



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



**Otimização de Processos *Lean* com base em simulação.**

**Caso de Estudo.**

**CATARINA BOAVENTURA BEJA BELCHIOR MOURA GONÇALVES**

**(Licenciada em Engenharia Química e Biológica – Ramo Química)**

**Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão  
Industrial**

**Orientador:**

**Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes**

**Júri:**

**Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu**

**Vogais: Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes Gaspar**

**Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes**

**Fevereiro de 2022**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

## **Otimização de Processos *Lean* com base em simulação.**

### **Caso de Estudo.**

**CATARINA BOAVENTURA BEJA BELCHIOR MOURA GONÇALVES**

(Licenciada em Engenharia Química e Biológica – Ramo Química)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão  
Industrial

Orientador:

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Vogais: Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes Gaspar

Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

**Fevereiro de 2022**



## Agradecimentos

A realização da presente dissertação contou com incentivos e apoios importantes que contribuíram bastante para chegar onde estou hoje. Não sou de muitas palavras, mas não poderia deixar passar esta parte em branco, nem deixar de agradecer a quem me apoiou ao longo desta fase.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à empresa Science4you, por ter aceitado a minha sugestão de projeto, sem a sua aprovação não teria sido possível. Agradecer também, a todas as pessoas que fazem parte da operação da fábrica, que se demonstraram sempre 100% disponíveis a colaborar comigo, inclusive a fazer de modelo para as fotos.

Ao Professor Vítor Anes, por ser meu orientador nesta dissertação, por todas as reuniões e pela sua constante luta para a Lei de *Murphy* não me apanhar.

À minha família, em especial à minha mãe e irmã, que sempre me apoiam e dão força em tudo na vida, e nesta etapa nunca falharam.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam nesta luta. Aos meus grupos de amigos de Santiago e Lisboa por perceberem e aceitarem algumas das minhas falhas nos jantares e convívios, sempre com a mesma desculpa de “Tenho que terminar a tese”. À Ana Sofia e ao João Gouveia por terem percorrido este caminho comigo, por todo o apoio que me deram, conseguimos fintar o Covid e finalmente esta etapa chegou ao fim! Venham os novos projetos!



## Resumo

Atualmente e cada vez mais, as empresas lutam por estratégias que as orientem para o sucesso e procuram por modelos de gestão e organização eficientes. O maior interesse das empresas, sempre que possível, não é realizar grandes investimentos em alta tecnologia, mas sim melhorar o desempenho através de boas práticas, aumento da produtividade e constantes procuras de oportunidades de melhoria no seu sistema interno, com um investimento de baixo custo.

A presente dissertação de mestrado tem como foco a melhoria de processos através da implementação de técnicas *Lean* baseado em simulação. A área de estudo que suporta esta dissertação é o Pensamento *Lean*. Na implementação do mesmo pretende-se melhorar a organização do chão de fábrica e os processos já existentes, aumentar a produtividade, motivar os trabalhadores, ajudar na introdução de novos hábitos e de novas atitudes no trabalho diário, assim como identificar os principais desperdícios que devem ser reduzidos ou se possível eliminados.

Todo o estudo envolvente neste trabalho foi realizado na Science4you, empresa na qual trabalhei quando iniciei a presente dissertação. Pode concluir-se que é no chão de fábrica que são gerados muitos dos desperdícios e onde são realizadas atividades de valor não acrescentado, muitas vezes desvalorizados pela gerência de topo. Assim sendo, foram selecionados três casos de estudo de áreas distintas da produção (áreas críticas e possíveis *bottlenecks*), foram analisados e posteriormente simulados através da ferramenta de simulação, o Arena. A simulação de processos é uma ferramenta bastante eficaz e através desta é possível testar novas ideias e projetos, realizar uma previsão de acontecimentos sem a necessidade de qualquer investimento.

Este estudo mostra que é possível aumentar a eficiência de todos os processos e reduzir significativamente vários tipos de desperdícios. Através dos resultados obtidos a partir da ferramenta Arena, prevê-se que seja possível diminuir as distâncias percorridas durante o abastecimento em 40%, reduzir o tempo de *setup* das rotuladoras em 43% e aumentar o *output* da produção final em 70%.

**Palavras-chave:** estratégia, boas práticas, produtividade, melhoria, Pensamento *Lean*, chão de fábrica, desperdícios, simulação, *bottlenecks*, Arena, eficiência, *setup*.



## **Abstract**

Currently and increasingly, companies are striving for strategies that will guide them to success and are looking for efficient management and organizational models. The main interest of companies, whenever possible, is not to make large investments in high technology, but to improve performance through good practices, increased productivity, and constant search for improvement opportunities in their internal system, with a low-cost investment.

This Master's Thesis focuses on process improvement through the implementation of Lean techniques based on simulation. The area of study that supports this dissertation is Lean Thinking. In its implementation it is intended to improve the shopfloor organization and the already existing processes, increase productivity, motivate workers, help in the introduction of new habits and new attitudes in daily work, as well as to identify the main wastes that should be reduced or if possible, eliminated.

All the study involved in this work was carried out at Science4you, the company I worked for when I started this dissertation. It can be concluded that it is in the shopfloor that much of the waste is generated and where non-value-added activities are performed, often undervalued by top management. Therefore, three case studies of distinct production areas (critical areas and possible bottlenecks) were selected, analyzed, and later simulated using the simulation tool, Arena. The process simulation is a very effective tool and through it, it is possible to test new ideas and projects, perform a forecast of events without the need for any investment.

This study shows that it is possible to increase the efficiency of all processes and significantly reduce several types of waste. Through the results obtained from the Arena tool, it is predicted that it will be possible to decrease the distance traveled during the material supply by 40%, reduce the setup time of the labelers by 43%, and increase the final production output by 70%.

**Keywords:** strategy, good practices, productivity, improvement, Lean Thinking, shopfloor, waste, simulation, bottlenecks, Arena, efficiency, setup



## Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

<b>A MRP X</b>	Zona de Abastecimento
<b>AHP</b>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<b>CI</b>	<i>Consistency Index</i>
<b>CR</b>	<i>Consistency Ratio</i>
<b>CS1</b>	Caso de Estudo 1
<b>CS2</b>	Caso de Estudo 2
<b>CS3</b>	Caso de Estudo 3
<b>FCUL</b>	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
<b>FIFO</b>	<i>First In, First Out</i>
<b>JIC</b>	<i>Just In Case</i>
<b>JIT</b>	<i>Just-In-Time</i>
<b>LIFO</b>	<i>Last In, First Out</i>
<b>MARL</b>	Mercado Abastecedor da Região de Lisboa
<b>MRP</b>	<i>Materials Requirements Planning</i>
<b>MTBF</b>	<i>Mean Time Between Failure</i>
<b>MTTR</b>	<i>Mean Time To Repair</i>
<b>OD</b>	Ordem de Depósito
<b>OP</b>	Ordem de Produção
<b>P MRP X</b>	Zona de Produção
<b>PDCA</b>	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
<b>RI</b>	<i>Random Index</i>
<b>S4Y</b>	Science4you
<b>SAP</b>	Sistemas, Aplicativo e Produtos para Processamento de Dados
<b>SIRO</b>	<i>Serve In Random Order</i>
<b>SMED</b>	<i>Single-Minute Exchange of Die</i>
<b>SQS</b>	<i>Simple Queue Service</i>
<b>STEM</b>	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
<b>SWOT</b>	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>

<b>TMC</b>	<i>Toyota Motor Company</i>
<b>TPS</b>	<i>Toyota Production System</i>
<b>Vp</b>	<i>Priority Vector</i>
<b>WIP</b>	<i>Work In Process</i>



# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	vii
Índice.....	x
Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tabelas .....	xv
<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Enquadramento .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Estrutura da Dissertação .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Teoria das Filas de Espera .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Simulação.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1. História da Simulação .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2. Terminologia utilizada .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3. Classificação dos modelos de simulação .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4. Procedimento .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.5. Vantagens e Limitações da simulação .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.6. Ferramentas de simulação .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Filosofia e Pensamento <i>Lean</i>.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1. Origem e definição .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2. <i>Toyota Production System</i>.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2.1. Just-In-Time.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2.2. Jidoka .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2.3. Kaizen .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3. Princípios do <i>Lean</i>.....</b>	<b>22</b>

2.3.4.	Tipos de desperdícios .....	24
2.3.5.	Vantagens e Limitações .....	27
2.3.6.	Ferramentas <i>Lean</i> .....	28
2.3.6.1.	Ciclo PDCA .....	28
2.3.6.2.	Diagrama Ishikawa .....	30
2.3.6.3.	Relatório A3 .....	31
2.3.6.4.	5S .....	32
2.3.6.5.	Single minute exchange of die .....	34
2.3.6.6.	Análise SWOT .....	35
2.3.6.7.	Analytic Hierarchy Process .....	36
3.	A empresa - Science4you .....	41
4.	Casos de Estudo – Descrição do estado atual .....	45
4.1.	Caso de Estudo 1 - Abastecimentos e produção .....	45
4.2.	Caso de Estudo 2 - Rotuladoras (MRP 4 e MRP 5) .....	49
4.3.	Caso de Estudo 3 - Linhas de Produção Final (MRP 8) .....	50
5.	Proposta de melhoria, simulação e análise de resultados .....	55
5.1.	Caso de Estudo 1 - Otimizar zona de abastecimentos e produção .....	55
5.1.1.	Plano de Ação e Objetivos .....	55
5.1.2.	Simulação .....	57
5.1.3.	Resultados e Análise .....	60
5.2.	Caso de Estudo 2 - Reduzir tempos de <i>setup</i> .....	62
5.2.1.	Plano de Ação e Objetivos .....	62
5.2.2.	Simulação .....	63
5.2.3.	Resultados e Análise .....	66
5.3.	Caso de Estudo 3 - Aumentar a produção e reduzir as paragens .....	68
5.3.1.	Plano de Ação e Objetivos .....	68
5.3.2.	Simulação .....	73
5.3.3.	Resultados e Análise .....	74

<b>6. Comparação dos casos de estudo - AHP</b> .....	77
<b>7. Conclusões e Trabalhos Futuros</b> .....	81
<b>Bibliografia</b> .....	85
<b>Anexos</b> .....	90
<b>Anexo 1 - A3 Caso de Estudo 1</b> .....	90
<b>Anexo 2 - A3 Caso de Estudo 2</b> .....	91
<b>Anexo 3 - A3 Caso de Estudo 3</b> .....	92
<b>Anexo 4 - Resultados das distâncias totais definidas na simulação do cenário Antes do Caso de Estudo 2</b> .....	93
<b>Anexo 5 - Resultados das distâncias totais definidas na simulação do cenário Depois do Caso de Estudo 2</b> .....	94
<b>Anexo 6 - Consentimento para divulgação de dados da Sience4You</b> .....	95

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Estrutura de um sistema de fila de espera. ....	6
<b>Figura 2.2</b> - Classificação de modelos de simulação. ....	11
<b>Figura 2.3</b> - Esquema Arena. ....	17
<b>Figura 2.4</b> - Ciclo PDCA. ....	30
<b>Figura 2.5</b> - Diagrama Ishikawa. ....	31
<b>Figura 2.6</b> - Modelo A3 - Proposta ISEL. ....	32
<b>Figura 2.7</b> - Modelo análise SWOT. ....	36
<b>Figura 2.8</b> - Hierarquia de Critérios. ....	37
<b>Figura 3.1</b> - Entrada da fábrica da Science4you. ....	41
<b>Figura 3.2</b> - Brinquedos fabricados na Science4you. ....	42
<b>Figura 3.3</b> - Localização da Science4you. ....	42
<b>Figura 3.4</b> - Área de produção final na Science4you no MARL. ....	43
<b>Figura 3.5</b> - Produção na Science4you. ....	43
<b>Figura 4.1</b> - Produção MRP 6. a) Linha de produção MRP 6. b) Componentes da produção do MRP 6. Figura 4.2. ....	46
<b>Figura 4.2</b> - Produção MRP 7. a) Linha de produção MRP 7. b) Linha de produção MRP 7 visão dos operadores. ....	46
<b>Figura 4.3</b> - Pré-abastecimento. ....	47
<b>Figura 4.4</b> - Produção MRP 8. ....	48
<b>Figura 4.5</b> - Layout Chão de Fábrica. ....	48
<b>Figura 4.6</b> - a) Mudança de formato e Calibração do MRP 4/MRP 5 (2 operadores). b) Escala da rotuladora. ....	50
<b>Figura 4.7</b> - Linha de produção final MRP 8. a) Linha 1 e 2. b) Fornos e plastificadoras. ....	51
<b>Figura 4.8</b> - Gráfico da % mensal das paragens do MRP 8 no ano 2020. ....	52
<b>Figura 4.9</b> - Gráfico da % mensal das paragens do MRP 8 no ano 2020. ....	52
<b>Figura 4.10</b> - Layout linha de produção final com paragem da plastificadora (MRP 8). ....	53
<b>Figura 5.1</b> - Layout chão de fábrica após implementação da melhoria. ....	57
<b>Figura 5.2</b> - Bloco Transport Arena. ....	58
<b>Figura 5.3</b> - Simulação Arena do Caso de Estudo 1 – Cenário “Antes”. ....	59
<b>Figura 5.4</b> - Simulação Arena do Caso de Estudo 1 – Cenário “Depois”. ....	60
<b>Figura 5.5</b> - Esquema da escala ajustada. ....	63
<b>Figura 5.6</b> - Definição da Failure e respetivos tempos no Arena. a) Cenário Antes. b) Cenário Depois. ....	64

<b>Figura 5.7</b> - Simulação Arena do Caso de Estudo 2 – Cenário “Antes” e “Depois” .....	65
<b>Figura 5.8</b> - Layout linha de produção final após melhoria. ....	68
<b>Figura 5.9</b> - Layout linha de produção final após melhoria com tapetes alinhados. ....	69
<b>Figura 5.10</b> - Layout linha de produção final em produção. ....	70
<b>Figura 5.11</b> - Layout linha de produção final – P1 pára. ....	70
<b>Figura 5.12</b> - Tapete flexível e móvel. ....	71
<b>Figura 5.13</b> - Tapete com aplicações de metal e pés ajustáveis. ....	71
<b>Figura 5.14</b> - Utilização de recursos na linha de produção final. ....	72
<b>Figura 5.15</b> - Aplicação de metal para direcionar as caixas. ....	72
<b>Figura 5.16</b> - Definição da Failure e respetivos tempos no Arena. a) Cenário Antes. b) Cenário Depois.....	73
<b>Figura 5.17</b> - Simulação Arena do Caso de Estudo 2 – Cenário “Antes” e “Depois. ....	74
<b>Figura 6.1</b> - Hierarquia de critérios para os casos de estudo.....	78

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1</b> - Vantagens da técnica SMED.....	35
<b>Tabela 2.2</b> - Escala de Saaty.....	37
<b>Tabela 2.3</b> - Matriz das prioridades dos critérios.....	38
<b>Tabela 2.4</b> - Matriz das prioridades das alternativas.....	38
<b>Tabela 2.5</b> - Valores de RI consoante tamanho da matriz.....	39
<b>Tabela 5.1</b> - Distâncias no cenário Antes.....	59
<b>Tabela 5.2</b> - Distâncias no cenário Depois.....	60
<b>Tabela 5.3</b> - Comparação de resultados dos dois cenários.....	61
<b>Tabela 5.4</b> - Médias de tempos de operações nos MRP 4 e 5.....	62
<b>Tabela 5.5</b> - Valores de tempos definidos no Arena.....	65
<b>Tabela 5.6</b> - Comparação de resultados dos dois cenários.....	66
<b>Tabela 5.7</b> - Valores de tempos definidos no Arena.....	74
<b>Tabela 5.8</b> - Comparação de resultados dos dois cenários.....	74
<b>Tabela 6.1</b> - Análise Alternativas vs Critério.....	77
<b>Tabela 6.2</b> - Matriz das prioridades dos critérios.....	78
<b>Tabela 6.3</b> - Matriz das prioridades de critérios normalizada.....	78
<b>Tabela 6.4</b> - Matriz das prioridades do Investimento.....	79
<b>Tabela 6.5</b> - Matriz das prioridades do Investimento normalizada.....	79
<b>Tabela 6.6</b> - Priorização dos Casos de Estudo.....	79
<b>Tabela A.0.1</b> - Resultados definidos no cenário Antes do CS2.....	93
<b>Tabela A.0.2</b> - Resultados definidos no cenário Depois do CS2.....	94



# 1. Introdução

A introdução é o primeiro capítulo da dissertação e é dividido em três subcapítulos. O enquadramento é o primeiro subcapítulo, onde será feita uma introdução ao tema selecionado e será dada uma visão geral do mesmo na atualidade, de seguida serão detalhados os objetivos do estudo realizado e por fim, será definida a estrutura da presente dissertação.

## 1.1. Enquadramento

O conceito “*Lean*” surgiu na indústria japonesa a partir do *Toyota Production System (TPS)* como uma mudança de modelo, face aos métodos de produção em massa existentes até à data, pelo cunho de Taiichi Ohno, engenheiro industrial da Toyota. A gestão *Lean* é suportada por um conjunto de princípios e é implementada pela aplicação de diversas ferramentas, selecionadas, e adaptadas ao contexto organizacional de uma empresa ou organização.

O pensamento *Lean* foi uma das formas encontradas para lidar com o aumento da competitividade no meio empresarial, decorrente do processo de globalização da economia e dos mercados de negócio. O *Lean* tem como foco a redução ou eliminação de desperdícios, com vista à melhoria contínua dos processos de fabrico. Os resultados positivos obtidos pelo setor da produção com a implementação da filosofia de gestão *Lean* tem levado várias empresas a investir e implementar as ferramentas características de uma produção magra, levando a pesquisas de “zero desperdícios”, redução no valor não acrescentado na cadeia de valor e aumentos na qualidade e velocidade do processo.

Na presente dissertação, os resultados obtidos através da implementação do *Lean* são mostrados através de uma simulação feita na ferramenta Arena. A utilização de modelos matemáticos permite-nos encontrar soluções analíticas ou implementar modelos para simulação. O Arena fornece uma interface gráfica que permite a elaboração de um modelo de simulação em linguagem SIMAN. A simulação de processos é uma ferramenta eficaz no auxílio da tomada de decisão, pois permite criar e testar experiências em vários modelos, podendo posteriormente ser decidido qual o modelo a ser utilizado. Através do teste de novas ideias e projetos, é possível prever o

que acontecerá, sem a necessidade de qualquer investimento ou alteração na área de produção.

## **1.2. Objetivos**

A maioria das empresas não “nasce” com o conceito *Lean* implementado e cabe à gestão da empresa e aos seus colaboradores avançar com o primeiro passo na introdução deste tema. A Science4you (S4Y) é uma empresa com treze anos que se foca especialmente nas necessidades e interesses do seu cliente. Os métodos e técnicas utilizadas na fábrica não são os mais desenvolvidos, o que faz com que existam muitos desperdícios ao longo de toda a cadeia de valor, que podem ser reduzidos e/ou eliminados. Trabalhei na S4Y cerca de um ano e meio no departamento de *Planning&Efficiency*, ou seja, o meu contacto com a área produtiva era elevado e devido a esse facto o foco do estudo da presente dissertação é o *shoopflor*.

O principal objetivo da presente dissertação é a análise de determinados procedimentos e processos já existentes na fábrica e otimizá-los através da implementação de técnicas *Lean*. Foram selecionados três pontos críticos da área de produção: abastecimento, máquinas rotuladoras e linha de produção final, onde foram identificados vários tipos de desperdícios. Procedeu-se à recolha e análise dos dados da produção, com o consentimento da empresa (Anexo 6), e de seguida foram utilizadas várias técnicas, tais como o 5S e SMED (*Single Minute Exchange of Die*), onde se pretendeu reduzir/eliminar todos os desperdícios identificados com foco principal nas atividades de valor não acrescentado. Os três casos de estudo foram simulados na ferramenta Arena onde se pretende obter resultados positivos que justifiquem a implementação das melhorias sugeridas. Algumas das sugestões não foram simuladas devido a certos constrangimentos explicados ao longo da dissertação, no entanto foi possível obter conclusões através de outros meios que não a simulação.

Para além de toda a importância da parte da implementação da melhoria e ainda que se consiga obter resultados positivos pós implementação, quer seja no Arena ou fisicamente, existe uma etapa crucial associada ao pensamento *Lean* que é, todo o acompanhamento das melhorias após estarem em vigor. Muitas vezes, uma falha nesta etapa faz com que todo o trabalho realizado seja em vão e é importante

clarificar e dar a conhecer este facto a todas as pessoas envolvidas. A disciplina e a autoconsciência têm um grande peso tanto na implementação como na pós-implementação e esse é outro dos objetivos da dissertação, esclarecer a importância desta etapa, pois a implementação por si só não é suficiente.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação é composta por sete principais capítulos e o seu conteúdo será clarificado de seguida.

No primeiro e presente capítulo é dada uma visão geral sobre o tema na atualidade e é relatada a sua importância e as vantagens que a sua implementação pode oferecer. É também neste capítulo que são identificados os objetivos e o foco principal da dissertação.

De seguida, segue-se o capítulo da revisão bibliográfica, onde é feita uma abordagem ao tema na atualidade. Este capítulo encontra-se dividido em duas partes principais, a simulação e a Filosofia *Lean*. No que diz respeito à simulação, esta é iniciada com a Teoria das Filas, seguindo-se uma breve explicação da sua origem, vantagens e limitações e alguns exemplos de ferramentas utilizadas. Na parte da Filosofia *Lean*, mais uma vez começa por ser explicada a sua origem, os princípios em que se baseia, tipos de desperdícios, vantagens e por fim algumas das ferramentas *Lean* que foram utilizadas ao longo do presente trabalho.

No terceiro capítulo é feita uma breve apresentação da empresa onde foi realizado o estudo, a Science4you. Este capítulo tem como objetivo introduzir o tema, apresentar a empresa, que tipo de produto produzem, como é definido o chão de fábrica e quais as áreas de produção existentes.

A partir do quarto capítulo é quando são introduzidos os três casos de estudo selecionados. O capítulo quatro nomeado de “Casos de Estudo – Descrição do *status* atual” é dividido em três subcapítulos (um para cada caso de estudo) onde são descritos os problemas das respetivas áreas de produção e é definido o cenário pré-simulação, isto é, como é que decorre a produção nestas áreas atualmente. No capítulo cinco, também este dividido em três subcapítulos (um para cada caso de estudo) é onde é descrita a proposta de melhoria. Dentro de cada subcapítulo para

cada caso de estudo são definidos, o plano de ação e os objetivos da melhoria para esse caso de estudo em específico, é feita a simulação (do cenário pré e pós simulação) e são reportados e comparados os resultados das simulações e a sua respectiva análise individual.

No capítulo seis é feita uma comparação entre os três casos de estudo utilizando a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP), onde são analisados os seguintes critérios: investimento, implementação e eficiência. O objetivo da utilização desta metodologia é a definição da priorização da implementação dos casos de estudo consoante os critérios selecionados.

Por último, no capítulo sete são descritas as conclusões relativamente a todo o estudo envolvente na dissertação e são apresentadas sugestões para trabalhos futuros a realizar.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Teoria das Filas de Espera

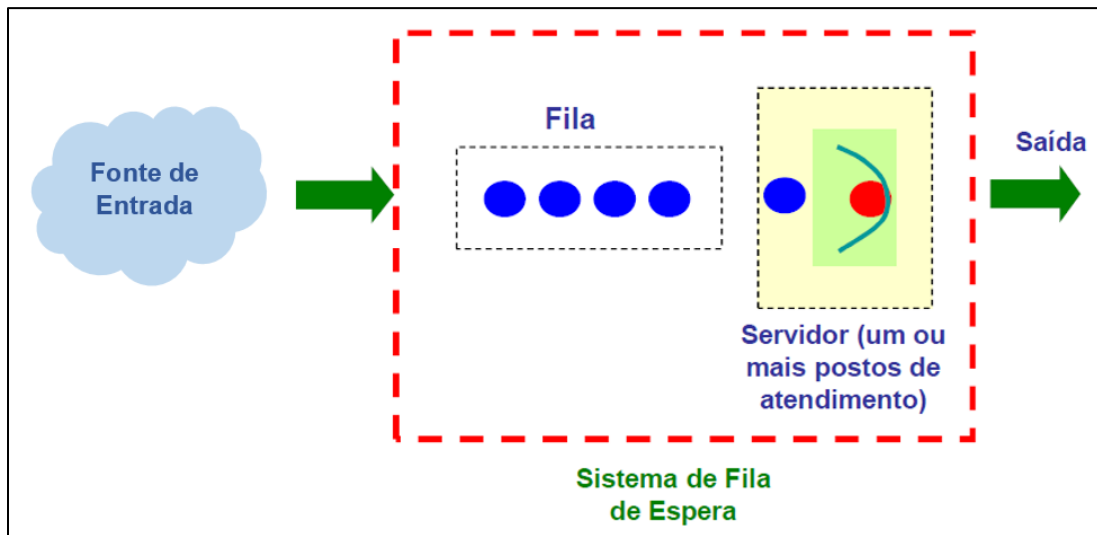
A Teoria das filas de espera é uma área da matemática que estuda a probabilidade da formação de filas e analisa os congestionamentos que decorrem da interrupção do fluxo normal e possíveis esperas. Este ramo da matemática possui um conjunto de modelos que trabalha com problemas de atrasos, investigando, por exemplo, quais as razões que fizeram pacientes aguardarem por atendimentos numa unidade de saúde. Tal como é de conhecimento geral, as filas estão bastante presentes no nosso dia a dia, seja em lojas, no banco, trânsito ou qualquer local onde seja necessário aguardar por um serviço.

A formação de uma fila pode ser benéfica, e vista como uma ajuda para as instalações ou empresas como forma de fornecer serviços ordenadamente. Por exemplo, nos aeroportos, antigamente, as filas eram formadas separadamente em frente dos balcões de *check-in* respetivos. Atualmente isso não acontece, existe apenas uma fila que fornece vários balcões. Através da análise do modo pelo qual uma fila é fornecida e o serviço é prestado foi possível concluir que a política de fila única atende melhor aos passageiros e também à administração da companhia aérea. Esta análise é baseada na construção de um modelo matemático que representa o processo de chegada dos passageiros à fila, as regras por que estes têm permissão para entrar no serviço e o tempo que o serviço demora. Assim sendo, a teoria das filas incorpora todo o conjunto destes modelos, cobrindo todos os sistemas que reúnem características de uma fila (Gross, Shortie, Thompson, & Harris, 2008).

