalhos desenvolvidos durante o período de estágio.

5.1 Moldes para injeção de silicone

No setor de pintura, são utilizadas peças de silicone facilmente removíveis e de uso genérico para evitar pinturas indesejadas em certas regiões dos quadros das bicicletas. No entanto, apesar destas peças solucionarem parte do problema em questão, ainda se mostram bastante limitadas pelo sua aplicação não especializada. Assim, a fim de minimizar estes erros de produção, optou-se por redesenhar as peças de silicone para cada caso específico e, com isto, conseguir-se uma cobertura mais eficiente das áreas a serem preservadas, eliminando a necessidade de utilização de máscaras.

Posto isto, propôs-se a elaboração de protótipos a fim de realizar ensaios de funcionais e de encaixe para, à posteriori, requisitar a fabricação das mesmas recorrendo a entidades externas. Assim, foram desenvolvidos modelos CAD, com recurso ao software *SolidWorks*, em conformidade com as características geométricas e dimensionais dos quadros, mais especificamente, das áreas em que as peças seriam empregadas. Os modelos CAD estão disponíveis para consulta no anexo B.1.

Finalizado o processo de modelação, os moldes foram produzidos com recurso a uma impressora 3D, utilizando PET-G como matéria-prima, figuras 5.1 e 5.2.



Figura 5.1: Molde para peça do tubo principal do quadro



Figura 5.2: Molde para peça do suporte do travão

Por ultimo, os moldes foram assemblados e injetado silicone para o interior dos mesmos, iniciando-se uma fase de repouso de material. Como resultado final obtiveram-se s peças pretendidas que se provaram úteis e funcionais, figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

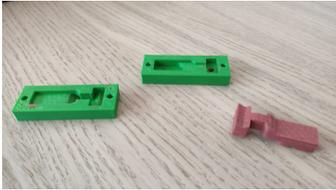


Figura 5.3: Molde e respectiva peça para a área do tensor



Figura 5.4: Molde e respectiva peça para o tubo principal do quadro



Figura 5.5: Molde e respectiva peça para o suporte do travão

5.2 Proposta de layout da fabrica

Em conjunto com o diretor de fábrica da entidade de acolhimento, foi apresentada uma proposta de modificação do *layout* da unidade fabril. Com isto, pretendeu-se otimizar o fluxo de componentes em processo (*WIP*), tendo em conta as modificações organizacionais pendentes, nomeadamente, a implementação de uma nova linha de montagem, a construção de um novo armazém, a implementação de um "supermercado", entre outros.

Posto isto, no anexo B.3, será apresentada a proposta realizada, em comparação com a sua versão original, anexo B.2.

5.3 Dashboards da qualidade

Com o propósito de iniciar a elaboração e apresentação mensal de relatórios referentes ao controle de qualidade, procurou-se otimizar a consulta e tratamento dos dados recolhidos pelos técnicos da qualidade, na linha de montagem. Para tal, partiu-se de uma base de dados originada de um formulário da Microsoft forms e exportada para um arquivo Excel, com recurso a um processo automatizado no Power Automate. Através do Power Query, realizou-se a transformação e filtragem dos dados pertinentes para o desenvolvimento dos relatórios, como ilustrado na figura 5.6. Simultaneamente, implementou-se um sistema de pesquisa baseado em filtros (figura 5.7) para agilizar a consulta de dados e a criação de *dashboards* (figura 5.8). Este procedimento teve como foco os registos relacionados às bicicletas "NOK," à auditoria de apertos e ao controle em linha.

De notar que, de acordo com as políticas internas da empresa, parte da informação das figuras foram censuradas, sendo meramente representativas.

