



O USO DO IOT NO A3 PROBLEM SOLVING

AFONSO MELO POJAL SOVERAL BRANDÃO

outubro de 2023

INTEGRAÇÃO DO A3 PROBLEM SOLVING NA INDÚSTRIA 4.0

Afonso Melo Pojal Soveral Brandão

1170402

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

INTEGRAÇÃO DO A3 PROBLEM SOLVING NA INDÚSTRIA

4.0

Afonso Melo Pojal Soveral Brandão

1170402

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação teve a contribuição e o apoio de diversas pessoas, sem as quais não teria sido possível concluir esta etapa.

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais pela compreensão que demonstraram e por me proporcionarem todo o apoio e condições para alcançar esta meta.

Também quero agradecer aos restantes membros da família pelo incentivo, pelo interesse demonstrado em todo o percurso, e pelos seus conselhos, fruto da sua experiência sobre os mais diversos temas.

À minha namorada, pela dedicação e compreensão que sempre teve comigo nos momentos mais difíceis. Bem hajas.

Aos meus amigos, pela presença tanto nos momentos de convívio e descontração, como pela compreensão e motivação nas situações mais complicadas.

Ao orientador Professor Mestre/Especialista José Carlos Viera de Sá pelo acompanhamento incansável e pela valiosa contribuição com os seus conhecimentos.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre se mostraram disponíveis a ajudar e a contribuírem com os seus ensinamentos, permitiram tornar este estudo mais completo.

À empresa que me permitiu saber mais sobre esta área, e que levou a que esse interesse se tivesse transformado num gosto pessoal em perceber mais sobre este mundo industrial.

A todos aqueles que tornaram a concretização desta dissertação numa realidade, quero expressar o meu profundo agradecimento.

página propositadamente em branco

RESUMO

A Indústria 4.0 é uns dos temas mais críticos da atualidade, onde conceitos como *internet of things* (IOT) cada vez estão mais presentes no dia-a-dia das organizações, especialmente através de sistemas de monitorização e recolha de dados, normalmente, denominados por *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Ainda nesta linha de pensamento, apesar de ser um conceito bem mais intrínseco no contexto das organizações, a filosofia *lean* demonstra ser bastante eficiente na gestão das empresas, principalmente na melhoria de processos de produção. O presente projeto foi desenvolvido numa empresa que tem vindo a acompanhar esta evolução e que aposta constantemente na mudança e progresso ao nível da digitalização.

Neste sentido, esta dissertação tem como base de investigação analisar o impacto que a ferramenta SCADA, em simbiose com a filosofia *lean*, tem na melhoria de uma linha de produção integrada numa unidade de trituração de cortiça (inserida num contexto industrial). A metodologia utilizada ao longo deste projeto assenta na *Action Research*, que consiste na condução de uma investigação a par da resolução do problema identificado, ou seja, procura investigar e agir de forma simultânea.

Desta forma, iniciou-se o projeto com o *software* SCADA (*software* de monitorização em tempo real) no qual se identificou a base do problema principal que deu início ao desenvolvimento do respetivo projeto. Problema esse que assenta no baixo controlo e consumo de um equipamento, denominado de moinho de facas (PPS). A ferramenta usada para a resolução do problema identificado assenta na filosofia *lean*, mais concretamente no *A3 problem solving*, que tem como principal objetivo a estruturação de problemas e resolução dos mesmos, de forma a melhorar a eficácia e controlo do equipamento. Assim sendo, implementou-se a ferramenta *A3 problem solving* na resolução do problema encontrado, dando origem a três indicadores de performance. O primeiro assenta na quantidade de fluxo de material que é processado no PPS, o segundo passa pelo controlo da alimentação do equipamento que é feito através da balança onde se encontra o alarme DN4_Bal.PPS e o último diz respeito à correlação entre o alarme mencionado e a quantidade de material que é processada no moinho de facas.

A aplicabilidade destes indicadores resultaram no aumento de 6,3% da taxa de consumo médio, na diminuição da quantidade do alarme DN4_Bal.PPS em 53% e no aumento do índice de correlação entre o respetivo alarme e o consumo do equipamento (PPS). Os resultados obtidos, foram alcançados não só devido ao esforço de todos os elementos do departamento envolvidos, como também dos operadores da linha em questão. Através destes mesmos resultados, conseguiu-se compreender a potencialidade destes dois conceitos e o impacto positivo que teve na organização da empresa em apreço.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria 4.0; Filosofia Lean; SCADA; A3 Problem Solving

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The Industry 4.0 is one of the most critical topics of today, where concepts like the Internet of Things (IoT) are increasingly prevalent in the daily operations of organizations, especially through systems for monitoring and data collection, commonly referred to as Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Along the same line of thinking, despite being a more intrinsic concept in the organizational context, lean philosophy proves to be highly effective in managing companies, particularly in improving production processes. This dissertation is based on research aimed at analyzing the impact that the SCADA tool, in synergy with lean philosophy, has on the improvement of a production line integrated into a cork crushing unit (within an industrial context). The methodology used throughout this project is rooted in Action Research, which involves conducting research alongside problem resolution. In other words, it seeks to investigate and act simultaneously.

In this manner, the project commenced with SCADA software (real-time monitoring software), through which the root of the main problem initiating the project was identified. This problem is related to the low control and consumption of a specific piece of equipment called the knife mill (PPS). The tool used to address the identified problem is based on lean philosophy, specifically the A3 problem-solving approach, which aims to structure and resolve problems to enhance equipment effectiveness and control. Consequently, the A3 problem-solving tool was implemented to address the issue, resulting in the creation of three performance indicators. The first indicator is related to the quantity of material flow processed in the PPS, the second involves the control of equipment feeding using a scale where the DN4_Bal.PPS alarm is located, and the third relates to the correlation between the mentioned alarm and the amount of material processed in the knife mill.

The application of these indicators led to a 6.3% increase in the average consumption rate, a 53% reduction in the quantity of the DN4_Bal.PPS alarm, and an increase in the correlation index between this alarm and the equipment consumption (PPS). The achieved results were not only due to the efforts of all department members involved but also the line operators. Through these results, the potential of these two concepts and their positive impact on the organization of the company in question was comprehended.

KEYWORDS

Industry 4.0; Filosofia Lean; SCADA; A3 Problem Solving

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Objetivos e Metodologia de Investigação.....	2
1.3. Estrutura do Relatório.....	2
1.4. Empresa de Acolhimento	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Breve História Filosofia Lean	4
2.1.1. Princípios da Filosofia Lean	5
2.1.2. Conceito Muda.....	6
2.1.3. Ferramentas Lean	7
2.1.4. Diagrama Ishikawa	19
2.1.5. A3 Problem Solving e Ciclo PDCA.....	19
2.2. Breve História Indústria 4.0.....	21
2.2.1. Pilares da Indústria 4.0.....	22
2.2.2. Casos de Estudo – Validação de Conceitos	22
2.3. Discussão da Revisão Bibliográfica	25
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	27
3.1. Apresentação e análise do processo estudado	27
3.1.1. Primeira Trituração	28
3.1.2. Reprocessamento 1.....	35
3.2. Contexto e Maturidade Digital do Reprocessamento 1 - SCADA.....	37
3.3. Aplicação Metodologia A3 Problem Solving	39
3.3.1. Layout A3 Problem Solving	40
3.3.2. Tema e Definição do Problema.....	40
3.3.3. Quantificação da Situação Inicial	41
3.3.4. Objetivos Traçados.....	44
3.3.5. Análise das causas.....	44
3.3.6. Propostas de Melhorias	48
3.3.7. Plano de Ações.....	50
3.3.8. Plano de verificação	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1. Apresentação de resultados.....	53
4.1.1. Implementação do indicador de nível de esforço na HMI.....	53
4.1.2. Análise de indicadores do software SCADA.....	55