De uma forma geral, os sistemas de filas caracterizam-se por um complexo processo de entrada, distribuição de tempo de serviço, número de servidores e capacidade do serviço. Na prática, normalmente estes processos de fila não têm uma análise fácil, mas através de alguns métodos é possível simplificá-los e utilizar modelos mais compreensíveis. A simplificação dos modelos é utilizada quando o objetivo é analisar um sistema de filas complexo, como por exemplo a Internet. Tal como já foi referido anteriormente, um dos elementos mais fundamentais neste processo é a fila de servido único (*SQS – Simple Queue Service*) onde é aplicada a chamada notação de

*Kendall*. Esta notação descreve o processo de chegada, distribuição do tempo de serviço, número de servidores e o tamanho da sala de espera da seguinte forma (Gross, Shortie, Thompson, & Harris, 2008), (Zukerman, 2020):

- Processo de chegada;
- Distribuição de serviço;
- Nº de servidores;
- Capacidade do sistema;
- Tamanho da população;
- Disciplina da fila.



**Figura 2.1** - Estrutura de um sistema de fila de espera.

Fonte: Abreu, 2020

Os caracteres mais comuns utilizados nas duas primeiras posições são: D (Determinístico), M (Markoviano/Poisson para o processo de chegada ou exponencial para a distribuição de serviço), G (Geral), GI (Geral e Independente) e Geom (Geométrico). A primeira posição indica qual o padrão de chegada dos clientes do sistema e a segunda, a distribuição de probabilidade do tempo de serviço. Ambas indicam funções que variam consoante o tempo, daí serem representadas pelos mesmos tipos de distribuições. A quarta posição indica o número máximo de clientes que o sistema suporta, onde estão incluídos os que se encontram à espera e os que estão a ser atendidos. A posição cinco indica o número potencial de clientes que pode chegar ao sistema. Por fim, a sexta posição representa a ordem em que os clientes

serão atendidos após saírem da fila. Algumas disciplinas utilizadas são por exemplo: *First In, First Out (FIFO)*, *Last In, First Out (LIFO)* e *Serve In Random Order (SIRO)* (Zukerman, 2020).

Todas as variáveis referidas anteriormente têm influência, positiva ou negativa, na eficiência e eficácia de um determinado serviço. Estas variáveis podem ser afetadas por fatores internos ou externos que levam a que o sistema se desenvolva mais rápida ou lentamente.

Relativamente ao processo de entrada, se a ocorrência de chegadas e a oferta do serviço procederem de forma estrita de acordo com a programação, a fila pode ser evitada, teoricamente. No entanto, na prática isto não acontece. Na maioria dos casos, as chegadas são produto de fatores externos, ou seja, que não são controláveis. Assim sendo, normalmente o processo de chegadas é sempre descrito em termos de variáveis aleatórias que representam qualquer número que chegue durante um intervalo de tempo ou em intervalos de tempo sucessivos. Em relação às chegadas, se os clientes chegarem em grupos, o tamanho deste também pode ser uma variável aleatória. As incertezas envolvidas nos mecanismos de serviço são: número de servidores, número de clientes atendidos e a duração e modo do serviço, que são igualmente representados por variáveis aleatórias. Um fator significativo e importante a ser considerado é o número de clientes que o sistema suporta, que tal como já foi referido anteriormente, pode ser considerado finito ou infinito (Bhat, 2008).

À medida que os sistemas são modelados como processos estocásticos ou como sistemas de filas, estes vão se tornando cada vez mais complexos e as soluções dinâmicas, analíticas ou numéricas podem tornar-se intratáveis. Em determinados casos, podem ser utilizados programas de computador que simulem o comportamento do sistema, ou pelo menos o principal comportamento que se pretende analisar. Basicamente, a simulação é executada com diversos valores aleatórios e os comportamentos que são modelados, são registados e guardados para análise posterior. Os números aleatórios que são gerados por computador, na verdade, são números pseudoaleatórios, uma vez que todos começam com uma “semente” que não é aleatória e sim imposta pela pessoa que pretende realizar a simulação. É a partir desta “semente” inicial introduzida pelo utilizador que vão ser geradas sequências de números aleatórios e é através da sua repetição sucessiva que se dá origem aos

resultados da simulação. No entanto, poderá ter que se realizar várias replicações com “sementes” diferentes para assim ser possível produzir uma amostra representativa de resultados (Bhat, 2008); (Gross, Shortie, Thompson, & Harris, 2008).

## **2.2. Simulação**

Para Shannon (1975), a simulação tem como principal objetivo melhorar o desempenho, avaliar estratégias e compreender o comportamento de sistemas e é definida como um processo de criação de modelos com base em sistemas reais ou hipotéticos durante um determinado período de tempo. Segundo Shannon (1998) a simulação é um processo que permite desenvolver um sistema real conduzindo-o a experiências, onde o intuito é entender o seu comportamento e avaliar estratégias da sua operação. Para Banks (1999), a simulação é um método experimental com modelação de um sistema real, onde através da utilização de animações gráficas é possível determinar como o sistema irá responder a mudanças na sua estrutura ou ambiente. Surge ainda outra definição que, segundo Dias (2005), a simulação é uma técnica utilizada na análise de sistemas dinâmicos sujeitos a fenómenos de interação entre as entidades que o compõem. Adicionalmente Ingalls (2011) considera que a simulação é uma das mais poderosas ferramentas para planejar, desenvolver e analisar os processos de produção.

O fato de a simulação ser considerada uma das mais utilizadas ferramentas em sistemas de produção deve-se a várias razões, tais como, um modelo matemático é mais difícil de construir do que um modelo de simulação, o fato de ser necessário apresentar a animação gráfica para uma melhor compreensão do sistema real, a melhoria das ferramentas de simulação que leva à redução do tempo de desenvolvimento dos modelos e a facilidade de alcançar os resultados com os modelos de simulação em comparação com os modelos analíticos (Panneerselvam & Senthilkumar, 2013).

### **2.2.1. História da Simulação**

Na década de quarenta foi quando surgiram as primeiras linguagens de programação, onde a simulação era considerada inviável, pois só os profissionais com formação nessa área tinham capacidade para desenvolver e compreender os resultados obtidos

a partir dos modelos de simulação. Foi nesta altura que foram criadas algumas linguagens de programação, tais como, o FORTAN e o ALGOL (Paiva, 2005).

Segundo Dias (2005), os modelos de simulação são desenvolvidos tendo em conta os paradigmas de simulação. Estes podem ser de três tipos, orientados aos eventos, que significa que os eventos são definidos, assim como as respetivas mudanças de estado que ocorrem no sistema; orientados aos processos, ou seja, o movimento das entidades pelo sistema é modelado através de um fluxograma e podem ainda ser orientados aos objetos, onde os utilizadores modelam o sistema, descrevem os objetos físicos que o compõem e as interações entre eles (Pegden, 2010).

Foi na década de sessenta que começaram a aparecer as linguagens mais específicas para a simulação, como por exemplo a GPSS e a GASP e predominava o paradigma de simulação orientado a eventos (Dias, 2005). Como os sistemas ficaram cada vez mais complexos houve a necessidade de mostrar os benefícios reais dos modelos de simulação criados. Assim sendo, na década de oitenta surgiram as primeiras animações de simulação, através dos programas SIMAN e CINEMA. A componente da animação na simulação é muito importante, pois facilita na compreensão dos sistemas modelados, uma vez que é capaz de reproduzir os sistemas reais, graficamente (Paiva, 2005).

Atualmente a simulação é considerada uma ferramenta bastante poderosa, pois permite realizar experiências nos modelos de simulação criados sem ter de as efetuar no sistema real. O Arena e o Promodel são duas ferramentas atuais que permitem realizar a análise da viabilidade dos modelos de simulação. Apesar da orientação aos processos ser considerado um paradigma muito eficaz, o da orientação aos objetos surgiu nesta altura com o intuito de tornar o processo de simulação mais fácil. (Dias, 2005).

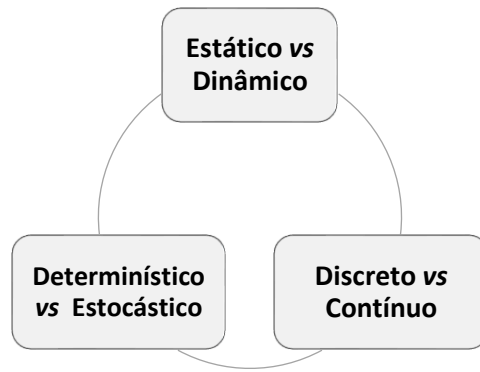
### **2.2.2. Terminologia utilizada**

Um sistema é constituído por elementos que explicam como ocorre o processamento das entidades na simulação. De seguida são descritos os principais conceitos na simulação e os que vão ser utilizados e servir de auxílio na formulação das modelos de simulação (Sokolowski & Banks, 2010):

- **Entidades:** as entidades têm dois tipos de classificação, as dinâmicas, que se movem através do sistema, podendo ser por exemplo clientes, e as estáticas que têm como função servir as outras entidades como por exemplo as máquinas. Estas podem ainda ser classificadas como temporárias quando entram, percorrem e abandonam o sistema ou permanentes quando executam a função e permanecem no sistema;
- **Variáveis:** as variáveis contêm informações necessárias sobre o sistema num determinado instante de tempo, como por exemplo o número de pessoas, peças ou de tarefas nas filas de espera. As variáveis podem ser modificadas pelas entidades do sistema;
- **Atributos:** os atributos são características próprias que definem cada entidade no sistema, por exemplo a idade e altura dos clientes;
- **Eventos:** os eventos são acontecimentos que ocorrem num determinado instante de tempo, por exemplo, a chegada e saída de clientes do sistema. Estes podem alterar atributos e variáveis do sistema;
- **Recursos:** os recursos são entidades estáticas que prestam serviço às entidades dinâmicas, como pessoas ou equipamentos. Assim sendo, o recurso é um local onde uma entidade recebe um serviço durante um determinado período de tempo;
- **Filas:** as filas são locais no sistema onde as entidades dinâmicas aguardam enquanto esperam por um recurso. Normalmente, as filas de espera adotam a estrutura FIFO;
- **Sistema:** é um conjunto de entidades que interagem entre si para a realização de um fim lógico;
- **Modelo:** um modelo é uma representação de um sistema real com o intuito de estudar e analisar esse mesmo sistema.

### 2.2.3. Classificação dos modelos de simulação

Os modelos de simulação podem ser classificados em três dimensões, apresentadas de seguida (Figura 2.2) (Kelton, Sadowski, & Deborah, 2002):



*Figura 2.2 - Classificação de modelos de simulação.*

**Estático vs Dinâmico:** esta dimensão está diretamente relacionada com o tempo do modelo. Na simulação estática o fator tempo não representa um papel natural, enquanto na simulação dinâmica o contrário acontece. Sempre que as mudanças não envolvam tempo, significa que estamos na presença de um modelo estático. A maioria dos modelos operacionais são modelos dinâmicos, especialmente em sistemas de produção, por exemplo, onde o tempo decorrido para as mudanças de estado é um fator bastante relevante.

**Determinístico vs Estocástico:** nesta perspectiva o foco é a aleatoriedade no modelo. Um modelo de simulação que não tem um comportamento aleatório, pode ser classificado como determinístico, ou seja, sem componentes probabilísticas, como por exemplo, uma operação agendada com serviços temporais fixos, tem-se um conjunto de entradas conhecido do qual resulta um único conjunto de saídas. No caso de o comportamento do sistema ser parcialmente aleatório, então este passa a ter a designação de estocástico. Isto é, tem uma ou mais variáveis aleatórias como entradas que levam a saídas aleatórias, ou seja, uma entrada pode causar várias mudanças no estado do modelo.

**Discreto vs Contínuo:** Num modelo discreto, as variáveis de estado que descrevem o estado do sistema variam instantaneamente em espaços temporais da simulação. No caso de um modelo de simulação de eventos contínuos, as variáveis de estado mudam continuamente no que diz respeito ao tempo, como por exemplo, um reservatório de água onde o nível pode subir ou descer consoante as condições externas de precipitação ou evaporação. Na maioria dos casos reais estamos na presença de

modelos mistos, onde temos ambos os casos, mas há sempre uma parte predominante.

Os modelos de simulação podem ainda decorrer em duas modalidades de tempo:

- **Tempo real:** o tempo é definido numa escala real, no qual os eventos ocorrem e são tratados numa mesma escala de tempo que corresponde ao sistema real. Neste caso o operador humano interage com o simulador em tempo real, por exemplo, os simuladores de voo.
- **Tempo simulado:** a definição de tempo não segue a escala de evolução do tempo real. Pode ser simulado um ano de tempo real em poucos segundos de processamento, por exemplo. Estes são utilizados para análises de desempenho em que o interesse passa pelas medidas de desempenho.

#### 2.2.4. Procedimento

Um processo de simulação é dinâmico, uma vez que pode ser melhorado ao longo do desenvolvimento do modelo de simulação. Referem ainda que no processo de simulação se deve ter em consideração as seguintes etapas principais (Altiok & Melamed, 2007):

- **Identificação e formulação do problema:** é nesta fase que são identificadas as principais variáveis a serem analisadas, são definidos os resultados que se esperam obter com a simulação e identificam-se os diferentes cenários a realizar;
- **Desenho do modelo:** no desenho o objetivo é caracterizar o problema, tendo em conta todos os fatores que influenciam o sistema real. Primeiramente constrói-se um modelo que contenha as características mais importantes do sistema real. Esta etapa é essencial para todo o processo e simulação;
- **Recolha de dados:** esta fase é dependente das duas etapas anteriores. Os dados podem ser recolhidos através de experiências em laboratório, medições realizadas no sistema real ou baseando-se em dados históricos;
- **Implementação do modelo num computador:** pretende-se implementar o modelo anteriormente definido numa ferramenta de simulação com o auxílio de um computador;

- **Verificação:** o modelador verifica se o modelo criado na ferramenta de simulação corresponde ao que estava definido no desenho do modelo. A utilização de animações na simulação facilita a execução desta etapa de forma mais rápida;
- **Validação:** esta etapa verifica se o modelo de simulação criado representa corretamente o sistema real. Pretende-se mostrar ao utilizador que qualquer experiência com o modelo de simulação irá gerar resultados que se parecem com o sistema real;
- **Plano de testes:** pretende-se definir os diferentes cenários a serem testados no modelo. É também definido quando deve começar e qual o tempo da simulação, qual o número de simulações a efetuar e quais as variáveis a ter em conta nos diferentes cenários;
- **Execução do modelo:** o modelo é executado com base no plano de testes descrito na etapa anterior. Os resultados são gerados e guardados para serem analisados posteriormente;
- **Análise de resultados:** os resultados obtidos são analisados e comparados com os resultados esperados. Esta etapa é considerada crítica, pois é a mais demorada e mais importante;
- **Documentação:** são elaborados manuais de utilização e documentação técnica que deve conter a descrição detalhada do modelo e dos dados, bem como da evolução das etapas de desenvolvimento. Esta fase é bastante importante pois pode vir a ajudar em projetos futuros;
- **Implementação:** o modelador realiza pequenos ajustes ao modelo criado, garante a validação do mesmo e procura dar formação ao utilizador. Esta etapa é considerada a mais difícil a ser encarada.

### 2.2.5. Vantagens e Limitações da simulação

De acordo com Altiok & Melamed (2007) e Ingalls (2011), a simulação apresenta inúmeras vantagens. De seguida apresentam-se algumas das principais vantagens mencionadas por estes autores.

- ✓ A simulação, em comparação com ferramentas analíticas, é muito mais fácil de desenvolver e implementar. As análises realizadas nos modelos analíticos incidem apenas em certas medidas de desempenho, ao contrário da simulação que analisa qualquer tipo de medida;
- ✓ Um estudo de simulação permite mostrar exatamente como funciona um sistema real, não tendo em consideração a percepção das pessoas face ao funcionamento;
- ✓ Possibilita a comunicação de ideias através da representação gráfica do sistema real, onde é possível identificar problemas e *bottlenecks* presentes na produção;
- ✓ A simulação é considerada a melhor alternativa num sistema real, uma vez que permite identificar antecipadamente os problemas reais, como reduzir o risco de ineficácia de uma operação;
- ✓ A simulação é considerada uma ferramenta útil de apoio à tomada de decisão pois analisa e avalia as consequências de diferentes cenários. Com esta ferramenta é possível testar diferentes cenários para um sistema real, isto é, pode-se testar novos procedimentos operacionais, condições de segurança associadas a mudanças e situações inesperadas sem ocupar recursos e sem ter de interromper o sistema.
- ✓ Na simulação o tempo pode ser comprimido ou expandido, o que faz com que seja possível controlar a velocidade dos fenómenos de investigação a serem estudados;
- ✓ É possível realizar uma análise de longo prazo num curto espaço de tempo;
- ✓ Pode ser utilizada para analisar regras de decisão, estruturas organizacionais e fluxos de informação sem ter de interromper o funcionamento do sistema;

- ✓ A simulação quando utilizada da forma correta, possibilita analisar as variáveis que afetam o ambiente do problema, as informações relativas aos processos e o comportamento que as alterações produzem;

Por outro lado, segundo os mesmos autores, a simulação também apresenta algumas desvantagens, apresentadas de seguida:

- ✗ Quando os dados são difíceis de obter e inconsistentes, o modelo de simulação pode demorar vários meses para ser desenvolvido, podendo ter um custo associado;
- ✗ Para os modelos serem criados corretamente é necessário um certo tempo de experiência por parte do modelador, isto é, requer formação específica;
- ✗ A simulação é uma aproximação não sendo exatamente igual ao sistema real, o que leva a que o modelador utilize alguns pressupostos nos seus modelos de simulação;
- ✗ Os modelos de simulação não são reutilizáveis em outros sistemas, uma vez que cada modelo é único e específico para cada situação;
- ✗ A simulação nem sempre é de fácil utilização, uma vez que se podem criar modelos de simulação extremamente complexos quando se quer representar com rigor o sistema real.

#### **2.2.6. Ferramentas de simulação**

Ao longo dos anos verificou-se que as ferramentas de simulação têm evoluído, sendo que cada uma delas se tenta diferenciar das restantes com o objetivo de reduzir os esforços necessários para desenvolver um modelo de simulação (Mujica & Piera, 2011)

É necessário comparar as ferramentas de simulação existentes no mercado e analisar os seus parâmetros individualmente, antes de identificar a ferramenta mais adequada para a realização de um caso de estudo. Assim sendo, Hlupic (2000), realizou um estudo com o intuito de perceber quais as ferramentas mais utilizadas pelos universitários onde se concluiu que 44,4% utilizam o SIMUL8, segue-se o WITNESS com 38,8% e em terceiro lugar, com 33,3% temos o SIMAN/CINEMA. Da mesma forma Dias, Pereira, Vik, & Oliveira (2011) realizaram um estudo no sentido de entender qual a

ferramenta de simulação mais popular. O Arena destacou-se como sendo a mais popular, de seguida o SIMUL8 e o WITNESS.

O sucesso da simulação com animação fez com que aparecessem no mercado dezenas de *softwares*, o que poderá levar a quem está a iniciar-se na simulação a ficar com grandes dúvidas sobre qual o melhor ou mais apropriado.

De seguida são referidos alguns exemplos de *softwares* de simulação com animação, com foco principal no Arena que será o *software* a ser utilizado no presente trabalho.

#### ➤ **SIMUL8**

O SIMUL8 é um *software* de simulação de eventos discretos utilizado para simular sistemas relacionados com o processamento de entidades. Esta ferramenta permite criar modelos de simulação com características semelhantes às do sistema real e pode ser utilizado no planeamento, na logística e na otimização de processos (SIMUL8, 2021).

#### ➤ **WITNESS**

A ferramenta de simulação WITNESS possibilita a criação de modelos 2D e 3D para qualquer tipo de sistema de produção. Tal como na ferramenta anterior, os modelos e simulação desenvolvidos nesta ferramenta são considerados flexíveis, pois permitem testar vários cenários sem ter de comprometer recursos e sem ter de interromper o sistema real. (LANNER, 2021).

#### ➤ **SIMAN/Cinema**

SIMAN/Cinema é uma linguagem de simulação com animação integrada para a modelação de eventos discretos, contínuos e eventos combinados discretos/contínuos. A linguagem SIMAN é um programa “SIMulation ANalysis” utilizado para modelar sistemas complexos, que é acompanhado pelo Cinema, um módulo de animação flexível usado para projetar e executar representações gráficas realistas do modelo SIMAN. Apesar de muitas aplicações desta ferramenta serem na área da indústria de produção, a sua utilização tem vindo a expandir-se para uma ampla gama de indústria, incluindo bancos, eletrónica e saúde, por exemplo. Este *software* de simulação é bastante flexível no que diz respeito à construção do modelo,

é fácil de utilizar, tem uma elevada velocidade de execução e possui a capacidade de animação, o que faz com que o SIMAN/Cinema sejam um dos líderes em produtos de simulação (Conrad, Sturrock, & Poorte, 1992).

### ➤ ARENA

O Arena é um *software* de simulação de eventos discretos desenvolvido pela *Rockwell Automation*. O procedimento no Arena inicia-se com o desenho do processo e de seguida cria-se a animação em 2D. Esta ferramenta permite desenvolver modelos de simulação animados que representam qualquer sistema real de uma forma virtual (Kamrani, Abadi, & Golroudbary, 2014).

O Arena apresenta uma elevada flexibilidade na construção de modelos complexos, pelo seu carácter genérico, flexível, automático e aliado a uma forte componente visual. Existe um elevado *feedback* positivo relativamente à utilização e aprovação da simulação em Arena em aplicações industriais (Arena Simulation Software by Rockwell Automation, 2021).

Por todas as vantagens que foram referidas anteriormente e também por ser um *software* com enorme potencial, ter uma grande capacidade de integração e por ser cada vez mais utilizada no mundo empresarial e académico, o Arena foi a aplicação escolhida para a realização do modelo de simulação do presente trabalho (Arena Simulation Software by Rockwell Automation, 2021).

De seguida, é apresentada a Figura 2.3 que representa um esquema tipo do Software Arena.

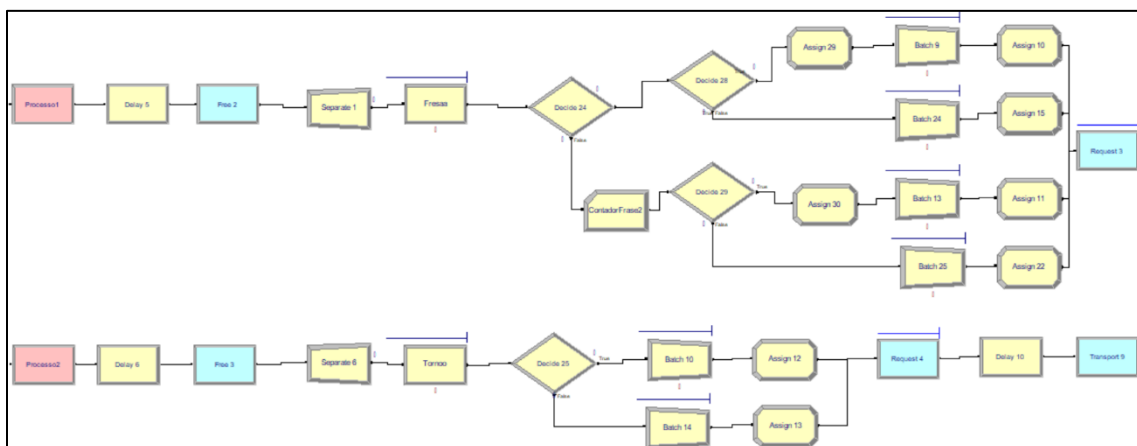


Figura 2.3 - Esquema Arena.

Fonte: Elaboração própria

## **2.3. Filosofia e Pensamento *Lean***

### **2.3.1. Origem e definição**

Foi nos finais da Segunda Guerra Mundial que teve origem a filosofia *Lean*, assim designada por *Toyota Production System*, sistema este que se baseava na interação de produzir num fluxo contínuo com o princípio de que, uma pequena fração de tempo e esforço, dedicados ao processamento de um produto, acrescentavam valor ao mesmo (Monden, 2012).

Esta ideia de filosofia *Lean* surgiu em total divergência com o sistema produtivo praticado na altura, onde as empresas ocidentais produziam em massa, mantendo o foco apenas em grandes volumes de produção, com pouca flexibilidade dos respetivos sistemas (Womack & Jones, 2003).

Segundo Womack, Jones e Roos (2007), Eiji Toyoda, fundador da *Toyota Motor Company*, e o seu diretor de produção, Taiichi Ohno, concluíram que a produção em massa não iria funcionar no Japão, e por isso decidiram criar o TPS. As restrições deste sistema consistiam na grande variedade de produtos requeridos pelo mercado, na manifestação dos trabalhadores por melhores condições de trabalho e a atribuição de maior importância aos mesmos dentro das organizações e a elevada competitividade existente no mercado automóvel. Segundo Sugimori, Kusunoki, Cho e Uchikawa (1977), o TPS quando surgiu, tinha como base dois princípios básicos: produção *Just-In-Time* (JIT) e o desenvolvimento das competências dos trabalhadores.

Assim, segundo Ohno (1996), o TPS foi desenvolvido com os principais objetivos de eliminar os desperdícios, manter o foco na satisfação do cliente, reduzir custos (custos de investimentos, de não qualidade e de serviços), reduzir tempos (tempos de entrega e de processos produtivos) e aumentar a disponibilidade dos equipamentos (Womack, Jones, & Roos, 2007).

A implementação do sistema de produção em massa tornava possível manter uma longa produção de produtos *standards*, os quais garantiam que o cliente obtinha um custo de aquisição reduzido. A produção *Lean* evoluiu para um paradigma de pensamento, o Pensamento *Lean*, onde o objetivo se centra na procura contínua de

eliminação de todos os desperdícios, ambicionando a melhoria contínua de uma organização (Womack & Jones, 2003).