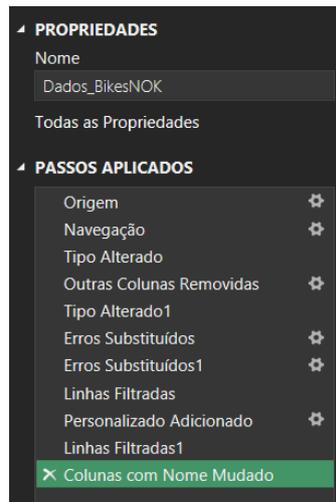


Figura 5.6: Resumo do *Power Query* das alterações efetuadas na base da dados

ID	Hora de conclusão	Line // Linha	Model // Modelo	OF	Origem // Origem	Mês
230	09/05/2023 11:29	2		10000	Assembly	5
231	09/05/2023 12:21	2		10000	Supply	5
241	09/05/2023 15:41	2		10000	Supply	5
245	09/05/2023 17:17	2		10000	Non Identified	5
263	10/05/2023 16:46	2		10000	Assembly	5
264	10/05/2023 16:50	2		10000	Supply	5
265	10/05/2023 16:53	2		10000	Supply	5
266	10/05/2023 16:55	2		10000	Supply	5
267	10/05/2023 16:58	2		10000	Supply	5
268	10/05/2023 16:59	2		10000	Assembly	5
269	10/05/2023 17:01	2		10000	Assembly	5
270	10/05/2023 17:03	2		10000	Supply	5
271	10/05/2023 17:06	2		10000	Assembly	5
272	10/05/2023 17:08	2		10000	Supply	5
273	10/05/2023 17:11	2		10000	Assembly	5
274	10/05/2023 17:13	2		10000	Supply	5
275	10/05/2023 17:16	2		10000	Assembly	5
276	10/05/2023 17:19	2		10000	Assembly	5
277	10/05/2023 17:21	2		10000	Assembly	5
283	11/05/2023 12:27	2		1001	Assembly	5
284	11/05/2023 12:28	2		1001	Supply	5
285	11/05/2023 13:57	2		1001	Paint	5
287	11/05/2023 17:05	2		1001	Assembly	5
288	11/05/2023 17:06	2		1001	Assembly	5
303	15/05/2023 13:47	2		1001	Supply	5
304	15/05/2023 13:54	2		1001	Supply	5
305	15/05/2023 13:55	2		1001	Assembly	5
306	15/05/2023 13:56	2		1001	Supply	5
419	23/05/2023 11:35	2		1001	Assembly	5
420	23/05/2023 11:35	2		1001	Assembly	5
421	23/05/2023 11:37	2		1001	Assembly	5
471	24/05/2023 15:11	2		1001	Assembly	5
472	24/05/2023 15:13	2		1001	Assembly	5

Figura 5.7: Apresentação do filtro de pesquisa

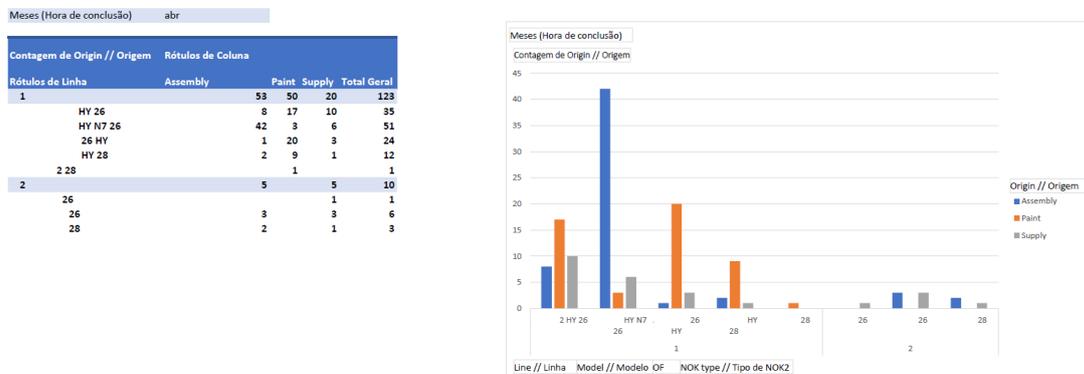


Figura 5.8: Apresentação do filtro de pesquisa

5.4 Instruções de trabalho

Feita a atribuição de tarefas por postos de trabalho, foram desenvolvidas instruções de trabalho. Estas contam com informação esquematizada e sequencial do processo de montagem, com descrições de cada uma das tarefas a desenvolver, e com fotografias alusivas a cada etapa. Deste modo facilita-se a obtenção de informação por parte de todos os operadores, acelera-se o processo de integração de novos colaboradores e contribui-se para a eliminação de possíveis divergências do processo de montagem. Nas figuras 5.9 e 5.10, é demonstrado um exemplo de uma instrução de trabalho:

INSTRUÇÃO DE TRABALHO Modelo		IT.040.00 Pág. 1 de 15	Revisão:0
Posto: Posto 1			
Modelo:			
1- Desapertar stem + colocar guiador + apertar stem			
			
2-Fixar travão da frente + prender cabo do travão na forqueta			
			
3- Conectar display			
			
4- Passar cabo de aço do alinhador de corrente			
5- Colocar luz frontal			
			
Elaborado por:		Aprovado por:	
Pedro Fernandes			

Figura 5.9: Exemplo de instrução de trabalho (pag 1)

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Modelo	II.040.00 Pág. 2 de 15	Revisão:0
--	---	---------------------------	-----------

Posto: Posto 1

Modelo:

6- Colocar guarda-lamas frontal



7-Fixar valetas do guarda-lamas frontal (3 - 5 Nm)



8- Fazer aperto da fixação luz - guarda lamas frontal



9- Abrir pastilhas do travão frontal



Elaborado por:	Aprovado por:
<i>Pedro Fernandes</i>	

Figura 5.10: Exemplo de instrução de trabalho (pag 2)

Página intencionalmente branca.