4.1.3. Projeto com novo sistema de alimentação.....	56
5. CONCLUSÃO	59
5.1. Conclusões finais	59
5.2. Discussão e Contribuições	60
5.3. Limitações e trabalhos futuros.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE A	69

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito TPS (Toyota Production System) [3].....	5
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe [54]	19
Figura 3 – Layout A3 Problem Solving [56]	20
Figura 4 – Evolução Indústria 4.0 [39].....	21
Figura 5 – Unidade GMT.....	28
Figura 6 – Apara de costa a); Refugo cru e cozido b); Triturado c)	29
Figura 7 – Baia 5	29
Figura 8 – Moinho Destroçador “MDT”	30
Figura 9 – Tira Pesados.....	30
Figura 10 – Transporte Pneumático	31
Figura 11 – 1º Peneiros	32
Figura 12 – Pop Cork	32
Figura 13 – Secador Horizontal	33
Figura 14 – Moinho de facas a); Rotor com facas b); Crivo c).....	34
Figura 15 – Rotex.....	34
Figura 16 – Mesas Densimétricas.....	35
Figura 17 – Moinho de facas PPS	36
Figura 18 - Moinho de Impacto “MIM”	36
Figura 19 – Big Bag	37
Figura 20 – Implementação Vertical e Horizontal SCADA.....	38
Figura 21 – HMI Reprocessamento 1	38
Figura 22 – Detetor de Nível	39
Figura 23 – Layout A3 Problem Solving.....	40
Figura 24 – Diagrama de Pareto.....	42
Figura 25 – Gráfico Dispersão PPS	43
Figura 26 – Diagrama de Ishikawa	45
Figura 27 – Melhorias Implementadas.....	53
Figura 28 – Indicadores de visualização de esforço	54
Figura 29 – Raseira Manual de Controlo de Fluxo	54
Figura 30 – Gráfica dispersão PPS após melhoria	55
Figura 31 – Alimentação Atual PPS	56
Figura 32 – Projeto futuro alimentação PPS	57
Figura 33 – Listas de Sinais Excel.....	71
Figura 34 – Tabela Pivot	72
Figura 35 – A3 Problem Solving.....	73

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologia Action Research	2
Tabela 2 – Princípios Filosofia Lean.....	6
Tabela 3 – Conceito Muda	6
Tabela 4 – Ferramentas Lean	8
Tabela 5 – Pilares Indústria 4.0	22
Tabela 6 – Validação de Conceitos.....	22
Tabela 7 – Descrição Material Triturado.....	27
Tabela 8 – Consumo e desvio padrão PPS	41
Tabela 9 – Descrição de Alarmes	41
Tabela 10 – Análise ABC.....	42
Tabela 11 – Consumo e quantidade de Alarmes.....	43
Tabela 12 – Causa Raiz 1	46
Tabela 13 – Causa Raiz 2	46
Tabela 14 – Causa Raiz 3	47
Tabela 15 – Causa Raiz 4	47
Tabela 16 – Causa Raiz 5	48
Tabela 17 – Prioridade de Melhorias	48
Tabela 18 – Ferramenta 5W2H	50
Tabela 19 – Ganhos e perdas obtidos	55
Tabela 20 – Resumo dos Objetivos	59
Tabela 21 - Consumo diário Antes Melhorias	69
Tabela 22 – Análise ABC.....	69
Tabela 23 – Alarme DN4_Bal.PPS.....	71

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

5W2H	What, Why, Where, When, Who, How, How much
AD	Alta Densidade
BD	Baixa Densidade
CNC	Controlo Numérico por Computador
CPPS	Cyber Physical Production System
DN	Detetor de Nível
ERP	Enterprise Resource Planning
FC	Fim de Curso
GMT	Grain Materials Technology
GP	Guilhotina Pneumática
HMI	Human Machine Interface
ICT	Information and Communication Technology
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JIT	Just In Time
M	Motor
MD	Média Densidade
MDT	Moinho Destroçador
MES	Manufacturing Execution System
MIM	Moinho de Impacto
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC	Open Platform Communication
OPL	One Point Lesson
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PDCA	Plan Do Check Act
PLC	Programmable Logic Controller
PPS	Moinho de facas
REP1	Reprocessamento 1
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SMED	Single Minute Exchange of Die
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TSF	Transporte Por Parafuso Sem Fim
VA	Valor Acrescentado
VD	Válvula de Desvio
VM	Visual Management
VNA	Valor Não Acrescentado
VSM	Value Stream Mapping

WIP	Work In Progress
-----	------------------

Lista de Símbolos

<i>mm</i>	Comprimento	<i>milímetro</i>
<i>Kg/m³</i>	Peso específico	<i>kilograma por metro cúbico</i>

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular dissertação/estágio/ projeto, do Mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo Gestão Industrial pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), com o intuito de obter o grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Este trabalho, realizou-se em ambiente empresarial, nomeadamente numa Indústria corticeira, tendo como tema o “Integração do A3 Pobleem Solvingna Indústria 4.0”. O seguinte estágio, teve como data de início o dia 6 de outubro de 2022 e término dia 10 de junho de 2023.

Este capítulo, divide-se em cinco subcapítulos, onde primeiramente começa-se por apresentar uma breve contextualização onde se introduz a explicação do tema em questão, seguidamente os objetivos pretendidos com este relatório, passando pela metodologia escolhida para este trabalho. Nos últimos dois subcapítulos, encontra-se a estrutura deste relatório e por fim a empresa de acolhimento para a realização deste relatório.

1.1. Contextualização

Nos dias de hoje, parece plausível afirmar que é cada vez mais vulgar as organizações recorrerem ao uso de novas tecnologias para acrescentar valor. É certo que de acordo com Pereira e Simonetto, “a evolução da tecnologia tem levado a mudanças nos paradigmas de produção”, mas foi concretamente após a quarta revolução industrial, isto é, a Indústria 4.0, que o processo de digitalização das organizações cresceu de forma exponencial. Os autores chegam mesmo a referir que é esta revolução que está a transformar os processos de produção.

Por um lado, é de fácil perceção a influência que a evolução das tecnologias tem na prosperidade das fábricas, no sentido em que se tornam cada vez mais automatizadas e inteligentes – as máquinas tornam-se mais eficazes, os processos de aumentam o número de digitalização presente nos equipamentos[1].

Para além disso, a sustentabilidade também é um fator a ser analisado a propósito deste tema, na medida em que ao haver uma gestão mais eficaz dos recursos, acaba por haver menos desperdício e por isso, poder-se-á associar a evolução da Indústria 4.0 a um aumento de sustentabilidade [2]

Desta forma, pode-se concluir que a Indústria 4.0 está a desencadear uma revolução industrial com ramificações profundas e abrangentes e o futuro será plasmado por empresas que abracem estas mudanças e estejam preparadas para inovar e enfrentar os desafios e as oportunidades que a Indústria 4.0 traz consigo.

1.2. Objetivos e Metodologia de Investigação

Este capítulo, tem como objetivo compreender quais as questões em estudo que proporcionaram a realização deste trabalho. O presente trabalho, consiste no estudo da filosofia lean e das suas ferramentas, seguido da análise das tecnologias da Indústria 4.0. Após uma análise dos temas, o principal objetivo encontra-se na melhoria e controlo do equipamento PPS numa linha de produção de cortiça. Em suma, pretende-se encontrar a perfeita simbiose entre estes dois temas e saber qual será o impacto que estes têm numa organização.

Neste sentido, é imperativo apresentar a metodologia utilizada ao longo do desenvolvimento do projeto, assim como as etapas essenciais do referido projeto.

