



Universidade de Aveiro

2020

Beatriz Reis Ferreira

**Modelação computacional do processo produtivo
de uma nave de uma empresa de extrusão de
alumínio**



Beatriz Reis Ferreira

**Modelação computacional do processo produtivo
de uma nave de uma empresa de extrusão de
alumínio**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob orientação científica de Miguel da Silva Oliveira, Professor do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutora Ana Maria Pinto de Moura

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Prof. Miguel da Silva Oliveira

Professor do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro (orientador)

Prof. Doutor Victor Fernandes Santos Neto

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, à Carolina e ao Diogo, que sempre me apoiaram em todo o meu percurso académico e que me deram forças para acabar em grande. Um agradecimento especial ao Filipe que nos bons e maus momentos me apoiou e foi sempre o meu pilar. Agradeço à Extrusal por me ter dado a oportunidade de realizar o meu estágio curricular. Obrigada a todos os que me acolheram, que com toda a simpatia me senti integrada. Um agradecimento especial ao Eduardo Duarte, meu orientador, ao Eng. Henrique e a Dr. Emanuela que estavam sempre prontos a ajudar-me e a superar as dificuldades ao longo de todo o estágio.

Também gostaria de agradecer ao meu orientador e professor Miguel Oliveira da Universidade de Aveiro por me ter acompanhado ao longo de todos os meses de estágio e por se mostrar sempre disponível quando eu precisei. Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas de curso que estiveram comigo ao longo destes anos, juntos ultrapassámos todos os obstáculos nesta aventura académica.

Palavras-chave

Lean, Gestão de processos, Anodização, Simulação, FlexSim, Melhoria contínua

Resumo

Nos dias de hoje as empresas precisam de melhorar os seus produtos e serviços porque as expectativas dos clientes são cada vez maiores. Necessitam de alterar comportamentos e uma das respostas a esta mudança passa pela melhoria contínua como uma estratégia de desenvolvimento. Este projeto foi desenvolvido na Extrusal S.A e teve como objetivo principal a otimização de uma linha de tratamento de superfície. Após a análise da situação inicial, foi então proposto soluções de melhoria para os problemas encontrados no chão de fábrica. Este caso de estudo mostra como as ferramentas simples e o pensamento *lean* levam à resolução de problemas e à otimização da unidade. A pandemia Covid-19 vivida atualmente no nosso país e no mundo levou à necessidade das empresas inovarem e a pensarem "fora da caixa". Os diversos programas de simulação foram os grandes aliados, já que, através de manipulação de dados e objetos foi possível encontrar soluções de melhoria, mais favoráveis e rentáveis para implementar, sem a necessidade de estudos preliminares no terreno e a possibilidade de trabalho efetivo à distancia. Neste projeto é também apresentado um dos softwares de simulação, o *FlexSim*, e como foi possível implementar melhorias no processo de anodização de uma empresa de extrusão de alumínio.

Keywords

Lean, Processes management, Anodizing, Simulation, FlexSim, Continuous improvement

Abstract

Nowadays companies need to improve their products and services because client's expectations are increasing. They need to change their behaviours and like so the continuous improvement can be a development strategy. This project was developed in Extrusão S.A and had as the main goal the optimization of a surface treatment line. After analysing the initial situation, some improvemental solutions for the problems that were found. This case study shows how simple tools and lean thinking lead to solving problems and optimizing the unit. The Covid-19 pandemic lived current in our country and worldwide lead to the need for companies to evolve and think "outside the box". The different simulation programs were the big allies since through the manipulation of data and objects was possible to find improvement solutions, more favorable and profitable to implement, without the need of preliminary studies on the field and the possibility of effective work from a distance. In this project it is also presented one of the simulation software, FlexSim, and how it was possible to implement improvements in the anodizing process of an aluminum extrusion company.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação e contextualização do trabalho	2
1.2	Objetivos e metodologia	3
2	Fundamentos teóricos	5
2.1	Indicador de desempenho OEE	5
2.2	<i>Lean Manufacturing</i>	6
2.2.1	Princípios Lean	8
2.2.2	Os 7 desperdícios	10
2.3	<i>Toyota Production System</i>	11
2.4	Ferramentas <i>Lean</i>	12
2.4.1	<i>Standard work</i>	13
2.4.2	<i>Single Minute Exchange of Die</i> (SMED)	15
2.4.3	Ciclo PDCA (<i>Plan, Do, Act and Check</i>)	17
2.4.4	5S	18
2.4.5	Gestão Visual	20
2.5	Simulação	20
2.5.1	Vantagens	21
2.5.2	Desvantagens	22
2.5.3	Áreas de Aplicação	23
2.5.4	Passos para uma simulação de sucesso	23
2.5.5	FlexSim	26
2.6	Considerações	29

3	Projeto prático	31
3.1	Apresentação da empresa	31
3.1.1	Grupo Extrusal	33
3.2	Apresentação do processo produtivo da empresa	34
3.2.1	Tratamento de superfície - Linha de anodização	35
3.3	Situação Inicial	37
3.3.1	Objetivos e metodologia adotada	37
3.3.2	Monitorização e recolha de informação	38
3.3.3	Cálculo dos indicadores de desempenho - OEE	41
3.4	Análise dos resultados adquiridos	42
3.4.1	Problemas encontrados	42
4	Propostas de melhoria	45
4.1	Propostas Consideradas	45
4.1.1	Aplicação de 5S na zona 2 do processo de anodização	45
4.1.2	Novo <i>layout</i> da zona de montagem de peças	48
4.1.3	Novo <i>layout</i> da nave 5 (processo de anodização)	50
4.2	Propostas concretizadas	52
4.2.1	Simulação de uma etapa de um processo de anodização no FlexSim	52
4.2.2	Alteração de um bastidor de alumínio	56
5	Conclusões, limitações e trabalho futuro	61
	Anexos	71
	A Cartaz para aplicação de 5S's	71
	B Folha para a inspeção mensal do programa 5S	73

Lista de Tabelas

3.1	Tempos das atividades do processo de anodização	39
3.2	Tempos não produtivos das atividades	40
3.3	Ocupação da tinas	40
3.4	Ocupação da tinas	40
3.5	Dados fundamentais para o calculo do OEE	41
3.6	Percentagem de Disponibilidade, Eficiência e Qualidade do Processo de Anodização	41
4.1	Simulação FlexSim	55

Lista de Figuras

2.1	<i>The Toyota Production System House (Liker and Morgan [2006])</i>	12
2.2	<i>Três elementos chave do Standard Work</i>	14
2.3	<i>SMED - etapas e técnicas práticas (Ulutas [2011])</i>	15
2.4	<i>Ciclo PDCA (Sokovic et al. [2010])</i>	18
2.5	<i>5S (Omogbai and Salonitis [2017])</i>	19
2.6	As sete etapas para a realização de uma simulação bem-sucedida	24
2.7	Interligar objetos do FlexSim	27
2.8	Especificar objetos do FlexSim	28
2.9	Simulação do modelo no FlexSim	28
3.1	Grupo Extrusal (Extrusal [2020b], "O Grupo"[Online])	33
3.2	Esquema do processo produtivo da Extrusal	35
3.3	Exemplo de contentores (A) e bastidores (B) usados no processo de anodização	36
3.4	Fluxo dos perfis no processo de anodização	36
3.5	Fluxo de peças no processo de anodização	37
3.6	Fluxo dos perfis no processo de anodização	38
3.7	Planta-Zona 2	42
3.8	Contentores na zona 2	42
3.9	Montagem de bastidores	43
3.10	Grampos	43
4.1	<i>Zona 2 do processo de anodização</i>	46
4.2	<i>Plano de implementação de 5S</i>	46
4.3	<i>layout da zona de montagem de peças atual</i>	48

4.4	<i>layout da zona de montagem de peças alterado</i>	49
4.5	<i>layout da zona de montagem de peças alterado</i>	49
4.6	<i>Layout da nave 5 com corte térmico</i>	51
4.7	<i>Layout da zona de embalagem para o processo de anodização</i>	51
4.8	Ponte mecânica que transporta os contentores com perfis de alumínio	52
4.9	<i>Layout da simulação e respetivas ligações</i>	53
4.10	Especificação do horário dos trabalhadores	54
4.11	Chegada dos contentores vindos da prensa segundo uma média por dia da semana	54
4.12	Simulação dos três cenários no FlexSim	55
4.13	Bastidor utilizado anteriormente	56
4.14	Bastidor alterado - primeiro teste	57
4.15	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	58
4.16	Bastidor alterado - segundo teste	59

Capítulo 1

Introdução

Devido à constante mudança no ambiente económico e nas tecnologias, surge a necessidade dos países desenvolverem modelos de negócios (Veres et al. [2018]) que garantam o melhor desempenho do seu sistema, melhorando o seu trabalho para se tornarem “a winner in the game of global competition” (Morris and Field [2008]). A organização tem que conseguir oferecer um produto de alta qualidade, na quantidade desejada, dentro do prazo e que mantenha os custos de produção o mais baixo possível. (Veres et al. [2018]; Morris and Field [2008])

Um dos objetivos de trabalho das empresas passa por melhorar as suas operações e apoiar a melhoria contínua. Para tal, a velocidade e a capacidade de focar continuamente no desenvolvimento operacional são a chave para o sucesso. Mas promover esse “ambiente de mudança” é difícil.(Morris and Field [2008])

Nesta dissertação é apresentado um caso de estudo de uma empresa que produz perfis de alumínio. O objetivo do desenvolvimento deste trabalho foi a melhoria de um processo de produção, usando as ferramentas SMED (*Single Minute Exchange of Die*), 5S, Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*), *Standard Work* e Gestão Visual. Iniciou-se com a modelação do processo de negócio atual para melhor perceber o funcionamento da empresa. Posteriormente, identificaram-se as tarefas que não acrescentam valor ao cliente, eliminando os resíduos, propondo melhorias no processo. Estas melhorias foram propostas com a ajuda de ferramentas *lean*. *O Lean Manufacturing* que compreende um conjunto de ferramentas e práticas que melhoram o funcionamento do sistema. (Omogbai and Salonitis [2017]). A filosofia *lean* deve aplicar as partes apropriadas de cada

ferramenta no momento certo de um processo de melhoria. “Isso abrange todas as bases para a otimização e melhoria sustentada”.(Morris and Field [2008])

1.1 Motivação e contextualização do trabalho

No âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro, foi proposta a realização do estágio curricular de final de curso na empresa Extrusal, S.A. A escolha do estágio foi totalmente da minha responsabilidade e com o apoio na aprovação de todas as entidades necessárias. Surgiu do facto de a organização se enquadrar numa área da indústria do meu interesse aliado ao gosto pessoal por processos de melhoria contínua.

O projeto de estágio foi realizado no departamento de tratamentos de superfície da Extrusal. Esta empresa está situada em Aveiro e dedica-se à produção de perfis de alumínio para a arquitetura e indústria em geral. Ao longo dos seus 47 anos de existência, manteve como lema principal a qualidade dos seus produtos para máxima satisfação dos seus clientes. Como tal a melhoria continua é fundamental para a evolução e inovação da organização melhorando produtos, serviços e processos.

O principal objetivo do projeto foi a otimização da linha de produção do processo de anodização. A anodização é um processo eletroquímico que resulta da oxidação do alumínio para criar uma camada de óxido poroso, regular e uniforme. Serve de revestimento ao material base e tem como principal função a proteção contra a corrosão tornando o alumínio um material de crescente utilização por todas as indústrias. A secção que apresentava insuficiências e improdutividades estava a afetar todo o processo produtivo e, principalmente, os processos subsequentes. O projeto visou procurar padrões e ações de melhoria que permitam responder aos problemas atuais e preparar a secção para os desafios que irá enfrentar no futuro. O tempo de *setup* externo numa das atividades do processo de anodização foi um dos principais problemas identificados que leva a atrasos e tempos de espera (tempos não produtivos) nas atividades seguintes. No entanto, no decorrer do levantamento de dados, foi verificado outro problema, a má organização do layout do processo em questão pelo que também neste campo foram aplicados processos de melhoria contínua.

As principais tarefas incluíram fazer uma análise do processo atual da empresa re-

colhendo a informação necessária, estabelecendo pontos de melhoria, registrando e codificando os equipamentos utilizados para a produção, verificar quando aplicar normas de segurança e mudar o *layout* do processo se necessário. De seguida foram analisados os tipos de falhas mais frequentes, as avarias dos equipamentos, as horas de intervenção por equipamento e os tempos não produtivos.

1.2 Objetivos e metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste projeto de estágio teve por base uma *timeline* previamente estipulada no início da execução do projeto e a otimização/melhoria de processos e aplicação de ferramentas *lean*.

Inicialmente procedeu-se à observação detalhada do processo de anodização utilizado atualmente, possibilitando o diálogo direto não só com o responsável pela área da anodização, mas também com todos os operadores das várias equipas que desempenham o trabalho diariamente. De seguida foram recolhidos os dados relativos ao processo nomeadamente a listagem de tarefas; as deslocações dos operário durante a execução das mesmas; medição do tempo de realização das tarefas; registos fotográfico e videográfico dos procedimentos para uma recolha de dados mais eficiente e eventual incorporação no trabalho, particularmente nos procedimentos operacionais uniformizados.

Para a realização das melhoria propostas, foram selecionadas as seguintes ferramentas *lean* como SMED (*Single Minute Exchange of Die*), Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*), 5S (Classificação, Ordem, Limpeza, Padronização e Disciplina), *Standard Work* e Gestão Visual. O conjunto de ações de melhoria obtido através destas ferramentas tem como objetivo diminuir os custos e minimizar os tempos que não acrescentam valor ao cliente.

Para finalizar, foi realizada uma avaliação do desempenho da implementação das ferramentas *lean* mencionadas anteriormente.

Relativamente à pesquisa bibliográfica, esta foi realizada exclusivamente online, através de artigos científicos em várias bases de dados acessíveis pela UA. Como forma de reflexão crítica sobre o rumo a seguir no desenvolvimento desta dissertação houve uma constante discussão com os professores da Universidade e Engenheiros do mesmo ramo.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

2.1 Indicador de desempenho OEE

Uma das principais preocupações dos engenheiros nas organizações é o bom funcionamento do equipamento. Cada equipamento é geralmente criado para funcionar em condições ótimas e ideais. Uma das ferramentas qualitativas usadas para otimizar as condições do equipamento é o OEE. (Baghbani et al. [2019]). O OEE (Overall equipment effectiveness), ou a eficácia geral do equipamento, é um conjunto de métricas que medem a eficácia com que uma operação é realizada. É usada para fins de medição de desempenho em todo o mundo.

Um dos objetivos do OEE consiste em eliminar as seis grandes perdas, que são as causas para a baixa eficiência das máquinas. As seis grandes perdas são: paragens curtas, perdas de velocidade, defeitos na produção, defeitos no arranque, avarias e ajustes.

Estas perdas advêm de problemas causados pela qualidade (Q), desempenho (P) e disponibilidade (A) das máquinas. (Muñoz-Villamizar et al. [2018])

A taxa de qualidade (Q) indica a relação entre o número de unidades produzidas, com ou sem defeito, e o número de unidades produzidas nas condições desejadas pelos clientes (sem defeitos). Que tem como fórmula a seguinte:

$$Qualidade = \frac{Produção\ Atual - Produção\ Defeituosa}{Produção\ Atual} \quad (2.1)$$

A taxa de desempenho (P) representa a percentagem da velocidade de produção em

relação à velocidade padrão. Calculando a capacidade da produção do equipamento dentro do tempo disponível. Calcula-se através da fórmula 2.2:

$$Desempenho = \frac{Produção\ Atual}{Produção\ Planeada} \quad (2.2)$$

A disponibilidade (A) mede o tempo total em que o sistema não está em funcionamento devido a paragens. A fórmula 2.3 é a usada para o seu cálculo:

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ Produção\ Atual}{Tempo\ de\ Produção\ Planeada} \quad (2.3)$$

Assim, o OEE leva à produção de peças conformes (Q) o mais rápido possível (P) e sem tempos de paragem (A). Mede também o grau de qualidade do equipamento, isto é, se está a cumprir a sua função, com base no desempenho da disponibilidade e na taxa de qualidade e é calculado através da fórmula 2.4. (Muñoz-Villamizar et al. [2018])

$$OEE = Qualidade \times Desempenho \times Disponibilidade \quad (2.4)$$

Segundo Muñoz-Villamizar et al. [2018] nas condições ideais, as empresas deveriam ter os seguintes valores: $Q > 0,99$, $P > 0,95$ e $A > 0,90$. Estes níveis de disponibilidade, eficiência e qualidade resultam num OEE aproximadamente de 0,85.