O conceito de *Lean* propagou-se mundialmente e aplica-se a diversas áreas assim como, a toda a indústria e a outros serviços gerais. Atualmente, as empresas orientam a sua gestão para aumentar a produtividade e reduzir ou eliminar custos e tempos, melhorando assim o desempenho dos seus processos e, ao mesmo tempo, criando valor para os seus clientes. É importante referir que, apesar de o *Lean* defender que todas as atividades que não acrescentam valor devem ser eliminadas, nem sempre isto é possível, pois estas podem ser necessárias para o sistema de produção implementado, como é o caso dos departamentos financeiros (Pinto, 2014).

A globalização da economia acelerou as trocas comerciais entre as empresas, o que criou a necessidade de melhorar os seus sistemas de produção. Para dar resposta à elevada competitividade global sugeriram recentemente outras variantes, aplicáveis na produção, como o sistema de produção *Lean* e o Seis Sigma (Machado, 2007). O facto de existir a necessidade de garantir a sustentabilidade do desenvolvimento económico da sociedade e a preocupação ambiental deu origem ao conceito de Produção Verde, que se foca na preservação ambiental e no controlo da poluição.

### **2.3.2. Toyota Production System**

Como já foi referido anteriormente, o *Lean* teve a sua origem na empresa *Toyota*, nos finais da segunda Guerra Mundial, com a implementação do TPS (Monden, 2012). O TPS é o sistema de produção desenvolvido pela *Toyota Motor Company* (TMC), que mais tarde foi adotado por diversas empresas no Japão e a nível mundial. Este sistema teve como principal objetivo o aumento da produtividade na produção de automóveis e a redução dos custos através da eliminação de todos os tipos de *mudas* (termo em japonês que significa desperdício). O TPS é um sistema dinâmico, sempre em evolução desde há cinquenta anos, que pretende adaptar-se constantemente às exigências do mercado e da tecnologia, pode dizer-se que é um conjunto de práticas testadas e implementadas com sucesso (Paez, Dewees, Genaidy, & Tuncel, 2004).

O sucesso operacional alcançado após implementação deste sistema, é baseado em métodos e técnicas de melhoria contínua, que tornam o TPS bastante reconhecido no

mundo da indústria. Estas técnicas ajudaram a desenvolver a revolução do *Lean Manufacturing* e são por exemplo: *JIT*, *Kaizen*, *Kanban*, *Jidoka* e *Heijunka*. O sucesso da TMC não está unicamente relacionado com a aplicação destas ferramentas, mas também com um elevado conhecimento das pessoas e dos mecanismos de motivação, que se baseiam na capacidade para cultivar a liderança, o trabalho em equipa, a cultura empresarial, a criação de relações fortes com os fornecedores e a manutenção de uma organização em permanente aprendizagem, que são componentes cruciais para toda a implementação do TPS (Pinto, 2014).

### **2.3.2.1. *Just-In-Time***

O JIT, tal como já foi referido anteriormente, é uma das técnicas que se destaca quando se fala do TPS. Hirano (2008) refere que o sistema de gestão JIT, criado pela cultura japonesa em meados da década de cinquenta, é composto por práticas que podem ser aplicadas em qualquer parte do mundo, tendo sempre como objetivo a melhoria contínua de um sistema produtivo. Assim, é necessário implementar um sistema produtivo que permita um fluxo contínuo de produção e por isso surge o sistema *pull*, que defende a ideia de que é o cliente a “puxar” a produção ou seja, o produto só será produzido quando o cliente assim o solicitar. Assim, é possível controlar o volume de produção, permitindo que se produzam apenas as quantidades realmente necessárias (Womack & Jones, 2003).

Para facilitar a compreensão do sistema *pull* é necessário conhecer o sistema de produção precedente, o *Materials Requirements Planning* (MRP). A utilização do MRP implica um planeamento da produção baseado em fontes estatísticas, sendo a produção “empurrada” para o cliente (sistema *push*). O sistema de gestão JIT distingue-se do sistema tradicional de gestão de produção pois procura que a produção seja feita com zero defeitos, tempo nulo em *setups*, zero *stocks*, zero movimentos e com lote unitário (única peça) (Hopp & Spearman, 2004).

A implementação do JIT possibilita a produção e entrega de produtos em pequenas quantidades, com reduzidos prazos de entrega, de forma a responder às necessidades do cliente. Para além disso, a sua aplicação resulta na diminuição de inventários, de *Work in Process* (WIP), de esperas, de transportes e de defeitos, reduzindo assim os custos de produção melhorando a qualidade dos produtos (Womack & Jones, 2003).

A conversão de um sistema de produção tradicional para um sistema *pull* pode se tornar difícil, pois a empresa necessita de realizar profundas mudanças na programação da sua produção, que deverão ocorrer em todos os processos em simultâneo (Monden, 2012).

#### **2.3.2.2. Jidoka**

O *Jidoka* (termo japonês que significa automação), constitui outro pilar base de todo o TPS. Segundo Silveira & Coutinho (2008), este conceito tem como objetivo a automação das máquinas, de forma que exista um maior rendimento e controlo de processos. O *Jidoka* permite que um operador seja autónomo para parar a produção quando é detetada uma anomalia, permitindo um maior controlo de qualidade, uma vez que o problema pode ser resolvido no instante em que é detetado. Normalmente, as máquinas não têm a capacidade para detetar os problemas durante a produção, e por isso é necessário existirem operadores a vigiar o seu funcionamento, o que não acrescenta valor nenhum ao produto, mas sim custo. O *Jidoka* permite que o foco do operador não seja uma única máquina, podendo este supervisionar um conjunto de equipamentos ou realizar outro tipo de tarefas (Tisbury, 2014), (Liker, 2004).

O conceito do *Jidoka* não se aplica apenas às máquinas, tal como já referido anteriormente, podendo ser aplicado nas linhas e produções manuais. Assim sendo, o operador tem a liberdade para interromper a produção caso seja detetado alguma inconformidade, o que promove a não origem de propagação de defeitos ao longo da linha. O facto de o operador parar a linha faz com que o problema seja resolvido na altura e sejam detetadas as suas causas adotando imediatamente medidas para evitar a sua reincidência. Hinckley (2007) refere que a melhor definição de *Jidoka* é “automação com toque humano”, sugerindo assim alguns atributos fundamentais:

- Distinção entre trabalho do operador e da máquina;
- Independência entre máquina e operador;
- *Setup*, carregamento e descarregamento do equipamento deve ser á prova de falha.

De uma forma geral, pode dizer-se que o *Jidoka* está relacionado com a capacidade de os operadores detetarem algum tipo de problema e serem capazes de parar o

processo evitando a multiplicação de defeitos ao longo do fluxo produtivo (Liker, 2004).

### **2.3.2.3. Kaizen**

*Kaizen* é uma ferramenta *Lean* que apresenta, não só soluções a problemas de equipa, como também a processos em si. O objetivo desta ferramenta é a melhoria contínua de um determinado processo ou resolução de um problema com forte impacto na eficiência de uma organização (Pinto, 2014).

*Kaizen*, é uma palavra de origem japonesa, que significa melhoria contínua, (“Kai” – mudança) e (“Zen” – melhoria), ou traduzido à letra mudança para melhor. De acordo com Ohno (1996), esta ferramenta baseia-se na procura e identificação contínua de oportunidades de melhoria, melhorar 1% todos os dias, tendo como principal foco a eliminação de desperdícios e a aplicação de soluções económicas, apoiadas na criatividade e envolvimento de todos os colaboradores e gestão de topo.

O *Kaizen* procura envolver todos os processos, quer de produção, administrativos, assim como todos os colaboradores de uma organização. O seu epicentro está na valorização dos trabalhadores, pois considera que estes são o bem mais precioso das organizações, e por isso mesmo, devem ser estimulados e encorajados a melhorar continuamente o seu trabalho, tendo como objetivo o aumento da produtividade da organização e simultaneamente a sua satisfação pessoal e profissional. Fomentado sempre a ideia de que o trabalho coletivo prevalece sempre sobre o individual, o *Kaizen* promove simultaneamente a preparação e o treino dos colaboradores ao nível da utilização das diversas ferramentas *Lean*. Ao implementar todas as ideias referidas anteriormente, é possível verificar uma alteração da mentalidade dos colaboradores e um ganho na colaboração e consciencialização da cultura *Lean*, promovendo a sua implementação e sustentabilidade a longo prazo na organização (Imai, 2012).

### **2.3.3. Princípios do Lean**

Os cinco princípios do *Lean*, segundo Womack & Jones (2003) são: criar valor, definir a cadeia de valor, otimizar o fluxo, implementar o sistema *pull* e procurar pela perfeição.

No entanto, Pinto (2014), detetou algumas lacunas nestes cinco princípios, uma vez que estes apenas consideram a cadeia de valor do cliente e numa organização existem

várias cadeias de valor, uma para cada *stakeholder*. Outra lacuna identificada é que os princípios referidos anteriormente tendem a levar as organizações em ciclos infundáveis de redução de desperdícios, ignorando assim a atividade essencial de criar valor através da inovação de produção, serviços e processos. Com o objetivo de corrigir estas lacunas, foi proposta a revisão dos princípios do *Lean*, com a adoção de mais dois princípios: conhecer os *stakeholders* e inovar sempre. Assim sendo, os sete princípios identificados do *Lean* são os seguintes (Pinto, 2014):

1. Conhecer as partes interessadas – Uma organização que se foque apenas nas necessidades e interesses do seu cliente, negligenciando todas as outras partes interessadas, pode estar a comprometer a organização. As organizações devem ser orientadas para os clientes finais e não para o próximo cliente na cadeia de valor, porque se o cliente final não compra os produtos/serviços, então toda a cadeia é quebrada e está a ser posta em causa;
2. Definir o(s) valor(es) – É de elevada importância perceber o que é que acrescenta valor aos produtos/serviços para todas as partes interessadas, o que faz com que existam vários valores e não apenas um valor, para que assim seja possível satisfazer todas as partes interessadas;
3. Definir a(s) cadeia(s) de valor – A organização tem que definir para cada uma das partes interessadas a respetiva cadeia de valor para que se satisfaçam em simultâneo todos as partes interessadas. É importante que as cadeias de valor não se sobreponham e que se procure equilíbrio de interesses;
4. Otimizar fluxos – Deve-se encontrar a sequência ideal de etapas que criam valor, para que se atinja um fluxo contínuo. A coordenação dos meios envolvidos na criação de valor (pessoas, materiais, informação e capital) irão levar a que se responda às necessidades dos clientes em menor tempo, aumentando a velocidade de produção, reduzindo inventários e o *lead time*;
5. Implementar o sistema *pull* – Este sistema pretende deixar as partes interessadas liderarem os processos, ficando estes encarregues de libertar os pedidos e a procura pelo produto/serviço. Isto evita que as empresas “empurrem” as partes interessadas para o que julgam ser as suas necessidades (sistema *push*), é a imposição do JIT em vez do *Just In Case* (JIC);

6. Perfeição – Os interesses, necessidades e expectativas dos *stakeholders* estão constantemente a evoluir. O facto de ouvir a voz do cliente e procurar ser rápido e eficiente, permitirá às organizações melhorar continuamente. Para que este sexto princípio seja concretizado, é fundamental que os todos os princípios anteriormente referidos sejam cumpridos e interajam entre si num ciclo;
7. Inovar sempre – Para que se crie valor, é essencial que as organizações criem novos produtos, serviços e processos. Este princípio defende que, se o cliente desejar, a busca pela inovação e criação de novos produtos/serviços irá trazer valor para a organização mesmo que isto tenha custos financeiros a curto prazo.

Para que seja possível cumprir o último princípio descrito, existem três tipos de inovação que as organizações podem seguir (Carvalho, Reis, & Cavalcante, 2011):

**Inovação de produto:** consiste em modificações nos atributos dos produtos, com uma mudança na forma como ele é visto pelos consumidores;

**Inovação de processo:** está relacionado com mudanças no processo de produção. Esta mudança não gera necessariamente uma mudança no produto final, no entanto traz benefícios ao processo de produção, com aumentos da produtividade e redução dos custos;

**Inovação organizacional:** considera mudanças no modelo de negócio, ou seja, na forma como o produto/serviço é fornecido ao mercado. As mudanças estão ligadas à forma como o produto é levado ao mercado e não necessariamente a mudanças no produto ou no processo de produção.

#### **2.3.4. Tipos de desperdícios**

Qualquer atividade que faça parte de um processo e que não acrescente valor, segundo os critérios do cliente, é considerada um desperdício e deve ser eliminada. Como já foi referido em subcapítulos anteriores, muitas vezes acontece que, o desperdício não pode ser eliminado porque resulta de atividades de valor não acrescentado, mas ainda assim necessárias (Melton, 2005).

O *Lean Enterprise Center*, em 2006, realizou um estudo onde foi possível verificar que para a maioria das produções: 5% das atividades acrescentam valor ao produto; 35% são atividades que não acrescentam valor apesar de serem necessárias e 60% não acrescentam valor ao produto nem são necessárias.

De acordo com a filosofia *Lean* existem três tipos de atividades que não acrescentam valor ao processo: *Muda* (desperdício), *Mura* (desigualdade) e *Muri* (excesso). As atividades *Muda*, consomem recursos, mas não criam valor ao cliente, embora sejam necessárias para a empresa, são por exemplo os inventários, controlam o processo, mas não contribuem diretamente para a produção do produto final. O desperdício causado pela variação da qualidade, custo ou transporte no processo denomina-se *Mura* e resulta de atividades irregulares que causam a repetição de trabalhos e atrasos. *Muri* é um tipo de desperdício que resulta do excesso de mão-de-obra, de equipamentos e de movimentação num processo produtivo. Este desperdício prejudica não só o bom funcionamento do processo, como também acrescenta custos desnecessários para a organização. Assim sendo, a *Toyota* identificou sete principais fontes de desperdício (Liker, 2004):

- 1. Sobreprodução:** A sobreprodução acontece quando o que é produzido ultrapassa o que é encomendado pelo cliente. Isto implica um consumo desnecessário de matérias-primas, mão-de-obra, ocupação de armazenamento, transporte e *stock* elevado. Segundo Dennis (2007), quando o mercado está em crescimento este desperdício pode nem ser relevante, no entanto quando a procura abrandar, os efeitos deste desperdício agravam-se. Pode ser identificado como a principal fonte de desperdício, uma vez que pode encobrir outros problemas existentes na organização.
- 2. Stocks:** um *stock* elevado é uma consequência típica da sobreprodução nas empresas. O excesso de matérias-primas, produtos acabados ou produtos em vias de fabrico resulta num aumento dos tempos de aprovisionamento, dos custos de transporte e armazenamento. A solução deve ser aumentar a flexibilidade e a capacidade de resposta das organizações e dos seus fornecedores (Dudbridge, 2011).

- 3. Tempo de espera:** refere-se ao período de tempo em que o material, pessoas, equipamento ou informação não estão disponíveis, quando são necessários. Isto deve-se ao facto de existirem avarias nos equipamentos, retrabalho de peças, mudanças de ferramentas de trabalho, atrasos ou faltas de materiais e de mão-de-obra. Segundo Dudbridge (2011), o tempo não produtivo resulta também num desperdício de todos aqueles recursos que têm que ser pagos, como os salários dos trabalhadores, a energia elétrica e os restantes custos fixos.
- 4. Transporte:** o transporte desnecessário acontece quando existe o movimento de produtos que não acrescenta valor. Isto acontece quando existe um mau planeamento de *layouts*, que resulta em movimentações de materiais mais do que o necessário. O elevado manuseamento de materiais pode ocorrer, por exemplo, por estes terem sido armazenados de forma desorganizada. A forma de corrigir este desperdício é realizar melhorias do *layout*, sincronizar os processos e organizar e arrumar os postos de trabalho (Dennis, 2007).
- 5. Sobreprocessamento:** o excesso de processo acontece quando, durante um processo e produção, existem esforços que não acrescentam valor a um produto ou serviço. Este tipo de desperdício acontece quando existe uma definição incorreta dos requisitos dos clientes ou um fraco esclarecimento relativamente às instruções de trabalho (Liker, 2004).
- 6. Movimentação:** os movimentos desnecessários acontecem quando os movimentos das pessoas não acrescentam valor ao produto. Este tipo de desperdícios deve-se principalmente à falta de organização de trabalho, à incorreta disposição de equipamentos e à utilização de práticas de trabalho incorretas (Pinto, 2008).
- 7. Defeitos:** os defeitos estão diretamente ligados a erros ou falhas em produtos que implique a sua rejeição ou a necessidade de retrabalho. Este desperdício surge como resultado de problemas internos de qualidade. Segundo Dennis (2007) quando ocorrem defeitos no processo produtivo, os operadores dos postos seguintes têm desperdícios de espera, o que não é nada positivo, pois acrescenta custo e *lead time* ao produto. Uma situação grave que pode acontecer é quando os defeitos não são detetados antes de serem enviados

para o cliente, isto gera custos com garantias e entregas adicionais, podendo sempre correr o risco de perder negócios futuros e quota de mercado. Para eliminar este desperdício deve-se desenvolver um sistema que permita a identificação dos defeitos e das condições que os podem originar, de modo que qualquer pessoa consiga tomar uma ação corretiva imediata.

Com o passar dos anos, diversos autores têm vindo a detetar a existência de um oitavo desperdício que é, a subutilização de recursos humanos, pois as organizações raramente aproveitam certas capacidades dos seus colaboradores como a experiência, inteligência ou a criatividade. Visto que o *Lean* envolve todos os colaboradores de uma organização, então, todos os intervenientes devem estar envolvidos nas atividades de melhoria contínua. A eliminação desta oitava fonte de desperdício passa por uma correta implementação da filosofia *Lean* (Dolcemascolo, 2006).

### **2.3.5. Vantagens e Limitações**

A implementação do *Lean* nos sistemas produtivos das empresas apresenta vários benefícios que têm sido comprovados a partir de diversos casos de estudo. Womack & Jones (2003), Melton (2005) e Alves, Carvalho, Sousa, Moreira e Lima (2011) referem os seguintes benefícios:

- ✓ Redução dos tempos de *setup*;
- ✓ Simplificação do fluxo de materiais;
- ✓ Maior flexibilidade de produção;
- ✓ Eliminação de turnos de trabalho e redução do número de trabalhadores;
- ✓ Redução de tamanho de lotes;
- ✓ Aumento do desempenho das máquinas;
- ✓ Redução do WIP;
- ✓ Redução do *stock*, de produtos em via de fabrico e produtos acabados;
- ✓ Redução do esforço humano;
- ✓ Redução de custos;
- ✓ Redução da necessidade de retrabalho e aumento da qualidade;
- ✓ Maior precisão nas previsões dos pedidos de produção;
- ✓ Maior envolvimento, motivação e participação dos colaboradores nos processos;

- ✓ Capacidade para identificar os problemas e resolvê-los mais cedo;
- ✓ Menos desperdício nos processos;
- ✓ Menor *lead time* do produto;
- ✓ Aumento da compreensão e clareza dos processos.

Apesar de existir uma elevada divulgação do paradigma *Lean* e dos seus benefícios, ainda existem muitas empresas que não o implementam. As principais razões para este acontecimento são (Maia, Alves, & Leão, 2011) :

- ✗ Desconhecimento por parte das empresas acerca deste modelo organizacional e de como a implementar;
- ✗ Falta de compreensão sobre os princípios do *Lean*;
- ✗ Falta de apoio da gestão de topo;
- ✗ Consideração da existência de custos de investimento;
- ✗ Necessidade de resultados a curto prazo;
- ✗ Resistência à mudança;
- ✗ Dependência maior de fornecedores internos.

Os três maiores obstáculos relacionados com a implementação do *Lean* na produção são a percepção da falta de benefícios tangíveis, a resistência á mudança e a ideia de que a maior parte dos processos já são suficientemente eficientes. Esta ideia pode ser uma grande ilusão, pois a aplicação do *Lean* permite a revisão de toda a cadeia de abastecimentos como um todo. Isto revela que, na maior parte das vezes existem grandes *bottlenecks* e bastantes ineficiências (Melton, 2005).

### **2.3.6. Ferramentas *Lean***

#### **2.3.6.1. Ciclo PDCA**

O ciclo *Plan Do Check Act* (PDCA) foi promovido por W.E. Deming a partir dos anos cinquenta e redefinido por Ishikawa no Japão sendo apelidado de *Deming Wheel*, caracterizando-se pelo modo simples e sistemático com que orienta as implementações de iniciativas definidas previamente, podendo ser visto como a base da implementação de qualquer ferramenta *Lean*, tanto na indústria como nos serviços (Moen & Norman, 2009).

Esta ferramenta consiste na interação contínua da situação atual e das suas oportunidades de melhoria, na implementação de iniciativas e na normalização das tarefas, iniciando-se posteriormente um novo ciclo com base na situação atual (Dias, 2020).

O ciclo PDCA consiste em quatro fases, representadas na Figura 2.4 (Pinto, 2014):

- ✓ **Plan** – nesta fase é onde é definido objetivamente o problema, define-se o *background* e o contexto para que todos possam ter uma base de entendimento comum, identificam-se as causas-raíz e realizam-se *brainstormings* com o objetivo de criar hipóteses para mais tarde serem testadas.
- ✓ **Do** – é aplicado o método científico para testar as hipóteses e reunir factos/dados baseados na observação direta. Nesta fase o pensamento deve ser, em vez de esperar pela solução perfeita ir avançando com pequenas iniciativas.
- ✓ **Check** – são comparados os resultados com o que foi previamente planeado, determinam-se os desvios e tenta-se perceber a sua origem procurando perceber o que correu bem e o que correu mal.
- ✓ **Act** – no caso positivo, ou seja, se as medidas forem eficazes, cria-se um padrão que possa ser validado e mantido. São registadas as lições aprendidas e partilhadas as boas práticas. Se o cenário for negativo, isto é, no caso das medidas não serem eficazes, deve iniciar-se um novo ciclo começando pelo planeamento (*Plan*), onde se deve observar o estado atual e definir novos objetivos em direção à situação ideal.



**Figura 2.4 - Ciclo PDCA.**

*Fonte: Elaboração própria*

Esta ferramenta, tal como muitas associadas à filosofia *Lean*, não têm por norma o foco na mudança radical, mas sim em melhorias graduais e com um impacto financeiro reduzido dentro da rotina diária. Os resultados da sua utilização refletem-se num maior envolvimento dos órgãos de gestão nos processos, no aumento da motivação dos colaboradores, no aumento da eficiência no manuseamento de recursos e ferramentas, na criação de equipas transversais e no aumento da delineação de objetivos e resultados (Garcia-Sabater & Marin-Garcia, 2011).

### **2.3.6.2. Diagrama Ishikawa**

O diagrama de *Ishikawa* (Figura 2.5) foi criado pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa no ano 1943, onde o seu objetivo foi desenvolver uma ferramenta que fosse utilizada por qualquer pessoa, desde os colaboradores de “chão de fábrica” até à direção. Esta ferramenta, também conhecida por diagramas de espinha de peixe, devido à sua estrutura, parte da premissa de que todo o problema tem uma causa específica. São uma forma de expor os problemas, identificar as causas raiz dos mesmos e consequentemente eliminar o problema (Saeger, 2015).

Jayswal (2011) utiliza esta ferramenta para identificar as origens dos obstáculos e para alcançar a sustentabilidade do processo em estudo rápida e eficazmente.

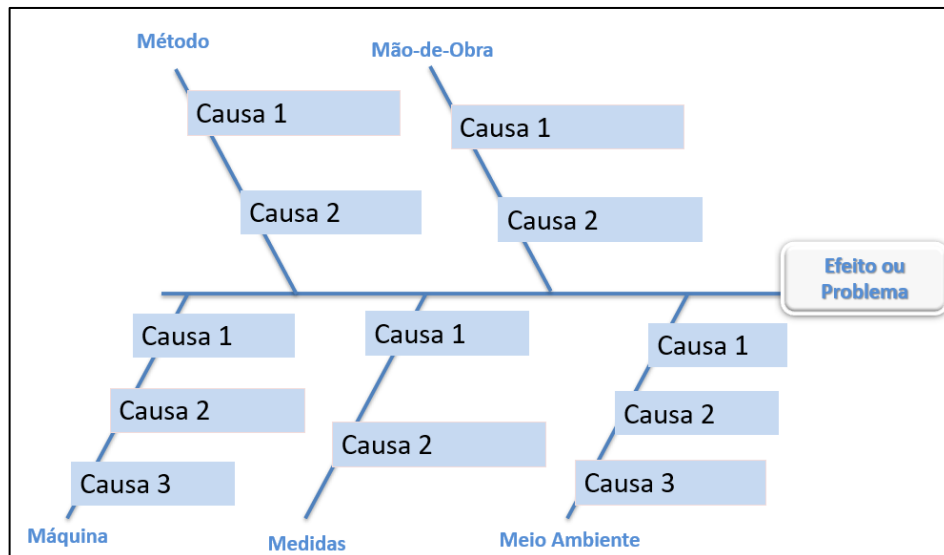


Figura 2.5 - Diagrama Ishikawa.

Fonte: Elaboração própria

### 2.3.6.3. Relatório A3

O relatório A3 é um sistema que permite a implementação do ciclo PDCA (*Plan Do Check Act*) numa folha A3, onde o objetivo é detalhar em quadros que dividem a folha, o problema, o projeto e também como se deverá abordar o problema com as respetivas análises, ações corretivas e planos de ação. A simplicidade da folha A3 é um incentivo para o poder de síntese e foco, evitando assim longos relatórios. Algumas das vantagens desta ferramenta são por exemplo o desenvolvimento das pessoas com a capacidade de identificar problemas com maior profundidade, tomar iniciativas e assumir responsabilidades. Este modelo, representado na (Figura 2.6), guia o utilizador por entre alguns passos necessários para determinar as causas raiz dos problemas da organização e a forma de os resolver (Bassan, 2020).