No que concerne à metodologia utilizada, esta assenta na *action research*, e é baseada num estudo participativo que engloba 5 passos fundamentais, que serão expostos na seguinte Tabela 1:

Tabela 1 – Metodologia Action Research

1. Análise e planificação da abordagem
2. Implementação de melhorias + Análise e observação do processo
3. Reflexão sobre os processos de melhoria + Planeamento de novas melhorias
4. Observar + Agir
5. Reflexão + Examinar os resultados

Já no que diz respeito às fases do projeto, estas organizam-se da seguinte forma:

- Estudo e revisão dos temas apresentados.
- Integração e compreensão da unidade de produção
- Análise e estudo do software de monitorização do processo em tempo real (SCADA).
- Estudo da analítica referente ao software SCADA.
- Integração do A3 *problem Solving*
- Resolução estruturada dos problemas encontrados a partir do SCADA
- Análise do impacto das melhorias implementadas.
- Quantificação do impacto obtido.

1.3. Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo, realiza-se uma introdução ao tema da dissertação, onde este subdivide-se em cinco capítulos: contextualização do tema, objetivos pretendidos com a realização do relatório, metodologia usada na elaboração do mesmo e por último a empresa de acolhimento. No segundo capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica, subdividida em dois capítulos: Filosofia *Lean* e Indústria 4.0, onde nestes se inserem

vários subcapítulos. No terceiro capítulo, encontra-se a metodologia utilizada para a resolução dos problemas encontrados e implementação das melhorias. No quarto capítulo, apresentam-se os resultados obtidos com as melhorias implementadas e discussão dos mesmos. Por último, conclui-se com um breve resumo de todo o projeto, bem como as dificuldades e limitações encontradas.

1.4. Empresa de Acolhimento

Este projeto desenvolveu-se numa empresa da Indústria corticeira, nomeadamente no departamento da tecnologia de material granulado (GMT). Esta empresa faz parte do grupo líder mundial no ramo da cortiça e nasce do desejo de criar produtos inovadores, gerados a partir do desperdício do fabrico de rolhas. Contudo, o principal objetivo da empresa recai no fabrico de compósitos, isto é, na mistura de cortiça com outros produtos tal como a borracha. Estes vão criar um grande arsenal de aplicações, nomeadamente na mobilidade, energia, aeroespacial, construção, entre outros. O processo de transformação do desperdício das rolhas, inicia-se no departamento em questão, com a trituração da matéria-prima.

A fábrica divide-se em cinco departamentos, operados de forma independente, onde internamente são consideradas cinco empresas diferentes. Esta formato, permite uma melhoria de resultados pois cada empresa tem os seus objetivos, que por sua vez, trabalham todas para um objetivo final comum.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresentam-se todos os conceitos que englobam a filosofia *Lean*, de modo a contextualizar os capítulos seguintes. Em primeiro lugar, elabora-se um estudo sobre a história da filosofia *lean*, seguido dos princípios associados ao mesmo. Além disso, realiza-se uma análise das ferramentas *lean* sustentado em casos de estudo, para posteriormente se averiguar quais as mais utilizadas e em que contextos. Salienta-se ainda, um capítulo para a Indústria 4.0 onde se apresentam conceitos importantes para a fundamentação dos casos de estudo apresentados.

2.1. Breve História Filosofia Lean

No decorrer da história da humanidade, várias foram as produções existentes. Começando por artesanal, onde o trabalho passava por o esforço físico humano, denominado também por manual. Passando por uma das mais influentes a nível mundial *mass-production* protestanizada por Henry Ford com a produção do modelo T (Indústria 2.0), o que levou os Estados Unidos ao domínio da economia mundial. Chegando assim a mais recente revolução industrial, a digitalização (Indústria 4.0).

Após a segunda guerra mundial, uma das maiores empresas a nível mundial no setor automóvel, Toyota, apercebeu-se que o método usado pelos Estados Unidos (*mass-production*) não se adequava financeiramente aos tempos vividos, pois a falta de recursos humanos e o mercado decrescente não traziam estabilidade. Com isto, dois engenheiros Eiji Toyota e Taiichi Ohno, iniciaram um novo sistema de produção, *Toyota Production System* (TPS), mais tarde conhecido como *lean production* [3].

Perante a necessidade de competir com mercados internacionais, mesmo sobre a condição de poucos recursos, nasce o conceito de (TPS). Sendo que este muitas vezes descreve-se como uma arquitetura de uma casa, ou seja, constitui-se, primeiramente, pelas fundações da casa correspondentes aos conceitos de *Heijunka* e Standardização. Os pilares, representam-se por JIT (*Just-in-Time*) e *Jidoka*, o telhado como objetivo final, isto é, a excelência operacional. Por último, no centro da casa, encontra-se o coração do sistema sendo este a melhoria contínua do processo através das ferramentas *lean*. Nos pontos seguintes, apresentam-se de uma forma mais sucinta os conceitos mencionados anteriormente [4].

- *Heijunka*: este conceito tem como base nivelar a produção de maneira a melhorar a utilização de recursos;
- Standardização: o objetivo principal passa por padronizar os processos de forma a sustentar a melhoria dos mesmos.
- JIT (*Just-in-time*): um dos principais conceitos pois permite um sistema de ordem de fabrico a pedido do cliente (sistema *pull*). De modo a obter um nível mínimo de inventário.
- *Jidoka*: conceito que garante a qualidade do produto e qualquer oportunidade de produzir defeitos é eliminada.
- Centro da casa: procura a melhoria contínua do processo através da harmonia dos seus trabalhadores.

Na Figura 1, consegue-se compreender melhor os conceitos explicados anteriormente:

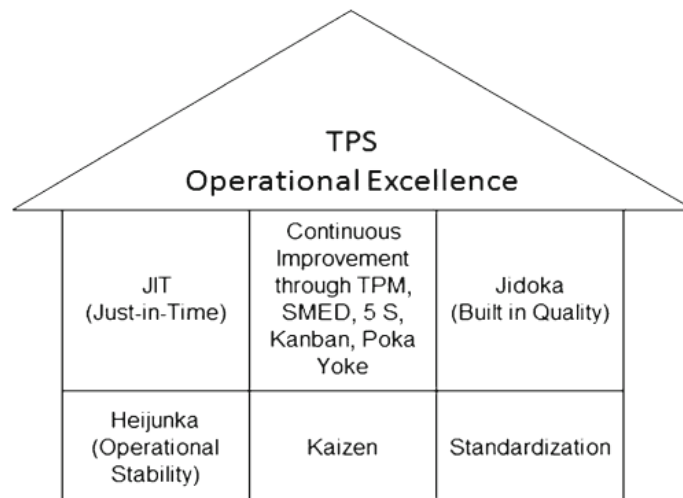


Figura 1 – Conceito TPS (Toyota Production System) [3]

No entanto, a implementação de alguns destes conceitos requer o total envolvimento de todas as partes desde os trabalhadores até à gestão de topo. Nos dias de hoje, o empenho e o bom relacionamento entre as partes mencionadas, vai fazer com que a organização assegure a cooperação, com o intuito de cumprir os objetivos[5].

Segundo os autores Wan e Chen (2009), a implementação de uma estratégia *lean* pode seguir três passos: apresentação da cultura *lean*, identificação do problema e por último a implementação final. A introdução das práticas *lean* sem agregar fatores humanos, revela-se uma abordagem errada, comportando-se de certa forma como um *boomerang*[6].

2.1.1. Princípios da Filosofia Lean

O princípio *lean* define-se como: “Forma de fazer mais com menos. Menos esforço humano, equipamentos, tempo e espaço” (Womack e Jones). De certo modo, os princípios *lean* podem ser vistos como uma forma de procura constante por perfeição, através da eliminação de todo o tipo de desperdícios em toda a organização [7].