2.2 *Lean Manufacturing*

Com o mundo empresarial em constante evolução e cada vez mais competitivo, é importante para as organizações executarem as suas tarefas de forma eficiente e pensarem em estratégias para aumentarem a sua vantagem competitiva. Uma das estratégias mais implementadas nos dias que correm passa pela filosofia *lean*. (Marsikova and Sirova [2018])

A filosofia *lean* origina-se na indústria automóvel japonesa no início dos anos cinquenta do século 20, como resultado do pensamento do senso comum, para a melhoria do desempenho da produção, removendo perdas desnecessárias relatadas todos os dias. Os países ocidentais, até à crise do petróleo, não compreenderam os benefícios do sistema de produção da *Toyota*. A primeira vez que o termo *lean* foi usado na literatura, é por

Krafčík, onde afirma que o *lean* usa menos de tudo em comparação com a produção em massa, metade do espaço, metade da força humana, energia, tempo e custos. (Sremcevic et al. [2018])

Uma característica importante do *lean* é a flexibilidade, após uma aplicação bem-sucedida no setor de produção a partir do qual a filosofia surgiu, outras indústrias encontraram o seu benefício na aplicação do *lean*, como o setor de saúde, a indústria de construção e a indústria de serviços. (Sremcevic et al. [2018]; Veres et al. [2018]) O *lean* é amplamente utilizado no setor industrial e tem várias definições. Os pesquisadores têm diferentes pontos de vista, planos, pensamentos e sugestões. Numa forma geral, *lean* significa fabricar sem desperdícios. É um método que fornece o valor mais alto aos clientes, removendo resíduos através de processos e projetos.(Abu et al. [2019])

O objetivo do *lean* é criar valor para o cliente, reduzindo ou até mesmo eliminando atividades que não acrescentam valor aos seus processos, utilizando menos recursos e com tarefas padronizadas. (Marsikova and Sirova [2018]) É uma abordagem com o objetivo de aumentar a eficiência das operações, identificando valor e desperdício, desenvolvendo conhecimento e criando uma cultura de trabalho de melhoria para promover a sustentabilidade nas operações de processo e gestão de negócios.(Abu et al. [2019])

As vantagens do *lean* são publicadas há mais de três décadas e estas práticas têm uma relação positiva com as quatro dimensões do desempenho operacional, sendo elas, a qualidade, o desempenho do *lead time*, o desempenho da flexibilidade e o desempenho dos custos.(Abu et al. [2019])

A principal motivação da implementação da filosofia *lean* são os desejos internos decorrentes dos objetivos da organização. Aumentar a satisfação do cliente, reduzir o tempo necessário para entregar produtos ao mercado e melhorar a qualidade dos mesmos, são as razões para implementar esta abordagem.(Abu et al. [2019])

O *lean* provou ser bem-sucedido numa grande variedade de indústrias, porém ainda tem problemas e falhas evidentes nas suas implementações. (Pearce et al. [2018]) A filosofia *lean* por ser recente e difícil de implementar e nem sempre é recebida da melhor maneira por parte dos colaboradores da empresa. Ao aplicar estas ferramentas temos que mudar pensamentos e hábitos, que não é uma tarefa fácil de realizar (Nikiforova and Bicevska [2018]). Segundo Rymaszewska [2017] existem algumas barreiras à implementação

do *lean* nas organizações, tais como:

- Um sistema de gestão que não seja coerente;
- Não integrar a gestão de topo durante o processo de mudança;
- A falta de tempo;
- A resistência à mudança por parte dos operários;
- A falta de orçamento;
- O risco de ter de interromper as operações por falta de conhecimento acerca de certas ferramentas.

Para alguns profissionais, o *lean* é uma, se não a principal, metodologia para melhoria sistemática da produtividade. Os fatores para o seu sucesso estão-se a tornar cada vez mais evidentes, muitos *frameworks* estão a desenvolver-se mais rapidamente. Ainda assim, muitas organizações lutam para implementar o *lean*, especialmente em situações como pequenas e médias empresas (PMEs), onde os recursos são escassos e ou os processos complexos. (Pearce et al. [2018])

As empresas têm uma forma de funcionamento diferente uma das outras nos diversos mercados, e cada uma tem os seus próprios problemas, logo os princípios e ferramentas *lean* devem ser adaptados a cada realidade empresarial. Quanto mais uma empresa adota o *lean* como uma filosofia empresarial e acredita nos benefícios dessa mudança, melhores resultados consegue colher a longo prazo. Além disso, a sua implementação requer compromisso financeiro e humano ao longo do processo, pelo que se for conseguida em toda a cadeia de valor será formada uma cultura empresarial benéfica (Nikiforova and Bicevska [2018]).

2.2.1 Princípios Lean

Muda é uma palavra em japonês que significa "desperdício", especificamente toda a atividade humana que utiliza recursos, mas não cria valor. O pensamento *Lean* é *lean* ("magro") porque fornece um melhor método com menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo, menos espaço e oferece aos clientes exatamente o que eles querem.

Esta filosofia também fornece um modo mais satisfatório e elegante de trabalhar, oferecendo *feedback* imediato sobre os esforços para converter o "muda" em valor. (Womack and Jones [2003])

Como já referido anteriormente, o *Lean Manufacturing* desenvolveu técnicas que visam minimizar perdas internas, custos internos e ajudam as empresas a ganhar vantagem competitiva, colocando os seus produtos nos mercados a preços acessíveis e com a qualidade desejada. A implementação do *lean* deve seguir cinco princípios:

1. Valor: O ponto de partida básico do *lean* é o valor. Deve-se definir o que é valor para o cliente e fornecer produtos/serviços no tempo certo e com o preço favorável. Um bem ou serviço, ou geralmente ambos, têm que atender às necessidades do consumidor a um preço específico e num determinado momento. No entanto, por muitas razões, é muito difícil definir o valor. A forma de o fazer é redefinir o papel dos especialistas técnicos da empresa e reanalisar a partir de onde se pode criar valor. Ninguém pode realmente implementar alterações instantaneamente, é essencial, primeiro, formar uma ideia clara do que é importante. Senão, é quase certo que a definição de valor será tendenciosa. (Womack and Jones [2003])
2. Cadeia de Valor: É o conjunto de todas as atividades necessárias para um produto/serviço específico passar pelas tarefas críticas de gestão de qualquer empresa: solução de problemas na concepção do produto, projeto detalhado, engenharia e produção. (Womack and Jones [2003]) Identificar quais as tarefas que agregam valor para o cliente, as que só por si não permitem a criação de valor, mas são indispensáveis e as que não acrescentam valor e devem ser removidas dos processos. (Roriz et al. [2017])
3. Fluxo Contínuo: Depois de identificar as atividades que não acrescentam valor é possível produzir desde a receção de matéria prima até ao produto final, sem interrupções. (Roriz et al. [2017]) Tudo funciona melhor quando o foco está no produto e nas suas necessidades. Todas as atividades necessárias para projetar, solicitar e fornecer um produto devem acontecer num fluxo contínuo. (Womack and Jones [2003])
4. Sistema *Pull*: A capacidade de produzir o que o consumidor deseja com precisão no

momento em que ele quer (Sistema *Pull*), significa que se pode esquecer as previsões de vendas (Sistema *Push*) e fabricar apenas o que os consumidores realmente precisam. A procura pelo consumidor tende a ser muito mais estável quando se consegue qualquer produto, imediatamente. (Womack and Jones [2003]) Ou seja, produzir apenas quando há encomendas por parte do cliente e, assim, minimizar os desperdícios, produzir nas quantidades que o cliente quer e quando solicitado eliminando o stock. (Roriz et al. [2017])

5. Perfeição: Quando as organizações começam a especificar o valor, identificar toda a cadeia de valor, produzir num fluxo contínuo e aplicar o sistema *pull* é possível adotar o último princípio *lean*, a perfeição que incentiva sempre à melhoria contínua dos processos, pessoas e produtos. (Womack and Jones [2003];Roriz et al. [2017])

2.2.2 Os 7 desperdícios

Taiichi Ohno (1912-1990), o executivo da *Toyota* que se dedicou a estudar o desperdício, identificou os sete principais tipos de *muda*. (Womack and Jones [2003]).

A eliminação de tarefas com desperdícios é crucial para as empresas. A filosofia *lean* descreve os 7 tipos de desperdícios que podem existir (Marsikova and Sirova [2018];Stojkic et al. [2014]):

1. Sobreprodução: produção que excede o pedido do cliente. É considerado o pior desperdício, pois leva a fluxos de materiais e de informação irregulares.
2. Movimentos ineficientes: implica deslocações desnecessárias maioritariamente resultante da desorganização do *layout* fabril.
3. Espera: percentagem de tempo que as pessoas e as máquinas estão paradas, resultando num *lead time* alto.
4. Transporte desnecessário: o movimento de materiais que origina aumento de custos tempo e energia.
5. Excesso de stock: sejam de matérias-primas, produtos semiacabados ou acabados.
6. Sobreprocessamento: trabalho que não acrescenta valor e resulta da utilização incorreta de recursos.

7. Defeitos: normalmente este desperdício deve voltar ao início da produção, o que leva a perdas de tempo e algumas vezes ao uso de mais quantidade de matéria-prima.

Para ter uma implementação *lean* com sucesso é preciso reduzir os desperdícios mencionados anteriormente e criar uma cultura de melhoria contínua em todas as etapas dos processos da empresa. Deste modo, devemos envolver todos os membros da organização, desde a gestão de topo até aos operadores de linha e os fornecedores, para que se possa responder rapidamente à procura dos consumidores (Marsikova and Sirova [2018];Stojkic et al. [2014])

2.3 *Toyota Production System*

O TPS (*Toyota Production System*) é provavelmente o sistema de gestão de produção e operações mais estudado no mundo. Dezenas de autores e livros mencionam o sucesso dos seus métodos e afirmam que os termos *Lean Manufacturing* e o TPS são efetivamente sinónimos. A Toyota construiu o primeiro modelo do “House of TPS” (Figura 2.1), representando graficamente que a qualidade da Toyota é apoiada pela combinação *just-in-time*, na qualidade incorporada e em pessoas altamente motivadas.

Tudo isso tem por base a estabilidade operacional e o *Kaizen*, reforçada pela gestão visual e pelo trabalho padronizado. (Sayer and Williams [2007]). É representada desta forma porque uma "casa" é um sistema, e as peças trabalham juntas para criar o todo. (Liker and Morgan [2006])

Segundo os autores Liker and Morgan [2006], a "casa" é dividida em:

- *Just-in-Time*: Um dos pilares da casa é o *Just-in-Time* e é o aspeto mais conhecido. Através de processos torna o fluxo de material mais rápido e transporta a peça para o lugar correto na hora certa. A matéria-prima é movida de operação em operação, uma peça de cada vez, sem interrupções. Em certos casos, é preciso interromper o fluxo para ligar processos separados.
- *Jidoka*: Conta com quatro princípios que garantem a entrega de produtos sem defeitos: Descobrir a anormalidade, parar o processo, resolver imediatamente o problema e investigar e corrigir a causa raiz.

- *Heijunka and Stable, Standardized Processes*: A base da casa é o que garante estabilidade para os pilares *Just-in-time* e *Jidoka*. *Heijunka* tem como objetivo principal criar um fluxo nivelado de pedidos e uma carga de trabalho nivelada, e assim, padronizar processos. Uma ferramenta muito utilizada é a caixa de *Heijunka* que visualiza os pedidos e, de acordo com a procura média, nivela a sequência de produção para atingir um fluxo ótimo.
- *People Engaged in Kaizen*: A palavra *Kaizen* tornou-se rapidamente universal e raramente é praticada como uma melhoria contínua na maioria das empresas. A tradução mais popular é “mudar para melhor”. Esta abordagem inclui mudanças, controlo de resultados e por fim ajustes. O planeamento em grande escala e os cronogramas extensivos são substituídos por etapas mais pequenas, que podem ser rapidamente ajustadas quando são propostas novas melhorias.

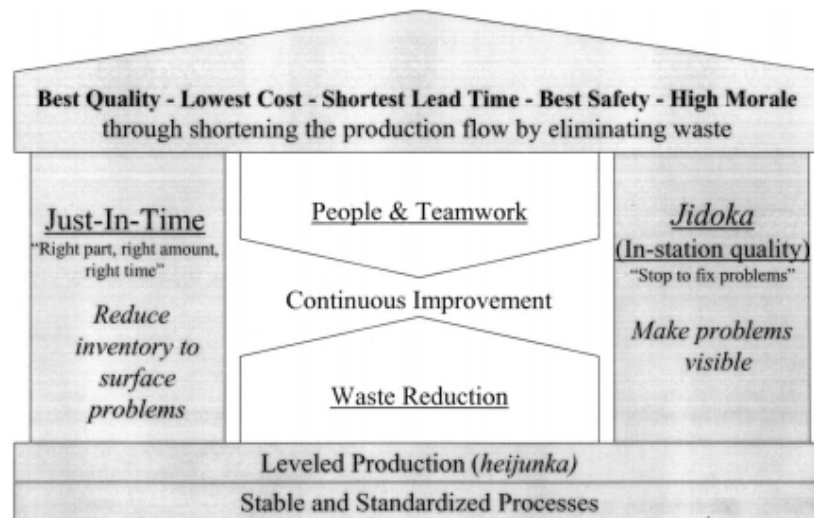


Figura 2.1: *The Toyota Production System House (Liker and Morgan [2006])*

2.4 Ferramentas *Lean*

Nos dias que correm as empresas que competem pelo aumento da produtividade empregam ferramentas *lean*. (da Silva and Godinho Filho [2019]) Tudo o que não acrescenta valor ao cliente é um desperdício, portanto este deve ser eliminado. Os resíduos, mencionados anteriormente, geram custos que com a implementação de ferramentas *lean* como:

Mapeamento do fluxo de valor (VSM), *Kaizen* (Melhoria Contínua), *Just in Time*, Método 5S, *Kanban*, SMED e *Six Sigma* auxiliam na identificação e eliminação constante de resíduos. (Roriz et al. [2017];Veres et al. [2018])

Existem quase 100 ferramentas *lean* e, com o passar dos anos, haverá mais e extensas coleções de práticas *lean*, como é sugerido por diversos investidores e autores. A seleção destas ferramentas e abordagens deve ser adequada para garantir uma implementação bem-sucedida e deve ter em consideração 3 objetivos: evitar desperdícios, reduzir custos adicionais e impedir tempo adicional de produção. (Abu et al. [2019])

O LM (*Lean Manufacturing*) engloba um conjunto de ferramentas e práticas que, quando implementadas de maneira adequada e completa, ajudam a melhorar o desempenho do sistema. (Omogbai and Salonitis [2017]) A sua seleção deve ter por base o processo e os trabalhos da organização e é importante que um fabricante tenha os conhecimentos suficientes da filosofia *lean*. (Abu et al. [2019])

2.4.1 *Standard work*

As empresas enfrentam, nos dias de hoje, uma forte concorrência global pela saturação e comoditização dos seus produtos no mercado. As expectativas e necessidades dos clientes são cada vez mais complexas e exigentes. (Resta et al. [2015])

A padronização é a prática de estabelecer, comunicar, seguir e melhorar padrões. Inicialmente é necessário criar um padrão e estabilizar o processo antes de implementar quaisquer melhorias contínuas. Segundo Taiichi Ohno: "Onde não há padrão, não pode haver melhoria", se deduzirmos que os padrões são limitados, o progresso não acontecerá. O trabalho padrão é definido como um conjunto de tarefas que estabelecem os melhores métodos e sequências para cada processo e cada operador. Tem como objetivo minimizar o desperdício e maximizar o desempenho na carga de trabalho e na operação de cada trabalhador. É uma ferramenta usada em sistemas *push*, mantendo o ritmo da produção igualado com o fluxo de pedidos dos clientes, de maneira que os operadores possam alterar sem qualquer problema de posição dentro do processo. (Pereira et al. [2016])

O trabalho standard envolve três elementos-chave como podemos observar na figura 2.2:

- Tempo de espera (*Takt time*): Taxa de produção em proporção com os pedidos dos

clientes. Este tempo não é medido ou observado, mas sim calculado: é o quociente do tempo disponível com a saída necessária. O *takt time* permite detetar anomalias e responder da melhor maneira possível. Para compreender melhor este conceito e para calcular a taxa de produção, existem várias definições que devem estar bem presentes: tempo total do ciclo, tempo do ciclo de operação, tempo do ciclo da máquina e taxa de fim de linha. (Pereira et al. [2016])

- Sequência de trabalho padrão: é a ordem, mais segura e eficaz, de tarefas num determinado processo. Os operadores realizam as tarefas repetidamente e de forma constante ao longo do tempo, o que faz com que sejam eficientes e que haja oportunidades de melhoria contínua. (Pereira et al. [2016])
- Inventário WIP normalizado: é a quantidade mínima de stock para a produção ter um fluxo contínuo e não ter tempos inativos. O sistema usado para reduzir esse valor mínimo é o sistema *kanban*. (Pereira et al. [2016]) *Kanban* é basicamente um cartão que contém todas as informações precisas para a produção de um produto. A utilização destes cartões é útil porque ajudam a controlar o fluxo de produção e inventário de uma organização. (Kumar and Panneerselvam [2007])

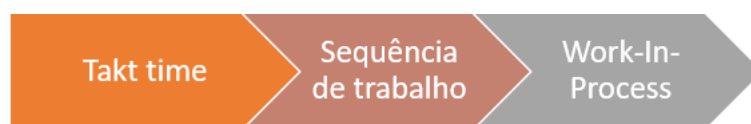


Figura 2.2: Três elementos chave do Standard Work

Após a implementação de algumas ferramentas *lean* como os 5S, controlo visual, SMED, manutenção produtiva total, *jidoka*, entre outras, a padronização pode ser atingida e com sucesso se aplicada corretamente. O trabalho padrão aponta algumas vantagens como a determinação de um ponto de partida do qual é possível e vantajoso melhorar, o controlo do processo, a diminuição da variabilidade, a melhoria da qualidade, a estabilidade, a visibilidade de anomalias e a criação de uma plataforma de aprendizagem. (Pereira et al. [2016])

2.4.2 *Single Minute Exchange of Die (SMED)*

Um dos muitos métodos de produção *lean* para reduzir desperdícios num processo de fabricação é o SMED, *Single Minute Exchange of Die*. O SMED foi desenvolvido originalmente por Shingo, para melhorar os *setups* de prensas e máquinas-ferramentas, mas com o tempo os seus princípios foram aplicados em todos os tipos de processos. Um *setup* é um conjunto de atividades que prepara um sistema para fabricar um produto (da Silva and Godinho Filho [2019]). Shingo divide a operação de *setups* em duas partes: *setup* interno: a operação só pode ser feita apenas quando a máquina é desligada. *setup* externo: a operação pode ser feita quando a máquina ainda está em execução. (da Silva and Godinho Filho [2019];Ulutas [2011])

As três etapas principais do SMED podem ser resumidas da seguinte forma (Figura 2.3):

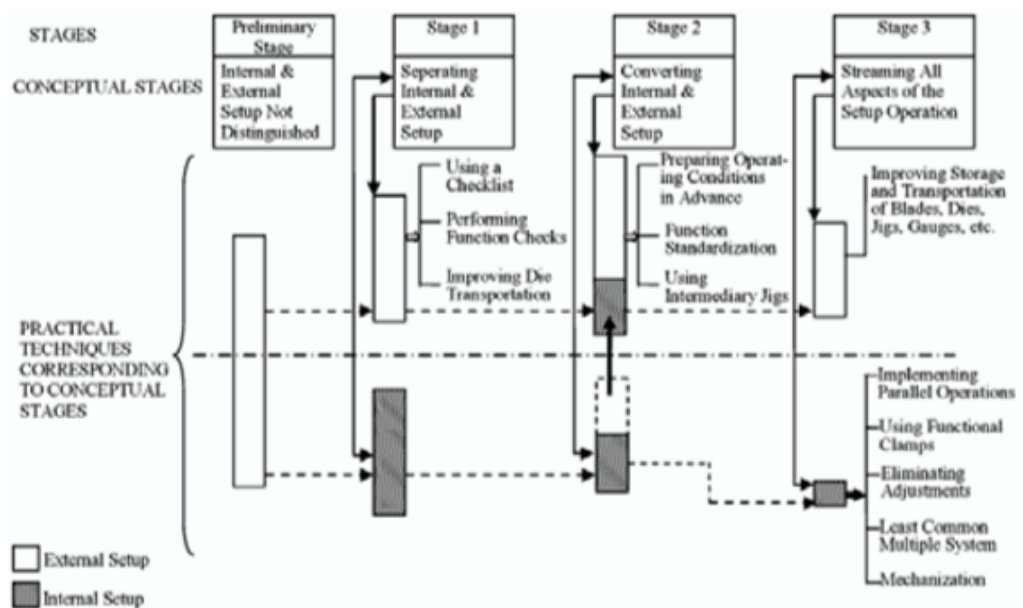


Figura 2.3: *SMED - etapas e técnicas práticas (Ulutas [2011])*

- Etapa 1: Separar os *setups* internos e externos;
- Etapa 2: Converter os *setups* internos em *setups* externos;
- Etapa 3: Simplificar todos os aspectos da operação de *setups*.