A generalidade dos formatos A3 promovidos pela *Toyota* contém nove elementos essenciais para a boa gestão de projetos (Shook, 2008):

1. Tema ou assunto;
2. Caracterização do problema, incluindo a definição do estado inicial e definindo os motivos do projeto;
3. Afirmação do estado pretendido, ou estado futuro, definido a amplitude e o âmbito do projeto;

4. O procedimento ou abordagem ao problema (normalmente assente no ciclo PDCA);
5. A análise sistemática ao problema/desafio (ex: diagrama Ishikawa, DOE, 5W, entre outros);
6. A solução proposta;
7. Calendarização da implementação;
8. Ilustrações gráficas para rápida informação e perceção do que se pretende;
9. Data e unidade responsável a quem reportar no final o A3.

O formulário do Modelo A3 da ISEL é composto por várias seções:

- Título/Objetivo Inicial:** Campo para o nome da iniciativa.
- Responsável:** Campo para o nome da pessoa responsável.
- Data:** Campo para a data de início.
- Descrição e Contexto:** Área para descrever o problema e o contexto.
- Análise e Proposta:** Área para detalhar a análise e a proposta de solução.
- Plano de Ação:** Tabela com 3 colunas:
 

Condição Necessária (O quê?)	Razão para a Condição Necessária (Porquê?)	Efeito Esperado
- Obstáculos esperados:** Campo para listar possíveis obstáculos.
- Calendarização do TFM:** Gráfico de Gantt com eixos para os meses DEZ, JAN, FEV, MAR, ABR, MAI, JUN. As barras de atividade são coloridas em tons de laranja, amarelo e verde.

**Figura 2.6 - Modelo A3 - Proposta ISEL.**

#### 2.3.6.4. 5S

A metodologia 5S refere-se a um conjunto de práticas que procuram a redução do desperdício e a melhoria do desempenho das pessoas e processos através de uma abordagem muito simples que assenta na manutenção das condições ótimas dos locais de trabalho (Pinto, 2014). Os 5S, são designados por os cinco sentidos, são palavras que, em japonês, começam pela letra “S”, e segundo Patel (2014), Agrahari (2015) e Ramdass (2015) são definidos da seguinte forma:

- **Seiri (Triagem):** O senso de triagem é a primeira etapa da aplicação da metodologia 5S. Esta fase consiste em identificar os objetos necessários para a execução das atividades no posto de trabalho e eliminar os objetos desnecessários. A eliminação não significa, exclusivamente, deitar fora, mas também dar um destino para o qual estes possam ser úteis. Uma das

estratégias usadas para aplicar o primeiro senso é o método *RED TAG* (Etiqueta Vermelha), em que todos os objetos inúteis ou obsoletos, são etiquetados com uma etiqueta vermelha e colocados numa área específica à espera de uma ordem de destino (descartar, armazenar, enviar para outro local, etc.). Esta etapa conduz a uma redução de stocks e melhora a utilização do posto de trabalho.

- **Seiton (Arrumação):** O senso de arrumação é a segunda etapa da aplicação da metodologia que visa a definir um local para colocar todos os objetos, de forma a facilitar o fluxo das atividades de trabalho. Assim são definidas regras de organização que permitam aos trabalhadores encontrar facilmente os objetos que procuram. É necessário ter em conta a frequência de utilização dos itens, de modo que os objetos que se utilizam mais vezes, estejam mais perto do local onde serão utilizados, diminuindo assim, o número de movimentações por parte dos trabalhadores, durante uma operação. A implementação desta etapa melhora a eficiência produtiva através da redução de erros, de movimentação e de tempo, à procura de objetos.
- **Seiso (Limpeza):** O senso de limpeza é o terceiro passo da implementação dos 5S, onde se procede à limpeza total do posto de trabalho. O objetivo desta fase é identificar e eliminar todas as causas de sujidade, desde pó acumulado, lixo, resíduos e gorduras. Consequentemente, é importante haver um envolvimento de todos os trabalhadores nas atividades de limpeza, de forma a manter um ambiente sempre limpo, saudável e confortável. As rotinas de limpeza passam por limpar o pavimento, as bancadas de trabalho, as máquinas e ferramentas, interiores de armários e depositar todos os resíduos nos recipientes adequados. As vantagens deste senso são, por exemplo, o aumento da eficiência das máquinas, melhorias de segurança e um ambiente mais profissional e confortável.
- **Seiketsu (Normalização):** A normalização consiste na criação de regras, procedimentos e normas que auxiliem todos os trabalhadores a manter os sentidos anteriores (Triagem, Organização e Limpeza). É essencial que qualquer colaborador entenda fácil e rapidamente as tarefas, por isso a importância da

normalização das tarefas. É importante que os documentos sejam bem claros, fáceis de entender e intuitivos. Com a normalização é possível observar a redução de erros, redução de lesões dos colaboradores, os problemas estão mais visíveis e há uma estabilidade de performance.

- **Shitsuke (Disciplina):** O senso de disciplina é a última etapa na implementação dos 5S. Os trabalhadores têm de estar comprometidos com a manutenção dos 4S anteriores. Se não houver disciplina e motivação diariamente, a desorganização vai voltar a aparecer e o nível de implementação vai descer acentuadamente. Logo, a importância das auditorias periódicas aos 5S, com recurso a uma *checklist* e registos fotográficos, que permitem verificar o estado de implementação e detetar eventuais erros e as suas causas. As vantagens da disciplina são, por exemplo, a melhoria das relações interpessoais e o aumento da autoconsciência.

Cada vez mais é considerado um sexto S, que diz respeito à Segurança, o qual não pode ser separado dos anteriores nem de qualquer atividade realizada. Numa empresa, as rotinas que mantêm a ordem e a organização são essenciais para a otimização e eficiência das atividades realizadas e as técnicas *Lean* encorajam os colaboradores a melhorar o seu local de trabalho e reduzem os desperdícios. Os 6S formam a base necessária para a implementação de um elevado número de soluções *Lean*, tais como o TPM (*Total Productive Management*) e o Seis Sigma (Pinto, 2014).

#### **2.3.6.5. Single minute exchange of die**

A metodologia SMED tem como principal objetivo reduzir os tempos de paragem para mudanças de formato de moldes e ferramentas. Esta técnica é aplicada no terreno e deve ser implementada de forma faseada, nas quais são implementadas diversas técnicas de forma a reduzir os tempos de *setup* interno e externo. O *setup* interno corresponde ao trabalho que só pode ser efetuado com o equipamento parado, sendo que o *setup* externo diz respeito a todas as restantes atividades que poderão ser executadas com a máquina em funcionamento, quer seja antes ou após a paragem (Moreira & Pais, 2011).

A implementação inicia-se pela análise detalhada da situação atual, onde são recolhidas informações relativamente aos processos, às operações realizadas durante o *setup* e à medição dos respetivos tempos. É essencial sensibilizar os operadores a se

envolverem nesta etapa, pois são estes que conhecem melhor todo o processo e os equipamentos. De seguida as atividades são classificadas e separadas como sendo internas ou externas. Como ferramenta de suporte são criadas *checklists* que posteriormente serão utilizadas, nas quais devem constar todas as atividades que vão ser consideradas, as ferramentas necessárias à realização dessa atividade e também a duração prevista na realização de cada uma das tarefas. Na terceira fase pretende-se converter o *setup* interno em externo, sendo esta realizada após um levantamento de todas as operações, para que se consiga realizar uma melhor preparação da mudança. A última etapa tem como objetivo a melhoria contínua das operações de *setup*, sejam elas internas ou externas, elaborando soluções para as otimizar, simplificar e se possível eliminar (Shingo, 1985); (Pinto, 2008).

Com tempos de *setup* minimizados não existe a necessidade de trabalhar com lotes elevados, o que tem diversas vantagens. As vantagens que envolvem as reduções de tempo de *setup* através do SMED, podem ser diferenciadas da seguinte forma (Moreira & Pais, 2011):

**Tabela 2.1** - Vantagens da técnica SMED.

<b>Benefícios Diretos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de <i>setup</i></li> <li>• Redução dos erros de <i>setup</i></li> <li>• Aumento da segurança</li> </ul>	<b>Benefícios Indiretos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de stocks</li> <li>• Aumento da flexibilidade produtiva</li> <li>• Padronização das operações</li> </ul>
----------------------------	---	------------------------------	---

### 2.3.6.6. Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta de planeamento estratégico que permite realizar um estudo dos ambientes externos e internos de uma organização ou de um projeto. O termo SWOT resulta da combinação das iniciais das palavras *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças). Com a análise SWOT (Figura 2.7) pretende-se entender e analisar as forças e fraquezas e identificar ameaças ao negócio assim como oportunidades de mercado. Assim é possível explorar os pontos fortes, superar as fraquezas, agarrar as oportunidades e defender-se das ameaças (Pereira, 2020).

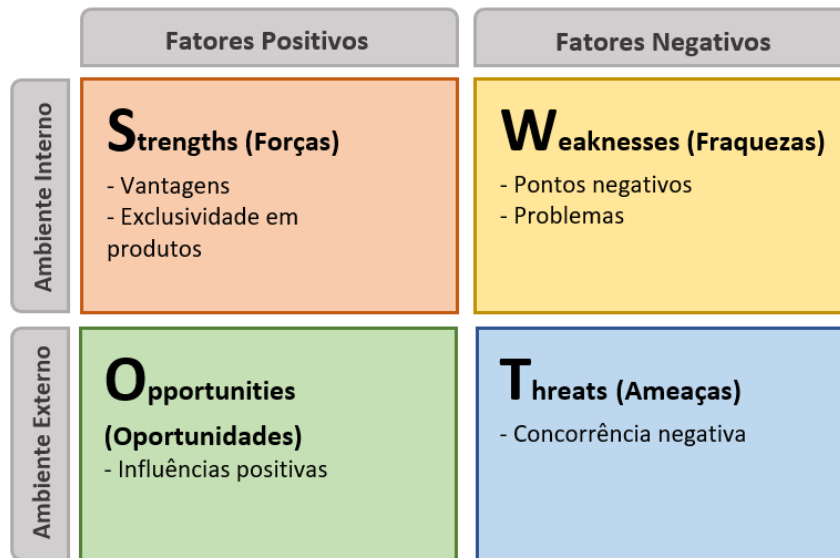


Figura 2.7 - Modelo análise SWOT.

Fonte: Elaboração própria

### 2.3.6.7. Analytic Hierarchy Process

O processo de hierarquia analítica, mais conhecido por AHP, foi desenvolvido pelo professor Thomas Saaty em 1980 e tem como principal objetivo o auxílio na tomada de decisão. Pretende estruturar a decisão de forma hierárquica e mostrar relações entre critérios e as alternativas possíveis (Saaty & Vargas, 2001).

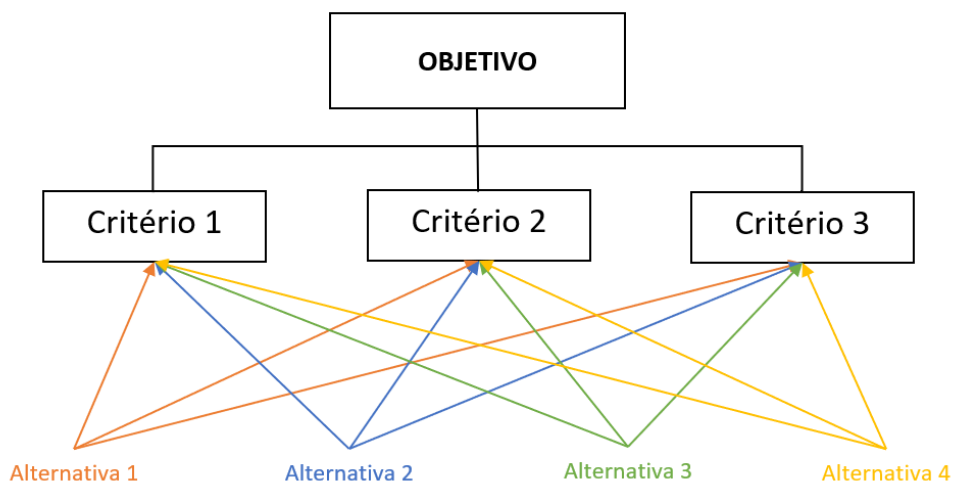
Neste método são utilizadas matrizes para comparar par a par as importâncias dos critérios e o desempenho das alternativas, utilizando números conforme a Tabela 2.2. Uma das vantagens deste método é o facto de poder ser aplicado tanto a critérios tangíveis como intangíveis. Os critérios têm geralmente uma importância diferente e as alternativas são diferentes conforme a preferência por estas em cada critério, assim definiu-se uma escala para que seja possível medir e comprar as alternativas distintas com base nos diferentes critérios (Mu & Pereyra-Rojas, 2017).

**Tabela 2.2** - Escala de Saaty.

Escala	Avaliação
Extremamente importante	9
	8
Muito importante	7
	6
Mais importante	5
	4
Importância moderada	3
	2
Igual importância	1

Fonte: Mu & Pereyra-Rojas (2017)

Primeiramente é feita a decomposição do problema numa hierarquia de critérios, tal como mostra a seguinte (Figura 2.8):



**Figura 2.8** - Hierarquia de Critérios.

Fonte: Elaboração própria

Os critérios são comparados entre si, de acordo com a escala de Saaty da) Tabela 2.2 e a partir dessas comparações são construídas matrizes, tal como é apresento na Tabela 2.3. Estas matrizes vão ser a base para o cálculo das prioridades relativas dos diferentes critérios. Na diagonal da matriz é colocado o valor de 1, pois cada critério representa a mesma importância sobre ele mesmo.

**Tabela 2.3** - Matriz das prioridades dos critérios.

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>
<b>Critério 1</b>	1		
<b>Critério 2</b>		1	
<b>Critério 3</b>			1
$\Sigma$			

Fonte: Elaboração própria

Para as alternativas o procedimento será igual (Tabela 2.4) Saaty, 2004).

**Tabela 2.4** - Matriz das prioridades das alternativas.

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
<b>Alternativa 1</b>	1			
<b>Alternativa 2</b>		1		
<b>Alternativa 3</b>			1	
<b>Alternativa 4</b>				1
$\Sigma$				

Fonte: Elaboração própria

De seguida, faz-se a normalização da matriz, dividindo cada elemento da mesma pela soma de cada coluna. Nesta nova matriz, é calculada a média dos valores de cada linha, obtendo-se assim as importâncias relativas dos critérios ou alternativas, que é nomeado de vetor de prioridade (Vp). Os elementos da matriz são representados por  $a_{ij}$  e são recíprocos  $a_{ji}$ , isto é, se  $a_{ij} = 2$ , então  $a_{ji} = 1/2$ . Segundo Saaty (2004), as comparações que são feitas pelo decisor podem ser inconsistentes devido a alguma falha nas comparações, pois estas são bastante subjetivas, assim sendo é importante verificar se a matriz é consistente através da seguinte equação:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

CI é o índice de consistência, n é o número e critérios avaliados e  $\lambda_{max}$  é o máximo valor próprio da matriz de comparações. O valor de CI depende do n (tamanho da matriz), pelo que é necessário o cálculo do rácio da consistência (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 = 10\% \quad (2)$$

O RI é um valor fixo e é definido consoante o número de critérios, conforme a Tabela 2.5.

**Tabela 2.5** - Valores de RI consoante tamanho da matriz.

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random Index	0	0	.52	.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

*Fonte: Saaty (2004)*

O valor apenas será considerado consistente se a razão for inferior a 10%. Caso contrário, se o valor for superior a 10%, o decisor terá de avaliar novamente as comparações que efetuou.



### 3. A empresa - Science4you

A S4Y é uma empresa portuguesa que se dedica ao desenvolvimento, produção e comercialização de brinquedos educativos e científicos, com desenho e marca própria. Está também incluído no seu *core business* o desenvolvimento de atividades para crianças através de festas de aniversário e campos de férias de animação científica. Atualmente é a maior empresa de brinquedos em Portugal e uma das principais do seu setor na Europa.



Figura 3.1 - Entrada da fábrica da Science4you.

A empresa Science4you S.A., foi fundada em janeiro de 2008 por Miguel Pina Martins em parceria com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), a partir de um trabalho académico com o propósito de criar um modelo de negócio à volta do tema “Kits de Ciência”.

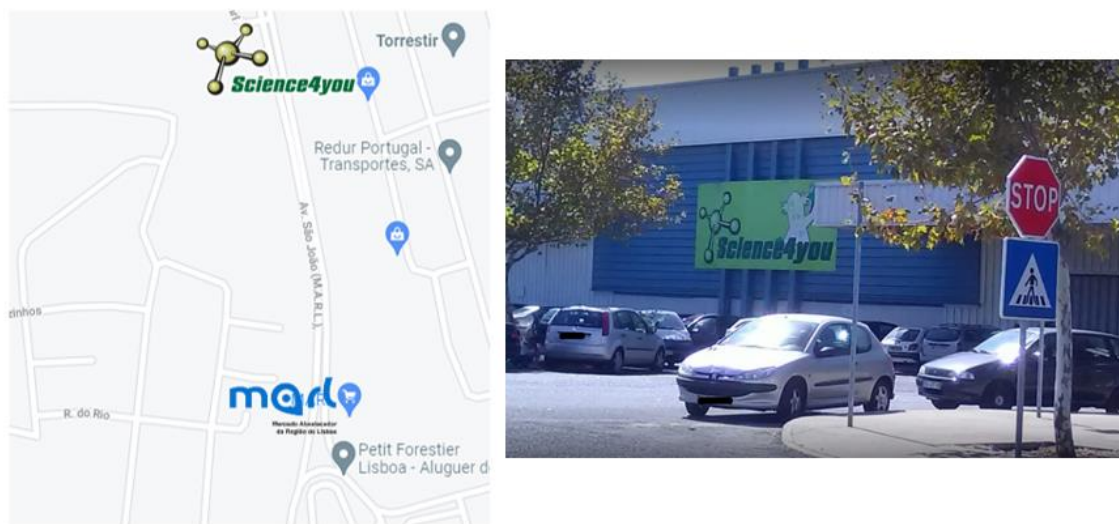
A S4Y especializada na fabricação de brinquedos educativos e científicos, tendo vindo a aproveitar o crescimento registado no segmento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), de onde fazem parte os brinquedos educativos das áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática, para criar uma linha de produtos de alto valor educacional, procurando atingir um equilíbrio entre a vertente lúdica e educativa. Tal como referido anteriormente, para além da fabricação de brinquedos, a Science4you dedica-se à organização de atividades científicas, como festas de aniversário para crianças entre os 6 e os 12 anos, campos de férias científicos

que pretendem, de forma lúdica e divertida, despertar o interesse das crianças e jovens pelo mundo das ciências. Estas atividades ajudam a Science4you a diversificar o seu modelo de negócio, enquanto contribuem para a apresentação dos seus produtos junto do seu público-alvo e, em simultâneo, permite-lhes recolher dados sobre a aceitação dos novos produtos e tendências de mercado.



*Figura 3.2 - Brinquedos fabricados na Science4you.*

A Science4you é proprietária de uma unidade produtiva, localizada no MARL (Mercado Abastecedor da Região de Lisboa), representada na Figura 3.3, tendo ainda um armazém no Forte da Casa. Assim, permite um controlo total sobre a qualidade, métodos e calendário produtivo dos brinquedos, que é uma grande mais-valia.



*Figura 3.3 - Localização da Science4you.*



*Figura 3.4 - Área de produção final na Science4you no MARL.*

Atualmente a empresa conta com cerca de 190 trabalhadores na sua totalidade e a fábrica labora 40 horas semanais (8 horas diárias, sem turnos) Na Science4you a cadeia produtiva é composta por cinco fases de produção:

- **MRP 1 e MRP2** - Enchimento de sólidos e/ou líquidos;
- **MRP 3** - Impressão de rótulos;
- **MRP 4 e MRP 5** - Rotulagem de frascos e/ou sacos;
- **MRP 6 e MRP 7** - Produção de conteúdos e/ou reagentes;
- **MRP 8** - Produção Final.



*Figura 3.5 - Produção na Science4you.*

Os casos de estudo selecionados a abordar no presente trabalho são aplicados nas áreas de produção, mais especificamente na área de abastecimento, que no fim terá

impacto em todas as áreas produtivas, na rotulagem de frascos/sacos e na linha de produção final, onde é concluída a produção do brinquedo.

A S4Y tem uma grande capacidade de inovação e desenvolvimento de novos produtos, uma vez que detém internamente todas as valências necessárias, através de um modelo de integração vertical de toda a operação.

A Science4you apresenta como missão melhorar os níveis de educação na sociedade através do desenvolvimento de brinquedos e jogos que permitam às crianças aprender enquanto brincam. Tem como visão ser uma das três maiores marcas de brinquedos na Ibéria, vendendo para todo o Mundo e apresenta três valores essenciais: Excelência, Empenho e Eficiência.

## 4. Casos de Estudo – Descrição do estado atual

No presente capítulo vão ser descritos detalhadamente os casos de estudo selecionados.

### 4.1. Caso de Estudo 1 - Abastecimentos e produção

Atualmente na S4Y, parte da zona dos abastecimentos (A MRP X) não tem nenhuma regra nem procedimentos definidos para a sua coordenação. Esta zona não é organizada por áreas de produção (P MRP X), por ordem de produção (OP), nem tem nenhum tipo de prioridades definidas.

O processo de produção inicia-se com a criação das OP's (e outros processos em SAP: *Stage*, OD's) que são diretamente transmitidas à equipa de abastecimentos (dois dias antes da data da produção), que por sua vez têm integrada uma equipa de *picking* que está encarregue de todo o processo de recolha dos componentes de *stock*. Cada ordem de produção (OP) é associada a um *picker* e só esse faz todo o processo de recolha dos materiais de *stock*. Existem várias zonas onde os *pickers* recolhem os matérias abastecidos, mas nenhuma delas está identificada devidamente. Não existe nenhuma ordem para colocar os materiais (Ex: ordem consoante o plano de produção diário), nem nenhum local específico para o material de cada MRP. A forma como é realizado o abastecimento também não é a mais eficiente, pois existe excesso de deslocações e os espaços que rodeiam as zonas de produção (chão de fábrica) carecem de um melhor aproveitamento.

Para os MRP's 1, 2, 4 e 5 os abastecimentos são colocados numas *racks* destinadas para os mesmos (A MRP 1, 2, 4 e 5), sem qualquer ordem e localização específica. Os operadores dos respetivos MRP's, quando vão iniciar uma determinada OP, dirigem-se a essa localização para recolher os materiais, guiando-se apenas pelo nº da OP que (nem sempre) é colocado na palete pelos *pickers*.

Para os MRP's 6 e 7 existe um processo excecional, que não é realizado para mais nenhum MRP, nomeado de pré-abastecimento. A produção que é realizada nos MRP's 6 e 7 é a “construção” dos conteúdos dos brinquedos que vão fazer parte do brinquedo final. No MRP 6 é feita a montagem de uma cuvete com componentes como por exemplo, pincéis, berlindes, balões, palhinhas, luvas, frascos de corantes,

purpurinas, etc (Figura 4.1) e de seguida essa cuvete é filmada numa plastificadora, como mostra a seguinte figura.



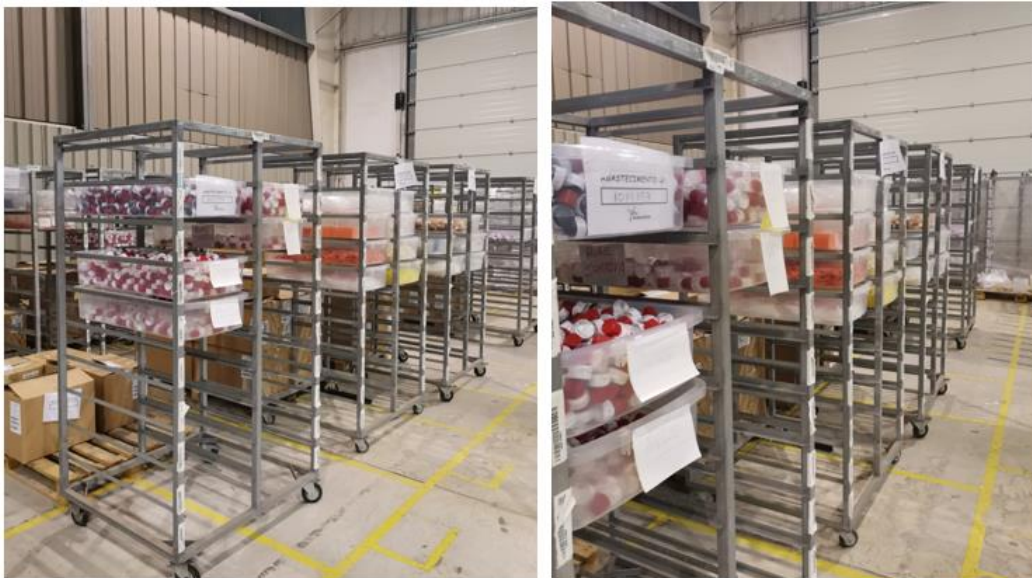
**Figura 4.1** - Produção MRP 6. a) Linha de produção MRP 6. b) Componentes da produção do MRP 6. Figura 4.2.

No caso do MRP 7, produção de reagentes, a construção não é numa “cuvete”, mas sim num saco de plástico. Os operadores colocam os componentes nos compartimentos coloridos representados na Figura 4.2 e de seguida estes passam numa máquina vertical onde são plastificados.