Estes princípios vão permitir as empresas “especificar o valor, alinhar da melhor maneira as ações que criam valor, conduzir atividades sem que estas possam ser interrompidas sempre que alguém as aciona de maneira a produzir mais e melhor” (Womack e Jones). Estas citações, focam-se em 5 princípios base da filosofia *lean*: Valor, Mapeamento de fluxo de valor, Fluxo contínuo, Produção *Pull* e como mencionado anteriormente a procura pela perfeição [8]

Para melhor compreensão destes princípios mencionados, elaborou-se a Tabela 2.

Tabela 2 – Princípios Filosofia Lean

Princípios	Descrição
Valor	O cliente representa-se como parte principal de todo o exercício feito pela organização. Sendo que este ajuda na criação de atividades de valor acrescentado [4].
Mapeamento de Fluxo de Valor	Identificar o valor para cada produto, e o fluxo pode ser representado pelo fluxo de pessoas, informação, materiais e capital [9].
Fluxo Contínuo	O processo produtivo deve ser interrompido o menos possível. O objetivo passa por uma produção contínua do produto, com o menor número de paragens o que consequentemente cria um menor desperdício [9].
Produção Pull	A produção é ajustada à procura do cliente. O cliente puxa o produto, conseguindo assim fazer com que a produção seja acionada a cada pedido. Com isto também se consegue reduzir inventário [9].
Procura pela Perfeição	Constante procura para reunir todos os requisitos pedidos pelo cliente, tentando em paralelo eliminar os desperdícios [9].

2.1.2. Conceito Muda

Este conceito tem como pais de origem o Japão, onde o seu significado está associado a palavra desperdício sendo esta uma atividade que consome recursos, mas que não produz qualquer tipo de valor acrescentado.

Na Tabela 3, descrevem-se sete tipos de desperdícios segundo Taiichi Ohno, Shigeo Shingo e Liker, sendo que este último tem uma visão mais recente dos mesmos.

Tabela 3 – Conceito Muda

Desperdícios	Descrições
Subprodução	Transformação do processo sem ser necessário, ou seja, produzir produtos sem que haja pedido/procura [10].
Tempos de Espera	Todos os atrasos de ações correspondentes à transformação do processo. Tempos esses, normalmente associados a máquinas, pessoas, ferramentas, entre outros [10].
Transportes	Qualquer movimentação de longa distância, que crie desperdício no transporte de produto ou material, entre processos ou na entrada ou saída de armazém [10].

Desperdícios	Descrições
Processamento Excessivo	Produção de produtos que não sejam procurados pelo cliente. Focar primeiro em perceber quais os produtos a produzir. O desperdício é gerado quando se produz produtos de elevada qualidade quando não é necessário. Realizar operações que não são necessárias para um determinado produto [10].
Inventário	Armazenamento de produtos inacabados ou acabados que ainda não têm um valor monetário associado. Estes produtos, aguardam uma fase final do processo. Normalmente associado ao conceito de WIP (work-in-process) [10].
Deslocação/Movimento	Qualquer ação que não produza valor acrescentado. Que não traga mais valias para o processo, ou seja, que não criem desperdícios. Exemplos: procurar por alguma peça, saber como chegar a um determinado item num armazém, etc [10].
Defeitos	Parte do processo que tenha perda de qualidade vai criar produtos defeituosos, o que vai originar desperdícios [10].

2.1.3. Ferramentas Lean

A produção *lean*, tem como base um grande arsenal de ferramentas disponíveis para o auxílio de uma correta implementação. Neste sentido, para uma implementação de sucesso, são várias as condicionantes, sendo que uma forte liderança por parte da gestão de topo, surge como uma das mais relevantes. A harmonia entre todas as hierarquias, também se considera uma grande vantagem para implementação na organização.

Assim sendo, neste capítulo, apresenta-se uma análise de vários casos de estudos, onde o principal objetivo passa por encontrar quais as ferramentas mais utilizadas e em que contextos se inserem.

Na Tabela 4 seguinte, apresentam-se, não só os casos de estudo revistos, como também as ferramentas mais utilizadas em cada caso.

Tabela 4 – Ferramentas Lean

Título do Artigo	Descrição
[11]	Implementação de 10 ferramentas <i>lean</i> numa fábrica metalúrgica. No início do projeto, fez-se um questionário com várias perguntas específicas de cada área da empresa, onde o principal objetivo seria identificar o nível de percepção global dos operadores em relação à empresa. Após a implementação das ferramentas, realizou-se um novo questionário, com o intuito de comparar os resultados. Posto isto, identificou-se que a percentagem de operadores que, após os 3 meses de implantação das ferramentas, ficaram com uma visão geral da empresa aprimorada, subiu de 68,4% para 72,6%, ou seja, um aumento percentual de 6,14.
[12]	O estudo incide numa empresa da Indústria automóvel situada na Malásia, onde esta foi selecionada propositadamente, pois já teria um sistema de produção <i>lean</i> implementado. Em seguida, abordaram-se os departamentos onde as práticas do sistema <i>Kanban</i> já estavam implantadas, ou seja, os trabalhadores estariam familiarizados com as mesmas. Posto isto, realizaram-se entrevistas a três destes trabalhadores, com o intuito de obter informações chave para a investigação. Destas entrevistas, retirou-se que para atingir uma taxa de sucesso notória na implementação da ferramenta, seria primeiramente necessário delinear fatores como gestão de inventário, melhoria de controlo e qualidade e da gestão de topo e funcionários, para auxílio da mesma.

Título do Artigo	Descrição
[13]	<p>Neste estudo, procedeu-se a implementação das ferramentas 5s, <i>visual management</i> (VM) e <i>One Point Lesson</i> (OPL) numa empresa, com a finalidade de melhoria da qualidade e segurança dos funcionários. No início do estudo, realizou-se um questionário onde se perguntava aspetos relacionados com a perceção dos funcionários sobre os riscos inerentes ao seu posto de trabalho, medidas de segurança utilizadas, procedimentos de segurança, entre outros. Seguidamente, implementaram-se metodologias como o ciclo PDCA e 5W2H para melhoria dos processos, fizeram-se auditorias de 5S ao longo do projeto. Após esta implementação, fez-se um questionário sobre as ferramentas <i>lean</i> mencionadas, para se perceber qual seria o grau de preceção/satisfação dos trabalhadores sobre estas melhorias. Posto isto, obteve-se que 83.4% dos trabalhadores concordou que a ferramenta VM relacionada com o <i>posting</i> dos riscos, ajudou na melhoria do local de trabalho, 76,5% dos trabalhadores acreditam que VM relacionada com a organização também ajudou na melhoria do local de trabalho. Em suma todas as ferramentas implementadas tiveram uma melhoria significativa nas áreas que foram aplicadas.</p>
[7]	<p>Este estudo realizou-se numa empresa corticeira portuguesa, onde o principal objetivo passava por implementar a metodologia SMED com a finalidade de melhorar os tempos de <i>set up</i> nas linhas de corte, conseguindo num cenário ideal reduzir em 15% estes tempos. Para isso, fez-se um levantamento de todo o historial de dados referentes ao posto de trabalho, seguidamente recolheu-se os tempos de <i>set up</i> e paragens inerentes a cada turno. Com estes dados, fizeram-se diagramas de Pareto para identificar as principais causas das paragens. Em relação ao processo de movimentação de <i>set up</i> dos trabalhadores no chão de fábrica, elaboraram-se gráficos de espaguete com o intuito de melhorar as deslocações. No final, realizou-se uma análise global, onde se chegou à conclusão de que no turno 2 se poderia reduzir o número de trabalhadores, com isto o tempo de <i>set up</i> manteve-se idêntico ao inicial. No turno 3, reduziu-se o tempo de 29 minutos para 22 minutos o que representa uma redução de 24%.</p>