Esta aplicação requer uma análise anterior para entender claramente o processo de

transição, a fim de conhecer detalhadamente cada operação de *setup*. (da Costa et al. [2013]) O uso da ferramenta SMED traz benefícios para as empresas, como reduções de stock, do tempo de produção, do tempo em que a máquina não opera, do tamanho e movimentação de lotes e dos tempos de pré-operação e ajuste das máquinas. O objetivo é descobrir as atividades que têm um tempo de *setup* maior e, em seguida, explorar uma nova maneira de reduzir o tempo necessário para executar uma troca de ferramenta, a fim de obter um resultado melhor. (da Costa et al. [2013]; Ulutas [2011]; Wang et al. [2019])

A técnica SMED envolve um *setup* realizado em minutos de um dígito, ou seja, a frase "single minute" não significa que todas as trocas e *setups* devem demorar apenas um minuto, mas devem demorar menos de 10 minutos. (da Silva and Godinho Filho [2019]; Ulutas [2011])

O uso da ferramenta SMED traz benefícios para as empresas, como reduções de stock, do tempo de produção, do tempo em que a máquina não opera, do tamanho e movimentação de lotes e dos tempos de pré-operação e ajuste das máquinas. Com o uso desta ferramenta é possível cumprir prazos de entrega, os materiais não ficam muito tempo armazenados o que leva a um custo mais baixo de armazenamento, como é rápido mudar a máquina é mais flexível alterar os produtos a produzir, a qualidade é melhor e os operadores fazem a mudança de trabalho mais rapidamente e assim o trabalho seguinte inicia-se com menos unidades de sobra. O objetivo é descobrir as atividades que têm um tempo de *setup* maior e, em seguida, explorar uma nova maneira de reduzir o tempo necessário para executar uma troca de ferramenta, a fim de obter um resultado melhor. (da Costa et al. [2013]; Ulutas [2011]; Wang et al. [2019])

2.4.3 Ciclo PDCA (*Plan, Do, Act and Check*)

Organizações diferentes usam metodologias, abordagens e ferramentas diversas para elaborar uma gestão da qualidade e programas de melhoria contínua. Certamente cada empresa precisa de usar uma seleção e combinação apropriada de diferentes ferramentas e técnicas para melhorar os seus processos. (Sokovic et al. [2010]) Se o cliente for o foco das empresas, estas devem selecionar as melhores formas de aquisição de dados e pesquisa de mercado, para assim, confirmar se os serviços ou os produtos estão a favor das expectativas dos clientes. A recolha e análise de dados é bastante importante para a melhoria de qualidade dos processos e produtos. (Paliska et al. [2007])

Em julho de 1950, Deming apresentou um modelo de melhoria contínua conhecido como Ciclo PDCA ou ciclo de Deming (Figura 2.4) que ajuda a aprender e a impulsionar a melhoria de um processo ou produto. (Massot [1999]) O ciclo PDCA é parte integrante da gestão de processos e foi projetado para ser usado como modelo dinâmico. A conclusão de uma volta do ciclo leva para o início da próxima. (Paliska et al. [2007])

Segundo Massot [1999], o ciclo possui quatro estágios, Planear (*Plan*), Fazer (*Do*), Verificar (*Check*) e Agir (*Act*):

1. Planear: É o passo mais importante, primeiro é preciso preparar para melhorar ou fazer mudanças. O ciclo completo é baseado neste primeiro passo, onde é preciso planear o que vai ser feito, que dependerá do tamanho do projeto e depois definir os métodos a utilizar. Este plano é composto por pequenos passos para ocorrer o mínimo de erros e falhas.
2. Fazer: Etapa que consiste em realizar e aplicar o que foi definido anteriormente, preferencialmente em pequena escala e num ambiente controlado, respeitando as disposições definidas na primeira etapa. A padronização ajuda a equipa a executar o plano tranquilamente. É importante salientar que podem ocorrer problemas imprevisíveis.
3. Verificar: nesta fase estudamos e analisamos os resultados obtidos. A equipa, nesta etapa, é capaz de identificar erros do processo atual e eliminá-las no futuro. Se durante o processo algo não correu da melhor forma, temos que analisar e descobrir a causa raiz do problema.

4. Agir: fase onde fazemos as correções necessárias para não voltar a ocorrer problemas. Envolve a procura pela melhoria contínua até atingir o padrão. Podemos também iniciar o ciclo novamente e alterar algumas condições iniciais.

Quando a melhoria de um processo é feita, os procedimentos e especificações da empresa obviamente servem para consolidá-lo. (Massot [1999])

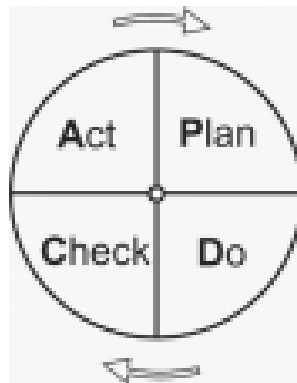


Figura 2.4: *Ciclo PDCA (Sokovic et al. [2010])*

2.4.4 5S

A ferramenta *lean* 5S, mencionada como uma solução de implementação neste caso de estudo, vem de cinco palavras japonesas: *Seiri (Sort)*, *Seiton (Set in order)*, *Seiso (Shine)*, *Seiketsu (Standardize)* e *Shitsuke (Sustain)*. A ideia principal é organizar o local de trabalho para reduzir o tempo perdido a procurar o que é necessário e manter a estabilidade do processo. Segundo Yik and Chin [2019] a implementação do 5S apresenta vários benefícios para a organização, como a melhoria do ambiente e da área de trabalho, prevenção de perda de ferramentas, redução da poluição, disciplina, mentalização os operários, melhoria na comunicação interna e relação humana interna, entre outros.

Este método japonês de organizar o espaço de trabalho de maneira limpa, eficiente e segura, a fim de obter um ambiente de trabalho produtivo, inclui cinco fases (Figura 2.5):

- *Sort (Seiri)*: Remover o que não é necessário e limpar o local de trabalho;
- *Set in order (Seiton)*: Colocar os itens necessários de maneira organizada e siste-

mática, para que possam ser facilmente retirados e retornar ao local original após a utilização.

- *Shine (Seiso)*: Limpar regularmente equipamentos e o local de trabalho. Poeira, sujeira e resíduos são a fonte de desordem, indisciplina, ineficiência, produção defeituosa e acidentes de trabalho.
- *Standardize (Seiketsu)*: Documentar e padronizar o método, usando procedimentos padrão. Os padrões devem ser claros e de fácil compreensão.
- *Sustain (Shitsuke)*: Manter os procedimentos estabelecidos, tornar o 5S um hábito e integrar esta ferramenta na cultura.



Figura 2.5: 5S (Omogbai and Salonitis [2017])

Como uma base para uma cultura de melhoria contínua, o 5S é normalmente o primeiro método *lean* que as organizações implementam, facilitando assim a aplicação de outras técnicas que melhoram o processo, a estrutura e os parâmetros. O grande desafio é como incorporar os 5S no cotidiano de todos os envolvidos. (Veres et al. [2018]) Em suma a metodologia 5S é uma maneira simples e barata de obter benefícios tangíveis do *Lean Manufacturing*. (Omogbai and Salonitis [2017])

2.4.5 Gestão Visual

As tecnologias de gestão visual, ou *Visual Management* (VM), foram originalmente iniciadas para desenvolvimento no setor de produção, mas nos últimos anos, estas tecnologias são também usadas noutros setores corporativos, incluindo administração, engenharia e vendas. (Murata and Katayama [2010])

Nos dias de hoje, as operações das empresas são cada vez mais complexas, envolvendo cadeias de fornecimento globais e operações dispersas. Um fator bastante importante, nas organizações, é ter uma comunicação clara que leva a que informações como requisitos do cliente, cronogramas de produção e os objetivos e metas estabelecidos sejam compreendidos em toda a empresa. Para orientar operações e processos em tempo real foram desenvolvidas ferramentas de gestão visual. (Parry and Turner [2006])

As tecnologias VM são usadas para manter e melhorar o nível dos valores dos indicadores de desempenho (KPI's) e para esclarecer e mostrar diversificação entre condições usuais e incomuns num sistema de produção. (Murata and Katayama [2010])

A gestão visual era considerada uma ferramenta desprezada, mas que se veio a revelar poderosa. Os profissionais adquiriram conhecimentos sobre controle visual nas linhas de produção e começaram a aplicá-los a outros processos. A tecnologia VM foi testada e adotada em novas áreas e as empresas verificaram que era uma ferramenta eficaz. O controlo visual pode ser considerado como um sistema de medição dinâmico, pois fornece feedback instantâneo e ocasionalmente e é usado para prever um resultado provável, se nenhuma ação for tomada. (Parry and Turner [2006])

2.5 Simulação

Com o crescimento de componentes num sistema é cada vez mais difícil compreendê-lo e descrevê-lo matematicamente. Além disso, quando as máquinas quebram, quando há diversos tempos de ciclo, alterações no tamanho do lote grande parte dos métodos analíticos falham. (Nordgren [2003])

Para sistemas de fluxo dinâmico, complexos e incertos a simulação pode ser uma ferramenta poderosa para obter conhecimentos sobre o sistema. (Nordgren [2003]) Modelagem e análise de simulação é um processo de concepção e experimentação através de

um modelo de um sistema físico. Este é definido como uma interação de componentes que recebe uma entrada e fornece uma saída para um determinado fim.(Chung [2003])

A simulação projeta um modelo de um sistema real e tem a capacidade de imitar a sua dinâmica ao longo do tempo. Esta dinâmica concede à simulação a sua estrutura, função e maneira única de analisar os resultados.(Ingalls [2008]) Esse modelo dinâmico de simulação processa uma "experiência" com o objetivo de entender o que ocorrerá no sistema real, independentemente de existir ou não.(Robinson et al. [2004])

Esta metodologia é usada para descrever e analisar o comportamento de um sistema, fazer perguntas hipotéticas e ajudar no design de sistemas reais.(Banks [1998]) É uma ferramenta que usada corretamente é bastante poderosa.

A modelagem de um novo sistema pode ter um custo mais baixo em comparação com o investimento inicial de um processo de fabricação. Para além disso, antes de implementar um sistema o uso de simulações ajuda a melhorar a posição e a organização do layout do processo. Após a instalação as empresa podem usar o simulador para ajudar a identificar problemas e erros cometidos.

Os modelos de simulação são provavelmente o único método disponível para testar sistemas que não podem ser perturbados. Por serem sensíveis nenhum tipo de alteração no processo ou nos recursos é viável para analisar o sistema.(Chung [2003])

2.5.1 Vantagens

Todos os modelos de simulação produzem uma saída dadas as condições de entrada e não geram por si só uma solução óptima, como acontece com os sistemas analíticos. Quando se decide usar esta ferramenta é porque tem grandes vantagens ao simular um sistema do mundo real. Das quais podemos destacar:

- **Escolher corretamente.** A simulação permite testar, alterar ou adicionar todos os aspetos de uma proposta, sem comprometer recursos para a aquisição. (Banks [1998])
- **Reduzir requisitos analíticos.** O desenvolvimento de modelos de simulação ajudou os profissionais na redução de cálculos de plano de fundo complicados e de requisitos de programação necessários. Tem assim, a oportunidade de estudar sistemas diferentes e diversos. (Chung [2003];Banks [1998])

- **Comprimir e expandir o tempo.** É possível acelerar ou desacelerar uma simulação, com um modelo de computador, a operação e a interação de processos que demoram muito tempo podem ser simuladas em segundos. Para aumentar a viabilidade estatística de um processo é possível produzir várias repetições de uma simulação. (Chung [2003];Banks [1998])
- **Entender “o porquê”.** A simulação responde a perguntas como, “porquê” reconstruindo o cenário e fazendo um exame microscópico do sistema para determinar por que razão ocorre. Num sistema real não se consegue ver nem controla-lo por inteiro.(Banks [1998])
- **Explorar possibilidades.** Uma das maiores vantagens, senão a maior de usar uma simulação é poder explorar novas políticas, procedimentos operacionais ou métodos sem custos nem interrupção do sistema real. (Banks [1998])
- **Diagnosticar problemas.** A simulação permite entender melhor as interações entre as variáveis dos sistemas e assim identificar problemas e gargalos. Também permite descobrir a causa dos atrasos no processo, nas informações e nos materiais. (Chung [2003];Banks [1998])
- **Desenvolver entendimento.** Com o estudo de simulações é mais fácil aceitar resultados que foram modelados, testados, validados e representados visualmente, em vez de indicar previsões sobre como um sistema funcionará. Ajuda a estabelecer a credibilidade do modelo. (Chung [2003];Banks [1998])

2.5.2 Desvantagens

A implementação de um modelo de simulação revela algumas restrições e dificuldades. As principais desvantagens são:

- **Necessidade de treino.** A construção de modelos requer treino especial, uma vez que a qualidade da análise depende da qualidade do modelo e da habilidade do analista. (Chung [2003];Banks [1998])
- **Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar.** Por muito que os modelos de simulação desenvolvidos sejam ótimos, se os dados de entradas

não forem precisos o profissional não pode esperar por saídas precisas. Geralmente as entradas e as variáveis são aleatórias. (Banks [1998])

- **A simulação por si só não resolve problemas.** A ferramenta fornece possíveis soluções que poderá resolver o problema, cabe às pessoas responsáveis aceitar e implementar as propostas de melhoria.(Chung [2003];Banks [1998])
- **Modelar e analisar uma simulação pode ser demorada e dispendiosa.** O modelo de um sistema complexo pode ter um custo elevado e levar vários meses para ser desenvolvido, especialmente nos casos em que os dados são de difícil aquisição e não coerentes. (Banks [1998])

2.5.3 Áreas de Aplicação

Esta metodologia, devido à sua versatilidade e ao seu poder, pode ser aplicada em qualquer estudo ou pesquisa operacional. Quase todos os tipos de sistemas se não foram, podem ser, simulados. A vasta lista de aplicações quase excede a classificação, de entre eles podemos restringir:

- **Simulação em sistemas de fabricação e manipulação de materiais**
- **Simulação na indústria automóvel**
- **Simulação em sistemas de logística e transporte**
- **Simulação na área da saúde**
- **Simulação em sistemas de serviço**
- **Simulação na área militar**
- **Simulação em eventos discretos de sistemas de computador e comunicação**

2.5.4 Passos para uma simulação de sucesso

Na Figura 2.6, é apresentado um esquema de 7 etapas para realizar uma simulação bem-sucedida. Uma abordagem bem definida é fundamental para o sucesso do estudo em

geral e para o desenvolvimento de um modelo válido em particular. (Law [2009]) Um erro identificado nestas etapas requer a retoma do passo anterior ou até mesmo recomeçar a simulação. (Balci [1987])

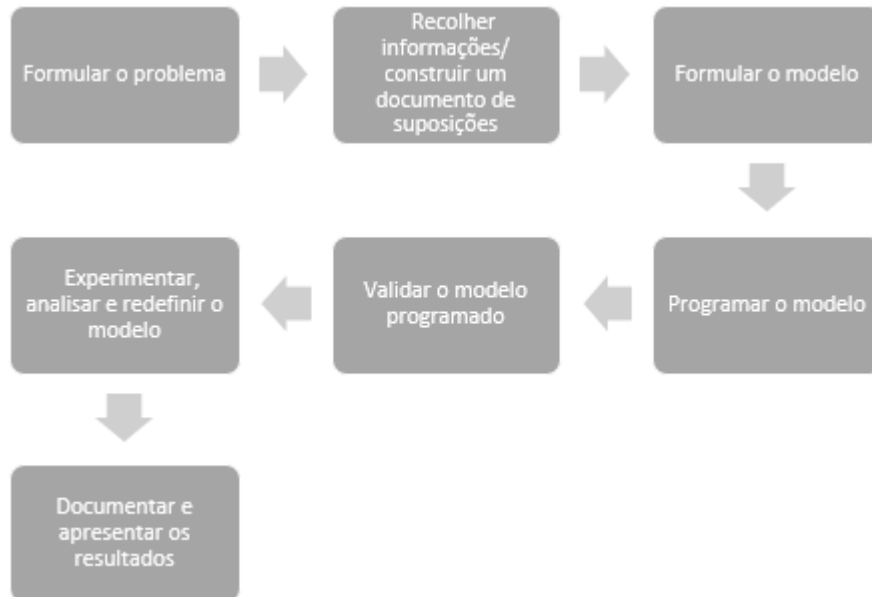


Figura 2.6: As sete etapas para a realização de uma simulação bem-sucedida

Os 7 passos de uma simulação são:

- **Etapa 1: Formular o problema.**

Nesta etapa, quando é reconhecido um problema, o cliente (*decision-maker*) comunica a um analista o problema detetado que raramente é claro, específico ou organizado. (Balci [1987]; Law [2009]) Geralmente é necessário recorrer a reuniões com o gerente do projeto e os analistas para discutir alguns itens importantes, como por exemplo: objetivos gerais, medidas de desempenho, as configurações do sistema a serem modeladas, o prazo para o estudo, os recursos necessários, entre outros. (Law [2009])