Parte VI

Conclusões

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Análise e discussão

No trabalho apresentado procurou-se dar resposta às dificuldades sentidas na entidade de acolhimento, no âmbito do processo de montagem de bicicletas. Para tal, recorreu-se a ferramentas *Lean, Agile* e ao estudo de tempos e processos produtivos.

De modo a melhorar o processo produtivo adotado pela empresa, foi desenvolvido um estudo de balanceamento das linhas de montagem, com o intuito de distribuir equitativamente a carga de trabalho pelos diferentes operadores, gerir os recursos disponíveis de forma otimizada e, assim, cumprir com os objetivos de produção. Com este contribui-se ainda para a definição do MOD necessário para cada modelo de bicicleta.

De um ponto de vista crítico, uma das maiores dificuldades sentidas durante o processo de balanceamento, foi a instabilidade associada à rotina do trabalho. Isto é, devido à falta de mão de obra e ao aparecimento de situações atípicas e inesperadas, surgiu a necessidade de realocar os operadores, com o intuito de responder às mesmas, provocando assim, uma rotatividade não desejada. Esta compromete a eficiência dos operadores, contraria o aumento de rendimento associado a tarefas repetitivas e impossibilita a definição de um número exato de profissionais para fins de balanceamento. Um exemplo de solução para esta problemática seria a proibição de rotatividade de operadores entre setores, limitando-a às linhas de montagem.

Relativamente ao sistema de recolha de dados, apesar de este ter sido melhorado relativamente ao inicialmente utilizado na empresa, este não é suficiente para a realização de um estudo de balanceamento de linhas de montagem mais aprofundado e mais representativo da realidade.

Elaborado o balanceamento e efetuada a validação com recurso ao software POM QM, foi redefinida a organização espacial das linhas de montagem e o processo de abastecimento das mesmas. Através destas implementações foi possível reduzir as movimentações e conferir melhor aproveitamento do tempo dos operadores. Paralelamente, foi feita a reorganização das bancadas para disposição de ferramentas e componentes, conseguindo-se um aumento na eficiência dos integrantes da linha.

Foram desenvolvidas instruções de trabalho, de forma a padronizar o processo produtivo, e assim diminuir a probabilidade de ocorrência de erros ao longo do mesmo. Estas serviram também de base de aprendizagem para operadores inexperientes, mas também de consulta para os restantes.

Todas estas alterações impactaram positivamente a produtividade da empresa, cum-

prindo assim com o objetivo inicial do projeto de estágio. Assim, conclui-se que, à semelhança do que foi defendido na bibliografia consultada, estudos de balanceamento e implementação de ferramentas *Lean* e *Agile*, são fatores determinantes para a evolução do setor produtivo das empresas.

6.2 Sugestões de melhoria

Finalizado o período de estágio, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria associadas à temática abordada ao longo deste relatório. Posto isto, será exposta uma enumeração de propostas de trabalhos a realizar no futuro:

1. Alargar o processo de balanceamento para mais modelos de bicicletas;
2. Automatizar o processo de balanceamento, tendo em conta as características do processo produtivo deste caso prático;
3. Desenvolver um projeto de otimização do balanceamento da linha de montagem;
4. Realizar um estudo de balanceamento para mais setores da fábrica;
5. Melhorar o processo de recolha de resíduos na linha de montagem;
6. Sinalizar o posicionamento de cada posto de trabalho;
7. Implementar uma recolha de dados automatizada que permita o desenvolvimento de uma base de dados completa que potencie um balanceamento mais rigoroso e fidedigno.

Apêndice A

Anexo 1

A.1 Documento de registos de recolhas de tempos de produção

Seqüência de Montagem de Bicicleta

Setor: _____
Modelo: _____

Nº de operadores: _____

Passo	Tarefa	Unid por Medição	Nº Medições	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
Total de Tempos de OPERAÇÃO									