Título do Artigo	Descrição
[4]	Ao serem implementadas ferramentas <i>lean</i> nesta fábrica, de uma forma geral conseguiu-se aumentar e melhorar o panorama geral da empresa. Isto conseguiu-se através de a redução de <i>set up</i> , redução de inventário e melhoria do layout do chão de fábrica. Com isto, também se melhorou a segurança dos operários. Importante frisar que todo este trabalho de implementação, teve a contribuição da gestão de topo que proporcionou formações em Lean Management. Em relação a melhorias percentuais, a produção por turno de bobines aumentou de 121 para 214 o que corresponde a uma melhora de 76%.
[14]	Avaliação da implementação da ferramenta 5S em 92 empresas fabris situadas em diferentes localizações geográficas na Índia. Para isso, fez-se um questionário para avaliar o panorama geral das empresas em relação ao conhecimento e utilização desta ferramenta. Este questionário trouxe dados relevantes para realização do estudo, onde foi revelado que a implementação da ferramenta teve um impacto positivo em setes setores organizacionais tais como: qualidade e melhoria contínua, otimização de custos, realização pessoal dos trabalhadores, entre outros. Revelou-se também uma redução nas paragens, avarias e desperdícios gerais do chão de fábrica.
[15]	O objetivo deste estudo passa por otimizar a produção de metal <i>tapping</i> numa fábrica. Para isto, implementaram-se alguns princípios da filosofia <i>lean thinking</i> tais como: <i>mura</i> , <i>muri</i> e <i>muda</i> , que ajudaram na eliminação de desperdício, acrescentando valor à produção. Realizou-se um estudo com o intuito de melhorar a produção, onde se observou que com esta filosofia <i>lean</i> , melhorou-se as condições de segurança, reduziu-se os tempos de operação e carga horária dos trabalhadores.
[16]	Implementação de conceitos <i>lean</i> numa Indústria de rolamentos, nomeadamente a ferramenta SMED. Com isto, estudou-se alguns parâmetros que poderiam ser melhorados na mudança de ferramentas durante o processo de forjamento. Deste modo, reduziu-se o tempo de mudança em 53%.

Título do Artigo	Descrição
[17]	Estudo das diferentes ferramentas <i>lean</i> aplicadas à produção de tijolos numa fábrica localizada na Nigéria. O objetivo deste estudo passa por investigar quais seriam os melhores conceitos a aplicar nesta produção de modo a reduzir os vários desperdícios. Para encontrar esses desperdícios, utilizaram-se alguns conceitos, tais como KANBAN, VSM e JIT, onde se conclui que o uso destas traria benefícios a nível da qualidade e redução de custos e tempo de produção.
[18]	Estudo da influência de ferramentas <i>lean</i> numa fábrica situada na Arabia Saudita. Para este estudo, realizaram-se vários testes para definir alguns indicadores de performance, tais como (VA) e (NVA) valor acrescentado e valor não acrescentado, onde através do value stream mapping (VSM) conseguiu-se reduzir estes tempos em 7,5% e 15,7%, respetivamente. No entanto, utilizaram mais ferramentas para resolução de novos problemas, o que proporcionou de uma forma geral o aumento da produção em 11,45%.
[19]	Neste trabalho, o principal objetivo passa por a implementação de uma metodologia em pequenas e medias empresas que permitisse melhorar o OEE de uma operação. Para isso, procedeu-se a recolha de informação necessária sobre os tempos de controlo da produção e de paragem de máquinas. Após esta análise, conclui-se que a disponibilidade era a principal lacuna deste posto, causando assim uma diminuição no OEE geral. Com isto, aplicou-se o diagrama de Pareto para uma melhor compreensão, onde a troca de ferramentas seria a principal causa de perda de tempo. Assim sendo, sugeriu-se a implantação do SMED, o que levou a um amentou do OEE geral de um intervalo entre 70% a 75% para 81% a 85%.
[20]	Neste caso de estudo, analisa-se a produção de folhas de plástico numa empresa, nomeadamente numa extrusora. Após a recolha de dados, constatou-se que o principal problema da diminuição do <i>overall equipment effectiveness</i> (OEE) relacionava-se com os grandes períodos sem produzir. Para isto, recorreu-se não só a um software de simulação (Arena) para criar vários cenários de resolução, como também a utilização do SMED. Conclui-se assim que a combinação destes elementos reduziu os tempos não produtivos em 36,7% e aumentou o OEE em 9,02%.

Título do Artigo	Descrição
[21]	Este estudo passa por a implementação de ferramentas <i>lean</i> numa Indústria alimentar, nomeadamente SMED e VSM. Com a utilização destas duas ferramentas foi possível reduzir os tempos de <i>set-up</i> em 34% e aumentar a capacidade de produção de 1% para 11%. Isto permitiu à empresa aumentar o número de horas de trabalho nos meses de maior procura. Este estudo mostra a melhoria do estado geral da empresa, frisando que quanto menos ferramentas se usar maior será eficiência da implementação.
[22]	Neste trabalho, utilizam-se a ferramentas <i>lean</i> VSM e VSD (<i>Value Stream Design</i>) para a melhoria da logística de uma unidade militar. O objetivo proposto seria melhorar o processamento do pedido de itens de reposição. A implementação destas ferramentas permitiu a redução do <i>lead-time</i> em 69,6% e o aumento de atividades de valor acrescentado de 44% para 70%.
[3]	Este trabalho, incide na implementação de uma ferramenta <i>lean</i> , nomeadamente VSM, numa Indústria vinícola. O objetivo deste estudo seria utilizar esta ferramenta como, a principal, na procura de desperdícios e posteriormente aplicar as restantes, caso fosse oportuno. Com isto, conclui-se que se atingiu uma redução de matérias-primas de 8% para 16% e uma redução do <i>lead time</i> entre os 50% e 65%.
[23]	Neste caso de estudo, o principal objetivo consiste na implementação de ferramentas <i>lean</i> , tendo como base o <i>standard work</i> . O problema encontrado nesta empresa, recaí no baixo (WIP) <i>work-in-process</i> de um posto de trabalho. A implementação desta ferramenta permitiu aumentar o rendimento do gargalo <i>bottleneck</i> da linha de produção em 304,7% e diminuir trabalho, que dita o ritmo da produção, em 37,5%.
[24]	O conceito deste estudo recaí na implementação de ferramentas <i>lean</i> numa pequena/média empresa da Indústria automóvel. O principal objetivo passa por a implementação das ferramentas <i>standard work</i> e <i>kanban</i> , onde estas vão ajudar no a padronizar a produção e na indicação/descrição das peças, respetivamente. Este trabalho concluiu que o tempo de ciclo e o tempo de <i>set-up</i> reduziram 350 segundos e 1500 segundos, respetivamente.

Título do Artigo	Descrição
[25]	Este caso de estudo, tem como objetivo implementar a ferramenta <i>standard work</i> (SW) numa empresa de impressões. Para isso, recolheu-se dados, tais como os movimentos dos operadores para posteriormente se identificar o desperdício. Com a implementação desta ferramenta, reduziu-se os movimentos dos operadores em 66% e o tempo padrão no posto passou de 244 para 199 segundos. Deste modo, a produção teve um aumento de 63,2%.
[26]	Neste trabalho, aplicaram-se ferramentas <i>lean</i> para a melhoria do desempenho de máquinas numa Indústria farmacêutica, nomeadamente no enchimento de garrafas. Para isso, recorreu-se a um programa de simulação para o cálculo do OEE, onde se registou que em alguns casos o OEE estava abaixo do pretendido (89%). Após a implantação do <i>lean</i> ágil conseguiu-se melhorar o desempenho de algumas áreas, onde se destacou a alteração do <i>design</i> de uma máquina que obteve uma melhora de 13,2%.
[27]	Este caso de estudo, foca-se numa unidade de manutenção e reparação de uma universidade pública. O objetivo deste estudo recai na implantação de ferramentas <i>lean</i> com o auxílio de um software de simulação e VSM. Para isso, faz-se um primeiro VSM para identificar os desperdícios atuais, sendo que o tempo de validação de uma ordem de trabalho seria o principal. Posteriormente recorreu-se a simulação para verificação de propostas de melhoria, o que levou a uma redução de lead time em 26,8% e uma redução de tempos de espera em 33.6%.
[28]	Este estudo tem como principal objetivo, a implementação de ferramentas <i>lean</i> na melhoria de um serviço hospitalar, através da padronização dos processos de logística. Para isto, implementou-se os 5s nos carrinhos de distribuição de medicamentos, observando uma melhoria na procura de medicamentos de 50,8 para 30,2 segundos. Seguidamente, aplicou-se o diagrama de espaguete para melhorar as trajetórias destes carrinhos, o que fez diminuir o tempo de entrega de medicamentos. No final, cerca de 92% dos pacientes reportaram que as entregas demoraram menos tempo e 86% satisfeitos com a procura dos mesmos.