- **Etapa 2. Recolher informações ou dados e construir um documento de suposições.**

Na etapa de recolha de dados é preciso ter informações sobre a estrutura do sistema e dos procedimentos operacionais, especificar parâmetros e distribuições de

probabilidade do modelo.(Law [2009]) Num sistema todas as variáveis de entrada que podem afetar significativamente o seu estado, são identificadas pela sua influência no sistema em relação aos objetivos do estudo. (Balci [1987]) Depois de recolhida toda a informação é importante documentar para se executar o processo de formulação do modelo. (Balci [1987];Law [2009])

- **Etapa 3. Formular o Modelo.**

A formulação do modelo é o processo pelo qual um modelo conceitual é previsto para representar o sistema em estudo. A sua formulação e representação envolvem o processo de design do modelo. Deve-se realizar uma apresentação estruturada do modelo perante o gerente de projeto e analistas. Se houver erros no documento, o que acontece frequentemente, deverá ser modificado e atualizado antes de prosseguir para a etapa seguinte.(Balci [1987];Law [2009])

- **Etapa 4. Programar o modelo.**

Traduzir um modelo comunicativo num modelo programado é o mais importante nesta etapa. Um modelo programado é uma representação através de um software de simulação comercial (Arena, ExtendSim, Flexsim, ProModel, Simio, etc.) ou através de uma linguagem de programação de alto nível (C, Java, Python, etc.) que não incorpora uma interface gráfica.(Balci [1987];Law [2009])

- **Etapa 5. Validar o modelo programado.**

Validamos o modelo programado se compararmos os dados de saída da simulação com os dados de saída no sistema real. Os resultados da simulação devem ser verificados quanto à razoabilidade, ou seja, se os resultados forem consistentes o sistema deve operar. Podemos então seguir para o próximo passo e considerar o modelo de simulação válido.(Law [2009])

- **Etapa 6. Experimentar, analisar e redefinir o modelo.**

Esta etapa tem a função de experimentar o modelo para a finalidade definida. Alguns objetivos da experimentação são avaliar, analisar, prever, otimizar e determinar as funcionalidades do sistema. Questões táticas como a duração da execução, o período de aquecimento e o número de replicação deve ser decido nesta fase, como

também experiências adicionais. Para redefinir o modelo é necessário atualizá-lo, para que seja o mais parecido com o atual e alterá-lo para obter outros resultados e estudar soluções alternativas para o problema. (Balci [1987];Law [2009])

- **Etapa 7. Documentar e apresentar os resultados**

Na última etapa, o modelo deve apresentar uma descrição detalhada da simulação e documentar os seus resultados. Os dados recolhidos são depois retratados e apresentados aos clientes para aceitarem e posteriormente implementarem. Nesta apresentação final é essencial acrescentar uma animação e uma discussão do processo para promover a credibilidade do modelo e uma interpretação rigorosa dos resultados obtidos.(Balci [1987] Law [2009])

2.5.5 FlexSim

O Flexsim é um software que engloba um conjunto de tecnologias, processamento de imagem tridimensional de computador, técnicas de simulação, tecnologia de inteligência artificial e técnicas de manipulação de dados. Esta ferramenta é usada para modelar e simular qualquer tipo de sistema de diversos setores, fornecer o ajuste de dados originais e construir um modelo gráfico de operação para realizar simulações e otimizar sistemas. (Zhu et al. [2014];Chen et al. [2013])

O Flexsim, por ser uma abordagem complemente nova, não se compara à maioria dos simuladores que encontramos no mercado. Este programa permite que os utilizadores desenvolvam novos programas de simulação, incluindo interfaces gráficas exclusivas do utilizador. Também possui bibliotecas de objetos físicos, como processadores, operadores, transportadores, empilhadores, prateleiras, entre outros.(Nordgren [2003];Chen et al. [2013])

A estrutura deste software tem a capacidade de se associar ao Microsoft Excel, o que permite ao utilizador substituir dados de entrada e de saída no simulador.(Chen et al. [2013])

Existem cinco etapas básicas para construir um modelo no Flexsim. Primeiro desenvolver um *layout*, segundo ligar os objetos, terceiro especificar os objetos, quarto executar o modelo e quinto analisar as saídas.(Nordgren [2003];Zhu et al. [2014])

- **Desenvolver o *layout*.**

Para criar o *layout* do modelo é preciso selecionar os objetos da biblioteca e arrastar para a janela do projeto. Nessa janela de *layout* 3D o utilizador pode girar o objeto nos diferentes eixos. Esse processo repete-se até o modelo ficar concluído, com todos os objetos necessários para a simulação. (Nordgren [2003];Zhu et al. [2014])

- **Conectar objetos.**

Automaticamente, o Flexsim conecta os objetos na ordem em que foram colocados no *layout*. (Figura 2.7) Os objetos podem ter uma ou várias entradas, saídas e portas centrais e são ligados para visualizar todas as rotas possíveis do modelo.(Nordgren [2003];Zhu et al. [2014])

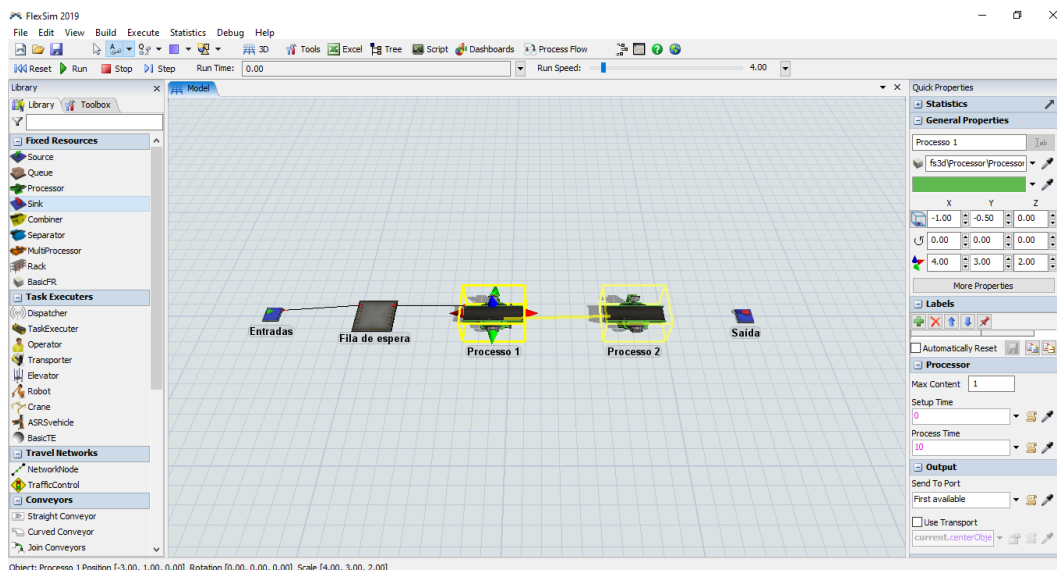


Figura 2.7: Interligar objetos do FlexSim

- **Especificar os objetos.**

Ao selecionar com o rato duas vezes em cima do objeto é possível detalhar informações como tempos de ciclo, capacidades, velocidades, tempos de inatividade, estatísticas e opções gráficas, importantes para os resultados do modelo. (Figura 2.8) (Nordgren [2003];Zhu et al. [2014])

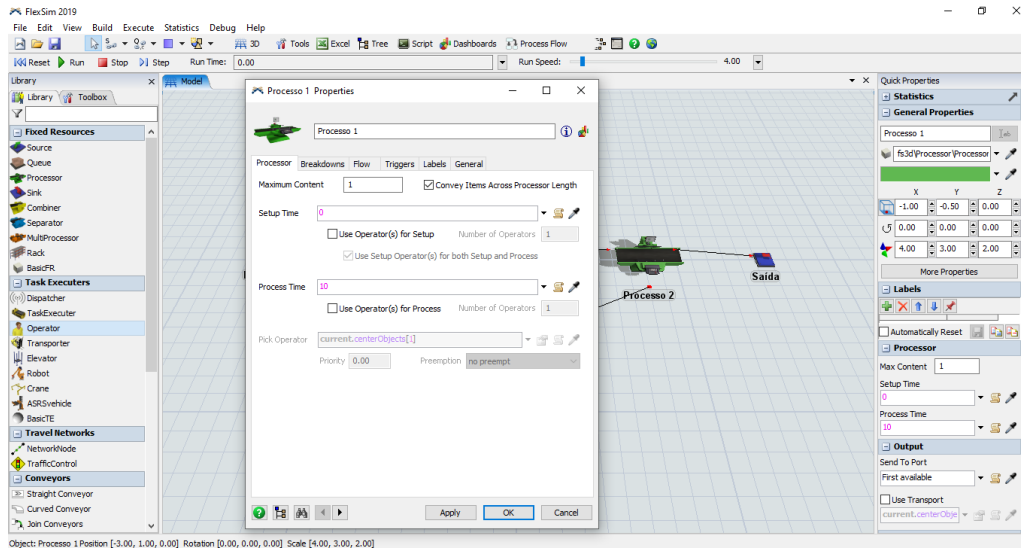


Figura 2.8: Especificar objetos do FlexSim

- **Executar o modelo.**

O utilizador, com este programa, pode simular o modelo em vários cenários, guardar e comparar os dados gerados em cada execução. (Figura 2.9) O FlexSim permite aos utilizadores definir condições, variáveis e restrições para serem testadas, o número de vezes que cada condição deve ser executada, a duração de cada execução e medidas de desempenho. (Nordgren [2003]; Zhu et al. [2014])

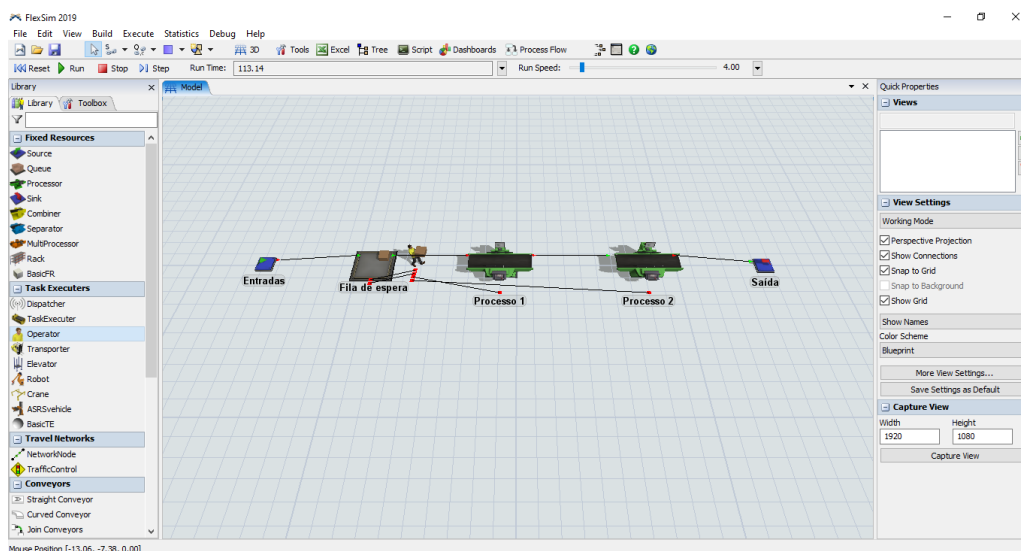


Figura 2.9: Simulação do modelo no FlexSim

- **Analisar resultados.**

Os resultados da simulação podem ser visualizados em animação 2D, 3D ou em Realidade Virtual enquanto o modelo está a ser executado. O FlexSim inclui relatórios e gráficos predefinidos ou definidos pelo utilizador sendo possível verificar os resultados do modelo. (Nordgren [2003];Zhu et al. [2014])

2.6 Considerações

Neste capítulo 2 foram apresentados os métodos e as ferramentas necessárias e atualmente disponíveis para melhorar processos, realizando mais e melhor no menor tempo possível e rentabilizando os recursos presentes nos processos das empresas. É importante mencionar que cada caso deve ser analisado e avaliado como único e perceber quais os processos que definem a empresa e o que os distingue da concorrência. Ribeiro (2018) afirma na sua tese que numa empresa da indústria alimentar, se no fabrico de um bolo estiver em causa a rentabilização do tempo, é possível comprar o mesmo bolo em qualquer pastelaria. Porém, a elaboração do bolo distingue-se na receita, ou seja, nos ingredientes utilizados e na forma como são envolvidos, não fazendo qualquer sentido remover um ingrediente especial só porque é possível preparar o bolo sem ele. A verdade é que esse tempo podia ser eliminado e aproveitado para realizar outras atividades, mas podia-se correr o risco de o sabor que o distingue da concorrência perder qualidade. Esta é uma tarefa que acrescenta valor ao cliente, não podendo ser eliminada. A distinção de tarefas que acrescentam valor e de tarefas que não acrescentam é bastante importante e deve ser realizada com cuidado. Só com alguma análise é que é possível concluir quais as atividades que podem e devem ser reduzidas, permitindo a concretização das tarefas no período necessário.

Capítulo 3

Projeto prático

3.1 Apresentação da empresa

Em 1972, o Engenheiro Carlos Lourenço Boia observou que em Portugal não eram produzidos perfilados em alumínio. Nasce então a 31 de março desse ano a sociedade denominada EXTRUSAL - Companhia Portuguesa de Extrusão S.A., empresa especializada na Extrusão de perfis de alumínio, para a Arquitetura e Indústria em geral. Ao longo dos seus 44 anos de existência, manteve como lema principal a qualidade dos produtos para máxima satisfação dos clientes. (Extrusal [2020a], "Apresentação"[Online])

A Extrusal apresenta aos seus clientes diversos tratamentos de superfície realizados integralmente na sua unidade produtiva. Em 1982, implanta uma instalação de anodização. A anodização é certificada em 1983 pela Qualanod (EWAA/EURAS), garantia de compromisso de qualidade do alumínio anodizado e das suas ligas. Este tratamento de superfície permite a obtenção de cores desde a tonalidade natural ao preto, passando pelos tons de champanhe ou bronze. Cada uma das cores pode ter um pré-tratamento, conferindo-lhe um aspeto final polido ou acetinado. No ano de 1994 instala uma linha automática de lacagem, certificada pela Qualicoat em 1995. A lacagem pode ter um acabamento mate, brilhante ou texturado, e ainda, a decoração efeito-madeira. (Extrusal [2020a], "Apresentação"[Online])

A empresa tem dois laboratórios de apoio ao processo e controlo de qualidade. O primeiro modernizado em 1994 que apoia os tratamentos de superfície e o segundo criado em 1999 que apoia a extrusão. A qualidade dos produtos sempre esteve bem presente

no dia a dia da Extrusal. Em 1997, a Extrusal foi a primeira empresa portuguesa, e uma das únicas na Europa, a obter certificação do sistema de gestão da qualidade global - NP EN ISO 9002 - nas áreas de fabricação de matrizes, extrusão, anodização e termolacagem. Com o objetivo de melhoria continua, em 2002, a Extrusal S.A. foi mais uma vez pioneira em alcançar a certificação, neste caso a ambiental (NP EN ISO 14001) em todas as áreas de atividade da empresa. Em 2003 a organização obtém a certificação NP EN ISO 9001:2000 com vista a uma eficácia do sistema. Uma vez que uma das principais preocupações é a satisfação do cliente, como já referido anteriormente, em 2013 foi emitido o certificado SEEP – Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos para os sistemas de arquitetura de modo a clarificar os consumidores sobre os desempenhos energéticos dos seus produtos. (Extrusal [2014])

Hoje em dia a Extrusal S.A, sediada em Aradas (Aveiro), num parque industrial com 73970 m² e uma área coberta de 20916 m², tem como missão a constante modernização dos recursos técnicos e humanos e como valores a orientação para o cliente/mercado, transparência, rigor, confiança, espírito de equipa, “amiga” do ambiente, inovação e qualidade. (Extrusal [2020c], "Visão, missão e valores"[Online])

3.1.1 Grupo Extrusal

O Grupo Extrusal é constituído por várias empresas, em Portugal, Angola (Aluexal), Cabo Verde (Hexalmar) e Moçambique (Extrusal Moçambique), a maioria dedica-se à promoção e comercialização de sistemas. A sede do Grupo encontra-se em Aveiro onde são produzidos e tratados os perfis de alumínio. A Opexil e a Proclima são as empresas associadas ao grupo, a primeira é responsável pela aquisição e distribuição de acessórios e componentes para sistemas de alumínio bem como desenvolvimento de soluções em perfis de alumínio otimizadas para a melhoria do conforto, desempenho e segurança dos espaços interiores e implementação de sistemas de suporte em alumínio para a indústria solar. A Proclima desenvolve e comercializa janelas com lâminas orientáveis BETA e produz acessórios para os sistemas de arquitetura. No setor da indústria, esta empresa desenvolve componentes para a indústria automóvel e indústria em geral (solar, eletrónica, entre outras). Desde 2006, a empresa tem reforçado o seu contributo na indústria automóvel através da maquinação de peças em alumínio. (Extrusal [2020b], "Grupo"[Online])



Figura 3.1: Grupo Extrusal (Extrusal [2020b], "O Grupo"[Online])

3.2 Apresentação do processo produtivo da empresa

Após adquirir as informações necessárias do processo, com a realização de algumas entrevistas, quer a operários quer a engenheiros, e estudando os detalhes dos processos, foi possível descrever o processo e fazer a respetiva modulação, como verificamos na figura 3.2.

O sistema de produção começa com a receção do material virgem (biletos de alumínio) que são recebidos do fornecedor e, em seguida, são verificados pelo departamento de compras. Se estiverem nas condições indicadas encaminha-se o alumínio para o processo de extrusão que transforma os biletos em perfis. De seguida, são distribuídos por contentores, segundo uma ordem de fabrico proveniente da produção que informa quais os perfis que terão um tratamento de superfície ou não. Os perfis que não necessitam de tratamento podem ir para a maquinação (cortar em peças) e posteriormente enviados ou podem ser logo enviados, em bruto, para a embalagem. Na embalagem, os operários verificam o produto e se tiver em conformidade é embalado e enviado para a expedição. Caso o produto final não se encontrar em condições é considerado sucata, e segue para reciclagem sendo necessário repor matéria prima. Por outro lado, os perfis que tem uma ordem de anodização ou lacagem (tratamentos de superfície) são enviados para o armazém que irá reencaminhar os contentores para cada processo identificado. No processo de anodização os perfis são anodizados e enviados para o departamento da embalagem que irá fazer uma seleção para embalar ou para sucata. Se a ordem for de lacagem, são os próprios operários que depois de lacar, verificam os perfis e se estiverem conforme, são então embalados e expedidos. O departamento de expedição envia os produtos embalados ao cliente.