Figura A.1: Documento de registos de recolhas de tempos de produção

A.2 Tempos de produção

Sequência de Montagem de Bicicleta

Sector: Linha de Montagem
Modelo:
Referência: XXXXXXX

Pas so	Tarefa	Unid por Medição	Nº Mediçõe s	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6	Média	Tempo Unit. (min)	Operação	Transporte
1	Colocar seat post clamp	1	6	14	17	14	18	10	14	18,0	0,30	●	↕
2	Colocar bicicleta no carril	1	6	12	24	14	15	24	23	24,0	0,40	●	↕
3	Desapertar suem + colocar guiador + apertar	1	6	34	28	52	32	34	45	52,0	0,87	●	↕
4	Fixar travão fit + prender fio na forqueta	1	6	13	14	12	19	15	24	24,0	0,40	●	↕
5	Colocar drop out	1	6	26	15	11	17	13	14	26,0	0,43	●	↕
6	Colocar alinhador de corrente	1	6	7	8	9	13	10	9	13,0	0,22	●	↕
7	Colocar descanso	1	6	18	18	17	26	20	17	26,0	0,43	●	↕
8	Conectar display	1	6	8	13	9	12	7	6	13,0	0,22	●	↕
9	Passar cabo de aço do alinhador de corrente	1	6	15	13	18	12	15	16	18,0	0,30	●	↕
10	Fazer conexão do hidráulico (travão trs)	1	6	94	102	93	99	114	100	114,0	1,90	●	↕
11	Colocar suporte do carter	1	6	31	27	25	24	26	31	31,0	0,52	●	↕
12	Colocar chain wheel + fazer aperto	1	6	21	22	31	22	19	21	31,0	0,52	●	↕
13	Colocar luz fit	3	6	23	26	26	32	25	30	10,7	0,18	●	↕
14	Colocar guarda lamas fit	1	6	15	12	14	21	11	15	21,0	0,35	●	↕
15	Fixar varetas do g. lamas fit	1	6	17	22	20	21	17	21	22,0	0,37	●	↕
16	Fazer aperto da fixação luz - g.lamas fit	1	6	11	11	15	12	11	11	15,0	0,25	●	↕
17	Abriir pastilhas travão trs	1	6	10	17	13	8	7	11	17,0	0,28	●	↕
18	Colocar roda trs	1	6	42	31	27	44	39	37	44,0	0,73	●	↕
19	Abriir pastilhas travão fit	1	6	8	9	10	12	10	14	14,0	0,23	●	↕
20	Colocar roda fit	1	6	34	46	29	40	30	35	46,0	0,77	●	↕
21	Colocar e apertar pedaleira	1	6	40	39	46	43	46	49	49,0	0,82	●	↕
22	Colocar corrente	1	6	36	38	33	37	35	34	38,0	0,63	●	↕
23	Afinar travão trs	1	6	17	82	50	20	25	75	82,0	1,37	●	↕
24	Afinar travão fit	1	6	17	62	25	20	31	42	62,0	1,03	●	↕
25	Afinar alinhador de corrente	1	6	77	35	56	37	58	55	77,0	1,28	●	↕
26	Colocar carter	1	6	40	38	49	41	46	48	49,0	0,82	●	↕
27	Fazer ligação motor-bateria	1	6	30	27	28	35	27	29	35,0	0,58	●	↕
28	Colocar tampa no conector da bateria	1	6	46	54	28	49	55	47	55,0	0,92	●	↕
29	Colocar mangas na zona de conexão com a bateria + fixar no quadro	1	6	36	59	57	71	42	72	72,0	1,20	●	↕
30	Colocar mangas no cabo de luz frontal + fazer ligação + colocar manga térmica na conexão	1	6	70	68	86	76	93	94	94,0	1,57	●	↕
31	Colocar mangas na fiação do guiador	1	6	109	112	100	107	102	138	138,0	2,30	●	↕
32	Colocar bateria no suporte	1	6	13	8	14	21	10	15	21,0	0,35	●	↕
33	Testagem	1	6	127	157	110	148	85	118	157,0	2,62	●	↕
34	Colocar fitas de proteção	1	6	32	20	25	29	28	26	32,0	0,53	●	↕
35	Colocar sensor na roda	1	6	26	16	20	18	22	13	26,0	0,43	●	↕
36	Neutralize + imprimir etiquetas + colar	1	6	117	111	102	100	127	175	175,0	2,92	●	↕
37	Abriir suem + colocar guiador + fechar suem +	1	6	36	36	41	54	47	40	54,0	0,90	●	↕
38	Colocar proteção no guiador e luz	1	6	19	18	22	28	24	25	28,0	0,47	●	↕
39	Colocar espuma e acessórios no suporte + fixar	1	6	2	25	27	28	25	20	28,0	0,47	●	↕
40	Colocar espuma de proteção no alinhador de corrente + fixar com abraçadeira	1	6	20	25	18	13	15	17	25,0	0,42	●	↕
41	Colocar selim	1	6	10	12	10	14	13	9	14,0	0,23	●	↕
42	Colar etiquetas na caixa	1	6	31	36	35	40	30	33	40,0	0,67	●	↕
43	Colocar bicicleta na caixa	1	6	42	40	33	34	36	38	42,0	0,70	●	↕
44	Colocar triângulos de cartão na caixa	1	6	8	5	6	7	10	9	10,0	0,17	●	↕
45	Selar a caixa e guardar	1	6	32	43	34	37	39	40	43,0	0,72	●	↕
46	Abastecimento juntar, cintar e arrumar caixas de produto										2,28	○	↕
	Total de Tempo de OPERAÇÃO										36,57	●	↕