Título do Artigo	Descrição
[29]	Este trabalho, foca-se na implementação de ferramentas <i>lean</i> numa Indústria alimentar, mais corretamente numa fábrica de chocolates. Primeiramente realizou-se um VSM para identificar <i>bottlenecks</i> o que levou a procura de processos com menor OEE. Seguidamente aplicou-se um diagrama de espaguete, o que permitiu identificar os movimentos desnecessários dos trabalhadores, onde se conclui que o novo layout permitiu reduzir o tempo de ciclo em 2,5 segundos. Em relação as restantes ferramentas, estas permitiram aumentar a produção geral em 40%.
[30]	Este trabalho, foca-se na melhoria de uma unidade fabril onde são produzidos bancos para automóveis de luxo. Para isso, foram implementadas ferramentas como VSM, o que levou a uma redução no tempo das atividades de valor não acrescentado de 105 para 34 minutos, redução de lead time de 2.55 para 2.238 dias. Em relação ao diagrama de espaguete, este melhorou o tempo de ciclo de 807 para 697 segundos, reduziu o número de trabalhadores e os movimentos dos mesmos. Isto tudo através da alteração de layout.
[31]	Neste caso de estudo, implantaram-se algumas ferramentas <i>lean</i> , com intuito de melhorar a eficiência e qualidade de um serviço de urologia hospitalar. Primeiramente recolheu-se dados tais como tempos de espera tempos de ciclo, volume de pacientes, entre outros. Com isto, realizou-se um diagrama de espaguete, onde foi possível reduzir o tempo medio de ciclo de 46 para 41 minutos a 90 dias. A redução de tempos de espera permitiu o aumento de tempo entre médico e paciente (7,5 para 10,6 minutos).
[32]	Este trabalho, tem como principal objetivo implementar a produção <i>lean</i> numa Indústria aeroespacial. Para isso, realizou-se uma configuração de layout para posteriormente reconfigurar de modo a reduzir os tempos de transporte. A ferramenta 5s foi utilizada para organizar o posto de trabalho e consequentemente criar melhor ambiente. O <i>standard work</i> foi utilizado para melhorar a eficiência da produção. A combinação destas ferramentas originou uma otimização da produtividade e diminuição dos tempos de ciclo.

Título do Artigo	Descrição
[33]	Este estudo, teve como principal objetivo mostrar quais seriam as ferramentas a usar na implementação do <i>lean</i> . Neste caso, estudaram-se várias empresas do setor têxtil, onde foram questionadas sobre a importância destas ferramentas. Após uma análise profunda nas empresas os autores chegaram a um modelo de implementação onde dividiram em vários níveis sendo estes: satisfação do cliente, <i>just in time</i> (JIT), <i>standard work</i> , melhoria contínua, gestão visual e políticas de implementação. Associado a esta divisão estão várias ferramentas. VSM é considerada uma ferramenta global, pode ser aplicada em todos os casos. Neste estudo, concluiu-se que estas ferramentas reduzem o lead time, melhoram a qualidade e reduzem inventário.
[6]	Neste caso de estudo, analisou-se o setor aeroespacial e de que forma as ferramentas <i>lean</i> o poderiam melhorar. Usaram-se várias ferramentas para o auxílio destas empresas, nomeadamente SMED, <i>PokaYoke</i> , <i>standard work</i> , entre outras. Com a implementação destas, conseguiu-se diminuir o tempo de ciclo em 43%, a eliminação de desperdício foi conseguida e o (WIP) de inventário foi igualmente diminuído. Em termos de logística, a metodologia <i>lean</i> adotada conseguiu diminuir 50% o custo de transportes com camiões.
[34]	Este trabalho, incide num caso de estudo realizado numa Indústria automóvel que pretende melhorar os fluxos da produção e minimizar os diferentes tipos de desperdícios. Para isso, utilizaram-se várias ferramentas tais como <i>kaizen</i> , <i>Gamba walk</i> , <i>kanban</i> , VS, espaguete. Com isto, reduziu-se em 90% os WIPs e tempo total de processamento em 50%.
[35]	Este caso de estudo, realiza-se numa Indústria têxtil, que pretende melhorar a produção de colarinhos de camisas. Para isso, utilizaram o diagrama de Pareto em conjunto com o A3 <i>problem solving</i> , o que resultou numa diminuição do tempo de produção em 87%. Este resultado, advém da alteração de uma máquina manual para automática.
[36]	Este trabalho, decorre num hospital, nomeadamente no estudo do processo de anestesia. O objetivo principal seria reduzir o tempo que não acrescentasse valor (VNA). Para isso, implementou-se a ferramenta VSM (value stream mapping) e o A3 <i>problem solving</i> , o que resultou numa diminuição de VNA.

Título do Artigo	Descrição
[37]	O caso de estudo realiza-se numa organização relacionada com a Indústria automóvel, nomeadamente na produção de cabos de aço. O objetivo passa por melhorar a produtividade na linha de montagem. Para isso, utiliza-se o método A3 problem solving para a melhoria de indicadores de produção e OEE (overall equipment effectiveness) da linha em questão. Com isto, conseguiu-se aumentar em 49% a produtividade e consequentemente diminuir o tempo de ciclo em 33%. As melhorias das operações permitiram também aumentar a eficácia da linha de montagem em 11%.
[38]	O trabalho desenvolvido, decorre numa organização multinacional ligada à Indústria automóvel, em específico na produção de peças. Com isto, implementaram-se indicadores de performance na área da manutenção, com o intuito de melhorar o nível de stock do armazém. Por outro lado, aplicou-se a metodologia SMED, o que permitiu reduzir o tempo de set up em 11%. Como também o uso da ferramenta 5S permitiu uma melhoria da organização dos moldes. Com isto, conseguiu-se um (OEE) de 90%.
[39]	Este caso de estudo, desenvolveu-se numa fábrica de produção de plásticos. O objetivo do estudo recai na implementação de ferramentas Lean na melhoria de dois produtos. Para isso, encontraram-se alguns parâmetros com potencial de melhoria. Após esta procura, implementaram-se ferramentas como 5S, VM, SMED e standard work, o que resultou numa redução de 70% no tempo de transporte na linha de pintura, aumento do OEE em 18% na linha de injeção. Em relação à pintura dos produtos mencionados, aumentou-se o OEE em 16% num produto e no restante 17%.
[40]	O estudo decorre numa organização da Indústria automóvel, onde o objetivo passa por melhorar a linha de produção através do aumento da capacidade de produção de modo a satisfazer o cliente. Para isso, definiu-se o objetivo de aumentar a capacidade de produção para 1800 peças por dia. As metodologias lean implementadas foram <i>standard work</i> , visual management e 5S. Estas permitiram um aumento de 37% da capacidade de produção e 22% de aumento do OEE.