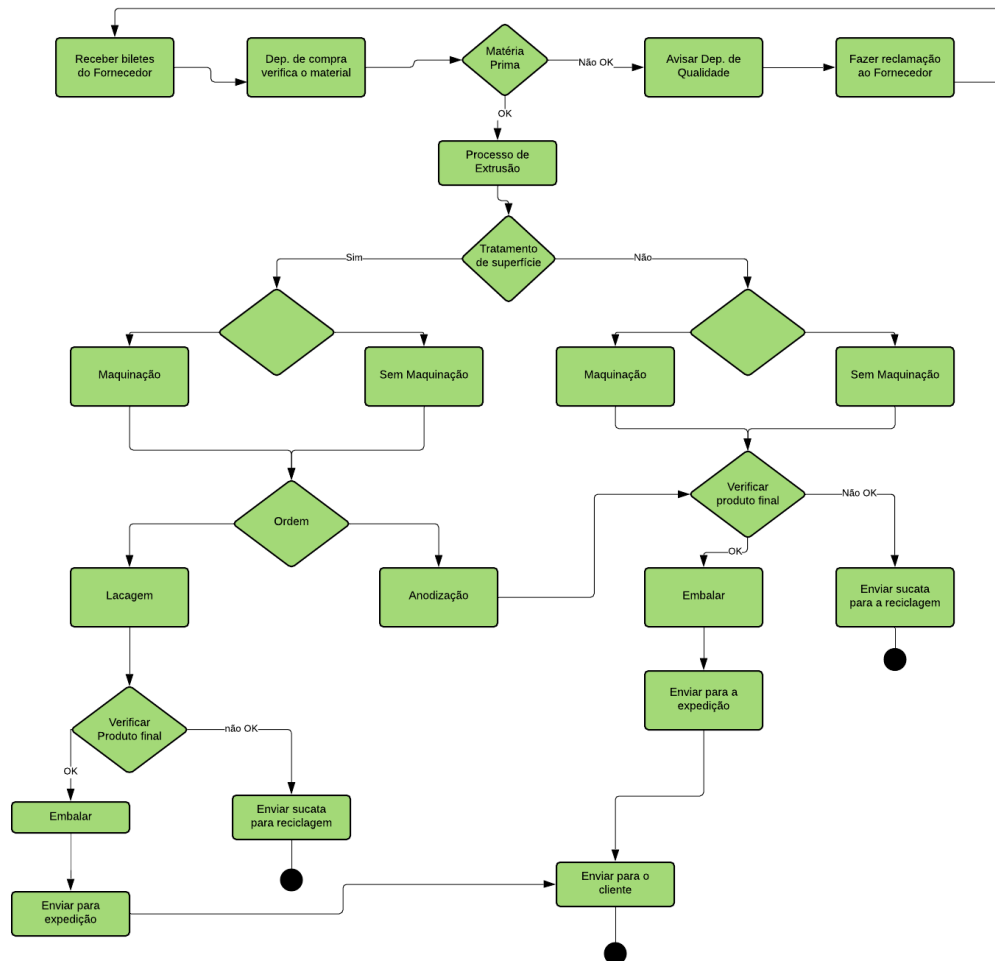


Figura 3.2: Esquema do processo produtivo da Extrusal

3.2.1 Tratamento de superfície - Linha de anodização

A anodização é um processo eletroquímico que resulta da oxidação do alumínio para criar uma camada de óxido poroso, regular e uniforme. Serve de revestimento ao material base e tem como principal função a proteção contra a corrosão tornando o alumínio um material de crescente utilização por todas as indústrias.

A linha de anodização é um processo maioritariamente manual e possui muitas atividades para executar. No início deste processo, o mestre de turno é responsável por dizer aos operários quais os perfis a anodizar por turno. Os operadores trabalham dois a dois, pois os perfis de alumínio apresentam grandes dimensões, cerca de 6 metros e

meio de comprimento. Os perfis de alumínio encontram-se em contentores (ponto A da figura 3.3) provenientes da fase de extrusão. Esses contentores estão colocados na zona de espera (ponto 2 da figura 3.4), sendo depois transportados para a zona de montagem (ponto 3). Nessa zona de montagem os perfis são colocados em bastidores (ponto B da figura 3.3) e assim que o bastidor está pronto e carregado de perfis o operador regista no sistema as características da anodização (espessura, cor e acetinado) para cada bastidor. Depois de serem mergulhados nos diversos banhos (ponto 4) são transportados para uma zona de descarga (ponto 5), descarregados e finalmente levados para a zona 6 (figura 3.4). Como o processo de anodização não tem uma zona de embalagem própria estes perfis são enviados para a zona de embalagem dos perfis em bruto (ponto 7). Nessa zona o produto é verificado e se estiver nas condições desejadas é enviado para expedição. Caso ocorra algum problema, o processo termina sem êxito, o que levará a uma elevada perda de tempo e de material.

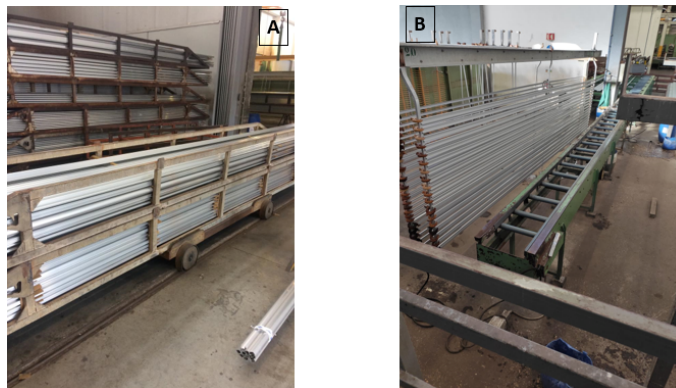


Figura 3.3: Exemplo de contentores (A) e bastidores (B) usados no processo de anodização

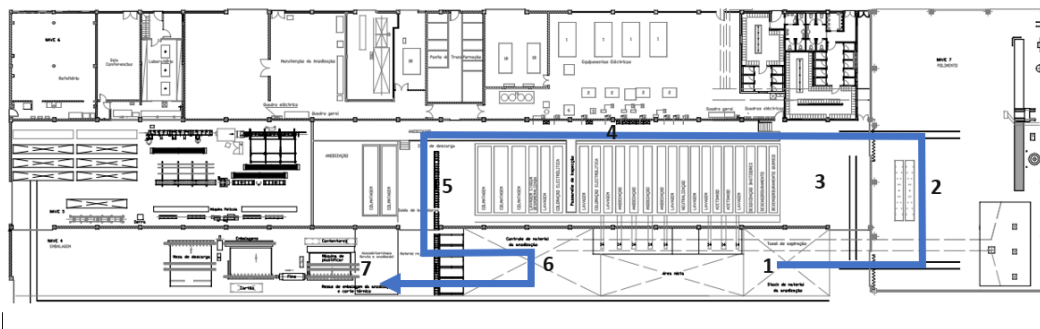


Figura 3.4: Fluxo dos perfis no processo de anodização

Paralelamente ao processo existe uma outra linha de montagem de peças de alumínio para anodizar (Figura 3.5), nesta linha são necessários três operadores. Neste processo os operários montam um bastidor na zona 2 com peças vindas previamente da zona 1 da imagem, de seguida, transportam o bastidor através de uma ponte de transporte para os banhos iguais aos da linha de anodização de perfis (3 e 4). Depois de anodizados, esses bastidores voltam aos operários para o ponto 4 onde desmontam, limpam, verificam, embalam as peças e por último enviam para a expedição que sucessivamente envia para o cliente.

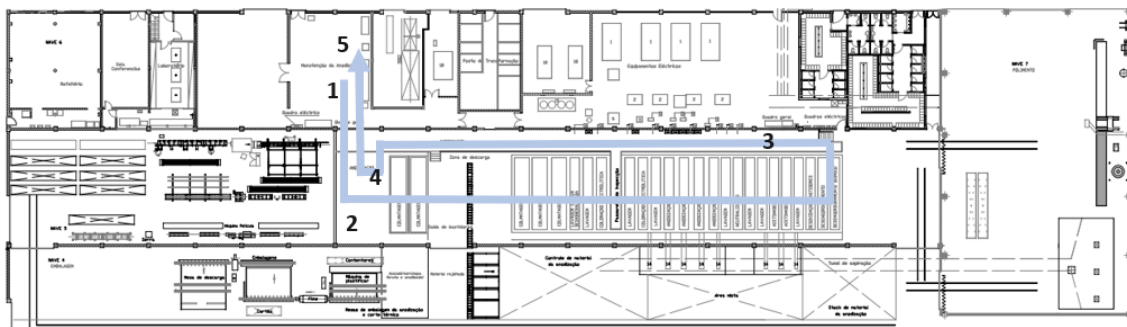


Figura 3.5: Fluxo de peças no processo de anodização

3.3 Situação Inicial

3.3.1 Objetivos e metodologia adotada

O projeto em estudo centrou-se no acompanhamento do processo de anodização na Extrusal, e teve como objetivo principal promover o aumento da produtividade e da qualidade do referido processo. Sendo assim, as etapas do projeto foram as seguintes:

- Perceber quais os pontos críticos do processo de anodização implementado atualmente, através do mapeamento das tarefas, sequências e tempos;
- Propor ações de melhoria e implementar grande parte delas, com o objetivo de eliminar desperdícios e otimizar o processo;
- Monitorizar e avaliar os resultados obtidos.

O resultado deste projeto deve permitir que a Extrusal obtenha um processo mais padronizado, garantindo a melhoria contínua do mesmo.

3.3.2 Monitorização e recolha de informação

Na imagem 3.6 observamos o fluxo dos perfis no processo de anodização.

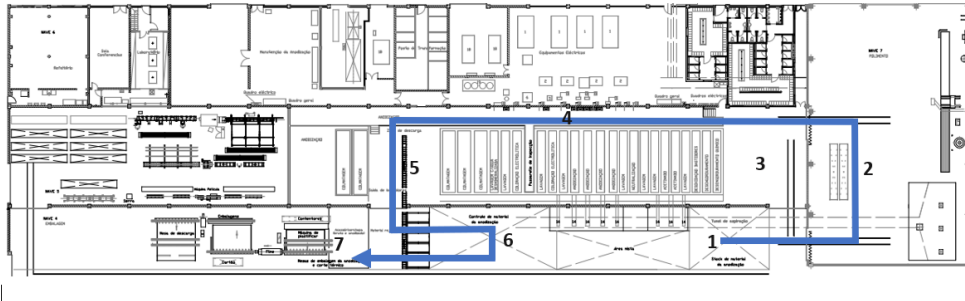


Figura 3.6: Fluxo dos perfis no processo de anodização

Inicialmente procedeu-se à recolha dos tempos de cada operação que constitui o processo de anodização. De seguida foi calculado o tempo padrão necessário para completar uma determinada atividade, num dia de trabalho normal, utilizando as ferramentas necessárias e executada por um operador habilitado, de acordo com método de medição abordado por Stevenson [2012]; através de várias observações dos movimentos dos operadores a desempenhar a tarefa em questão chega-se a um tempo padrão. Segundo o autor este método de medição segue quatro etapas: definir a tarefa que vai ser estudada e informar o operador que vai ser analisado, determinar qual o número de medições a realizar, medir a duração da atividade, classificar os movimentos do operador e calcular o tempo padrão. (Stevenson [2012])

Para este caso de estudo foram recolhidos 20 tempos de cada operação e em situações consideradas normais. Dependendo da variabilidade de cada amostra, mais observações foram realizadas. Após a recolha dos tempos, o maior e o menor tempo são retirados e é feita uma média através da equação 3.1:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (3.1)$$

Na tabela 3.1, observamos os valores médios da duração de cada atividade do processo. É importante realçar que os operadores trabalham dois a dois e realizam exatamente as mesmas tarefas.

Tarefa	Designação	Média	Desvio padrão
A	Colocar o contentor em 1	2 minutos	40 segundos
B	Empurrar carrinho	17 segundos	4 segundos
C	Colocar o contentor em 1.2	56 segundos	18 segundos
D	Transpor os perfis do contentor A (grandes dimensões) para o contentor B (pequenas dimensões)	19 minutos	9 minutos
E	Colocar contentor em 2	2 minutos	32 segundos
F	Colocar contentor em 2.1	56 segundos	18 segundos
G	Empurrar carrinho	17 segundos	4 segundos
H	Colocar contentor em 3	2 minutos	13 segundos
I	Montar bastidor	8 minutos	2 minutos
J	Colocar bastidor no 1 ^o banho	1 minuto	20 segundos
K	Banho: Desengorduramento	8 minutos	
K	Banho: Desoxidação	8 minutos	
K	Banho: Acetinado	11 minutos	
K	Banho: Neutralização	2 minutos	
K	Banho: Anodização	*	
K	Banho: Coloração	*	
K	Banho: Colmatagem	4 minutos/ μm	
L	Desmontar bastidor	12 minutos	5 minutos
M	Verificar e colocar os perfis anodizados em 6	12 minutos	5 minutos

Tabela 3.1: Tempos das atividades do processo de anodização

* O tempo no banho da anodização/coloração varia com a espessura e cor que o cliente deseja; quanto mais tempo no banho mais espessura ou mais cor terá o perfil.

Recolhidos os tempos de cada atividade procedeu-se à observação com pormenor das tarefas que tinham um tempo médio maior, e cronometrou-se o "tempo morto" definido com pausas e o tempo não produtivo (Tabela 3.2).

Tarefa	Designação	Média	Desvio padrão
A	Colocar o contentor em 1	2 minutos	1 minuto
D	Transpor os perfis do contentor A (grandes dimensões) para o contentor B (pequenas dimensões)	20 minutos	9 minutos
I	Montar bastidor	8 minutos	2 minutos
J	Colocar bastidor no 1 ^o banho	1 minuto	20 segundos
L	Desmontar bastidor	12 minutos	5 minutos
M	Verificar e colocar os perfis anodizados em 6	12 minutos	5 minutos

Tabela 3.2: Tempos não produtivos das atividades

De seguida, foram estudados com mais pormenor os diversos banhos da linha de anodização (Tabela 3.3). Como estes tempos no banho não podem ser alterados, já que o tempo de imersão garante as condições contratadas pelo cliente, verificou-se qual era a percentagem de ocupação de cada tina.

Banho	Média	Percentagem de ocupação
Desengordurante	8 minutos	53%
Desoxidação	8 minutos	73%
Acetinado	11 minutos	55%
Neutralização	2 minutos	61%
Anodização	*	53%
Coloração Eletrolítica	*	51%
Colmatagem	4 minutos/ μm	100%

Tabela 3.3: Ocupação da tinas

Paralelamente à linha de anodização de perfis existe, como já referido, a linha de anodização de peças. Como se pode observar na tabela 3.4, nesta linha foram recolhidos os tempos de montagem do bastidor e o tempo de desmontagem e embalagem das peças.

Referência da peça	Montar bastidor (Média)	Desmontar e embalar peças (Média)
P.468.361	7 horas	2 horas
P.431.902	2 horas	1 h 45 min
P.376.108	1 horas	1 h 05 min
P.261.744	50 min	20 min

Tabela 3.4: Ocupação da tinas

3.3.3 Cálculo dos indicadores de desempenho - OEE

O indicador de desempenho OEE, como foi referido na revisão teórica permite ter uma visão geral do funcionamento da empresa, como as principais perdas relacionadas com os equipamentos. Neste caso em questão, o indicador mediu a eficácia da linha de anodização.

Para calcular este indicador de desempenho foi necessário a recolha de vários dados, nomeadamente:

- Produção objetivo (m^2)
- Produção bruta (m^2)
- Sucata (m^2)
- Produção líquida (m^2)

As tabelas seguintes apresentam os dados fundamentais para o cálculo do OEE. Estes dados foram recolhidos ao longo dos meses de estágio.

	Produção Objetivo	Produção Bruta	Sucata	Produção Líquida
Setembro	104 719 m^2	36 197 m^2	235 m^2	35 962 m^2
Outubro	153 986 m^2	67 022 m^2	2 111 m^2	64 911 m^2
Novembro	100 353 m^2	43 084 m^2	1 072 m^2	42 012 m^2
Dezembro	0	0	0	0
Janeiro	82 569 m^2	50 230 m^2	1 260 m^2	48 970 m^2
Fevereiro	89 989 m^2	52 645 m^2	1 018 m^2	51 627 m^2

Tabela 3.5: Dados fundamentais para o calculo do OEE

	Disponibilidade do Equipamento	Eficiência de Anodização	Qualidade
Setembro	54%	36%	99%
Outubro	88%	44%	97%
Novembro	58%	43%	98%
Dezembro	0%	0%	0%
Janeiro	76%	61%	97%
Fevereiro	73%	59%	98%
Média	58%	41%	82%

Tabela 3.6: Percentagem de Disponibilidade, Eficiência e Qualidade do Processo de Anodização

3.4 Análise dos resultados adquiridos

Foi possível observar, através do estudo do processo de anodização nestes meses de estágio e com a ajuda dos operários e dos engenheiros do departamento de tratamento de superfície, quais os principais problemas e erros cometidos neste processo.

3.4.1 Problemas encontrados

O processo de tratamento de superfície por anodização inicia-se com a colocação dos contentores num armazém, que transportam os perfis de alumínio vindos do processo de extrusão (Figura 3.7). Os operários não utilizam nenhuma metodologia específica de colocação dos contentores (Figura 3.8), colocando-os de forma aleatória. Esta falha prejudica as tarefas seguintes já que a seleção dos perfis para dar continuidade ao processo é mais lenta.