Dados de Produção do Modelo		Tempo min
Takt Time	X	2,92 min
Lead Time		36,57 min

Figura A.2: Documento para tratamento de dados relativos aos tempos de produção

A.4 Tarefas improdutivas

Sequência de Montagem de Bicicleta

Sector: Linha de Montagem
Modelo: XXXXXXX
Referência: XXXXXXX

Passo	Tarefa	Unid por Medição	Nº Medições	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Nº abastecimentos	Média	Tempo Unid. (min)	Tempo de abastecimento por bicicleta
1	Seat post clamp	1	2	18	20				4	20,0	0,33	0,01
2	Drop out	1	2	27	25				2	27,0	0,45	0,01
3	Descanso	1	3	15	18	22			3	22,0	0,37	0,01
4	Alinhador de corrente	1	3	150	202	177			3	202,0	3,37	0,06
5	Luz frontal	1	4	152	137	148	175		3	175,0	2,92	0,06
6	Supporte do carter	1	2	344	362				2	362,0	6,03	0,08
7	Chain wheel	1	3	131	141	151			3	151,0	2,52	0,05
8	Pedaleira	1	5	141	92	100	97	103	13	141,0	2,35	0,19
9	Corrente	1	3	36	32	35			3	36,0	0,60	0,01
10	Carter	1	3	67	93	85			3	93,0	1,55	0,03
11	Tampa bateria	1	1	24					0,2	24,0	0,40	0,00
11	Quadros	1	4	46	47	53	45		5	53,0	0,88	0,03
15	Desembarotar baterias	2	2	70	74				1	77,0	0,62	0,00
16	Parafusos p. g.lamas fit	4	5	38	25	22	27	23	1	9,5	0,16	0,00
17	Luz fit	5	5	40	35	37	45	38	1	9,0	0,15	0,00
18	Cortar mangas	5	1	90					1	18,0	0,30	0,00
Total de Tempo de OPERAÇÃO												
12	10 nivel	1	5	214	211	185	201	220	1	220,0	3,67	
13	20 nivel	1	5	410	461	421	473	395	1	473,0	7,88	
14	Arumar	1	4	126	113	91	117		1	126,0	2,10	
Bicicletas produzidas												Tempo, min
Tempo total de												84,5 min
												2,28

Figura A.4: Documento para tratamento de dados relativos aos tempos das tarefas improdutivas

A.5 Documento do balanceamento

Posto	Passo	Tarefa	Tempo (s)	Tempo livre (s)
1	3	Desapertar stem + colocar guiador + apertar stem	0,87	2,56
	4	Fixar travão frt + prender cabo na forqueta	0,4	2,16
	8	Conectar display	0,22	1,94
	9	Passar cabo de aço da mudança traseira	0,3	1,64
	13	Colocar luz frt	0,18	1,46
	14	Colocar guarda lamas frt	0,35	1,11
	15	Fixar varetas do g. lamas frt	0,37	0,74
	16	Fazer aperto da fixação luz - g.lamas frt	0,25	0,49
	19	Abriu pastilhas travão frt	0,23	0,26
	2	10	Fazer conexão do hidráulico (travão trs)	1,9
11		Colocar suporte do carter	0,52	1,01
12		Colocar chain wheel + fazer aperto	0,52	0,49
5		Colocar drop out	0,43	0,06
3	17	Abriu pastilhas travão trs	0,28	3,15
	18	Colocar roda trs	0,73	2,42
	20	Colocar roda frt	0,77	1,65
	21	Colocar e apertar pedaleira	0,82	0,83
	35	Colocar sensor na roda	0,43	0,40
	6	Colocar mudança	0,22	0,18
4	22	Colocar corrente	0,63	2,80
	23	Afinar travão trs	1,37	1,43
	24	Afinar travão frt	1,03	0,40
5	25	Afinar mudança traseira	1,28	2,15
	27	Fazer ligação motor-bateria	0,58	1,57
	28	Colocar tampa no conector da bateria	0,92	0,65
	7	Colocar descanso	0,43	0,23
6	26	Colocar carter	0,82	2,61
	31	Colocar mangas na fição do guiador	2,3	0,31
7	29	Colocar mangas na zona de conexão com a bateira + fixar no quadro	1,2	2,23
	30	Colocar mangas no cabo de luz frontal + fazer ligação + colocar manga térmica na conexão	1,57	0,66
	32	Colocar bateria no suporte	0,35	0,31
8	33	Testagem	2,62	0,81
9	36	Retirar SN + imprimir etiquetas + colar etiquetas	2,92	0,51
10	34	Colocar fitas de proteção	0,53	2,90
	37	Abriu stem + rodar guiador + fechar stem + rodar travão esq	0,9	2,00
	38	Colocar proteção no guiador e luz	0,47	1,53
	39	Colocar espuma e acessórios no suporte + fixar	0,47	1,06
	40	Colocar espuma de proteção no alinhador de corrente + fixar com abraçadeira	0,42	0,64
11	41	Colocar selim	0,23	3,20
	42	Colar etiquetas na caixa	0,67	2,53
	43	Colocar bicicleta na caixa	0,7	1,83
	44	Colocar triângulos de cartão na caixa	0,17	1,66
	45	Selar a caixa e guardar	0,72	0,94
	1	Colocar seat post clamp	0,3	0,64
	2	Colocar bicicleta no carril	0,4	0,24
12	46	Abastecimento	0,59	2,84
	47	Juntar, cintar e arrumar caixas de produto acabado	2,28	0,56