**Figura 4.2** - Produção MRP 7. a) Linha de produção MRP 7. b) Linha de produção MRP 7 visão dos operadores.

Nos casos descritos anteriormente (MRP 6 e 7), como os conteúdos-reagentes são compostos por vários componentes de dimensão reduzida, a percentagem de erro de contagem no inventário é muito elevada, o que conseqüentemente leva a que o *stock* introduzido em SAP esteja muitas vezes incorreto e não represente a quantidade física existente. Assim sendo, antes do abastecimento é sempre feita uma contagem com o objetivo de verificar se os componentes são suficientes para a produção prevista. Após ser feita a verificação, os componentes são colocados separadamente em carrinhos (Figura 4.3) e colocados numa zona destinada para estes (A MRP 6 e A MRP 7), mais uma vez sem distinção entre eles e apenas com indicação da OP para, na altura da produção os operadores irem recolher os materiais a entregar na respetiva linha de produção



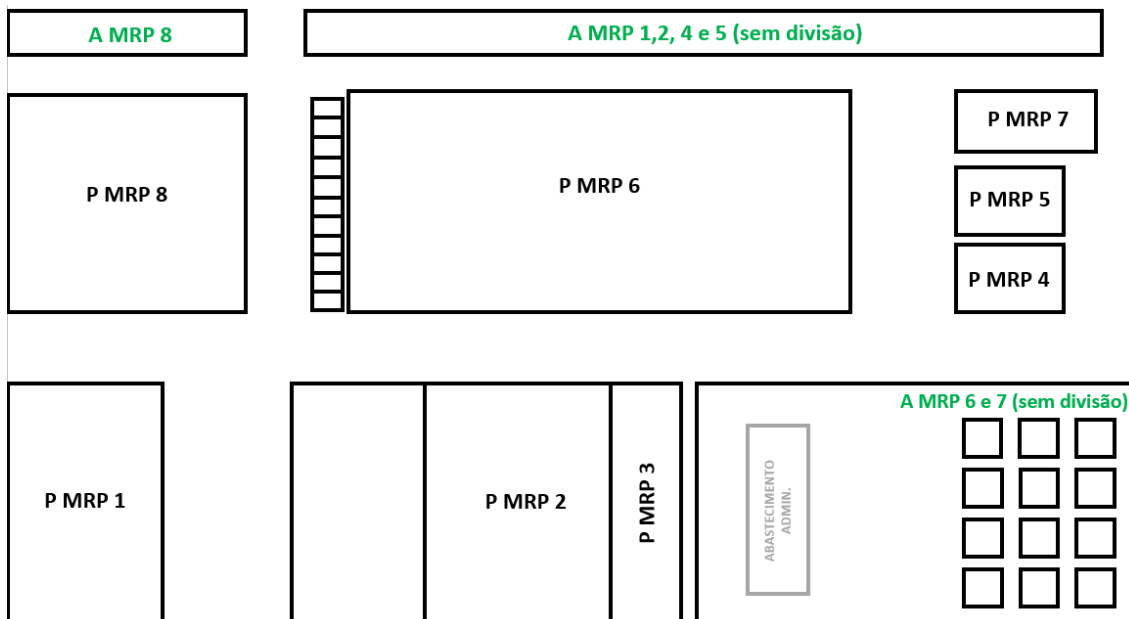
**Figura 4.3** - Pré-abastecimento.

No caso do MRP 8 (Figura 4.4) o processo de abastecimento é muito idêntico aos dos MRP's 1 e 2. Os materiais são colocados em *racks* (A MRP 8), com a diferença de que neste caso são os *pickers* que os entregam na zona do MRP 8 (quando solicitado), em vez de serem os operadores da produção. Antes de se dar início à ordem de produção, a chefe de equipa da linha solicita os abastecimentos para irem recolher as paletes correspondentes à OP a entrar em curso.



**Figura 4.4** - Produção MRP 8.

De forma resumida, tal como foi descrito anteriormente e tal como se apresenta no seguinte esquema (Figura 4.5), existem *racks* onde são colocados os materiais abastecidos do MRP 1 e 2 (enchimentos sólidos e líquidos) e do MRP 4 e 5 (rotulagem de frascos e sacos), uma zona no chão de fábrica para o MRP 6 e 7 (produção de conteúdos e reagentes) onde os materiais são colocados em carrinhos pós contagem e verificação e por fim *racks* destinadas unicamente para o abastecimento do MRP 8 (produção final).



**Figura 4.5** - Layout Chão de Fábrica.

Os principais problemas desta operação e da logística da mesma é a falta de organização do espaço de abastecimentos e do espaço que envolve as linhas de produção. Os operadores geram um desperdício de tempo a deslocar-se para os sítios onde estão os componentes de cada OP e ainda têm a função de procurar a sua localização, pois esta não é facilmente visível e de rápida percepção.

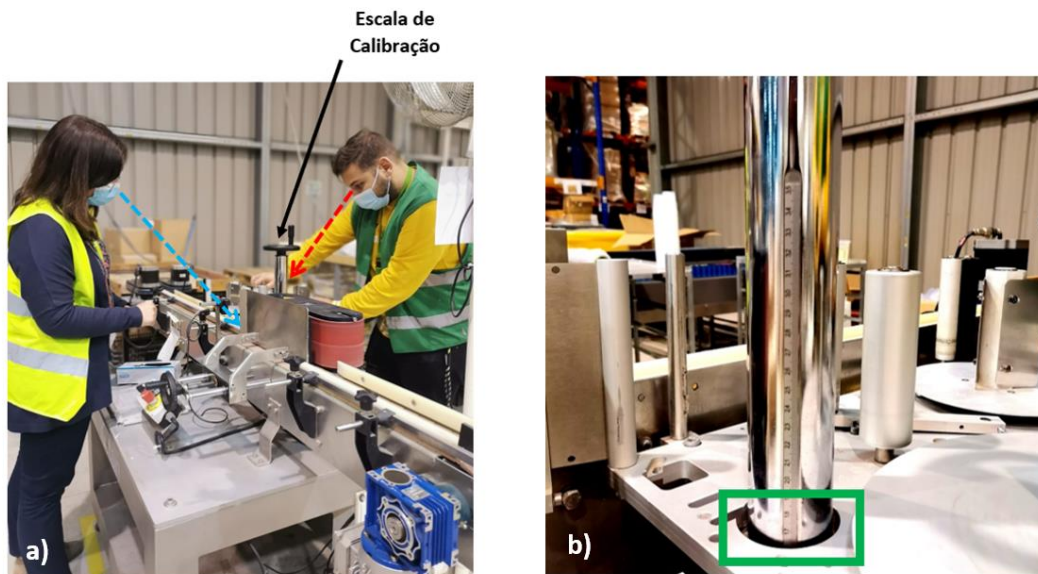
#### **4.2. Caso de Estudo 2 - Rotuladoras (MRP 4 e MRP 5)**

O MRP 4 (etiquetagem de frascos) e MRP 5 (etiquetagem de sacos) são outro ponto crítico na cadeia produtiva da S4Y. Esta fase da produção labora diariamente e faz parte de cerca de 30% da produção diária. É uma produção, que à partida, seria relativamente simples e rápida pois não depende de muitos componentes, como outras fases da produção (MRP 6 e 7).

Um dos problemas é que, tanto no MRP 4 como no MRP 5 não existem procedimentos descritos de como calibrar as rotuladoras com os vários formatos de frascos e sacos existentes. As calibrações são feitas por tentativa erro, o que faz com que sempre que se mude de formato exista um desperdício de tempo neste processo. Por exemplo, uma peça é ajustada e são passados alguns frascos para verificar se o rótulo está na zona correta, no caso de não estar, voltam a passar-se frascos e assim sucessivamente. De referir ainda que, neste processo existe um grande desperdício de frascos e etiquetas que, ou são rejeitados ou têm que ser reetiquetados (reprocesso) e, nesta segunda opção é novamente gerado um desperdício. Outra dificuldade neste processo é que, quem calibra as máquinas são sempre operadores que já têm alguma experiência (apenas dois na fábrica), os operadores mais recentes não têm formação na máquina. Mais uma vez, este acontecimento deve-se ao facto de não existirem procedimentos definidos e escritos que sejam de fácil compreensão e aprendizagem.

Para além dos pontos referidos anteriormente existem mais adversidades nesta fase da produção. Uma delas é o facto de serem obrigatoriamente necessárias duas pessoas para realizar a calibração, pois a escala de medidas para o operador se guiar está do lado contrário do seu campo de visão. Assim sendo tem sempre que estar um operador do lado da escala e outro do lado oposto para verificar a passagem correta dos frascos/sacos (Figura 4.6 a)). Outra das situações, que faz com que todo o processo

acabe por atrasar, é a dificuldade de leitura da escala de calibração. O nível da escala não está suficientemente próximo da escala em si (Figura 4.6 b)) o que origina um espaço (retângulo verde) entre o nível e a numeração da escala que dificulta bastante o trabalho. Isto faz com que a leitura por parte dos operadores não seja instantânea e estes tenham sempre que utilizar um utensílio que lhes permita medir correta e precisamente (Ex: régua).



**Figura 4.6** - a) Mudança de formato e Calibração do MRP 4/MRP 5 (2 operadores). b) Escala da rotuladora.

Através da explicação dada anteriormente é facilmente perceptível que todo este processo possui várias condicionantes que tornam um processo simples e rápido num processo demorado, ineficiente e com pouca qualidade associada.

### 4.3. Caso de Estudo 3 - Linhas de Produção Final (MRP 8)

O MRP 8 (Figura 4.4) é a linha de produção final, onde são finalizados os brinquedos e é o processo precedente ao *shipping*. É nesta fase que se colocam todos os componentes (conteúdos, reagentes, manuais, *flyers*, etc) dentro de uma caixa. Esta é direcionada para uma plastificadora onde é filmada e por fim passará num forno que adapta o filme à caixa. De acordo com os operadores que laboram nesta linha de produção final e após realização de vários *Brainstorming* com a equipa da produção, concluiu-se que esta última fase da produção é a mais crítica de toda a cadeia produtiva, é a que gera mais obstáculos e atrasos na produção e na consecutiva saída de mercadoria para o cliente. Foram detetados cinco dos oito desperdícios do *Lean*:

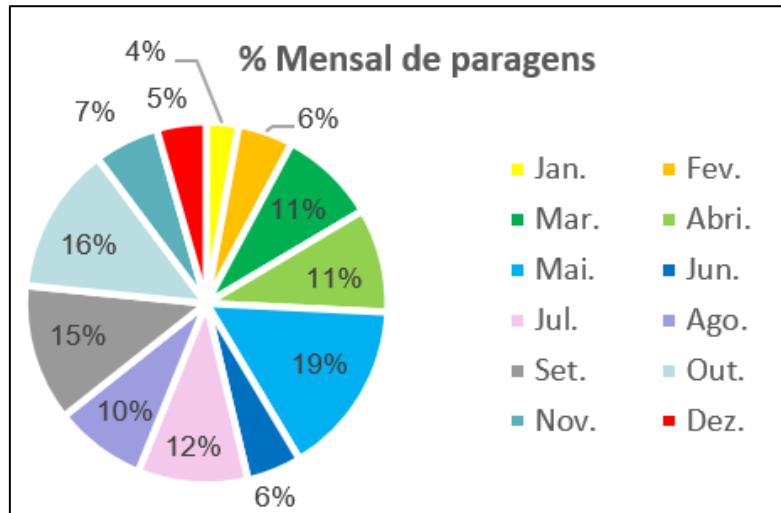
Transporte, Movimentação, Esperas, Sobreprocessamento e Subutilização de Recursos Humanos.

No MRP 8 existem duas linhas de produção cada uma composta por um tapete rolante, uma plastificadora e um forno, tal como mostra a Figura 4.7:

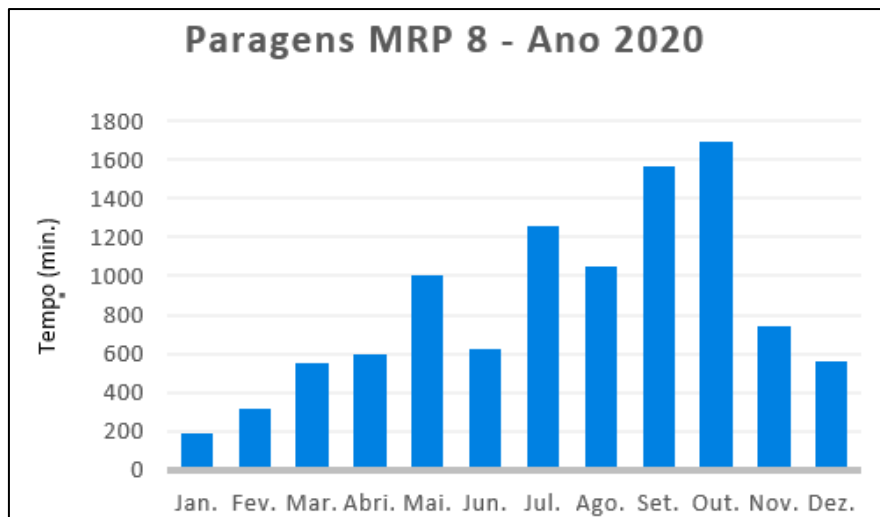


**Figura 4.7** - Linha de produção final MRP 8. a) Linha 1 e 2. b) Fornos e plastificadoras.

A grande dificuldade desta fase da cadeia produtiva, é que as duas plastificadoras existentes no final de cada uma das linhas de produção estão constantemente a parar, o equivalente a 80% das paragens totais da linha. Não é possível realizar uma ordem de produção sem que ocorra a paragem destas e, segundo o supervisor de produção, numa OP de por exemplo 5000 unidades, a plastificadora pára cerca de 4 vezes. Foram recolhidos os tempos de paragem da linha da produção final durante o ano 2020 e com esses dados foram contruídos os seguintes gráficos:



**Figura 4.8** - Gráfico da % mensal das paragens do MRP 8 no ano 2020.

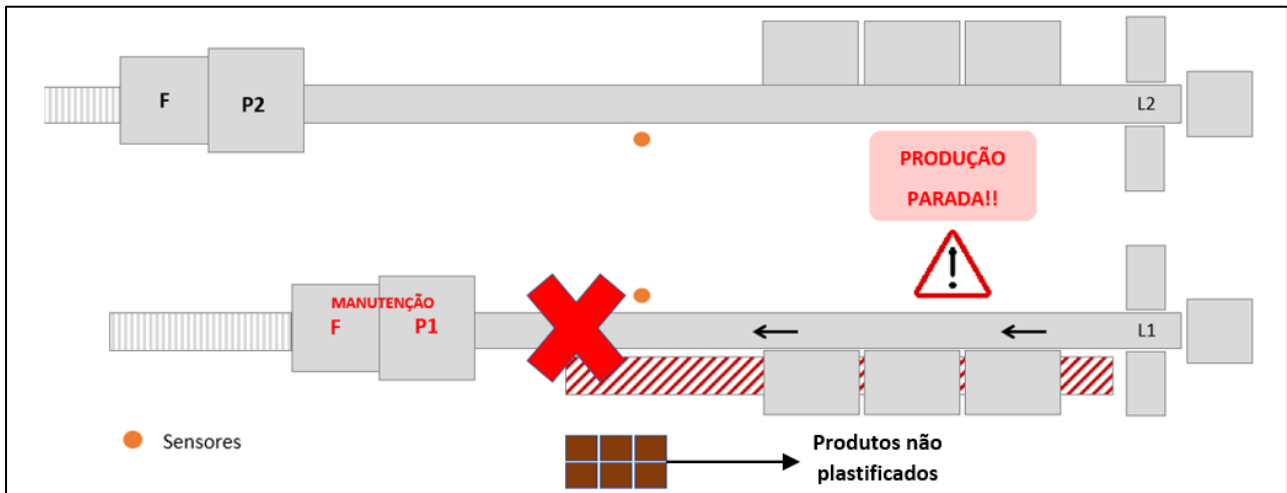


**Figura 4.9** - Gráfico da % mensal das paragens do MRP 8 no ano 2020.

Analisando os gráficos anteriores, é facilmente visível que as plastificadoras estão demasiado tempo paradas. No gráfico da Figura 4.8 ao efetuar a soma das percentagens de todos os meses, conclui-se que no final do ano 2020, as plastificadoras tiveram mais de um mês de trabalho sem laborar (considerando o trabalho 22 dia/mês e 8h/dia).

Apesar de o MRP8 ter duas linhas de produção, estas nem sempre estão a funcionar em simultâneo. Isso apenas acontece em alturas de grande pico de produção que corresponde a cerca de 17% da produção anual.

Quando a plastificadora pára, o método utilizado atualmente é prosseguir com a produção (sem a parte da plastificação) e, quando a plastificadora estiver arranjada procede-se à plastificação. Os operadores seguem com a montagem do brinquedo e antes de este entrar na plastificadora colocam-no numa palete à parte para se proceder à plastificação posteriormente, tal como é representado no seguinte esquema:



*Figura 4.10 - Layout linha de produção final com paragem da plastificadora (MRP 8).*

onde,

F – Fornos

P1 – Plastificadora 1

P2 – Plastificadora 2

L1 – Linha de Produção 1

L2 – Linha de Produção 2

Este reprocesso faz com que uma produção demore o dobro ou o triplo do tempo, pois a reparação das máquinas não é algo que seja programado. Isto é, a manutenção (uma única pessoa qualificada para a manutenção destas máquinas) nem sempre está disponível no momento em que a plastificadora pára, apesar do MRP 8 ser prioridade. Para além disso, o tempo que esta demora a ser reparada não é previsível. Ou seja, quando a plastificadora pára, parte dos operadores que estavam neste processo são alocados a outras operações e quando a máquina já está reparada, muitas vezes não existe equipa de operação disponível para arrancar com a produção novamente. De

acrescentar que muitas vezes os operadores têm que fazer horas extra para realizar a plastificação dos brinquedos para evitar atrasos na saída das encomendas. A opção de parar a montagem do brinquedo não é de todo viável pois tal como foi referido, a manutenção corretiva da plastificadora demora algum tempo. Nesta fase, e tendo em conta o descrito anteriormente são facilmente detetados os seguintes desperdícios: transporte, movimentação, esperas e sobreprocessamento.

Durante a observação de algumas produções e posteriormente confirmado com vários membros da equipa operacional e supervisores de produção, foi possível detetar que durante um funcionamento normal de produção (máquinas todas a laborar), que os operadores trabalhavam a uma velocidade superior às plastificadoras, detetando-se assim o 8º desperdício do *Lean* (subutilização de recursos humanos). Outro caso de aproveitamento ineficiente de recursos que se reflete num desperdício detetado, é o facto de, apesar do MRP8 ter duas linhas de produção, estas nem sempre estão a funcionar em simultâneo. Esta situação apenas acontece em alturas de grande pico de produção que, como já referido anteriormente corresponde a aproximadamente 45 dias por ano.

## **5. Proposta de melhoria, simulação e análise de resultados**

Neste capítulo são descritos, para cada um dos casos de estudo, a proposta de melhoria, o plano de ação e é demonstrada a simulação com a respetiva análise dos resultados. O plano de ação e os objetivos, para além de estarem descritos nos subcapítulos seguintes (5.1.1, 5.2.1 e 5.3.1), estão também refletidos nos três modelos A3 realizados (um para cada caso de estudo), que se encontram em anexo (Anexo 1, Anexo 2 e Anexo 3). De salientar que no subcapítulo da análise de resultados, a avaliação feita é sempre referente ao sistema, não são analisadas entidades individualmente pois não é esse o foco do presente trabalho.

### **5.1. Caso de Estudo 1 - Otimizar zona de abastecimentos e produção**

#### **5.1.1. Plano de Ação e Objetivos**

No presente caso de estudo pretende-se diminuir as deslocações dos operadores, que trabalham na zona dos abastecimentos e nas linhas de produção, assim como reorganizar ambas as zonas, através da aplicação da metodologia 5S. O objetivo será otimizar ambas as zonas em cerca de 50%.

Primeiramente será feita uma Triagem (*Seiri*) onde são identificados os objetos que são realmente necessários e não necessários para as funções desta zona. O objetivo será criar um destino para todos esses objetos e eliminar os que não são necessários.

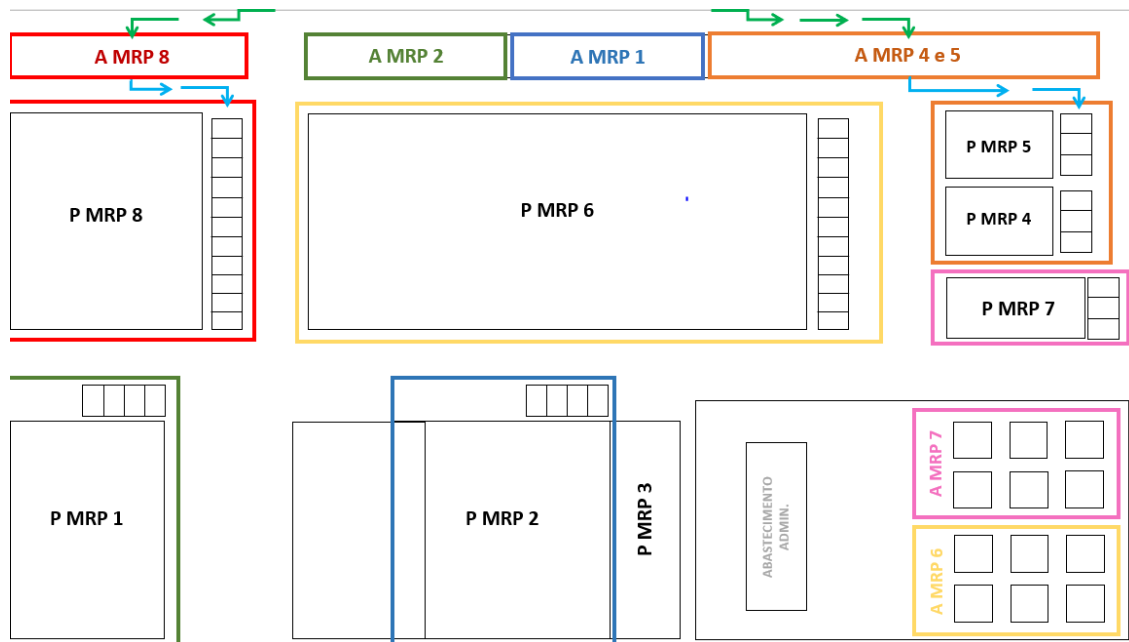
De seguida precede-se à Organização (*Seiton*) e Limpeza (*Seiso*) das zonas de produção e abastecimentos. Relativamente ao processo dos abastecimentos, atualmente são os *pickers* que abastecem uma determinada localização nas *racks* e de seguida os operadores da linha vão buscar os componentes a essa localização. É facilmente perceptível que todo este processo (feito várias vezes num dia) é um desperdício de tempo e de deslocações. Visto que existe espaço livre na envolvente da maioria dos MRP's, esse espaço poderá ser aproveitado para colocar os abastecimentos das produções, por ordem do plano de produção diário. Assim, essa zona vai sendo abastecida à medida que as produções vão decorrendo. Quando esta ficar completa, devido ao facto de a produção laborar a uma velocidade inferior à do abastecimento então estes voltam a abastecer as *racks* respetivas de cada MRP.

De forma que seja mais visível e perceptível quais os MRP's e quais as suas zonas respetivas de abastecimento, pretende-se delinear as zonas de produção (P MRP X) e de abastecimentos (A MRP X) com fita adesiva de cores diferentes, atribuindo uma cor a cada grupo de MRP, fazendo assim a distinção entre os grupos de MRP's. Todas estas regras estão esquematizadas mais à frente na Figura 5.1.

Segue-se a fase da Normalização (*Seiketsu*), onde são criadas regras, procedimentos e normas para que assim exista uma melhor organização do espaço e do processo em si, e para uma maior facilidade de aprendizagem e assimilação de informação dos trabalhadores já existentes, como também para os mais recentes. Pretende-se que os *pickers* apenas recolham os componentes de *stock* e coloquem na zona de abastecimentos (A MRP X), a partir desse ponto fica do lado da produção e são estes que ficam encarregues de deslocar os componentes para a linha. A exceção será o abastecimento da produção do plano diário, esse não irá passar sequer pelas *racks* (A MRP X), é colocado pelos *pickers* diretamente nas zonas envolventes dos MRPP's.

De uma forma geral o processo de abastecimento vai decorrer como anteriormente, isto é, os *pickers* dirigem-se às localizações em *stock* para recolher os componentes necessários para a produção, colocando-os nas respetivas localizações (A MRP X). A diferença será que, desta vez é feita a distinção entre MRP's, colocando sempre os materiais por ordem, tanto no chão de fábrica como nas *racks* (A MRP X), identificando sempre as paletes com o número da ordem de produção. Nas *racks* (A MRP X), ao implementar a regra de colocar os materiais por ordem do plano de produção, vai ser criada também uma ordem e circulação específica para os operadores retirarem os materiais. O processo a ser definido é o FIFO (*Firts In First Out*) ou seja, os *pickers* vão colocar as paletes de um lado (setas a verde da Figura 5.1) e os operadores da produção vão retirando do lado oposto (setas a azul da Figura 5.1) para a linha de produção. É importante referir que, para que este processo flua, o departamento de Planeamento terá que estar alinhado com a produção e ter um plano de produção consistente previamente definido.

No seguinte *layout* é apresentado o cenário da pós-implementação das regras descritas anteriormente:



**Figura 5.1** - Layout chão de fábrica após implementação da melhoria.

Por fim surge a fase da Disciplina (*Shitsuke*) e acompanhamento da produção onde o principal objetivo é inculcar aos trabalhadores a importância e o impacto positivo que têm as regras definidas e procedimentos quando colocados em prática. Para facilitar a aprendizagem pretende-se colocar cartazes ao longo da fábrica que indiquem qual a cor de cada MRP e setas no chão que indiquem a circulação correta e o fluxo da operação. É crucial que todos os trabalhadores do chão de fábrica (inventário, abastecimento, operação, produção, planeamento, *shipping*, etc.) estejam comprometidos com as ações e regras descritas anteriormente pois irá refletir-se numa melhoria das relações interpessoais e num aumento da autoconsciência.

### 5.1.2. Simulação

A simulação efetuada em Arena teve como principal objetivo avaliar o efeito que tem a reorganização do chão de fábrica. No presente caso de estudo, nem todas as melhorias que foram descritas anteriormente são possíveis de simular no Arena. Assim sendo, na simulação do Caso de Estudo 1, o que varia do cenário “Antes” para o “Depois” são as distâncias percorridas pelos *pickers* durante o processo de abastecimento. Todos os tempos de chegada de peças e processos, quantidade e velocidade do porta-paletes, são valores estimados e que não influenciam positiva nem negativamente o processo

de simulação. Todos esses valores são iguais tanto para o cenário “Antes” como para o “Depois”, alterando-se apenas as distâncias de uma simulação para a outra.