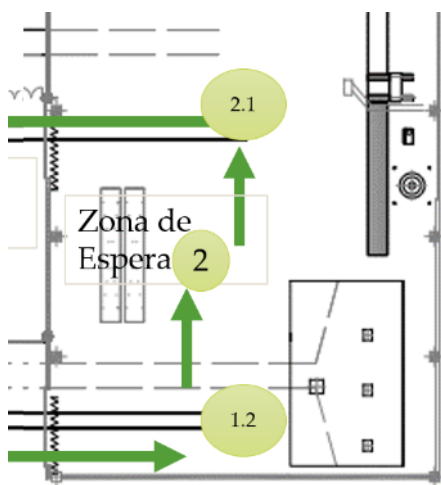


Figura 3.7: Planta-Zona 2



Figura 3.8: Contentores na zona 2

Existem vários "tempos mortos" ao longo do processo de anodização que não incrementam valor ao cliente, isto acontece nas atividades de montagem dos bastidores, montagem e desmontagem de peças. O tempo que os operários desperdiçam em ir buscar os materiais que precisam para montar os perfis e as peças é elevado. Para além dos "tempos mortos" já referidos também o processo de montagem apresenta falhas mostrando-se também pouco adequado para prevenir acidentes e doenças crónicas dos trabalhadores. Na imagem 3.9 podemos observar algumas fases do processo de montagem de um perfil

de alumínio.



Figura 3.9: Montagem de bastidores

Para além destes problemas encontrados nesta atividade de montagem e desmontagem referir também que a máquina utilizada para otimização do aperto dos grampos dos perfis nos bastidores (Figura 3.10) não está concebida para trabalhar 24 horas (duração de três turnos). Torna-se necessário que os operários fixem manualmente os perfis aos bastidores. Quando esta fixação não é eficaz o bastidor sai de posição na etapa seguinte.



Figura 3.10: Grampos

Na fase de embalagem dos perfis identificou-se novo problema: a nave (processo de anodização) não contém uma zona de embalagem própria pelo que é necessário enviar o material anodizado para a zona de embalagem do alumínio em bruto, sem tratamentos de superfícies. (zona 6 da figura 3.6) Os perfis anodizados e os perfis de alumínio sem tratamento de superfície partilham a mesma área de embalagem com consequente acumulação e atrasos na entrega ao cliente.

Capítulo 4

Propostas de melhoria

4.1 Propostas Consideradas

Ao longo de vários meses de estágio e ao familiarizar com a empresa e com os processos em si, foi possível implementar algumas propostas de melhorias adequadas ao que foi analisado no capítulo anterior.

Neste capítulo é apresentada algumas propostas de melhoria para o processo de anodização conforme o objetivo deste relatório de estágio. Apenas algumas das sugestões apresentadas foram implementadas durante a realização do estágio curricular, sendo que as restantes foram consideradas e seriam implementadas futuramente. Antes de apresentar as propostas é importante referir que a entidade empresarial deveria começar primeiro com formações sobre metodologias *lean* e em questão a metodologia 5S.

4.1.1 Aplicação de 5S na zona 2 do processo de anodização

Na fase inicial do processo estudado um dos problemas encontrados foi a falta de organização da zona 2, identificada na figura 4.1, que causava problemas mais à frente.

Surgiu então a necessidade de começar pela sua identificação, entre os quais se destacam:

- Local desorganizado, materiais mal identificados e peças misturadas
- Etiquetagem e codificação das peças pouco esclarecedora
- Local de trabalho sujo: má gestão visual

- Dificuldade na localização dos artigos
- Materiais fora do sítio, espalhados pelo espaço

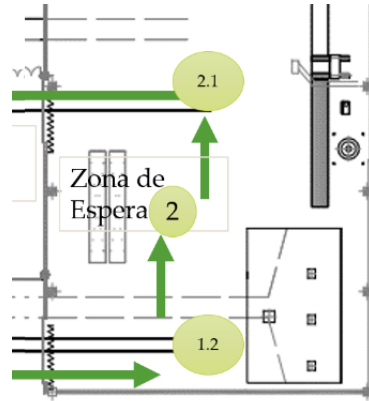


Figura 4.1: Zona 2 do processo de anodização

A metodologia 5S é considerada um método que ajuda a melhorar a eficiência, o desempenho e a qualidade de uma organização, se o objetivo for causar impacto no local de trabalho e na produtividade. Realizou-se, então, um plano de implementação desta prática Japonesa. Inicialmente realizou-se uma observação direta para perceber quais as necessidades de alteração no *gemba*, e procedeu-se ao levantamento fotográfico da zona 2 (zona para modificar), de forma a registar visualmente os desperdícios associados e as oportunidades de melhoria. No desenvolvimento deste plano, foi definido certas prioridades e passos a ter em consideração na organização do setor. Estas medidas são relativas aos 5S da metodologia (classificar, organizar, limpar, normalizar e respeitar). A imagem 4.2 representa um exemplo do plano referido na zona 2


Zona	1ºS-Classificar	2ºS-Organizar	3ºS-Limpar	4ºS-Normalizar	5ºS-Respeitar
	Colocar etiquetas vermelhas nos materiais que não são daquela seção ou estão danificados	Organizar os contentores para anodizar nesse dia colocando-os na zona de prioridade	Colocar caixotes para os resíduos	Definir rotinas de limpeza	Respeitar os pontos anteriores e os procedimentos criados
	Colocar etiquetas amarelas nos materiais em dúvidas e depois passar a verde ou vermelho	Organizar os contentores por tipo de tratamento que o perfil de alumínio sofre	Eliminar fontes de sujidade	Criar um cartaz para a aplicação correta dos 5S	
	Colocar etiquetas verdes nos materiais que são daquela seção		Arrumar o que se encontra fora do sítio		Realizar inspeções mensais
	Definir uma zona de prioridade para os contentores	Definir um lugar para cada objeto da seção	Limpar o armazém	Identificar visualmente todos os contentores	

Figura 4.2: Plano de implementação de 5S

1. Classificar:

No começo da implementação desta ferramenta foram utilizados autocolantes com três cores, vermelho, amarelo e verde. Os autocolantes vermelhos iriam ser colocados nos objetos que fossem considerados não úteis ou que estivessem desarrumados, foi decidido que passado uma semana os materiais que mantivessem esses mesmos autocolantes iriam diretamente para a reciclagem ou para o contentor do lixo. Se houvesse dúvidas quanto à utilidade de um certo objeto, colocar-se-ia um autocolante amarelo, e se, não passasse a verde iria para a reciclagem ou para o contentor do lixo. As etiquetas verdes seriam colocadas nos objetos necessários naquele setor. Foi estimado que este processo demoraria cerca de um mês e assim seria possível identificar os materiais que já não se encontravam em condições para serem utilizados ou que estavam desatualizados.

2. Organizar:

Após a classificação dos materiais importantes e não importantes, estes últimos irão ser reorganizados criando locais para o seu armazenamento. Os contentores com os perfis de alumínio serão identificados e ordenados para posteriormente a localização dos mesmos ser acessível e espontânea. A sua organização deverá ser feita mediante o tipo de tratamento de superfície que cada perfil sofre. Será criada um zona prioritária onde serão colocados os contentores que serão anodizados no dia.

3. Limpar

No final da organização do setor foi proposto a realização de uma limpeza geral, pintar paredes e mudar o chão. Ficou também definido semanalmente limpezas ao setor, para manter o espaço sempre limpo e organizado.

4. Normalizar

Para a etapa número 4, normalizar, foi criado um cartaz para a aplicação correta dos 5S (Anexo A). Assim, os operários e todos os envolventes teriam um guia com os 5S simplificados e aplicariam devidamente no dia-a-dia da empresa.

5. Normalizar

Como foi mencionado no capítulo 2, respeitar os pontos anteriores e os procedimentos criados é essencial. Foi decidido que seria importante a realização de inspeções mensais para confirmar se a implementação dos 5S estava a ser realizada da maneira correta. Para tal elaborou-se um formulário (Anexo B).

4.1.2 Novo *layout* da zona de montagem de peças

Ao longo do estágio foi possível observar que a nave 5 não aproveitava corretamente o seu espaço, conseqüentemente a empresa não alcançava a sua produtividade máxima. Decidiu-se então mudar o *layout* da mesma, começando na zona do processo de peças de alumínio para anodizar.

Para além da limpeza e da confusão da secção em questão, resolvidos com a implementação 5S, o *layout* apresentava algumas falhas. Na análise inicial, o *layout* foi considerado um desperdício baseado na desorganização dos materiais precisos para a montagem dos bastidores, ou seja, não estavam nos lugares mais corretos. O caminho e o transporte de peças e vários equipamentos (bastidores, caixas, etc.) desnecessários era outro fator também importante a ser considerado, uma vez que a segurança é prioritária num processo. Por outro lado, a inexistência de zonas definidas e devidamente delimitadas, como a montagem dos bastidores, a desmontagem e o embalamento, faz com que muitas vezes o material acabe por se misturar e poderá ocorrer vários erros e perdas de tempo.

Na imagem 4.5 é visível o *layout* atual e o trajeto dos operários.

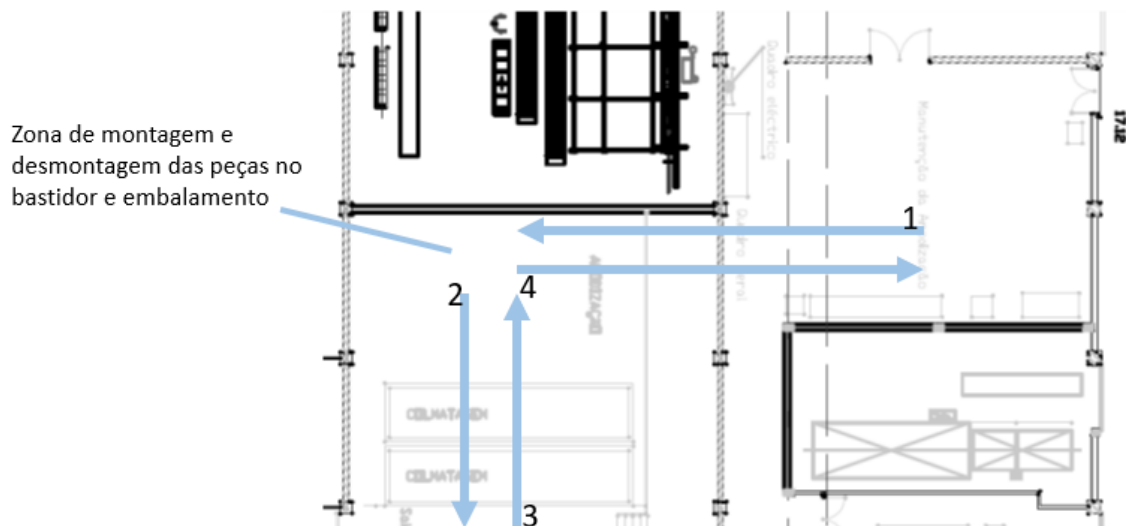


Figura 4.3: *layout* da zona de montagem de peças atual

Após várias reuniões com os chefes de diversos departamentos chegou-se à conclusão de qual seria a melhor disposição da secção e o que era necessário alterar. Nas imagens seguintes podemos observar o que foi modificado.

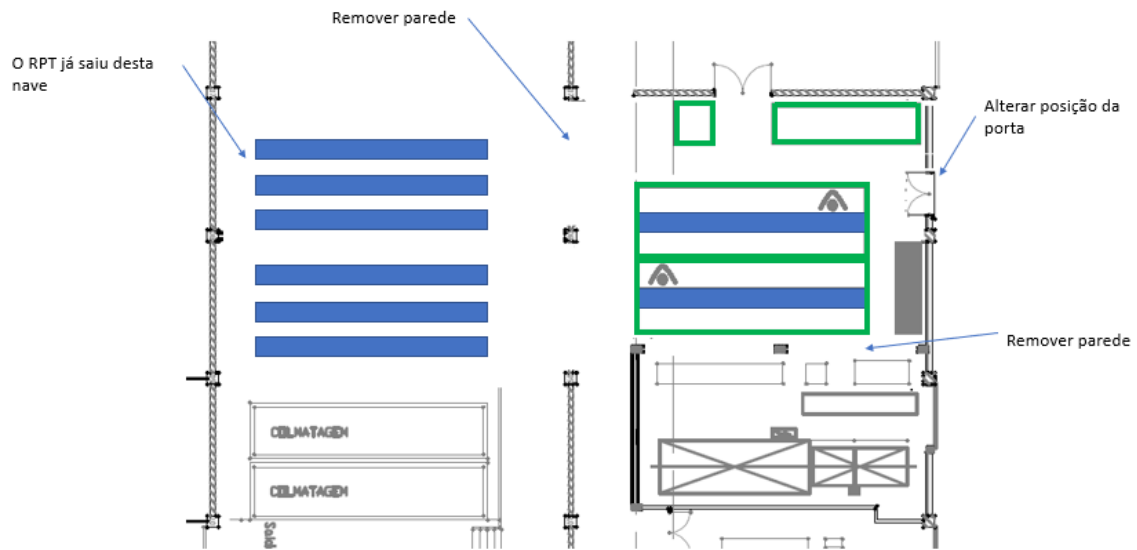


Figura 4.4: *layout da zona de montagem de peças alterado*

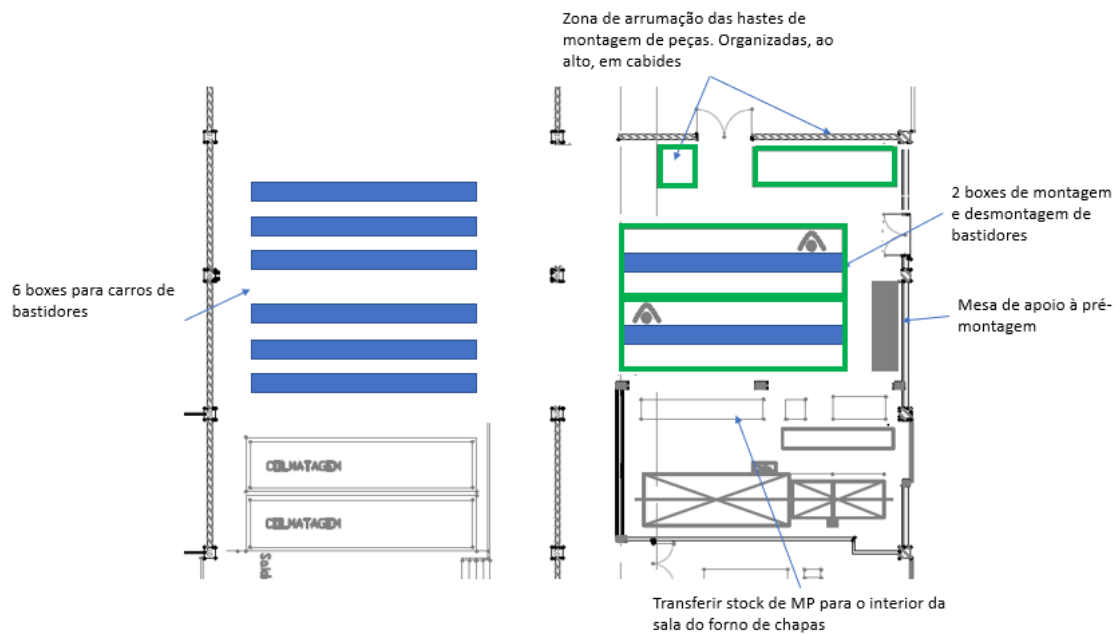


Figura 4.5: *layout da zona de montagem de peças alterado*

Com estas novas sugestões foi necessário reformular o fluxo deste processo de anodização de peças, assim sendo, as etapas são as seguintes:

1. A montagem das peças nas hastes e estas no bastidor é realizada na box de montagem/desmontagem;

2. Depois de concluída a montagem do bastidor, o carro de transporte é movido para a box de espera;
3. É transportado um carro com peças anodizadas para a box de montagem/desmontagem;
4. As peças anodizadas são desmontadas e colocadas no carro de transporte original;
5. O carro com as peças anodizadas é transferido para a zona de embalagem (não considerada neste layout, mas a zona do forno das chapas seria a ideal). Depois de embaladas as peças o carro volta para a origem;
6. O bastidor fica pronto para uma nova montagem (volta ao ponto 1).

Implementado novos layouts, podemos assumir vantagens como tempos de execução de tarefas mais baixos, uma vez que se percebe a finalidade das mesmas, simplificação das tarefas, já que as zonas estão claramente diferenciadas e o aspeto do espaço melhora em termos visuais, graças à sua organização.

4.1.3 Novo *layout* da nave 5 (processo de anodização)

Outra área de atuação que foi alvo de intervenção, outrora inexistente, foi a criação de uma zona de embalagem para o processo de anodização. Deste modo, simplificou-se e distinguiu-se as tarefas existentes na organização que anteriormente se confundiam e, em simultâneo, criou-se ordenação entre essas mesmas tarefas.

A falta de uma zona de embalagem no processo de anodização, fazia com que a tarefa fosse realizada no mesmo local dos outros processos, ou seja, os perfis anodizados eram embalados no mesmo sitio onde se embalava os perfis em bruto (que não sofreram tratamento de superfície).

O espaço disponível para a criação deste *layout* não é significativo, o que implicou uma adaptação às condições existentes. Para o processo ser lógico e rentável o *layout* deveria ser criado perto da zona de desmontagem dos bastidores.

Após várias visitas ao espaço e reuniões, ficou decidido que o embalagem ficaria na zona onde estava o corte térmico (Zona 1 da Figura 4.6). Depois de verificar toda a empresa e todos os seus armazéns, foi necessário encontrar o sítio ideal para o corte térmico, a nave onde se encontra o processo de lacagem é suficientemente espaçosa e o local certo.