Figura A.5: Documento utilizado no processo de balanceamento da linha de montagem

Página intencionalmente branca.

Apêndice B

Anexo 2

B.1 Modelos CAD

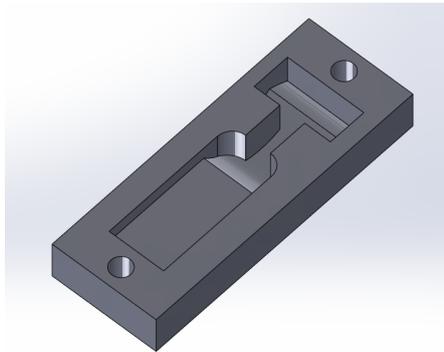


Figura B.1: Molde de injeção da peça a inserir na área do tensor

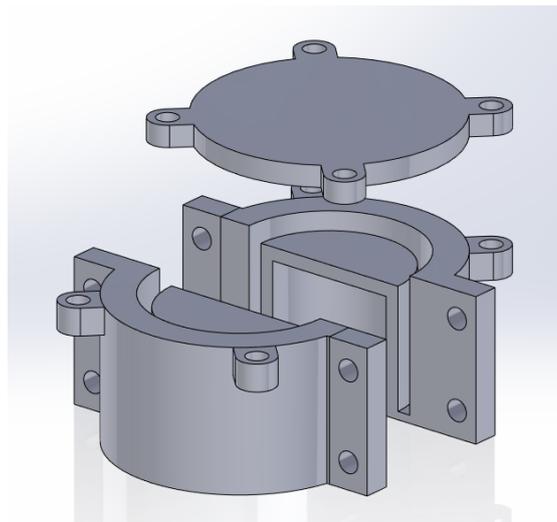


Figura B.2: Molde de injeção da peça a inserir no tubo principal

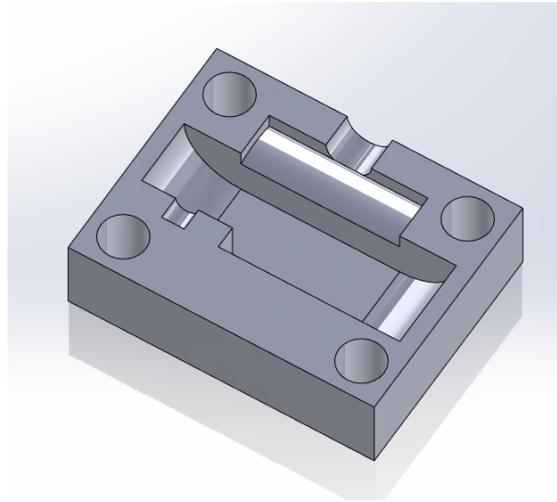


Figura B.3: Molde de injeção da peça a colocar na zona de inserção de cabos no quadro