Título do Artigo	Descrição
[41]	Este trabalho, desenvolveu-se em ambiente industrial, nomeadamente na gestão de consumíveis de equipamentos de manutenção. O objetivo recai na implementação de ferramentas <i>Lean</i> par a melhoria do departamento de manutenção. Para isso, recorre-se a ferramenta 5S para organizar o o armazém, onde a gestão visual ajudou a reduzir em 70% o tempo de procura pelos consumíveis. A melhoria do controlo de stocks conseguiu-se através da reformulação da ferramenta <i>Kanban</i> (cerca de 30%). Diminui-se o tempo de reabastecimento de consumíveis em 50% com a implementação do <i>mizusumashi</i> .
[42]	O estudo em análise, desenvolveu-se numa Indústria automóvel, onde se produz cabos para portas, janelas e assentos de carros. Cada modelo de carro exige cabos, pelo que a mesma máquina produz vários cabos diferentes. Ou seja, a redução do tempo de <i>set up</i> é uma prioridade. Para isso, implementou-se a metodologia SMED, o que resultou numa redução deste tempo em 58,3%.
[43]	O caso de estudo, decorre numa Indústria do setor automóvel, onde o principal objetivo incide em eliminar desperdícios e na padronização das operações. A implementação destas ferramentas permitiu aumentar a eficiência de duas máquinas, o que trouxe um aumento do (OEE) de 16%. Aumento de 70% para 86%.
[44]	Este estudo foca-se no setor industrial de rolhas de cortiça, onde o principal objetivo incide na melhora de um equipamento de montagem. Para isso, encontraram-se oportunidades de melhoria, para posteriormente implementar-se ferramentas como VSM (<i>value stream mapping</i>) e SMED (<i>single minute Exchange of die</i>). Estas, em conjunto com A3 <i>problem solving</i> resultaram numa diminuição de tempo de <i>set up</i> em 43%.
[45]	Este estudo, consiste na implementação de ferramentas lean numa produção de peças de corte. Com isto, o principal objetivo passa por encontrar e identificar os problemas de forma a conseguir solucioná-los. Para isso, recorre-se a combinação entre o ciclo PDCA, 5S e 5W2H para a implementação e verificação das melhorias. Em suma, a combinação destas três aumentou em 10% o tempo disponível dos operadores.

Título do Artigo	Descrição
[46]	Este projeto, desenvolveu-se numa Indústria metalúrgica, onde várias áreas foram identificadas como potenciais melhorias. O objetivo principal passa por eliminar desperdícios e aumentar a produtividade do setor da produção. Para isso, implementou-se VSM para mapear o fluxo e posteriormente SMED. Com isto, conseguiu-se diminuir o tempo de set up em 40% numa fresadora vertical e 57% numa horizontal.
[47]	O caso de estudo, tem como principal objetivo reduzir desperdícios através da identificação de operações grande valor acrescentado que enaltecem a produtividade. Com esta filosofia <i>lean</i> , conseguiu-se chegar a uma poupança de 2 milhões de euros aproximadamente 10,9%.
[48]	O estudo realiza-se numa Indústria metalúrgica, onde o objetivo reside em eliminar desperdícios através da otimização do processo, redução de custos e aumento da produtividade. Com isto, implementou-se a ferramenta (SMED), o que resultou num aumento do (OEE) em 10,8%.
[49]	O trabalho desenvolve-se numa empresa produtora de pavimentos em cortiça, onde o objetivo recai na redução em 15% do tempo de <i>setup</i> . Para isso, implementou-se (SMED), o que resultou numa diminuição de <i>setup</i> em 2 minutos.
[50]	Este caso de estudo, realiza-se em ambiente industrial, onde a metodologia usada foi o ciclo (PDCA). Com a implementação de cartas de controlo, conseguiu-se reduzir os desperdícios de 12% para 4% e reduzir o consumo de energia em 9%. Estes números contribuíram para a melhoria geral da empresa.
[51]	O caso de estudo, realiza-se numa Indústria do setor automóvel. O objetivo passa por reduzir o tempo de <i>setup</i> em 20%. Para isso, implementou-se a metodologia SMED, o que resultou na padronização da melhoria, na redução do tempo de <i>setup</i> em 38%, redução do <i>setup</i> interno da máquina em 53% e um aumento de OEE em 7,7%.
[52]	Este estudo realiza-se numa Indústria do setor de mobilidade elétrica, onde o objetivo principal recai na melhoria do processo produtivo. Para isso, implementaram-se ferramentas como <i>Kanban</i> , o que resultou numa diminuição do tempo de <i>changeover</i> em 14,9%.
[53]	Este caso de estudo, realiza-se numa Indústria do setor automóvel, onde o objetivo recai na melhoria do departamento de manutenção. Para isso, implementou-se o SMED onde resultou uma diminuição de 31% no tempo de verificação da tolerância de uma máquina.

Título do Artigo	Descrição
[52]	Neste caso de estudo, conseguiu-se encontrar uma simbiose entre ferramentas <i>lean</i> e a metodologia DMAIC, o que se designou por iLeanDMAIC. Esta simbiose, resultou na redução do tempo de <i>changeover</i> de 39 minutos para 17 minutos, representando assim um ganho de 44% na produção.

Após as revisões apresentadas, apresenta-se em seguida algumas das ferramentas mais utilizadas, sendo que a implementação das mesmas tem um grande impacto nas organizações.

2.1.4. Diagrama Ishikawa

Este diagrama, também conhecido como diagrama de causa efeito ou espinha de peixe, foi apresentado por Kaoro Ishikawa nos anos 60, no contexto de melhoria contínua, com o objetivo de representar as causas no “corpo do esqueleto” e o efeito na “cabeça” do peixe [54]

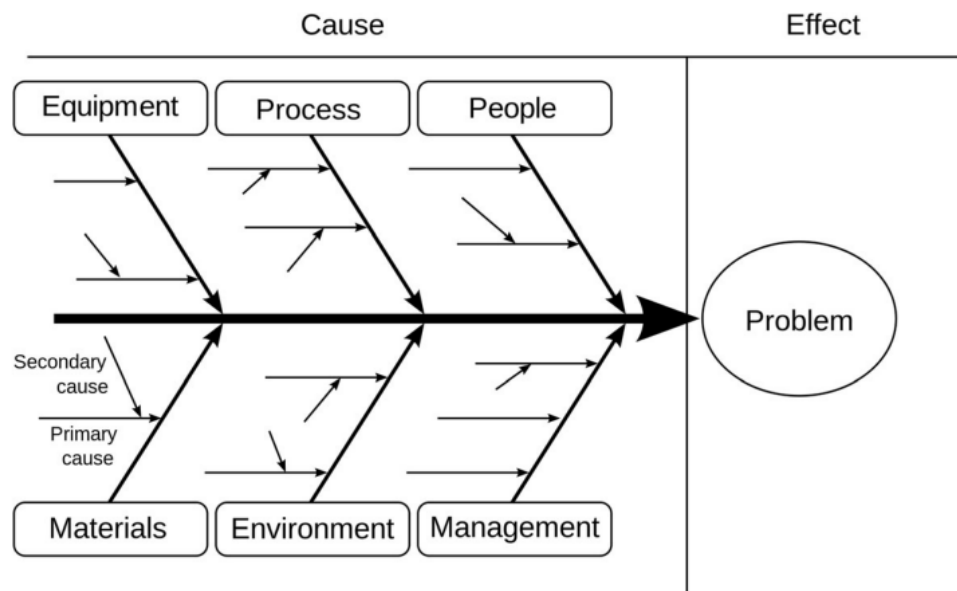


Figura 2 – Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe [54]

Normalmente as causas apresentam-se por 5 acrónimos: máquina, mão de obra, material, método e medição. Alguns autores, incluem ainda o ambiente. A partir destas categorias, começa-se a construir o diagrama, de forma a afunilar a informação para que no final se consiga obter um resultado. Contudo nem sempre as categorias se relacionam diretamente com o efeito, o que pode ser complicado para o foco do trabalho realizado [55].