No Arena foram simulados os cenários da melhoria, ambos para oito horas de trabalho e com quinze replicações, utilizando os seguintes blocos:

- **Create**: onde é definido a chegada de material aos MRP como uma velocidade constante de 15 minutos, onde chegam 15 entidades por intervalo;
- **Decide**: utilizado apenas no “Antes” pois só neste é necessário dividir as peças por MRP’s visto que vêm do mesmo local de abastecimento (A MRP X);
- **Assign**: onde são definidos os tempos dos processos de produção;
- **Station**: simbolizam o espaço do abastecimento (A MRP X) e produção (P MRP X) de cada MRP;
- **Request**: representa o pedido do transporte;
- **Transporter**: representa o transporte;
- **Free**: bloco utilizado para o transporte libertar as entidades;
- **Process**: onde é definido o tempo do processo de produção (máquina);
- **Dispose**: simboliza o fim do processo.

Um dos elementos utilizado, mas que não é visível no desenho da simulação é o bloco da *Distance* que foi utilizado para definir as distâncias entre cada *Station*. A sequência foi definida diretamente dentro do bloco do *Transport* (Figura 5.2) onde se define qual a direção que o transportador deve seguir.

The image shows a dialog box titled "Transport" with a question mark icon and a close button (X). The dialog contains several configuration fields:

- Name:** A dropdown menu with "Transport 1" selected.
- Transporter Name:** A dropdown menu with "Transporter 1" selected.
- Unit Number:** An empty dropdown menu.
- Entity Destination Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "P 1" selected.
- Velocity:** A text input field containing "10".
- Units:** A dropdown menu with "Per Hour" selected.
- Guided Tran Destination Type:** A dropdown menu with "Station" selected.
- Station Name:** A dropdown menu with "A 1" selected.
- Comment:** An empty text input field.

At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 5.2 - Bloco Transport Arena.

O modelo “desenhado” no Arena no cenário “Antes” é apresentado de seguida.

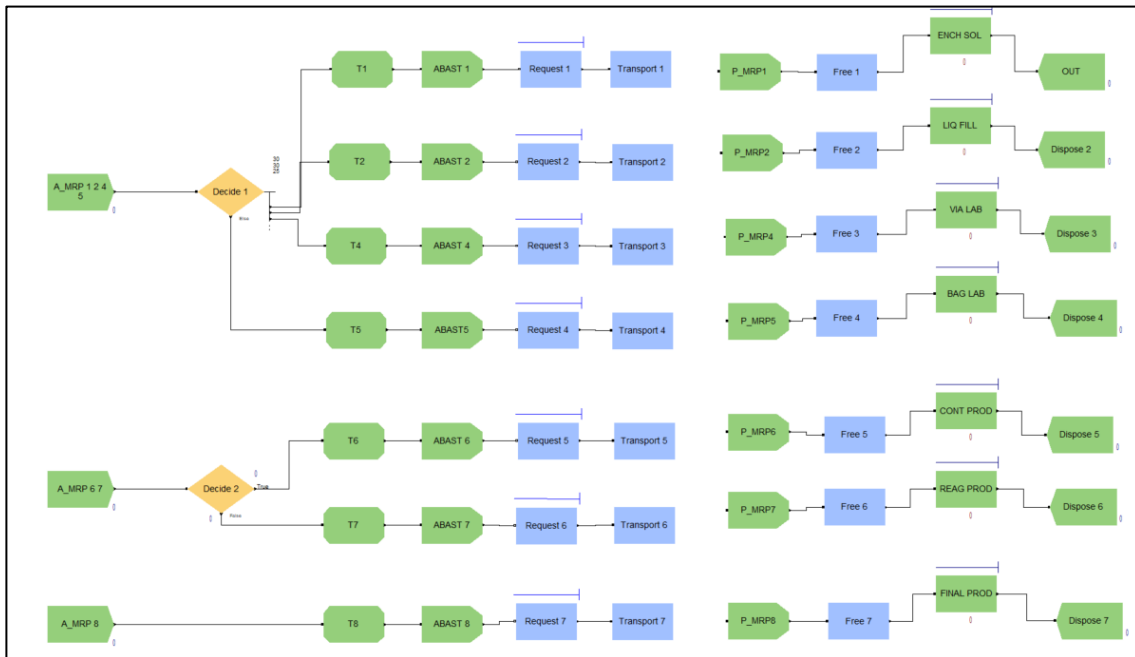


Figura 5.3 - Simulação Arena do Caso de Estudo 1 – Cenário “Antes”.

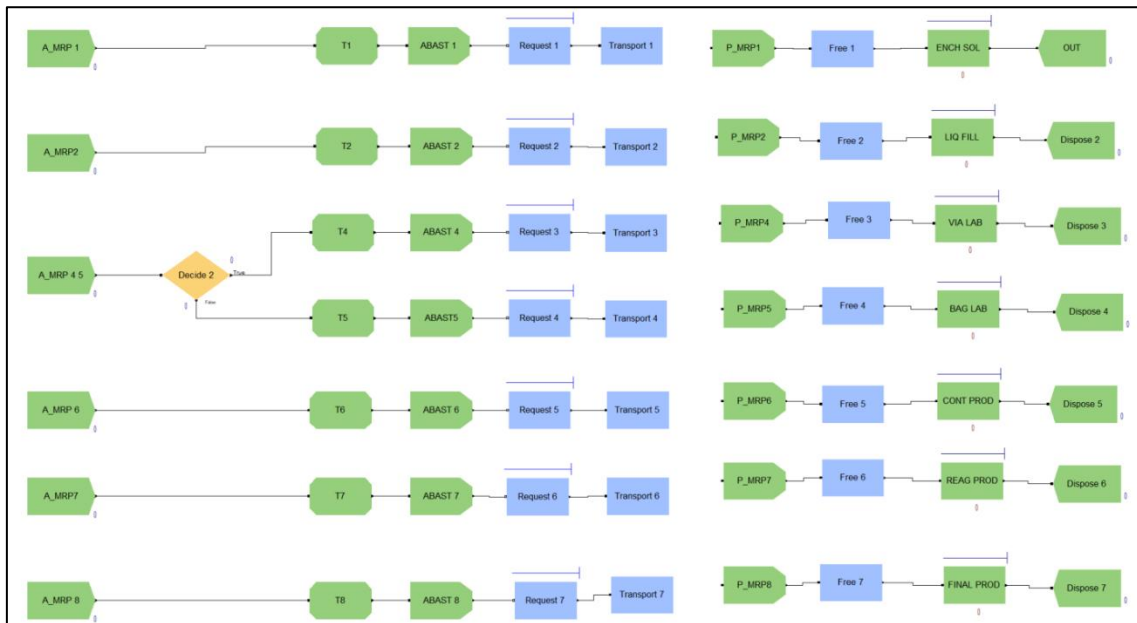
No cenário pré-simulação (Figura 5.3) foram definidas as seguintes distâncias:

Tabela 5.1 - Distâncias no cenário Antes.

A MRP	P MRP	Distância (m)
<b>1,2,4,5</b>	1	22
	2	20
	4	15
	5	14
<b>6,7</b>	6	16
	7	18
<b>8</b>	8	8

No cenário real apenas as distâncias acima são relevantes, no entanto no Arena, para ser possível executar a simulação foi necessário definir as distâncias de todos os MRP (Anexo 4). A cada valor de distância foi adicionada uma distância de dez metros que representa uma estimativa da distância média percorrida pelos *pickers* enquanto procuram a OP nas várias *racks* possíveis.

Na simulação pós-melhoria (Figura 5.4), a zona dos abastecimentos já está dividida por MRP, excepto os MRP's 4 e 5, tal como apresentado de seguida:



**Figura 5.4 - Simulação Arena do Caso de Estudo 1 – Cenário “Depois”.**

A distância referida anteriormente de dez metros já não é considerada neste caso, pois os *pickers* têm mais facilidade em encontrar as OPs ou seja, neste cenário a distância percorrida é considerada desprezável. Assim sendo as distâncias definidas foram:

**Tabela 5.2 - Distâncias no cenário Depois.**

A MRP	P MRP	Distância (m)
1	1	16
2	2	12
4,5	4	8
	5	7
6	6	9
7	7	8
8	8	8

Tal como no cenário Antes, em anexo (Anexo 5) são apresentadas as distâncias totais definidas no Arena.

### 5.1.3. Resultados e Análise

Relativamente aos resultados relevantes retirados do Arena, apresenta-se de seguida uma tabela que compara os resultados do Antes e do Depois:

**Tabela 5.3** - Comparação de resultados dos dois cenários.

	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>
<b>Number Out (Unidades)</b>	38	58
<b>Transfer Time (Minutos)</b>	42	30
<b>Queue Number Waiting (Minutos)</b>	16	15

Os resultados representados acima são relativos ao sistema, ou seja, todos exceto o *Number Out* são uma média dos valores de todas as entidades.

Tal como seria esperado, o cenário pós simulação apresenta resultados muito favoráveis. O mais chamativo é sem dúvida o *Number Out* que tem um aumento quase de 50%, o que era sem dúvida o principal objetivo, aumentar o número de material transportado, percorrendo menos distâncias e no mesmo período de tempo. É possível também concluir que o *Transfer Time* é inferior no cenário pós melhoria, o que significa que a transferência de entidades é feita de uma forma mais rápida. O *Queue Number Waiting* tem uma descida pouca acentuada, podendo assim concluir que existem mais *bottlenecks* para além das distâncias. Estes são os resultados visíveis através da simulação que comprovam que a implementação da melhoria tem impacto positivo no sistema de abastecimento.

Como referido anteriormente existem resultados de sugestões de melhoria que não podem ser simulados, tais como:

- Delinear zonas A MRP X e P MRP X com cores;
- Indicações na fábrica do fluxo operativo;
- Implementação do FIFO;

Enquanto estive na Science4you as ideias referidas acima foram sugeridas, foram feitos testes e *Brainstormings* com vários membros de várias equipas que demonstraram interesse em implementar estas melhorias. Todas as sugestões referidas anteriormente, terão um impacto bastante positivo no chão de fábrica. O facto de delinear as zonas de abastecimentos e produção faz com que exista uma melhor organização do chão de fábrica, os operadores conseguem ter mais noção dos espaços e onde é que se situa o quê, principalmente os operadores recentes na

fábrica. As indicações do fluxo operativo e o FIFO fazem com que tudo flua na mesma direção, evitando assim o risco de acidentes melhorando todo o fluxo.

A nível de limitações foi possível perceber que existirá sempre uma resistência à mudança, principalmente por parte da operação, é necessário transmitir com clareza aos trabalhadores as vantagens que esta mudança pode trazer. É importante também manter todas as regras, procedimentos e normas estabelecidas ao longo tempo.

De uma forma geral conclui-se que a implementação da melhoria deste caso de estudo será uma mais-valia.

## 5.2. Caso de Estudo 2 - Reduzir tempos de *setup*

### 5.2.1. Plano de Ação e Objetivos

No caso de estudo das rotuladoras (MRP 4 e MRP 5) o objetivo será reduzir o tempo de *setup* em 30%, através da aplicação da técnica SMED. Atualmente os tempos de *setup* em média são:

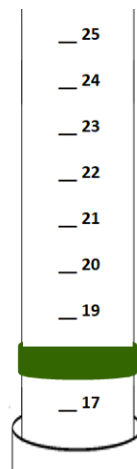
*Tabela 5.4 - Médias de tempos de operações nos MRP 4 e 5.*

	Operador com experiência	Operador sem experiência
Mudança de formato + Calibração	7 min	12 min
Pequenas avarias	1/2 h	Intervenção da manutenção (1h-5h)

Numa primeira fase, pretende-se definir procedimentos claros, *standard* e inequívocos para a calibração e mudança de formato de ambas as máquinas. Será feito um manual das máquinas, onde são compilados todos os problemas e pequenas avarias existentes, e outras que surjam, e a sua respetiva resolução. É importante que estes pequenos problemas que surgem nas máquinas, que não têm que ser resolvidos necessariamente pela manutenção, possam ser resolvidos por todos os operadores, evitando assim que a produção pare.

Na Science4you, no caso dos frascos, existem cinco formatos (15 ml, 30 ml, 50 ml, 60 ml e 120 ml) e todos eles têm diferentes medidas na máquina. Assim sendo, para além dos manuais de funcionamento e de resolução de problemas das máquinas,

pretende-se que a produção crie uma tabela de calibração com as medidas para cada formato e que seja afixada na zona das máquinas e visível para toda a operação. Para além disto, será feita uma alteração na máquina relativamente á escala (Figura 4.6 a)), esta deve ser trocada para o lado onde o operador realiza a calibração, tornando-a muito mais fácil de realizar, eliminando assim a necessidade de dois operadores para efetuar a calibração. Relativamente à dificuldade de leitura da escala (Figura 4.6 b)), será colocada uma peça na escala que a ajuste e torne a sua leitura mais fácil tal como mostra o seguinte esquema:



*Figura 5.5 - Esquema da escala ajustada.*

Com a implementação destas medidas pretende-se que qualquer operador que seja necessário neste tipo de máquina, consiga calibrá-la sem qualquer dificuldade e de uma forma mais rápida, diminuindo o tempo de *setup* atual. O facto de existirem procedimentos descritos também faz com que se reduza o desperdício de frascos e etiquetas, pois a calibração deixa de ser por tentativa-erro. Serão sempre realizados testes antes de iniciar a produção, mas o desperdício será consideravelmente inferior.

### **5.2.2. Simulação**

Neste caso de estudo a simulação feita no Arena foi com o objetivo de avaliar o impacto na produção do tempo de calibração e mudança de formato realizado por operadores com experiência, antes e depois da implementação das melhorias, seguindo o seguinte a nível de número de operadores:

- Simulação Antes: Dois operadores com experiência
- Simulação Depois: Um operador com experiência

A simulação feita em Arena é relativa à parte da implementação em que são definidos valores *standard* para as mudanças de formato e à mudança da escala para o lado do operador, eliminando a necessidade de dois operadores. Os valores utilizados na simulação do cenário “Antes” são uma média entre os valores medidos no chão de fábrica e os valores retirados dos registos de produção, no cenário “Depois” os valores foram estimados através de discussões e testes com a operação.

No Arena foram simulados os cenários pré e pós implementação da melhoria, ambos para oito horas de trabalho e quinze replicações, utilizando os seguintes blocos:

- **Create:** onde é definido a chegada de material aos MRP 4 e 5 como uma velocidade constante de 10 minutos, onde chegam 10 entidades por intervalo;
- **Process:** onde é definido o tempo do processo de produção (máquina);
- **Dispose:** simboliza o fim do processo.

Em cada um dos cenários foi definida uma falha (*Failure*) no processo de calibração (*Calibration*) que representa a paragem da produção para efetuar a mudança de formato e calibração. No *Failure* (Figura 5.6) foram definidos o *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Up Time* no Arena, que é o tempo entre falhas, isto é, o tempo entre calibrações e foi definido também o *Mean Time To Repair* (MTTR), *Down Time* no Arena, que é definido como o tempo para reparar a falha e neste caso representa o tempo que demora a realizar a calibração.

The figure shows two screenshots of the Arena software interface, labeled 'a)' and 'b)', illustrating the configuration of a failure event and its associated resources.

**Table a) Cenário Antes:**

Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
1 Failure 1	Time	1	Hours	7	Minutes

Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	Sta...	Failures	Failures
1 LABEL MACH	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	Failures
2 CALIB	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		1 rows	Failure Name: Failure 1, Failure Rule: ignore

**Table b) Cenário Depois:**

Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
1 Failure 1	Time	1	Hours	4	Minutes

Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	Sta...	Failures	Failures
1 LABEL MACH	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	Failures
2 CALIB	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		1 rows	Failure Name: Failure 1, Failure Rule: ignore

Figura 5.6 - Definição da Failure e respetivos tempos no Arena. a) Cenário Antes. b) Cenário Depois.

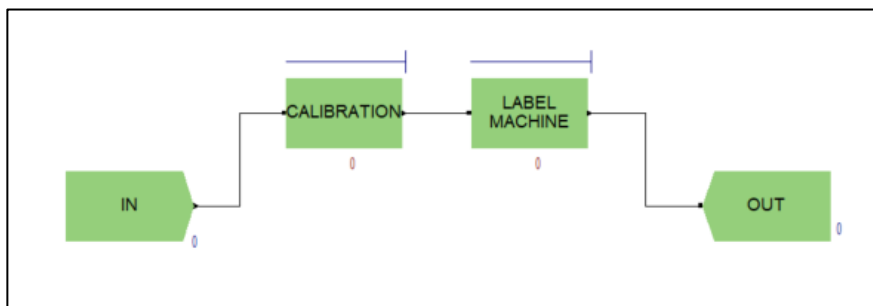
Ainda no processo de calibração foram definidos o número de recursos necessários para esta atividade. O número de operadores foi definido no *Resources* na coluna *Capacity* (Figura 5.6). Na tabela seguinte (Tabela 5.5) são apresentados aos valores definidos no Arena:

**Tabela 5.5** - Valores de tempos definidos no Arena.

	Antes	Depois
<b>MTBF (Horas)</b>	1	1
<b>MTTR (Minutos)</b>	7	4
<b>Nº de recursos na calibração (Operadores)</b>	2	1

Relativamente ao processo da etiquetagem (*Label Machine*), o tempo deste processo foi definido como uma aproximação, e tanto no cenário Antes como no Depois tem o mesmo valor, ou seja, não tem qualquer impacto nos resultados finais, pois não é esse o foco da simulação. Este processo foi adicionado apenas porque faz parte da linha de produção.

A nível de estrutura, o modelo desenhado no Arena, apresentado de seguida (Figura 5.7), não difere do cenário “Antes” e “Depois” pois foram utilizados os mesmos blocos.



**Figura 5.7** - Simulação Arena do Caso de Estudo 2 – Cenário “Antes” e “Depois”.

Tal como referido anteriormente (Tabela 5.5) as diferenças são apenas no MTTR e no número de recursos, valores esses definidos dentro dos blocos apresentados na Figura 5.7.

### 5.2.3. Resultados e Análise

Relativamente aos resultados relevantes retirados do Arena, são apresentados na seguinte tabela:

*Tabela 5.6 - Comparação de resultados dos dois cenários.*

	Antes	Depois
<b>Number Out (Unidades)</b>	46	49
<b>Utilization CALIB (Minutos)</b>	0,75	0,91

O valor mais importante a retirar do Arena é o *Number Out*. Ao comparar o caso Antes com o Depois, é possível verificar um aumento de entidades que abandonam o sistema. Este valor, apesar de pouco, aumenta, mesmo quando são reduzidos os recursos para metade. O facto de se produzir mais, utilizando menos um operador indica que a mudança de formato e a calibração são um *bottleneck* do processo e que, com a implementação descrita é possível tornar o processo mais eficiente. Ao eliminar a necessidade de ter mais operador faz com que seja possível utilizar esse operador noutra área onde seja mais necessário. No caso de não ser necessário mais recursos humanos no chão de fábrica, para além do ganho que se tem a produzir mais unidades, será também um ganho na parte de pagamentos de salários.

Para além do que foi simulado no Arena existem ainda duas partes da sugestão da melhoria que não foram simuladas: a parte dos cenários Antes e Depois para os operadores sem experiência e a parte das pequenas avarias estarem descritas e documentadas com a sua respetiva resolução. Tanto uma parte como a outra não foram simuladas devido ao facto de ser difícil obter dados próximos da realidade. Na altura em que estava na Science4you não existiam operadores sem experiência disponíveis, ou seja, não havia a possibilidade de realizar testes para estimar resultados.

Mesmo sem a parte da simulação pode-se concluir que, se para operadores com experiência o facto de se mudar a escala e de existirem valores *standard* tem um impacto bastante positivo e é possível tornar o processo mais eficiente, então para operadores sem experiência o impacto também seria bastante visível. Relativamente à parte de as avarias e as resoluções específicas de cada máquina estarem

documentadas e claras, também esta terá um impacto favorável, e neste caso será principalmente nos operadores sem experiência.

Atualmente na S4Y quando ocorre uma avaria existem duas possibilidades, ou o operador que está a manusear a máquina é suficientemente experiente e consegue resolver o problema ou tem que se requisitar a manutenção, que nem sempre está disponível. Isto é, no caso de ser um operador sem experiência que está na máquina, a possibilidade de a produção parar a aguardar pela manutenção é de 100%. É importante referir também que esta área de produção nunca é considerada como prioridade, ou seja, existem outras máquinas com maior relevância e que requerem uma manutenção mais urgente. Assim sendo, através desta análise, pode-se concluir que a implementação seria uma mais valia tornando assim possível que qualquer operador que esteja na máquina consiga corrigir a avaria, tendo sempre em conta que há situações que apenas podem ser resolvidas pela manutenção.

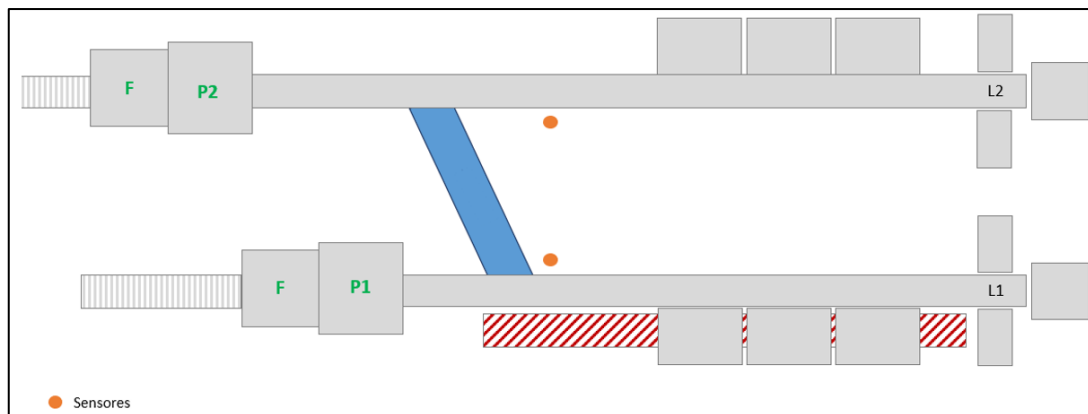
Neste caso de estudo as limitações encontradas foram relativamente à estimativa de valores. A parte da simulação que não foi simulada, tal como foi referido anteriormente foi devido a esse facto, inexistência de dados para conseguir contruir valores estimados, próximos da realidade. No entanto através da análise feita, é possível concluir que mesmo nesses casos a implementação da melhoria teria resultados positivos. Outra das limitações, que também foi referida no caso de estudo anterior, é que durante as discussões e *brainstormings* realizados com a operação/produção existe sempre uma certa resistência à mudança.

De acrescentar que, a implementação do caso de estudo anteriormente descrito (Caso de Estudo 1) também terá impacto nesta fase da produção, pois o facto de os materiais para a produção estarem na zona do respetivo MRP torna todo o processo muito mais rápido e simples

### 5.3. Caso de Estudo 3 - Aumentar a produção e reduzir as paragens

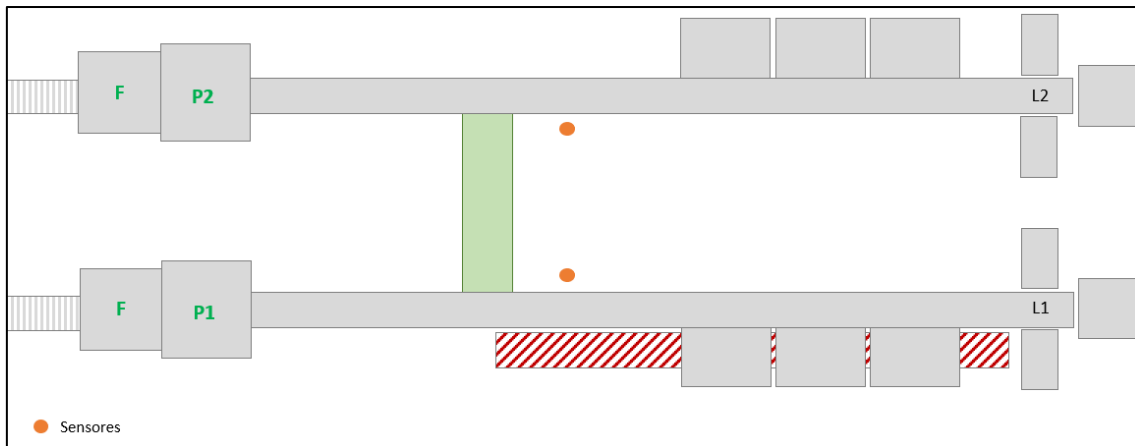
#### 5.3.1. Plano de Ação e Objetivos

Na linha de produção final o objetivo será reduzir ou até mesmo eliminar as paragens da linha de produção devido às constantes avarias das plastificadoras. Atualmente na S4Y, tal como já foi descrito no subcapítulo 4.3, a forma de evitar a paragem da produção é prosseguir com a produção, criando conseqüentemente um reprocesso posterior (Figura 4.10). Nesta fase da produção o objetivo será aumentar a produção em 50%, reduzir as paragens e se possível eliminá-las. Pretende-se criar uma ligação entre as duas linhas de produção (Figura 5.8) tornando assim possível a resolução de dois problemas principais detetados: paragem das plastificadoras e subutilização de recursos humanos (8º desperdício do *Lean*).