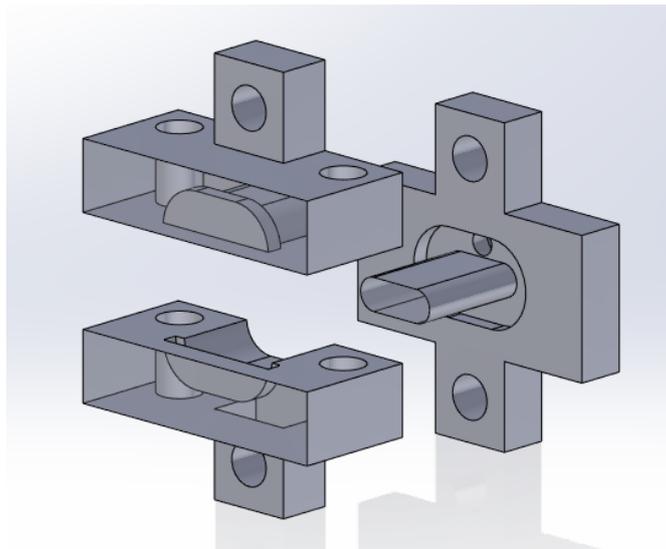


Figura B.4: Molde de injeção da peça a inserir no suporte do travão

B.3 Proposta de alteração do layout do chão de fábrica

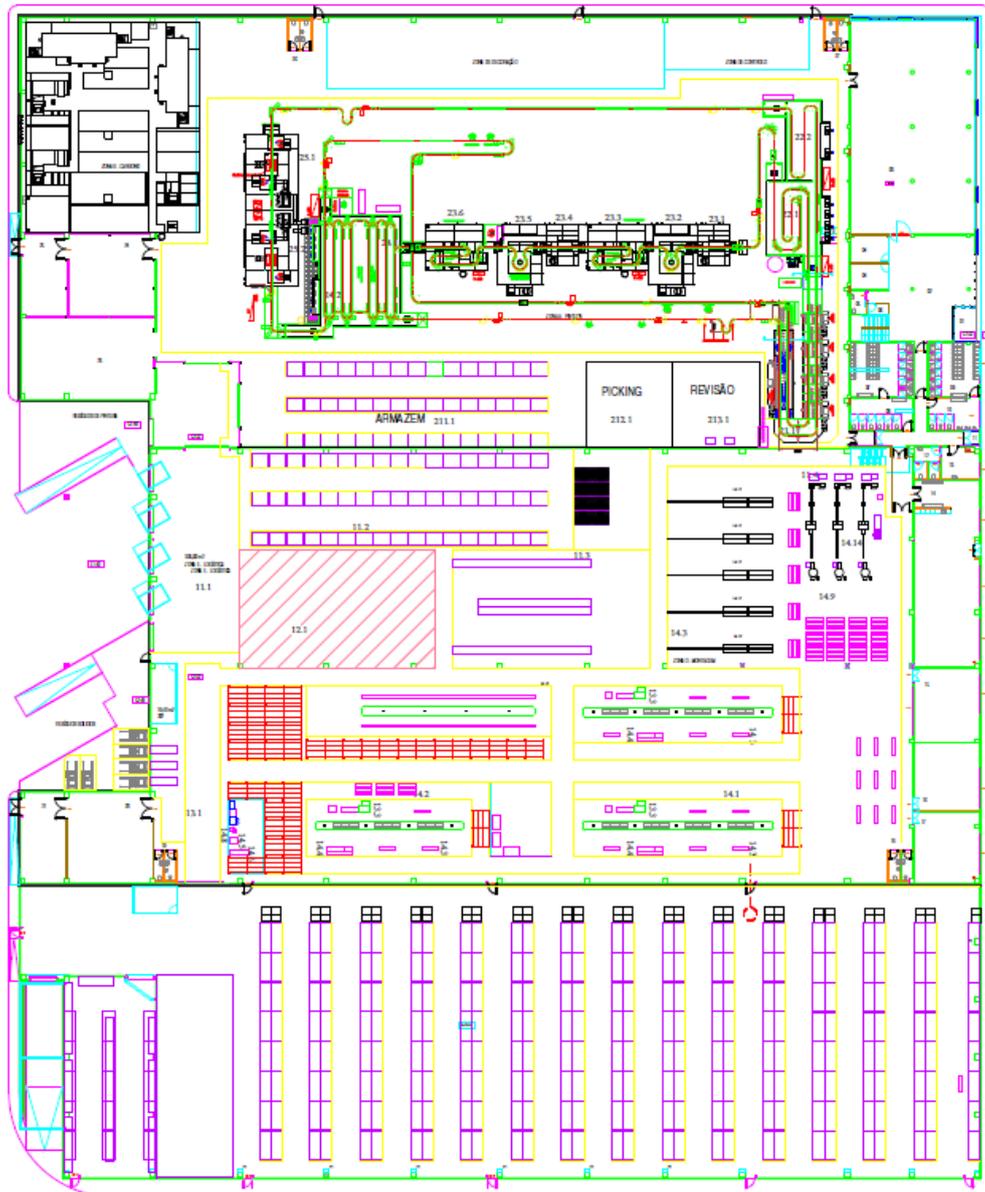


Figura B.6: Proposta de alteração do layout do chão de fábrica

Referências

- [1] L. Dekier, “The origins and evolution of lean management systems,” *Journal of International Studies*, vol. 5, pp. 46–51, 2012.
- [2] P. Hines, M. Holwe, and N. Rich, “Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking,” *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 24, pp. 994–1011, 2004.
- [3] T. Melton, “The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 83, pp. 662–673, 2005.
- [4] A. J. Naeemah and K. Y. Wong, “Selection methods of lean management tools: a review,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 72, pp. 1077–1110, 3 2023.
- [5] K. Suzaki, *Gestão de Operações Lean: Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua*. LeanOp Press, 2010.
- [6] J. K. Liker, *The Toyota way : 14 management principles from the world’s greatest manufacturer*. McGraw-Hill, 2004.
- [7] S. Shaikh, A. N. Alam, K. N. Ahmed, S. Ishtiyak, and S. Z. Hasan, “Implementation of 5s practices in a small scale organization: A case study,” *International Journal of Engineering and Management Research Page Number*, pp. 130–135, 2015.
- [8] A. D. Makwana and G. S. Patange, “Strategic implementation of 5s and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company,” *Australian Journal of Mechanical Engineering*, vol. 20, pp. 111–120, 2022.
- [9] J. S. Randhawa and I. S. Ahuja, “5s – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions,” *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 34, pp. 334–361, 2017.
- [10] C. Veres, L. Marian, S. Moica, and K. Al-Akel, “Case study concerning 5s method impact in an automotive company,” vol. 22, pp. 900–905, Elsevier B.V., 2018.
- [11] G. Academy, “Standard work course facilitator’s guide,” 2009-2023.
- [12] Y. E. Torghabehi, A. A. Maki, K. Kurczewski, and A. Abdekhodae, “Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 7, pp. 187–210, 2016.

- [13] B. Vo, E. Kongar, and M. F. S. Barraza, "Kaizen event approach: a case study in the packaging industry," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 68, pp. 1343–1372, 9 2019.
- [14] P. Danese, P. Romano, and T. Bortolotti, "Jit production, jit supply and performance: Investigating the moderating effects," *Industrial Management and Data Systems*, vol. 112, pp. 441–465, 2012.
- [15] A. Gunasekaran and Y. Y. Yusuf, "Agile manufacturing: A taxonomy of strategic and technological imperatives," *International Journal of Production Research*, vol. 40, pp. 1357–1385, 4 2002.