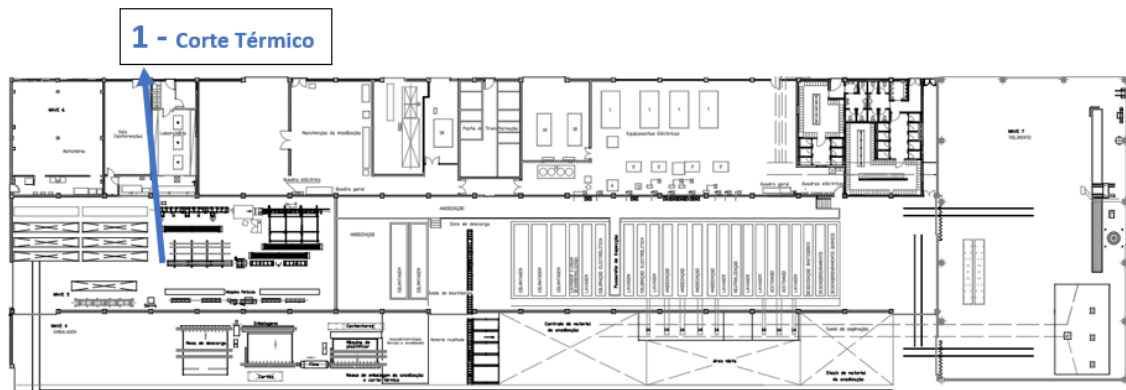


Figura 4.6: *Layout* da nave 5 com corte térmico

Resolvido este primeiro problema havia todos os pontos necessários para começar a desenhar o *layout* da zona de embalagem. Devido à situação de pandemia surgida no nosso país, a empresa optou por não avançar com esta melhoria.

Independentemente da decisão da empresa, caso fosse uma proposta para implementar no futuro, foi decidido um possível *layout* como se verifica na figura 4.7

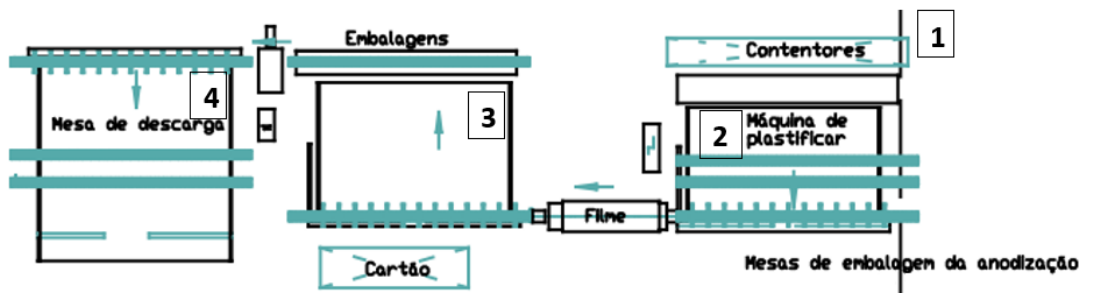


Figura 4.7: *Layout* da zona de embalagem para o processo de anodização

4.2 Propostas concretizadas

4.2.1 Simulação de uma etapa de um processo de anodização no FlexSim

Devido à situação de pandemia causada pelo Covid-19 no nosso país não foi possível implementar as propostas estudadas para o processo de anodização mencionado nesta redação. Foi necessário “pensar fora da caixa” e encontrar uma solução de forma a obter resultados da implementação planeada. Assim foi utilizada a ferramenta FlexSim, um programa de simulação, com o qual foi possível desenvolver e melhorar a atividade do processo de anodização de alumínio.

Foi possível observar que o processo de anodização apresentava algumas falhas. Uma das primeiras atividades, a distribuição dos contentores, tinha margem para otimização. Nas primeiras etapas do processo de anodização os operadores, dois a dois, carregam através de uma ponte (Figura 4.8) os contentores com perfis de alumínio vindos de duas prensas distintas para um carrinho, que posteriormente os transporta para outra secção da nave. A necessidade desta etapa de condução dos contentores ocorre porque a ponte não tem possibilidade de os carregar diretamente para a área final devido a uma parede.



Figura 4.8: Ponte mecânica que transporta os contentores com perfis de alumínio

Os operadores, posteriormente, transferem os perfis para contentores mais pequenos, necessários para as etapas seguintes. Esta atividade foi identificada como um dos principais problemas, um gargalo que prejudica as etapas seguintes.

Nesta etapa os principais problemas são a falta de contentores pequenos e a falta de material, cartão, importante para a realização da atividade.

Com a ajuda do programa de simulação FlexSim foi possível encontrar uma solução que melhorasse esta etapa do processo. Foram debatidas várias propostas de melhoria para posterior implementação.

Como referido anteriormente para criar uma simulação bem sucedida começou-se por desenvolver o *layout* da etapa em questão no programa. Para tal, foi necessário selecionar objetos da biblioteca e arrastar para a janela do projeto. Nessa janela de *layout* 3D é possível girar o objeto nos diferentes eixos e posicioná-lo no lugar correto. Repete-se este processo até o modelo ficar concluído, com todos os objetos necessários para criar o *layout* da simulação. De seguida é preciso ligar os objetos segundo o fluxo que os operários efetuam, como se verifica na imagem 4.9

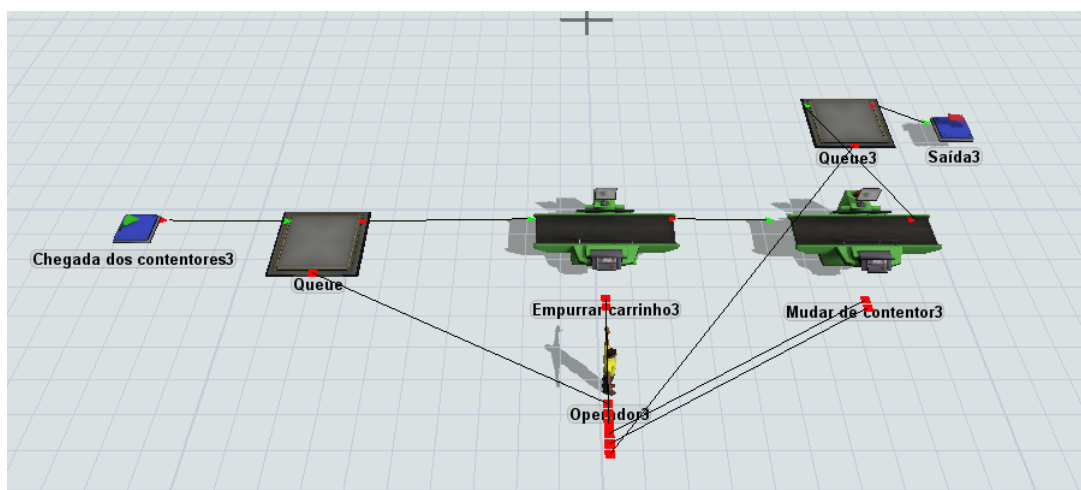


Figura 4.9: *Layout* da simulação e respetivas ligações

Cada objeto da janela do programa foi especificado segundo os dados da empresa como por exemplo, tempo de processamento, o horário de trabalho e o número de *inputs*. (Figura 4.10 e 4.11)

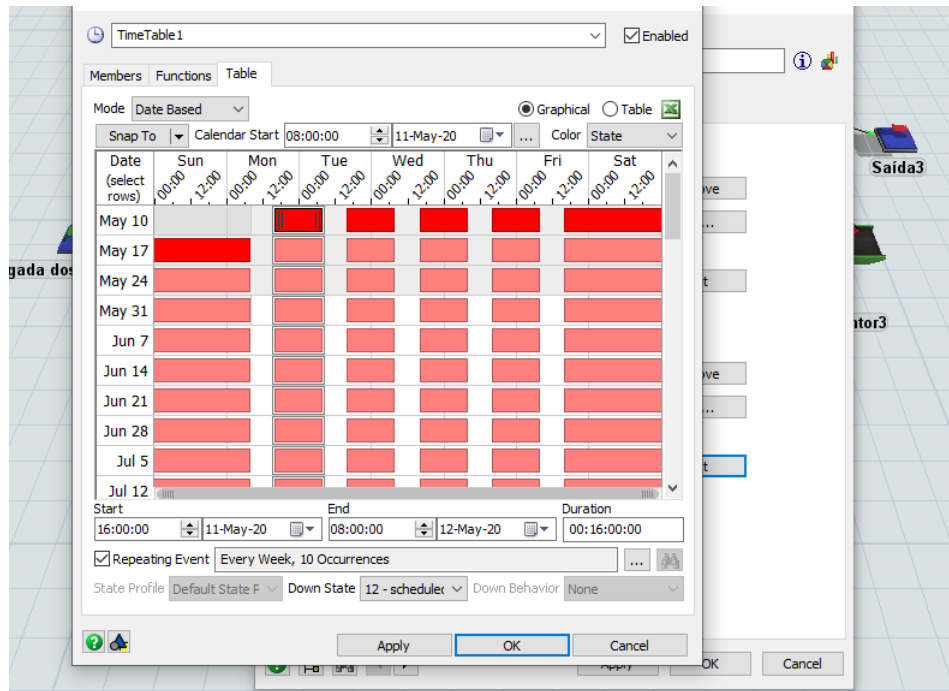


Figura 4.10: Especificação do horário dos trabalhadores

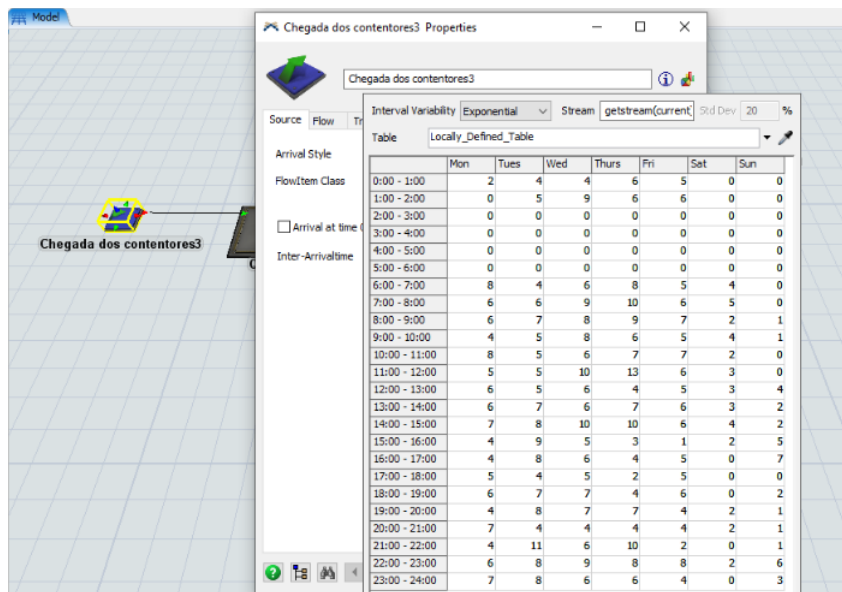


Figura 4.11: Chegada dos contentores vindos da prensa segundo uma média por dia da semana

Para executar a simulação e obter resultados decidiu-se que seria vantajoso criar 3 cenários distintos como podemos verificar na imagem 4.12 e na tabela 4.1 e também quais os parâmetros mudados e os resultados (output) durante um mês de trabalho.

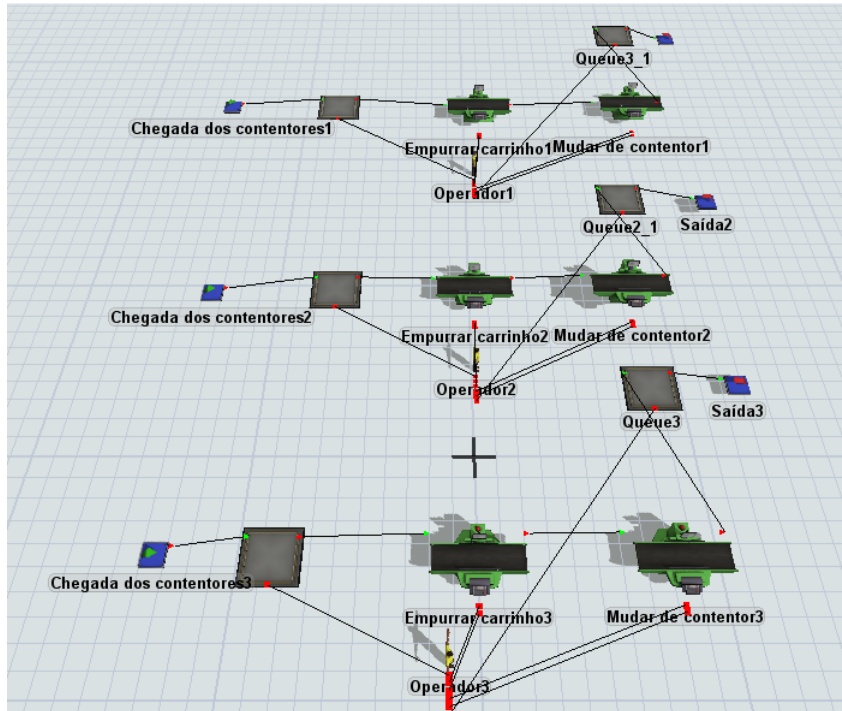


Figura 4.12: Simulação dos três cenários no FlexSim

O tempo destinado a empurrar o carrinho não sofreu qualquer tipo de alteração nos três cenários diferentes. O mesmo não aconteceu no tempo gasto a transferir os perfis para os contentores seguintes. Depois de várias medições a esta atividade foi possível verificar que se os contentores e os cartões fossem previamente arrumados e organizados perto da etapa, conseguia-se uma redução no tempo da tarefa para apenas 19 minutos.

O cenário 1 mostra a realidade do processo da empresa, com o tempo de processamento dois maior e com um turno. No cenário 2 e 3 o tempo de transferir os perfis é menor, devido à explicação em cima referida. Entendeu-se também que seria interessante verificar se com dois turnos o processo sofria alguma melhoria (cenário 3), uma vez que todas as etapas seguintes do processo de anodização são realizadas a 3 turnos.

Cenário	Turno	Tempo de processamento (Empurrar carrinho)	Tempo de processamento (Mudar de contentor)	Output (Contentores)
1	1 turno	17 segundos	22 minutos	459
2	2 turno	17 segundos	19 minutos	1059
3	1 turno	17 segundos	19 minutos	528

Tabela 4.1: Simulação FlexSim

Assim, dos resultados da simulação, é possível observar-se que o output do cenário 2 é o maior, com 1059 contentores arrumados, sendo necessário, no entanto empregar mais operários. O cenário 3 é melhor que o atual e não há necessidade de aumentar os recursos humanos. Neste dois cenários é necessário modificar os erros encontrados, ou seja, aplicar 5S e arrumar previamente os materiais necessários para o processo perto dos operários e da etapa.

4.2.2 Alteração de um bastidor de alumínio

Para a empresa é importante que os seus processos produtivos sejam mais rápidos e eficazes, decidiu-se então encontrar pequenas etapas e atividades que pudessem ser alteradas ou melhoradas.

As atividades que envolvem a montagem dos perfis ou das peças de alumínio nos bastidores é bastante lenta atrasando o processo de anodização, então, optou-se por alterar um tipo de montagem de bastidor de peças de alumínio.

No início dos meses de estágio os operários colocavam perfis num bastidor e demoravam cerca de 2 horas a montar 400 peças no bastidor. Este tempo é consequência de os operadores terem que montar um bastidor, colocar nos perfis uns "clipes" (ponto A da figura 4.13) e por último colocá-los no bastidor apertando-os com umas molas, como se verifica na figura 4.13

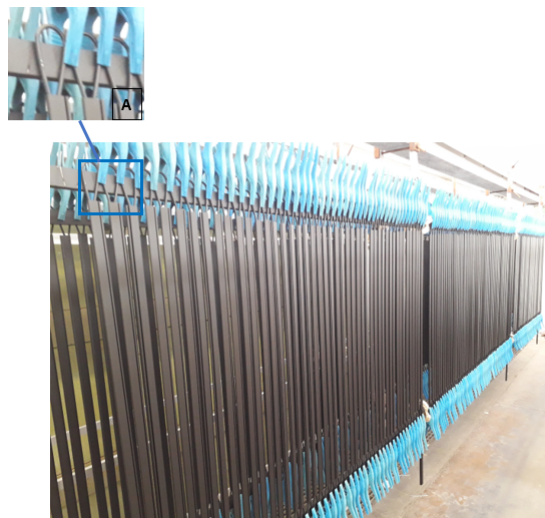


Figura 4.13: Bastidor utilizado anteriormente

Após várias reuniões foi decidido que a solução era alterar um bastidor com os encaixes necessários e adequados, e assim, facilmente os operários montavam os perfis. Os primeiros testes foram feitos num bastidor como o da imagem 4.14.



Figura 4.14: Bastidor alterado - primeiro teste

Verificou-se, após vários testes, que as peças de alumínio não ficavam bem anodizadas. Foi então necessário descobrir as causas para este problema, para isso, desenvolveu-se um diagrama de *Ishikawa*. Figura 4.16

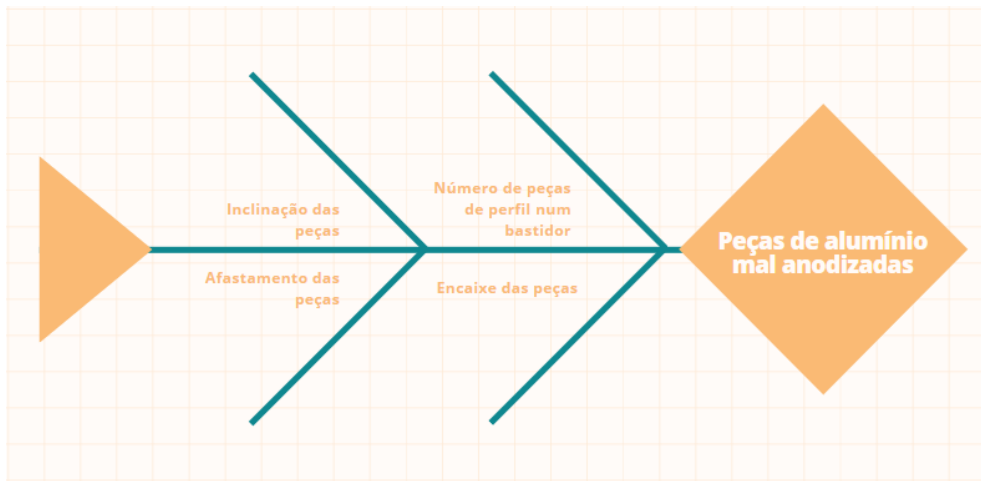


Figura 4.15: Diagrama de *Ishikawa*

Com o diagrama em cima foi possível descobrir as causas da má anodização das peças de alumínio:

Encaixe das peças: Este processo de anodização, como foi mencionado nos capítulos anteriores, é um processo que exige corrente elétrica, e para tal, é necessário que as peças de alumínio estejam bem encaixadas ao suporte que posteriormente está em contacto com o bastidor, para haver corrente suficiente para anodizar as peças.