**Figura 5.8** - Layout linha de produção final após melhoria.

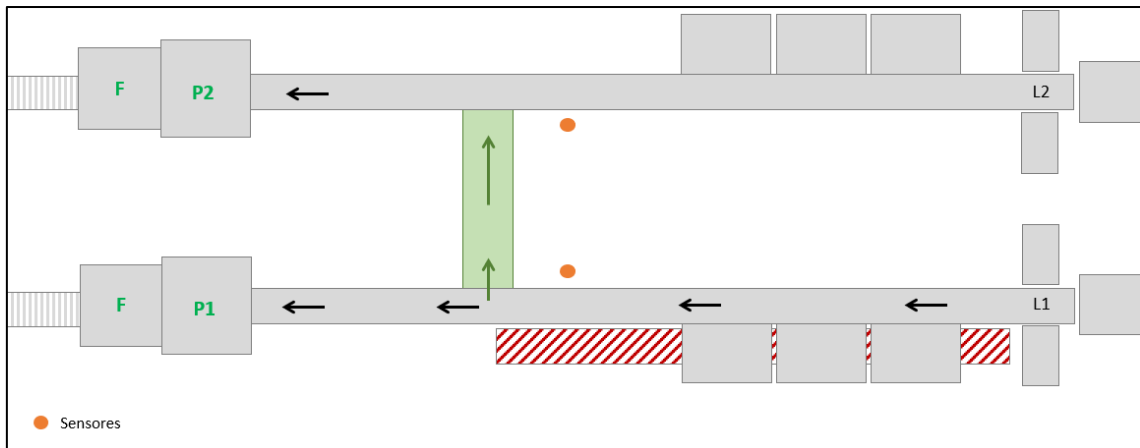
Inicialmente ponderou-se acrescentar um tapete (tapete azul), com um novo motor como na imagem acima, mas após realizadas algumas reuniões com a equipa de manutenção concluiu-se que o melhor seria, primeiramente colocar tapetes do mesmo tamanho e alinhados (existentes na fábrica). Em relação à ligação, em vez de um tapete com motor decidiu-se aplicar um tapete de ligação sem motor, ou seja, a solução seria um tapete por gravidade (descrito e esquematizado mais à frente nas Figura 5.12 e Figura 5.13), como mostra a seguinte figura:



**Figura 5.9** - Layout linha de produção final após melhoria com tapetes alinhados.

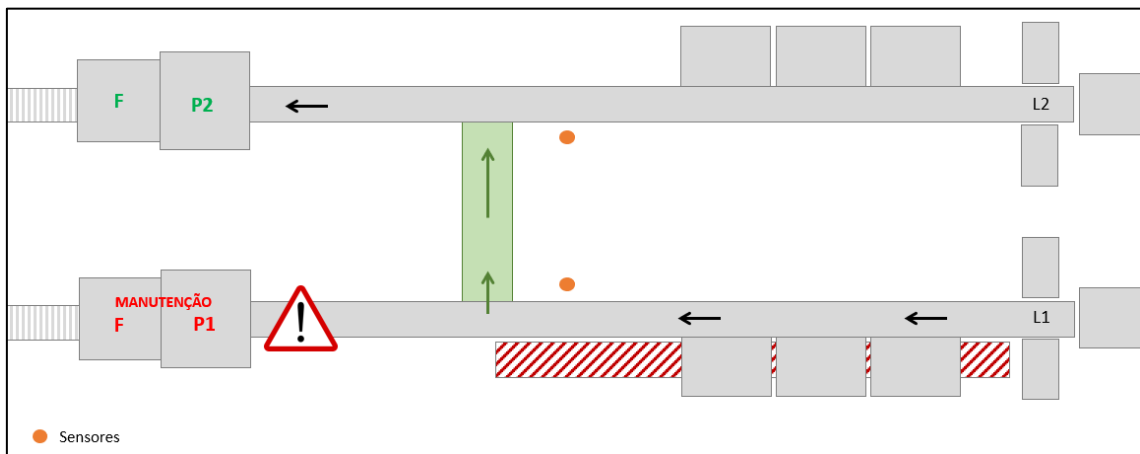
As duas linhas laboram em simultâneo aproximadamente 45 dias por ano, que é um valor relativamente baixo em comparação com o total de dias de laboração anual. Tal como foi discutido com a equipa de produção, será sempre preferível optar por reduzir/eliminar as paragens do que ter as duas linhas 100% disponíveis. O facto de implementar esta ligação não impede a utilização de ambas as linhas com produções distintas, nem retira nenhum espaço entre as linhas pois, o tapete a ser colocado é facilmente deslocável sempre que necessário. O objetivo será, sempre que não for necessário utilizar as duas linhas com duas produções individuais, poder utilizar as duas plastificadoras apenas para uma linha, e sempre que uma delas parar teremos sempre a opção de continuar a produzir para a outra, ou seja a produção não pára tanto como acontece atualmente.

No caso das duas plastificadoras estarem prontas para operar iremos ter uma linha a produzir para as duas plastificadoras, eliminando o facto de as plastificadoras laborarem a uma velocidade inferior do que a linha de montagem do brinquedo constituída pelos operadores (8º desperdício do *Lean*), tal como mostra o esquema seguinte:



**Figura 5.10** - Layout linha de produção final em produção.

Quando uma das plastificadoras pára (por exemplo a P1), a produção passa a ser unicamente direcionada para a segunda plastificadora (P2):

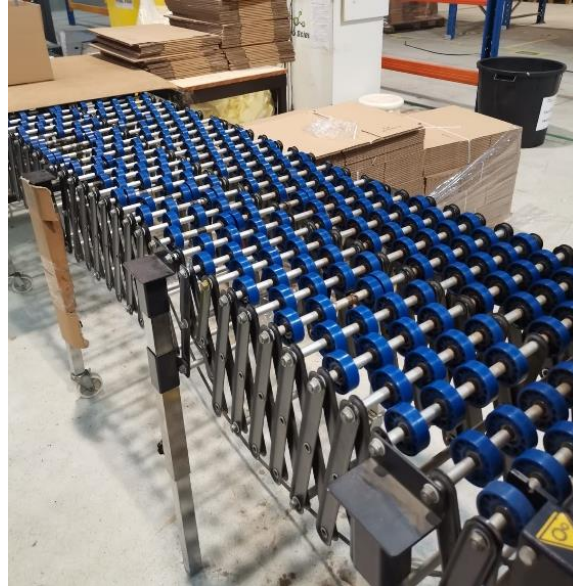


**Figura 5.11** - Layout linha de produção final – P1 pára.

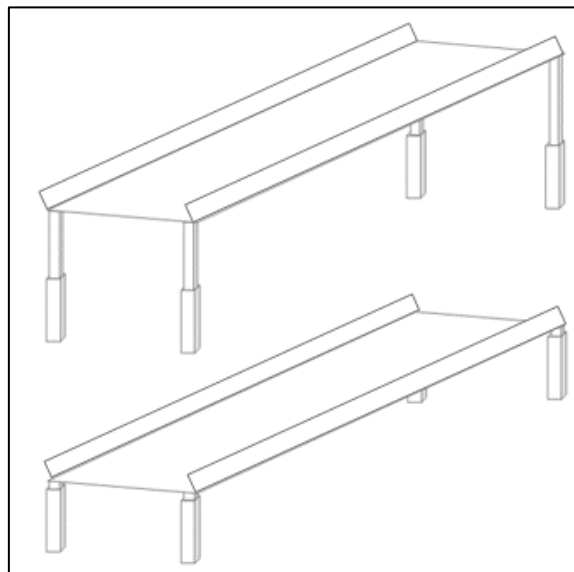
Depois da manutenção corrigir a avaria da máquina a produção volta a ser feita para ambas as plastificadoras.

Em relação ao tapete decidiu-se optar por um tapete por gravidade pois esta opção é preferível, o custo é praticamente nulo, o único custo será o da montagem. Caso seja necessário utilizar o espaço entre as duas linhas, este tapete será muito mais fácil de mover do que se se colocasse um tapete fixo com motor. O plano será colocar algo como está representado na Figura 5.12 mas, com a possibilidade de adicionar alguma inclinação (consoante a direção da produção) e com umas aplicações metálicas de lado para que as caixas permaneçam no tapete e não haja o risco de caírem. Os pés do tapete devem ser ajustáveis de maneira que seja possível regular a altura deste de

ambos os lados (Figura 5.13) e também para facilitar a arrumação. As rodas existentes no tapete facilitam o movimento das caixas em direção às plastificadoras, daí o tapete rolante ser desnecessário.



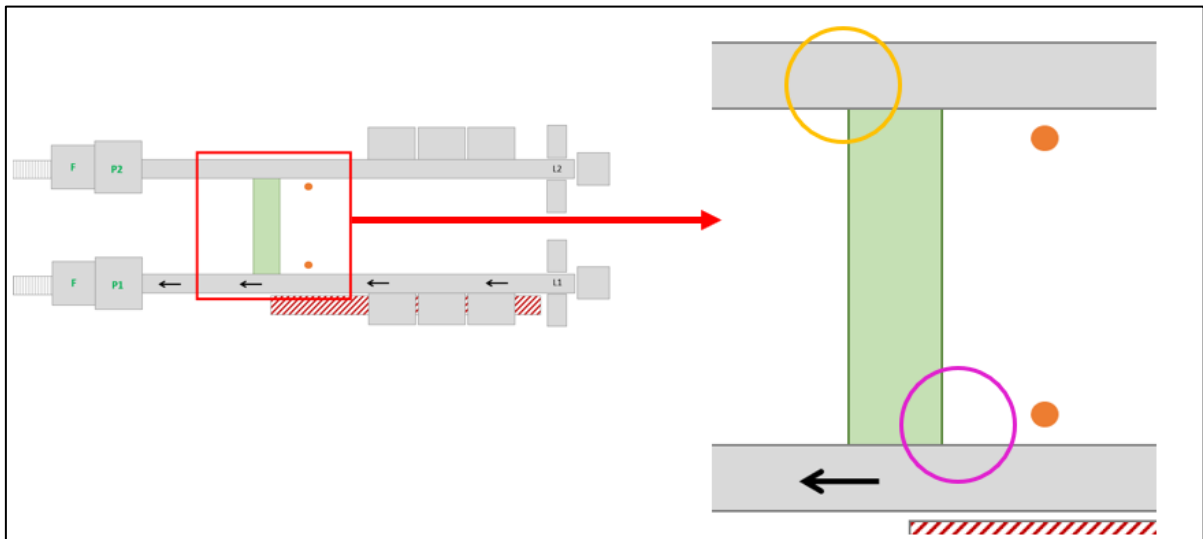
**Figura 5.12** - Tapete flexível e móvel.



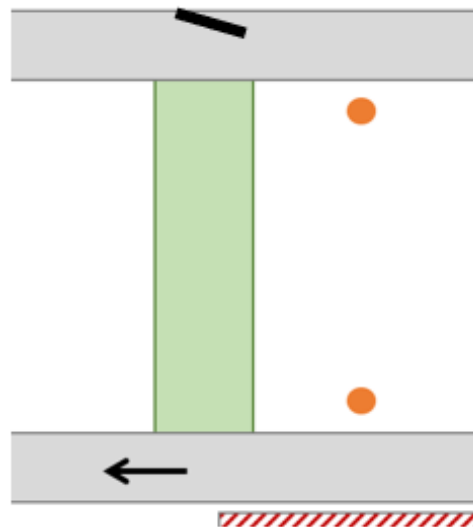
**Figura 5.13** - Tapete com aplicações de metal e pés ajustáveis.

Relativamente ao número de recursos necessários após a implementação desta melhoria, na zona do círculo amarelo (Figura 5.14), seria colocada uma peça (com a possibilidade de ser retirada sempre que necessário), (Figura 5.15) com o objetivo de direcionar a caixa no sentido correto, eliminando a necessidade de colocar um operador a realizar este trabalho. Na zona do círculo roxo (Figura 5.14) o operador que

está a fechar as caixas no fim da linha, direciona as caixas alternadamente no sentido da P1 e/ou da P2



**Figura 5.14** - Utilização de recursos na linha de produção final.



**Figura 5.15** - Aplicação de metal para direcionar as caixas.

Resumindo, no caso das duas plastificadoras estarem a funcionar, faz com que seja possível aumentar a quantidade produzida pois, estamos a produzir para duas plastificadoras eliminando assim o 8º desperdício do *Lean*. No caso de uma das plastificadoras parar, existirá sempre a possibilidade de direcionar a produção para a outra plastificadora. Se essa plastificadora também parar e a outra ainda não estiver arranjada a produção terá que parar inevitavelmente. Quando a produção é elevada,

será possível utilizar na mesma as duas linhas em separado para produções distintas, correndo o risco de uma das plastificadoras parar, sendo esta uma das limitações do presente caso de estudo. Segundo a produção a P1 pára mais vezes do que a P2. Assim sendo e tendo em conta o cenário descrito, na simulação foi considerado o *worst case*, ou seja, com a possibilidade da P2 parar também.

### 5.3.2. Simulação

No Caso de Estudo 3 o objetivo foi avaliar o impacto que tem a paragem constante das plastificadoras da linha de produção final. Tal como nos casos de estudo anteriores foram simuladas no Arena para oito horas de trabalho e quinze replicações, uma situação Antes e Depois da melhoria, onde foram utilizados os seguintes blocos:

- **Create** onde é definido a chegada de material ao MRP 8 como uma velocidade constante de 20 minutos, onde chegam 10 entidades por intervalo;
- **Process**: onde é definido o tempo do processo de produção (máquina);
- **Dispose**: simboliza o fim do processo.

Neste caso o que difere o pré e pós melhoria são os tempos definidos na *Failure*. No *Failure* (Figura 5.16) foram definidos o MTB, *Up Time* no Arena e o MTTR, *Down Time* no Arena.

	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units
a)	Failure 1	Time	1	Hours	3	Hours
b)	Failure 1	Time	4	Hours	30	Minutes

Figura 5.16 - Definição da Failure e respetivos tempos no Arena. a) Cenário Antes. b) Cenário Depois.

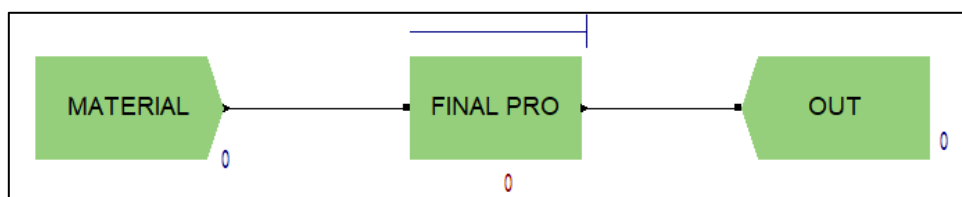
O tempo definido no processo (*Final Pro*) foi definido como uma aproximação e tanto no cenário Antes como no Depois tem o mesmo valor, ou seja, não tem qualquer impacto nos resultados finais.

Inicialmente o objetivo foi simular o cenário Antes com a *Failure* e considerar o cenário Depois com zero avarias. Mas tal como foi referido anteriormente, quando a P1 pára, a produção segue para a P2, no entanto existe a possibilidade, ainda que baixa, da P2 parar e da P1 ainda não estar pronta para arrancar novamente. Assim sendo decidiu-se simular considerando o *worst case scenario* isto é, o Antes com avaria recorrente da P1 (paragem de hora em hora) e o Depois também com uma avaria mas com um intervalo de tempo superior entre avarias (paragem de quatro em quatro horas). Os tempos considerados foram:

**Tabela 5.7 - Valores de tempos definidos no Arena.**

	Antes	Depois
<b>MTBF (Horas)</b>	1	4
<b>MTTR (Horas)</b>	3	0,5

O modelo desenhado no Arena é representado da seguinte forma:



**Figura 5.17 - Simulação Arena do Caso de Estudo 2 – Cenário “Antes” e “Depois.**

### 5.3.3. Resultados e Análise

Relativamente aos resultados relevantes a retirar do Arena, são apresentados de seguida na forma de tabela:

**Tabela 5.8 - Comparação de resultados dos dois cenários.**

	Antes	Depois
<b>Number Out (Unidades)</b>	13	43
<b>Number Waiting (Minutos)</b>	97	84
<b>Utilization Final Pro (Minutos)</b>	0,29	0,96

Através dos resultados apresentados acima é possível verificar que a implementação da melhoria terá resultados positivos no processo produtivo. O valor que mais sobressaí mais uma vez, é o *Number Out*, que aumenta em 30 unidades.

Com esta implementação os tempos de paragens causados pelas avarias das plastificadoras são reduzidos/eliminados assim como o reprocesso e o excesso de deslocações e transporte.

É importante acrescentar que, também nesta fase da produção, o CS1 terá um impacto positivo, pois os componentes necessários à produção do MRP8 vão estar mais próximos da zona da respetiva produção, tornando assim todo o processo mais rápido e fluído.



## 6. Comparação dos casos de estudo - AHP

Neste penúltimo capítulo é feita uma comparação relativamente à implementação dos três casos de estudo descritos nos capítulos anteriores. A comparação é efetuada através da técnica AHP onde o objetivo é definir a ordem de implementação, ou seja, qual a prioridade em implementar cada um dos casos. As alternativas são justamente cada caso de estudo (CS1, CS2, CS3) e os critérios são: Investimento, Implementação e Eficiência.

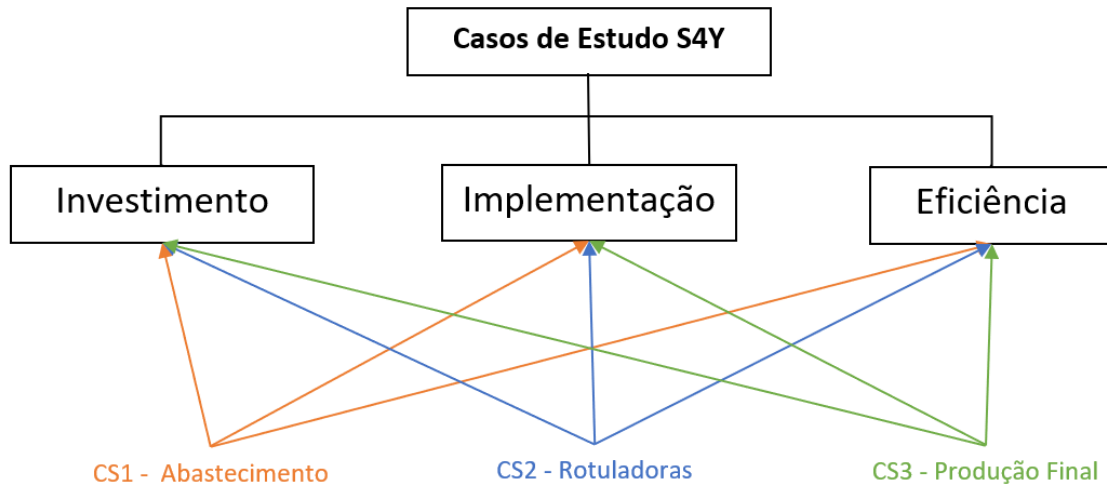
O Investimento tem em conta os custos que existem em material para cada uma das implementações, qual a que requer um maior investimento para a sua execução. A Implementação refere-se à facilidade em concretizar as melhorias, qual a que terá uma implementação mais fácil, isto é, por exemplo, qual a que consome menos tempo na sua realização. O critério da Eficiência está relacionado com o caso de estudo que irá ser mais eficiente, qual irá acrescentar mais valor ao sistema produtivo, qual o que terá resultados mais visíveis e terá um maior impacto.

Realizando uma breve análise relativamente às alternativas vs critérios tem-se:

*Tabela 6.1 - Análise Alternativas vs Critério.*

	<b>Investimento</b>	<b>Implementação</b>	<b>Eficiência</b>
<b>CS1</b>	- Fitas adesivas coloridas	- Facilidade de implementação e necessidade moderada	- Alta eficiência
<b>CS2</b>	- Aplicação para a escala	- Necessidade moderada	- Alta eficiência
<b>CS3</b>	- Aplicações para tapete	- Necessidade urgente	- Enorme eficiência

De seguida será realizado o AHP esquematizado através de tabelas. Em primeiro lugar é feita a hierarquia de critérios, (Figura 6.1)



**Figura 6.1** - Hierarquia de critérios para os casos de estudo.

Após estarem definidos as alternativas e os critérios é definida a matriz das prioridades dos critérios (Tabela 6.2):

**Tabela 6.2** - Matriz das prioridades dos critérios.

Matriz A			
	Investimento	Implementação	Eficiência
Investimento	1,00	4,00	1,00
Implementação	0,25	1,00	0,14
Eficiência	1,00	7,00	1,00
$\Sigma$	2,25	12,00	2,14

É feita a normalização da matriz e calculada o respetivo vetor de prioridade (Tabela 6.3):

**Tabela 6.3** - Matriz das prioridades de critérios normalizada.

Normalização				
Matriz A N	Investimento	Implementação	Eficiência	Vp
Investimento	0,44	0,33	0,47	0,41
Implementação	0,11	0,08	0,07	0,09
Eficiência	0,44	0,58	0,47	0,50
$\Sigma$	1,00	1,00	1,00	

De seguida é realizada a matriz das prioridades das alternativas relativamente a cada critério escolhido. Em primeiro lugar é apresentada a matriz das prioridades do critério Investimento para os três casos de estudo, tal como é apresentado na seguinte tabela:

**Tabela 6.4 - Matriz das prioridades do Investimento.**

Investimento			
	CS1	CS2	CS3
CS1	1,00	1,00	0,33
CS2	1,00	1,00	0,50
CS3	3,00	2,00	1,00
$\Sigma$	5,00	4,00	1,83

Mais uma vez é feita a normalização da matriz e é calculado o vetor prioridade:

**Tabela 6.5 - Matriz das prioridades do Investimento normalizada.**

Normalização				
	CS1	CS2	CS3	Vp
CS1	0,20	0,25	0,18	0,21
CS2	0,20	0,25	0,27	0,24
CS3	0,60	0,50	0,55	0,55
$\Sigma$	1,00	1,00	1,00	

Todo este processo foi realizado para cada alternativa (Investimento, Implementação e Eficiência):

- **Cálculo da matriz:** atribuição de valores de acordo;
- **Matriz normalizada:** cálculo feito através da divisão de cada célula de cada caso de estudo pelo seu respectivo somatório;
- **Matriz vetor prioridade:** média dos valores de cada linha;
- **Consistência:** multiplicação da primeira matriz pela matriz do vetor prioridade;
- **CI e CR:** cálculo utilizando as equações (1) e (2) considerando  $n=3$

Por fim, na Tabela 6.6 é calculada a matriz e o vetor de prioridade finais e são definidas as prioridades dos casos de estudo:

**Tabela 6.6 - Priorização dos Casos de Estudo.**

Priorização dos departamentos		
0,20	CS1	2º
0,15	CS2	3º
0,65	CS3	1º

De acordo com o método utilizado (AHP) e segundo os critérios seleccionados, a ordem de implementação dos casos de estudo deverá ser:

- 1º.** Caso de Estudo 3 - Aumentar em 40% a produção e reduzir as paragens
- 2º.** Caso de Estudo 1 - Otimizar em 70% a zona de abastecimentos e produção
- 3º.** Caso de Estudo 2 - Reduzir tempos de *setup* em 43%

## 7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Atendendo ao paradigma atual, a melhoria contínua e o *Lean* despertam cada vez mais curiosidade nas organizações onde o objetivo é auxiliar e ajudar a marcar a diferença perante a competição existente. A gestão *Lean* tem como principal objetivo o aumento da criação de valor através da redução do desperdício. Partindo do princípio de que nada é perfeito, a implementação do pensamento *Lean* leva a que seja realizada uma melhoria contínua diária, envolvendo todos de modo a melhorar o processo produtivo. Este tema, geralmente, está relacionado com a parte operacional de uma indústria, mas a definição *Lean* vai muito para além disso, pode ser aplicada a diversos tipos de indústria e a todos os departamentos que a constituem, este pensamento até deve ser aplicado no nosso próprio dia a dia e vida pessoal.

Ao longo do presente trabalho foram utilizadas algumas ferramentas que se baseiam no pensamento *Lean* e, realizando uma análise global, considera-se que a maioria dos objetivos propostos foram alcançados ou estiveram perto de atingir os valores inicialmente propostos. É importante referir que a maioria dos resultados foram obtidos a partir de simulação e que tudo indica que a sua implementação real trará resultados positivos. No entanto, tal como já foi referido anteriormente, a parte que advém da implementação é crucial, isto é, na pós implementação é importante que se mantenham as práticas implementadas para assim ser possível visualizar os resultados. A melhoria continua não se faz num único dia, tal como o nome indica, é uma prática contínua.

Os casos de estudo selecionados na Sience4you surgiram a partir de uma análise crítica onde o objetivo era identificar os *bottlenecks* da cadeia de valor. No primeiro caso de estudo através da implementação do 5S foi possível obter resultados bastante positivos através da simulação. Foi possível aumentar o *Number Out* de 38 para 58 unidades, reduzindo as distâncias percorridas em 40%, um valor bastante considerável. Estes resultados são consequentes de uma melhor organização do chão de fábrica que resulta numa diminuição das deslocações. Na implementação da técnica SMED, no caso de estudo dois, também foi possível observar resultados bastante otimistas. Primeiramente o objetivo era reduzir o tempo de *setup* em pelo menos 30% e foi possível atingir o valor de 43%, tornando a produção mais eficiente. Por último, no

caso de estudo três, onde são estudadas as paragens da linha de produção final, os resultados também demonstram que é possível reduzir/eliminar alguns desperdícios, sem a necessidade de adquirir um equipamento novo. Segundo os dados obtidos a partir do Arena, é possível otimizar a produção em 70% reduzindo significativamente as paragens da produção.

Relativamente às limitações e lacunas encontradas durante a elaboração da presente dissertação, o facto de o estudo se basear apenas em simulação diz-nos que sim, os resultados serão positivos, mas a efetividade só se ira confirmar na altura da sua aplicação na fábrica, pois a implementação dos presentes casos de estudo vai muito para além da implementação propriamente dita. É necessário combater a resistência à mudança e divulgar a disciplina e autoconsciência. Um ponto importante, com possibilidade de melhoraria é o foco em toda a operação (operadores com e sem experiência), ou seja, “construir” a fábrica e áreas produtivas acessíveis a todos, e para isso será necessário também investir em formações. Principalmente no último caso de estudo, partindo do princípio que é negada a aquisição de um novo equipamento, para além da implementação da melhoria, é necessário reforçar as manutenções preventivas. Uma das limitações neste último caso de estudo, foi o facto de a possibilidade de conseguir eliminar as paragens a 100% ser relativamente baixa, pois não é possível garantir que está sempre pelo menos uma plastificadora a operar. Outra limitação encontrada, sem impacto na elaboração do trabalho e nos resultados, foi o facto de a versão do Arena utilizada (versão estudante) ter um limite de entidades possíveis de utilizar, ou seja, alguns dos valores utilizados foram estimados a partir de interpolações dos valores reais.