- [16] S. Goldman, R. Nagel, and K. Preiss, "Agile competitors and virtual organizations," *Manufacturing review*, pp. 59–67, mar 1995.
- [17] E. Klotins, M. Unterkalmsteiner, P. Chatzipetrou, T. Gorschek, R. Prikladnicki, N. Tripathi, and L. B. Pompermaier, "Use of agile practices in start-up companies," *E-Informatica Software Engineering Journal*, vol. 15, pp. 47–64, 2021.
- [18] F. E. Plonka, "Developing a lean and agile work force," *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, vol. 7, pp. 11–20, 1997.
- [19] D. A. Elkins, N. Huang, and J. M. Alden, "Agile manufacturing systems in the automotive industry," *International Journal of Production Economics*, vol. 91, pp. 201–214, 10 2004.
- [20] C. Becker and A. Scholl, "A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing," vol. 168, pp. 694–715, 2 2006.
- [21] P. Sharma, G. Thakar, and R. C. Gupta, "Evaluation of multi criteria assembly line balancing by mcdm approaches: A conceptual review," *International Journal for Quality Research*, vol. 8, pp. 87–106.
- [22] N. T. Lam, L. M. Toi, V. T. T. Tuyen, and D. N. Hien, "Lean line balancing for an electronics assembly line," vol. 40, pp. 437–442, Elsevier B.V., 2016.
- [23] T. Koltai, V. Tatay, and N. Kalló, "Application of the results of simple assembly line balancing models in practice: The case of a bicycle manufacturer," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 27, pp. 887–898, 9 2014.
- [24] J. Filipe and E. Lopes, "Padronização e estudo do balanceamento de uma linha de montagem na indústria autumóvel," tech. rep., Universidade de Aveiro, 2021.
- [25] J. V. RIBEIRO, "Aumento da capacidade produtiva numa fábrica de montagem de bicicletas," tech. rep., Universidade de Aveiro, 2018.
- [26] A. C. R. S. MARTINS, "Balanceamento e otimização de linhas de montagem," tech. rep., Universidade de Aveiro, 2018.
- [27] D. F. S. D. Carvalho, "Planeamento e balanceamento de uma linha de montagem universal para formação," tech. rep., Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2012.

-
- [28] G. Reginato, M. J. Anzanello, and A. Kahmann, “Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos,” *Gestao e Producao*, vol. 23, pp. 294–307, 4 2016.
- [29] P. Of, T. Fibre, M. Kayar, and C. Akyalçin, “Applying different heuristic assembly line balancing methods in the apparel industry and their comparison. fibres textiles in eastern,” *Europe*, vol. 22, pp. 8–19, 2014.
- [30] A. F. V. Fonseca, “Balanceamento de linhas de montagem e aplicação de ferramentas lean no contexto da polisport,” tech. rep., Universidade de Aveiro, 2014.