Numero de peças por bastidor: Com mais estudos ao novo suporte foi possível compreender que se as peças fossem colocadas na horizontal e não na vertical, este bastidor conseguia levar mais peças.

Inclinação das peças: Um outro problema que causava defeitos era a inclinação das peças, ou seja, com as peças não inclinadas a água das tinas acumulava nas dobras/furos e causava defeitos. Para isto não acontecer foi necessário estudar uma inclinação possível para a água acumulada escorrer.

Afastamento das peças: Por último, o espaçamento entre as peças não poderia ser tão pequeno como estava no início, porque com certos movimentos as peças tocavam-se umas nas outras e originavam outros defeitos.

Depois de identificadas as causas procedeu-se à resolução das mesmas. Este novo suporte levaria mais peças de alumínio se tivesse na horizontal, as peças encaixadas deviam ter um inclinação e um afastamento para não criar defeitos e os encaixes foram reforçados para haver corrente elétrica necessária para anodizar o alumínio.

Surgiu então um bastidor novo como podemos observar na figura seguinte.



Figura 4.16: Bastidor alterado - segundo teste

Foram realizados novos testes com este bastidor, assim os operadores conseguem montar 84 barras em 20 minutos, o que dá no total um bastidor de 420 peças numa 1 hora e 40 minutos aproximadamente. Apesar desta melhoria se encontrar numa fase de teste, tudo indica que a empresa terá benefícios a longo prazo.

Capítulo 5

Conclusões, limitações e trabalho futuro

Neste último capítulo é apresentada a conclusão do relatório de projeto, as limitações sentidas ao longo da realização do mesmo e também o trabalho futuro onde são referidas algumas sugestões de melhoria nos processos da Extrusal, em particular, nas linha que não foram estudadas.

Para a realização do presente trabalho, foi fundamental a compreensão de todos os conceitos relacionados com este tema, com o auxílio de diversas referências. A utilização de ferramentas *Lean* ajudam na melhoria contínua dos processos das organizações. Neste caso de estudo o objetivo principal foi reduzir as tarefas que não acrescentavam valor aos clientes e melhorar o processo de produção da Extrusal, mais especificamente o processo de anodização.

Modelar o processo facilitou a identificação das tarefas que traziam maior desperdício para a empresa. Para reduzir esses desperdícios foi proposta a utilização de ferramentas *Lean* que leva a melhores performances na empresa. A fábrica torna-se num local mais limpo, a segurança no local de trabalho e a qualidade do produto aumentam, os problemas tornam-se mais fáceis de detetar e prevenir, o desperdício e os custos são reduzidos, o produto ou serviço atende às necessidades do cliente da maneira mais eficiente. O toque humano e o espírito de equipa também ajuda na implementação do *Lean*, pois a solução de problemas foi demonstrada como um esforço compartilhado.

Num ambiente cada vez mais competitivo, é absolutamente necessário coordenar de

maneira eficaz os processos da empresa. A concretização deste projeto demonstrou, sobretudo, que o pensamento *Lean* poderá ser solução para muitos problemas da empresa.

Estas ferramentas apesar de trazerem muitos benefícios para as empresas a sua implementação é complexa e pode demorar algum tempo para concretizar. Uma das principais limitações encontradas foi a falta de motivação por parte dos operadores, que afirmavam que a empresa estava nas condições certas e não era necessário qualquer tipo de mudança. Mudar a “mentalidade” e o funcionamento de uma empresa é uma “missão” muito difícil.

Outra limitação foi a pandemia que o nosso país atravessa, devido à Covid-19 não foi possível implementar as melhorias propostas porque o estágio foi cancelado. Apesar da situação não permitir concluir os objetivos estabelecidos e desmotivar, fez com que sair da nossa zona de conforto fosse a solução encontrada. Desta forma, a simulação, nomeadamente, o FlexSim, foi a "chave para o sucesso", ou seja, o recurso mais adequado para implementar soluções e obter resultados.

A melhoria dos processos, promove uma grande responsabilidade passando pela rentabilização do tempo de produção, pelo aproveitamento eficiente dos equipamentos e dos recursos humanos e, ainda, pela eliminação de eventuais desperdícios. Após ter a total compreensão dos processos, ao longe deste relatório de estágio, tornou-se possível melhorar e otimizar a produção, de modo a obter um conjunto de soluções que beneficiem os processos da empresa onde foi desenvolvido.

É relevante que o estudo deste trabalho continue a ser realizado com o objetivo de focar na melhoria contínua. Apesar de o processo de anodização ter apresentado uma maior taxa de desperdícios. Desta forma, futuramente, a metodologia utilizada no desenvolvimento deste projecto pode ser aplicada a outras áreas da organização. Este método de estudo, em conjunto com outras ferramentas de *Lean Manufacturing*, poderá conduzir a poupanças, aumentos de produtividade, definição dos recursos necessários à produção, diminuição dos desperdícios e criação de um processo produtivo *Lean* na empresa.

Tendo em vista os aspetos mencionados, este projeto permitiu consolidar conhecimentos teóricos adquiridos durante o percurso académico e obter experiência prática no "terreno" industrial que mostrou vantagens para uma estudante e futura mestre em engenharia e gestão industrial.

Bibliografia

Abu, F., Gholami, H., Zameri, M., Saman, M. and Zakuan, N. [2019], ‘The implementation of lean manufacturing in the furniture industry : A review and analysis on the motives , barriers , challenges , and the applications’, *Journal of Cleaner Production* **234**, 660–680.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.279>

Baghbani, M., Iranzadeh, S. and Bagherzadeh khajeh, M. [2019], ‘Investigating the relationship between RPN parameters in fuzzy PFMEA and OEE in a sugar factory’, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* **60**(April), 221–232.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.05.003>

Balci, O. [1987], ‘Guidelines for successful simulation studies’, *Department of Computer Science* pp. 62–71.

Banks, J. [1998], *Handbook of Simulation - Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*.

Chen, L.-H., Hu, D.-W. and Xu, T. [2013], ‘Highway Freight Terminal Facilities Allocation based on Flexsim’, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* **96**(Cictp), 368–381.

URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.044>

Chung, C. A. [2003], *Simulation Modeling Handbook - A Practical Approach*, number Vi.

da Costa, E. S. M., Sousa, R. M., Bragança, S. and Alves, A. C. [2013], ‘An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools’, *4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure* **1**(i), 1–8.

URL: <http://hdl.handle.net/1822/25314>

- da Silva, I. B. and Godinho Filho, M. [2019], ‘Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review’, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* pp. 4289–4307.
URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03484-w>
- Extrusal, S. [2014], *Manual de Gestão de Qualidade*, Aveiro, Portugal.
- Extrusal, S. [2020a], ‘Extrusal S.A., “Apresentação” [Online]’.
URL: <http://www.extrusal.pt/apresentacao>
- Extrusal, S. [2020b], ‘Extrusal S.A., “O Grupo.” [Online]’.
URL: <http://www.extrusal.pt/index.php?id=104>
- Extrusal, S. [2020c], ‘Extrusal S.A., “Visão, missão e valores” [Online]’.
URL: <http://www.extrusal.pt/index.php?id=79>
- Ingalls, R. G. [2008], ‘Introduction to Simulation’, *Winter Simulation Conference* pp. 17–26.
- Kumar, C. S. and Panneerselvam, R. [2007], ‘Literature review of JIT-KANBAN system’, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **32**(3-4), 393–408.
- Law, A. M. [2009], ‘How to Build Valid and Credible Simulation Models’, *Proceedings - Winter Simulation Conference* .
- Liker, J. K. and Morgan, J. M. [2006], ‘The Toyota Way in Services : The Case of Lean Product Development’, pp. 5–21.
- Marsikova, K. and Sirova, E. [2018], ‘Optimization of selected processes in a company with the support of the lean concept’, *MM Science Journal* **2018**(March), 2300–2305.
- Massot, F. [1999], ‘La dynamique PDCA dans une entreprise’, *Conférence annuelle, Paris* pp. 2–5.
- Morris, D. C. and Field, G. [2008], ‘BPM, Lean and Six Sigma Better Together The Whole is Greater Than the Sum of the Parts’, pp. 1–16.
URL: www.iSixSigma.com

- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J. R. and Jaca, C. [2018], ‘Using OEE to evaluate the effectiveness of urban freight transportation systems: A case study’, *International Journal of Production Economics* **197**(April 2017), 232–242.
- Murata, K. and Katayama, H. [2010], ‘Development of Kaizen case-base for effective technology transfer – a case of visual management technology’, *International Journal of Production Research* **48**, 4901–4917.
URL: <https://doi.org/10.1080/00207540802687471>
- Nikiforova, A. and Bicevska, Z. [2018], ‘Application of LEAN Principles to Improve Business Processes: a Case Study in a Latvian IT Company’, *Baltic Journal of Modern Computing* **6**(3).
- Nordgren, W. B. [2003], ‘Flexsim simulation environment’, *Winter Simulation Conference Proceedings* **1**, 197–200.
- Omogbai, O. and Salonitis, K. [2017], ‘The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach’, *Procedia CIRP* **60**, 380–385.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>
- Paliska, G., Pavletic, D. and Sokovic, M. [2007], ‘Quality tools – systematic use in process industry’, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering VOLUME* **25**(1), 79–82.
- Parry, G. C. and Turner, C. E. [2006], ‘Application of lean visual process management tools’, *Production Planning & Control* **17**, 77–86.
URL: <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>
- Pearce, A., Pons, D. and Neitzert, T. [2018], ‘Implementing lean — Outcomes from SME case studies’, *Operations Research Perspectives* **5**, 94–104.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.02.002>
- Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I. and Figueiredo, M. C. [2016], ‘Reconfigurable Standardized Work in a Lean company- a case study’, *Procedia CIRP* **52**, 239–244.
URL: [doi:10.1016/j.procir.2016.07.019](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.019)

Resta, B., Powell, D., Gaiardelli, P. and Dotti, S. [2015], ‘CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology Towards a framework for lean operations in product-oriented product service systems’, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* **9**, 12–22.

URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2015.01.008>

Robinson, S., Nance, R. E., Paul, R. J., Pidd, M. and Taylor, S. J. [2004], ‘Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles’, *Simulation Modelling Practice and Theory* **12**(7-8 SPEC. ISS.), 479–494.

Roriz, C., Nunes, E. and Sousa, S. [2017], ‘Application of Lean Production Principles and Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company’, *Procedia Manufacturing* **11**(June), 1069–1076.

URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.218>

Rymaszewska, A. [2017], ‘Lean implementation and a process approach – an exploratory study’, *Benchmarking: An International Journal* **24**(5), 1122–1137.

URL: <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2016-0018>

Sayer, N. J. and Williams, B. [2007], *Lean for Dummies*, Wiley Publishing, Inc.

URL: www.wiley.com/techsupport

Sokovic, M., Pavletic, D. and Pipan, K. [2010], ‘Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle , RADAR Matrix , DMAIC and DFSS’, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering VOLUME* **43**(1), 476–483.

Sremcevic, N., Lazarevic, M., Krainovic, B., Mandic, J. and Medojevi [2018], ‘Improving teaching and learning process by applying Lean thinking’, *Procedia Manufacturing* **17**, 595–602.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.101>

Stevenson, W. J. [2012], *Operations Management*, eleven edn, McGraw-Hill/Irwin, New York.

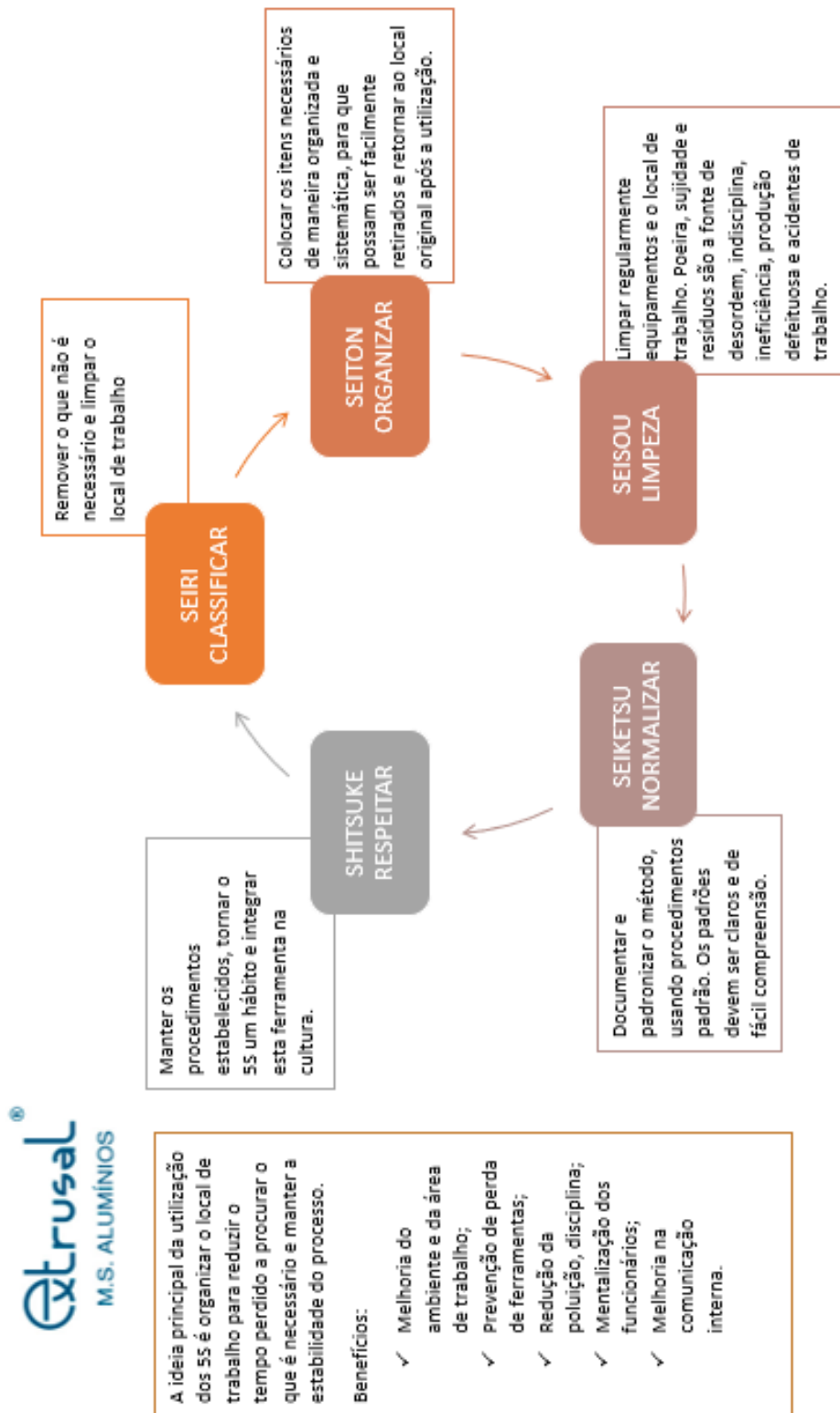
Stojkic, Z., Majstorovic, V., Visekruna, V. and Zelenika, D. [2014], ‘Application of lean tools and xrm software solutions in order to increase the efficiency of business proces-

- ses', *Procedia Engineering* **69**, 41–48.
URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.201>
- Ulutas, B. [2011], 'An application of SMED methodology', *World Academy of Science, Engineering and Technology* **79**(June), 100–103.
URL: https://www.researchgate.net/publication/286968724_An_application_of_SMED_methodology
- Veres, C., Marian, L., Moica, S. and Al-Akel, K. [2018], 'Case study concerning 5S method impact in an automotive company', *Procedia Manufacturing* **22**, 900–905.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
- Wang, S. S., Chiou, C. C. and Luong, H. T. [2019], 'Application of SMED Methodology and Scheduling in High-Mix Low Volume Production Model to Reduce Setup Time: A Case of S Company', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **598**, 012058.
URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/598/1/012058>
- Womack, J. P. and Jones, D. T. [2003], 'Lean Thinking'.
- Yik, L. K. and Chin, J. F. [2019], 'Application of 5S and Visual Management to Improve Shipment Preparation of Finished Goods', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **530**(1), 0–13.
URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/530/1/012039>
- Zhu, X., Zhang, R., Chu, F., He, Z. and Li, J. [2014], 'A Flexsim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre', *Journal of Applied Research and Technology* **12**(2), 270–278.

Anexos

Apêndice A

Cartaz para aplicação de 5S's



Apêndice B

Folha para a inspeção mensal do programa 5S

Inspeção Mensal					
Setor Avaliado:			Data:		
Auditor:					
Legenda: 1- Mau 2- Satisfaz 3- Bom 4- Ótimo NA- Não Aplicável					
1º -Classificar			Nota		
Itens a avaliar	1	2	3	4	NA
São apenas utilizados materiais necessários?					
A seção apresenta um bom aspeto visual?					
Existe algum material não conforme no local de trabalho?					
Os itens são facilmente identificados e localizados?					
Total					
Média da pontuação					
2º -Organizar			Nota		
Itens a avaliar	1	2	3	4	NA
Existe material espalhado pelo corredor, chão, mesas, etc.?					
O material está em boas condições e identificado?					
O material está no local adequado?					
O setor encontra-se organizado?					
Total					
Média da pontuação					
3º -Limpar			Nota		
Itens a avaliar	1	2	3	4	NA
O setor continua sem sujidade?					
O material encontra-se limpo?					
Existe uma pessoa para supervisionar as operações de limpeza?					
Os responsáveis continuam a limpar o setor sem que lhes seja pedido?					
Total					
Média da pontuação					
4º -Normalizar			Nota		
Itens a avaliar	1	2	3	4	NA
Existe um método para identificar o material indesejado e local designado para a sua deposição?					
Existe normas de organização?					
Existe normas de limpeza?					
Os materiais estão visíveis para qualquer pessoa?					
Total					
Média da pontuação					
5º -Respeitar			Nota		
Itens a avaliar	1	2	3	4	NA
As normas implementadas são cumpridas?					
As normas implementadas são examinadas e melhoradas?					
Total					
Média da pontuação					