No capítulo da comparação dos casos de estudo, segundo a técnica utilizada AHP o primeiro caso de estudo a ser implementado é o da produção final (CS3), em segundo o dos abastecimentos (CS1) e por último o das rotuladoras (CS2). Realizando uma análise preliminar, faria algum sentido o caso de estudo do processo de abastecimento ser o primeiro a ser implementado visto que terá um impacto geral, em todas as áreas de produção. No entanto o CS3 tem uma elevada criticidade e urgência na sua implementação, pois é necessária uma solução o quanto antes, visto que este processo tem um elevado impacto negativo na produção. Contudo, na possibilidade de os casos

de estudo serem implementados na realidade, a ordem mais sensata seria a selecionada pelo método AHP.

Como proposta de trabalhos futuros, seria interessante aplicar as melhorias sugeridas no chão de fábrica da Science4you, com o objetivo de confirmar se efetivamente os resultados seriam similares aos simulados. Tal como referido, a ordem de implementação deverá ser feita consoante o que foi definido no AHP.

A execução da presente dissertação intensifica a importância e as vantagens que resultam da introdução do pensamento *Lean* e da implementação das ferramentas que o constituem, assim como a necessidade constante de promover a cultura de melhoria contínua e incentivar a criatividade e espírito de iniciativa dos trabalhadores com o objetivo de melhorar diariamente.



## Bibliografia

- Abreu, A. (2020). *Apontamentos da Unidade Curricular de Manutenção Produtiva Total e Gestão LEAN*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Agrahari, R. S., Dangle, P., & Chandratre, K. V. (2015). *Implementation of 5S Methodology in the Small Scale Industry: a Case Study*. International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET).
- Altiock, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. USA: Elsevier.
- Alves, A. C., Dinis, C. J., Sousa, R. M., Moreira, F., & Lima, R. M. (2011). *Benefits of Lean Management: Results from some industrial cases in Portugal*.
- Arena Simulation Software by Rockwell Automation. (2021). *Case Studies and White Papers*. [http://www.arenasimulation.com/Solutions\\_Manufacturing.aspx](http://www.arenasimulation.com/Solutions_Manufacturing.aspx). Consultado em Abril, 2021.
- Banks, J. (2000). *Introduction to simulation*. Paper presented at the Winter Simulation Conference.
- Bassan, E. J. (2020). *Ferramentas Avançadas da Qualidade: Aplicações e Estudos*. Curitiba, PR.
- Bhat, U. N. (2008). *An Introduction to Queueing Theory Modeling and Analysis in Applications*. Boston: Birkhauser Boston.
- Carvalho, H. G., Reis, D. R., & Cavalcante, M. B. (2011). *Gestão da Inovação*. PR, Brasil.
- Conrad, A. S., Sturrock, T. D., & Poorte, P. J. (1992). *Introduction to SIMAN/CINEMA*. USA.
- Dennis, P. (2007). *Lean Production Simplified: A Plain Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. New York: Second Edition.
- Dias, A. (2020). *Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos: Metodologias e Ferramentas*. Documentos de Apoio à Unidade Curricular de Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos. Lisboa: IPL.
- Dias, L. S. (2005). *Modelação automática interativa de simulação*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Portugal.
- Dias, M. S., Vieira, A. C., Pereira, A. B., & Oliveira, A. J. (2011). *Discrete simulation tools ranking - A Top list of the Worldwide most Popular and Used Tools*. Braga, Portugal.

- Dolcemascolo, D. (2006). *Improving the extended value stream: lean for the entire supply chain: Productivity Press*INC.
- Dudbridge, M. (2011). . *Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry: Wiley*.
- Garcia-Sabater, J. J., & Marin-Garcia, A. J. (2011). *Can we still talk about continuous improvement? Rethinking enablers and inhibitors for successful implementation*. Valencia, Spain: International Journal Technology Management.
- Gross, D., Shortie, J. F., Thompson, J. M., & Harris, C. M. (2008). *Fundamentals of Queueing Theory, Fourth Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Hinckley, M. C. (2007). *Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry*. *Accredit Quality Assurance*, 12 (5) pp: 223-230.
- Hirano, H. (2008). *JIT Implementation Manual: The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing*. 2ª edição. Boca Raton: CRC Press.
- Hlupic, V. (2000). *Simulation software: An Operational Research Society survey of academic and industrial users*. Paper presented at the Winter Simulation Conference Proceedings.
- Hopp, W., & Spearman, M. L. (2004). *To pull or not to pull: That's the question*. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6 (2) pp: 133-148.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy*. USA: Second edition.
- Ingalls, R. G., & White, K. P. (2011). *Introduction to Simulation*. Phoenix, AZ: Paper presented at the Winter Simulation Conference.
- Jayswal, A., Li, X., Zanwar, A., & Lou, H. H. (2011). *A sustainability root cause analysis methodology and its application*.
- Kamrani, M., Abadi, S. M., & Golroudbary, G. R. (2014). *Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software*. *Simulation Modelling Practice*.
- Kelton, D. W., Sadowski, R. P., & Deborah, A. (2002). *Simulation With Arena, Second Edition*. WCB McGraw-Hill.

- LANNER. (2021). LANNER. (2021). *WITNESS Simulation Software*. Available at <http://www.lanner.com/en/witness/>.
- Liker, K. J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. 1ªedição. New York: McGraw-Hill.
- Machado, C. V. (2007). *Perspectivas de Desenvolvimento da Produção Magra*. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco.
- Maia, C. L., Alves, C. A., & Leão, P. C. (2011). *Metodologias para implementar Lean Production: Uma revisão crítica de literatura*.
- Melton, T. (2005). *The benefits of lean manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries*. *Chemical Engineering Research and Design*, 83 (A6), pp: 662-673.
- Moen, R., & Norman, C. (2009). *Evolution of the PDCA Cycle*. Tokyo.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System – An Integrated approach to Just-InTime*. 4ªedição. Boca Raton: CRC Press.
- Montevechi, J. B., Leal, F., de Pinho, F. A., Costa, F. D., de Oliveira, M. L., & da Silva, L. F. (2010). *Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: application in a Brazilian tech company*. Paper presented at the 2010 Winter Simulation.
- Moreira, A. C., & Pais, G. C. (2011). *Single Minute Exchange of Die. A Case Study Implementation*. *Journal of TechnologyManagement & Innovation*.
- Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2017). *Practical Decision Making: An Introducing to the Analytical Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions V2*. Springer.
- Mujica, M. M., & Piera, A. M. (2011). *Integrating Timed Coloured Petri Net models in the SIMIO Simulation Environment*. Netherlands.
- Ohno, T. (1996). *O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala*. Porto Alegre: Bookman.
- Paez, J., Dewees, A., Genaidy, S., & Tuncel. (2004). *The Lean Manufacturing Enterprise. Human Factors in Ergonomics & Manufacturing*.
- Paiva, A. F. (2005). *Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria têxtil*. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Portugal.

- Panneerselvam, R., & Senthilkumar, P. (2013). *System Simulation, Modelling and Languages*. PHI Learning Private Limited.
- Patel, V. C. (2014). *Review on Implementation of 5S in Various Organization*. *Journal of Engineering Research and Applications*.
- Pegden, D. C. (2010). *Advanced tutorial: overview of simulation world views*. Paper presented at the 2010 Winter Simulation Conference, Baltimore, MD.
- Pereira, J. (2020). *Marketing e Estratégia*. Documentos de Apoio à Unidade Curricular de Marketing e Estratégia. Lisboa: IPL.
- Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro*. Comunidade Lean Thinking.
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean: A Filosofia das Organizações Vencedoras*. 6ª edição. Lisboa: Lidel.
- Ramdass, K. (2015). *Integrating 5S principles with process improvement: A case study In Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*.
- Saaty, L. T. (2004). *Decision Making: The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)*. *Journal Of Systems Science And Systems Engineering*.
- Saaty, L. T., & Vargas, G. L. (2001). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers.
- Saeger, A. d. (2015). *Ishikawa Diagram*.
- Shannon, R. E. (1998). *INTRODUCTION TO THE ART AND SCIENCE OF SIMULATION*. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press, Cambridge.
- Shook, J. (2008). *Managing to Learn: Using the A3 management process to solve problems, gain agreement, mentor and lead*. USA: The Lean Enterprise Institute.
- Silveira, A. O., & Coutinho, H. H. (2008). *Trabalho padronizado: a busca por eliminação de desperdícios*. *Revista INICIA*, pp: 8-16.
- SIMUL8. (2021). *SIMUL8. (2021). SIMUL8 Simulation Software*. Available at <http://www.simul8.com/>.

Sokolowski, J. A., & Banks, C. M. (2010). *Modeling and Simulation Fundamentals - Theoretical Underpinnings and Practical Domains*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). *Toyota Production System and Kanban system: materialization of just in time and respect for human system*. International Journal of Production Research.

Tisbury, J. (2014). *Your 60 Minutes Lean Business - Jidoka*. First edition.

Womack, J. P., Jones, D., & Roos, D. (2007). *The Machine That Changed The World: The Story of Lean Production*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Free Press.

Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Free Press.

Zukerman, M. (2020). *Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models*. City University of Hong Kong: Copyright M. Zukerman.

# Anexos


## Anexo 1 - A3 Caso de Estudo 1

### Título/Objetivo Inicial


❖ **Caso de Estudo 1 - Otimizar 50% zona de abastecimentos e produção - Science4You**

Responsável: Nº 40218 | Catarina Boaventura Gonçalves

Data: 01-03-2021



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA




---


### Descrição e Contexto

- X Coordenação da A MRP X sem regras e procedimentos definidos;
- X P MRP X, não organizada por zonas ou por ordem de produção;
- X P MRP X, não tem nenhum tipo de prioridades definido;
- X Gestão/Utilização espacial da zona Produção/Abastecimento:
  - o Racks A MRP8 destinadas, exclusivamente, ao abastecimento do MRP 8 (produção final);
  - o Racks A MRP 1, 2, 4 e 5 onde são colocados os materiais abastecidos do MRP 1 e 2 (enchimentos sólidos e líquidos) e do MRP 4 e 5 (etiquetagens frascos e sacos), sem nenhuma divisão;
  - o Zona A MRP 6 e 7 está localizada no chão da fábrica e destina-se ao abastecimento do MRP 6 e 7 (produção de conteúdos), com carrinhos com os materiais para contagem e verificação pré-produção;
- X Materiais colocados nas racks e no chão de fábrica sem ordem definida;
- X Inexistência de local específico para o material de cada MRP;
- X Sistema de abastecimento ineficiente.

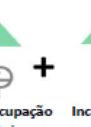
Excesso de deslocações e aproveitamento dos espaços que rodeiam as zonas de produção <50%




Diminuir deslocações



Aumentar % de ocupação do chão de fábrica



Incrementar o nível de organização



### Plano de Ação – 5S

Condição Necessária (O Quê?)	Razão para a Condição Necessária (Porquê?)	Efeito Esperado
A – Identificar quais os problemas e os desperdícios e avaliar o seu impacto na cadeia produtiva.	Definir os problemas em conjunto com a equipa de abastecimento e produção.	Conseguir alinhar uma estratégia que optimize ambos os lados.
B – Triar ( <i>Seiri</i> ): identificar objetos necessários e não necessários para as funções.	Criar um destino para todos os objetos e eliminar os não necessários.	Melhorar a utilização do espaço de trabalho e organização.
C – Organizar ( <i>Seiton</i> ) e Limpar ( <i>Seiso</i> ) as zonas de produção e abastecimentos.	Ordenar os abastecimentos consoante o plano de produção e identificados com a OP. Limitar as zonas de produção e abastecimentos com cores diferentes. Criar rotinas de limpeza.	Obter uma maior eficiência na produção e no abastecimento através de uma maior perceção visual. Manter rotinas de limpeza.
D – Normalizar ( <i>Seiketsu</i> ): criar regras, procedimentos e normas.	Divulgar os novos conceitos para que não existam dúvidas sobre os procedimentos e localizações, quer para os trabalhadores já existentes como também para os novos.	Aprender com maior facilidade e obter uma melhor organização do espaço.
E – Disciplinar ( <i>Shitsuke</i> ) e acompanhar da produção.	Garantir que existe disciplina e ordem em que os trabalhadores estejam comprometidos com as ações descritas anteriormente.	Melhorar as relações interpersonais e aumentar a autoconsciência.

---

### Análise e Proposta

**Abastecimento/ Picking**

Operadores/Pickers

Abastecimento é feito para uma rack destinada para esse fim, onde não existe nenhuma ordem de arranque.

A zona não está organizada para lidar a zona de produção como único.

No nível dos operadores não é feita uma gestão regular do espaço disponível.

Não existe qualquer procedimento definido.

O abastecimento não é dividido por zonas de produção, não existe nenhuma ordem.

Operadores estão em meio do que uma deslocação no processo de abastecimento.

Para alcançar o material é colocado no chão e os operadores, após utilização, é levado para a zona de produção.

Sólo existe um carrinho para este evento derivado para reduzir este desperdício.

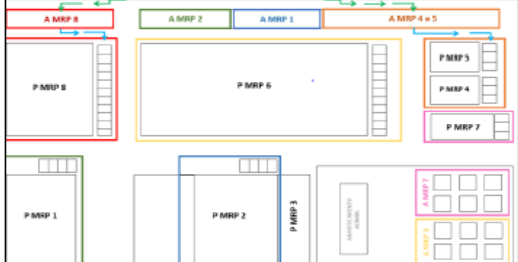
Falta de organização e maior organização.

É necessário identificar as diferentes zonas de produção e respetivos carrões de abastecimento.

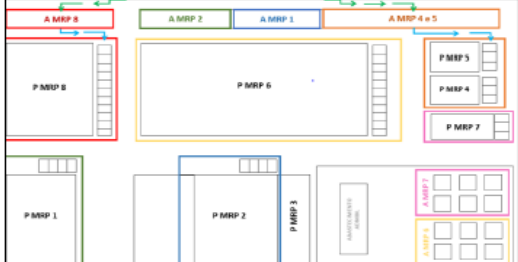
Novos operadores têm dificuldade em perceber a logística, não são os abastecimentos em direção a produção.

**Excesso de deslocações e espaço desorganizado**

Método/ Processo



Método Ambiente/ Organização



**Propostas de Melhoria:**

- Reposicionar máquinas a para uma ocupação do chão de fábrica superior a 80%;
- Delimitar zonas de produção e zonas de abastecimentos com fita de cores diferentes;
- Definir fluxos e regras de abastecimento das racks;
- Identificar paletes com ordem de produção (OP);
- Ordenar o abastecimento consoante o plano de produção diário;
- Incorporar regra FIFO no abastecer da zona de produção do respetivo MRP (setas imagem)
- Criar uma regra de circulação nas racks

**Outputs:**

- ✓ Melhor organização;
- ✓ Otimização da utilização do espaço;
- ✓ Facilidade de aprendizagem para novos trabalhadores;
- ✓ Maior eficiência no processo de abastecimento.

---

### Obstáculos esperados

- Resistência à mudança – convencer os trabalhadores, principalmente os operadores, das vantagens que esta mudança pode trazer.
- Disciplina e autoconsciência - conseguir que todas regras, procedimentos e normas estabelecidas se mantenham ao longo do tempo.

---

### Calendarização do TFM


	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
A	PLANEAMENTO						
B					EXECUÇÃO		
C							
D							
E					VERIFICAÇÃO		

**Título/Objetivo Inicial**

❖ **Caso de Estudo 2 - Reduzir tempos de *setup* em 30% - Rotuladoras**

Responsável:  
Nº 40218 | Catarina Boaventura Gonçalves

Data : 01-03-2021



**Descrição e Contexto**

- O MRP 4 (etiquetagem de frascos) e MRP 5 (etiquetagem de sacos) são outro ponto crítico na cadeia produtiva da Science4You.
- Esta fase da produção labora diariamente e faz parte de cerca de 30% da produção diária. É uma produção, que à partida, seria relativamente simples e rápida pois não depende de muitos componentes, como outras fases da produção.
- Tanto no MRP 4 como no MRP 5 não existem procedimentos descritos de como calibrar as rotuladoras com os vários formatos de frascos e sacos. Quem calibra as máquinas são operadores (apenas 2 na fábrica) que já têm alguma experiência e os operadores mais recentes não têm qualquer tipo de formação.

**Problema:**

- Tempo de *setup* = 7 min
- Dificuldade na calibração - Visual
- Desperdício de frascos e etiquetas
- Não existem procedimentos descritos
- Operados mais experientes fazem a calibração
- Falta de formação

Single Minute Exchange Of Die


**Plano de Ação - SMED**

Condição Necessária (O Quê?)	Razão para a Condição Necessária (Porquê?)	Efeito Esperado
A – Observar operação e retirar dados sobre tempos e métodos.	Identificar os principais problemas.	Definir um plano e uma medida a implementar de modo a que sejam reduzidos/eliminados os problemas identificados.
B – Reunir com operação e perceber os diversos formatos de calibração da máquina.	Definir procedimentos claros, standard e inequívocos sobre a calibração e funcionamento da máquina.	Conseguir ter documentos atualizados sobre a máquina que tornem a aprendizagem mais fluida.
C - Escrever e afixar procedimentos e regras.	Visibilidade para a toda a equipa e fábrica.	Facilidade na aprendizagem e aumento da autoconsciência.
D – Acompanhar a produção.	Confirmar resultados e dos efeitos da implementação.	Diminuir desperdício e tempo <i>setup</i> e aumentar taxa de produção e flexibilidade na operação.

**Obstáculos esperados**

- Resistência à mudança – convencer os trabalhadores, principalmente os operadores, das vantagens que esta mudança pode trazer
- Disciplina e autoconsciência - conseguir que todas regras, procedimentos e normas estabelecidas se mantenham ao longo do tempo.

**Análise e Proposta**



**Proposta:**

- Um dos objetivos será reduzir pelo menos em 30% o tempo de *setup*, através da descrição de procedimentos e regras standard, o que também faz com que se torne mais fácil a aprendizagem por parte dos operadores mais recentes. Pretende-se que qualquer operador que seja necessário neste tipo de máquina consiga calibrá-la sem qualquer dificuldade.
- O facto de existirem procedimentos descritos também faz com que se reduza o desperdício de frascos e etiquetas, pois a calibração deixa de ser por tentativa-erro.

**Calendarização do TFM**

	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
A	PLANEAMENTO				EXECUÇÃO		
B							
C					EXECUÇÃO		
D					VERIFICAÇÃO		

**2020**  
7 min → 7392 min/ano

-30%


**2021**  
5 min → 5280 min/ano

**Título/Objetivo Inicial**

❖ **Caso de Estudo 3 - Aumentar em 50% a produção e reduzir as paragens – Linhas de Produção Final**

**Responsável:**  
Nº 40218 | Catarina Boaventura Gonçalves

**Data:** 01-03-2021




**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

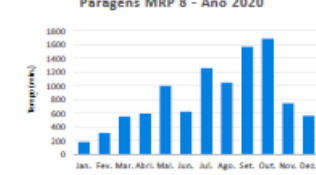
*Science4you*

**Descrição e Contexto**

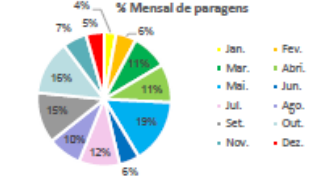
- De acordo com os operadores das linhas de produção final e após realização de um *Brainstorming* com toda a equipa da produção, concluiu-se que esta última fase da produção (MRP 8) é a fase mais crítica, que gera mais problemas e atrasos e onde foram detetados cinco dos oito desperdícios do *Lean*:



**Paragens MRP 8 - Ano 2020**



**% Mensal de paragens**



- As duas plastificadoras existentes no final de cada uma das linhas de produção estão constantemente a parar (80% das paragens totais). De modo a que a produção não pare, o método utilizado atualmente é prosseguir com a produção (sem a parte da plastificação) e, quando a plastificadora tiver arranjada proceder à plastificação.

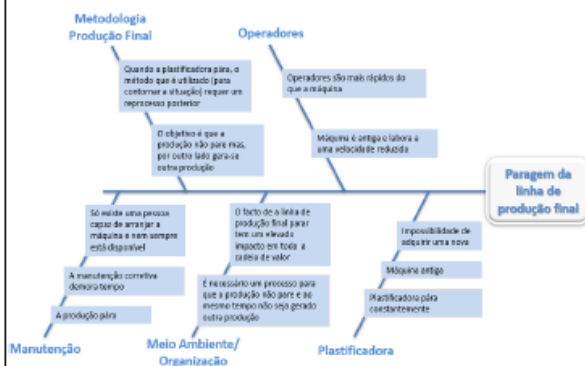
**Plano de Ação**

Condição Necessária (O Quê?)	Razão para a Condição Necessária (Porquê?)	Efeito Esperado
A – Analisar o impacto das paragens na produção diária.	Conhecer o problema, identificar os <i>bottlenecks</i> e alinhar com a produção as medidas que devem ser tomadas.	Definir um plano e uma medida de melhoria que seja compatível com a produção.
B – Realizar testes e <i>brainstorming</i> .	Avaliar com a produção e operação se é exequível a medida de melhoria. Realizar um balanço entre os aspetos positivos e negativos que esta pode trazer.	Concluir que com a implementação será possível otimizar a produção e eliminar diversos problemas.
C – Avaliar os custos.	Identificar quais serão os custos que a nova implementação tem. Realizar um balanceamento entre os custos acrescidos da melhoria e o lucro que iremos ter após a sua implementação.	Os custos iniciais são facilmente recuperados ao fim de algum tempo (menos de um ano).
D – Implementar da melhoria.	O objetivo será reduzir/eliminar todos os tipos de desperdícios existentes nesta fase da produção.	Aumentar significativamente a produção.
E – Acompanhar a produção.	Confirmar os resultados.	Aumentar a produção em cerca de 50% e reduzir as paragens.

**Obstáculos esperados**

- Resistência à mudança – convencer os trabalhadores, principalmente os operadores, das vantagens que esta mudança pode trazer.
- Gastos de material para a implementação da iniciativa.

**Análise e Proposta**



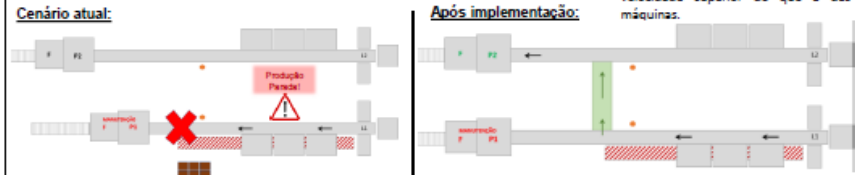
**Proposta:**

- O objetivo será implementar uma ligação entre as duas linhas para que, quando uma das plastificadoras parar existir a opção de direcionar a produção para a outra plastificadora evitando assim a paragem da produção e/ou um reprocesso.
- As duas plastificadoras apenas laboram simultaneamente cerca de 20% (x 45 dias) do ano ou seja, é sempre preferível optar por reduzir/eliminar as paragens do que ter as duas linhas 100% livres.
- Quando a produção é elevada, será possível utilizar na mesma as duas linhas em separado para produções diferentes, correndo o risco de uma das plastificadoras parar, ou optar por utilizar apenas uma linha para as duas plastificadoras, eliminado assim outro desperdício identificado, que é o facto dos operadores trabalharem a uma velocidade superior do que a das máquinas.


**Calendarização do TFM**

	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
A	PLANEAMENTO						
B	PLANEAMENTO						
C	PLANEAMENTO						
D				EXECUÇÃO			
E							VERIFICAÇÃO

**Cenário atual:**



**Após implementação:**



IMPLEMENTAÇÃO DA MELHORIA

➔

AUMENTO DA PRODUÇÃO

+

REDUÇÃO DAS PARAGENS E DE OUTROS DESPERDÍCIOS

**Anexo 4** - Resultados das distâncias totais definidas na simulação do cenário Antes do Caso de Estudo 2.

**Tabela A.0.1** - Resultados definidos no cenário Antes do CS2.

A MRP	P MRP	Distância (m)
<b>1,2,4,5</b>	1	22
	2	20
	4	15
	5	14
	6	11
	7	11
	8	6
	<b>6,7</b>	1
2		14
4		3
5		4
6		16
7		18
8		15
<b>8</b>		1
	2	10
	4	22
	5	23
	6	22
	7	22
	8	8

**Anexo 5** - Resultados das distâncias totais definidas na simulação do cenário Depois do Caso de Estudo 2

*Tabela A.0.2 - Resultados definidos no cenário Depois do CS2.*

A MRP	P MRP	Distância (m)
1	1	16
	2	22
	4	15
	5	14
	6	11
	7	11
	8	6
	2	1
2		12
4		15
5		14
6		11
7		11
8		6
4,5		1
	2	15
	4	8
	5	7
	6	11
	7	11
	8	6
	6	1
2		14
4		3
5		4
6		9
7		18
8		15
7		1
	2	14
	4	3
	5	4
	6	16
	7	8
	8	15
	8	1
2		10
4		22
5		23
6		22
7		22
8		8

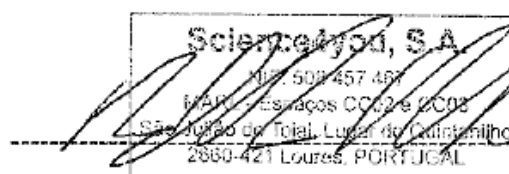
**Consentimento para divulgação de dados e resultados relativos a sistemas de produção da Science4you S.A. para fins académicos.**

A Science4you S.A., autoriza, na pessoa de *Miguel Pina Martins*, a divulgação dos dados recolhidos e tratados, e resultados obtidos a partir dos mesmos, por *Catarina Boaventura Beja Belchior Moura Gonçalves*, para fins académicos no âmbito do desenvolvimento e entrega da Tese de Mestrado com o título "*Otimização de processos LEAN com base em simulação. Caso de Estudo*", para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Os dados em questão referem-se ao período compreendido entre 01/01/2019 e 01/01/2021, tendo sido recolhidos e tratados com a autorização da Science4you S.A.

Os dados recolhidos e tratados, bem como os resultados obtidos a partir destes, encontram-se disponíveis para consulta por membros da comunidade académica mediante formulação de pedido ao autor do trabalho académico.

Data: 01/02/2021



(O representante da Science4you S.A. – Miguel Pina Martins)