2.1.5. A3 Problem Solving e Ciclo PDCA

A ferramenta A3 *problem solving* foi desenvolvida pela *Toyota Motor Corporation* em meados dos anos 60, onde providencia técnicas de resolução de problemas e de melhoria contínua. O conceito

A3, tem como base uma folha A3 suficientemente grande para caber toda a informação pertinente. Este método descreve-se como uma forma eficiente e consensual de tomar decisões complexas.

O relatório divide-se em dois lados, o esquerdo inclui o tema (*issue*), histórico (*background*), situação atual (*current situation*), objetivos (*goal*) e a análise das causas do problema (*root cause analysis*). O lado direito consiste nas condições (*target condition*), contramedidas (*countermeasures*), implementação e análise de custos (*implementation plan*), teste (*test*) da implementação e por último a verificação e acompanhamento do projeto (*follow up*). Em seguida apresenta-se uma Figura 3 com o layout da ferramenta A3 *problem solving* [56]

The figure shows the layout of the A3 Problem Solving tool, divided into two main sections: "Left Side" and "Right Side".

Left Side (PLAN):

- 1. ISSUE
- 2. BACKGROUND
- 3. CURRENT CONDITION
- 4. GOAL
- 5. ROOT CAUSE ANALYSIS

Right Side (DO, CHECK, ACT):

- 6. TARGET CONDITION
- 7. COUNTERMEASURES
- 8. IMPLEMENTATION PLAN (DO) 8. Put your 'fix' in motion. Includes a table with columns: What, Who, When, Outcome.
- 9. TEST (CHECK) 9. Does your 'fix' work?
- 10. FOLLOW UP (ACT) 10. Revise your 'fix' as needed!

Additional Elements:

- Header: Title, Sponsor, Author, Date.
- Section 3 includes a list of steps: 1. Define the problem, 2. Perform some background research, 3. Capture the 'as is' state, 4. Set a 'SMART' goal, 5. Figure out why the problem exists, 6. Craft the 'future state', 7. Define 'the fix'.
- Section 8 includes a table for COST and COST BENEFIT / WASTE RECOGNITION.
- A red "STOP" sign icon is located at the bottom center.

Figura 3 – Layout A3 Problem Solving [56]

A ferramenta A3 *problem solving*, baseia-se no ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), metodologia desenvolvida no ano de 1930 por Shewhart e mais tarde aperfeiçoada por Deming, sendo esta uma ferramenta de melhoria contínua. Esta ferramenta apresenta quatro etapas:

- Plan-Planear: definir os objetivos, identificar as oportunidades de melhoria para mais tarde priorizar. De certa forma, apresenta a fase atual do processo a ser analisado e as possíveis soluções.
- Do-Executar: nesta fase implementa-se o plano de ações, estas devem ser atingíveis e relevantes e realizadas no período estabelecido.
- Check – Verificar: Analisar e monitorizar as ações anteriormente implementadas. Faz-se uma comparação entre o antes e depois, caso não se cumpram os objetivos traçados deve-se voltar à primeira etapa.
- Act – Atuar: nesta fase deve-se padronizar as melhorias, caso estas tenham sido concluídas [57]

2.2. Breve Historia Indústria 4.0

A Indústria 4.0, apresenta-se como a quarta grande revolução industrial, que comanda a transformação da atualidade. No entanto, a máquina a vapor, inicia a primeira grande revolução industrial, sendo que esta ganha grande notoriedade em finais do séc. XVIII inícios do séc. XIX. A segunda revolução inicia-se no final do sec. XIX, com a invenção/utilização da eletricidade nos processos das grandes Indústrias, o que levou ao aparecimento da terceira revolução industrial no início da década de 60. Esta última, tem como base o uso de meios ICT (*Information and Communication Technology*), isto é, tudo o que envolve automação nas Indústrias.

O termo quarta revolução industrial, apresenta-se pela primeira vez em 2011, num evento realizado na Alemanha (Hannover Fair), onde, por sua vez, nasce a partir de uma iniciativa (*High-Tech Strategy*) lançada pelo governo alemão com o intuito de compreender as tecnologias usadas nas Indústrias [58].

A Indústria 4.0, caracteriza-se como a digitalização dos processos, ou seja, pela implementação de tecnologias inteligentes que fazem a conexão entre o mundo físico e biológico com o digital. Esta revolução, representa uma mais-valia para as Indústrias pois, permite uma maior flexibilidade e adaptação aos nichos de mercado e conseqüentemente aos requisitos dos clientes [59].

Por outras palavras, a adoção de informação e comunicação tecnológica, isto é, a convergência entre o campo físico e o digital, tem como designação CPPS (Cyber Physical Production System). Consiste numa rede de máquinas e componentes físicos que tenham a possibilidade de se ligarem via internet [60].

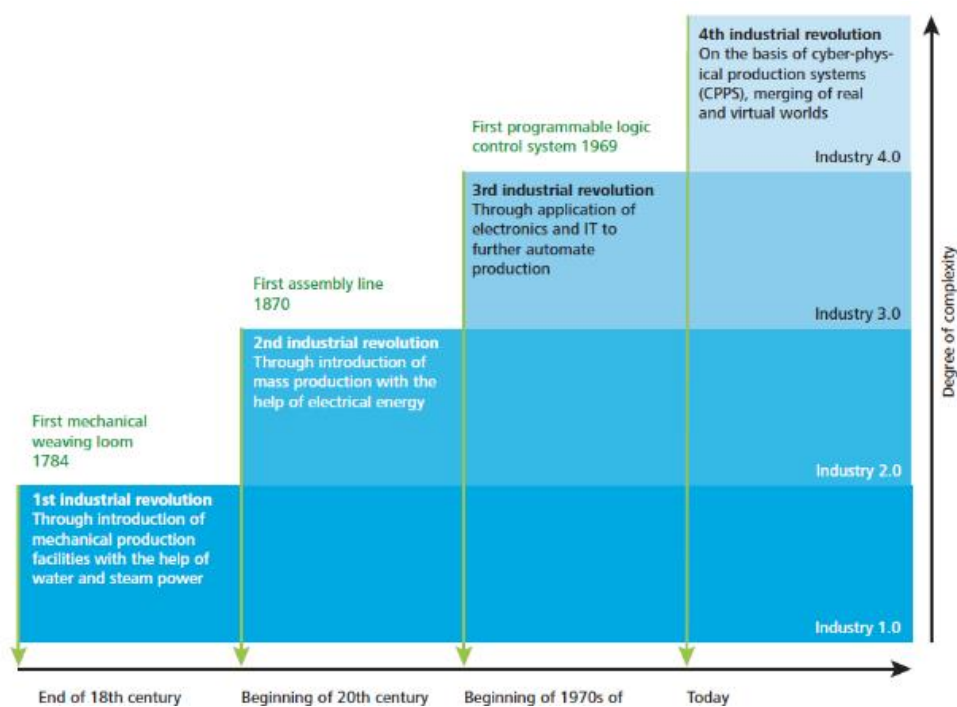


Figura 4 – Evolução Indústria 4.0 [39]

2.2.1. Pilares da Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0, representa-se não só por digitalização da Indústria, como também por um conjunto de pilares que englobam todo o processo de revolução industrial. Para isso, construiu-se uma Tabela 5 com a descrição de todos os conceitos associados a esta nova Indústria.

Tabela 5 – Pilares Indústria 4.0

Conceitos	Descrição
Big Data	Armazenamento de grande quantidade de dados, baseado em três princípios: volume, velocidade e variedade.
Robôs Autônomos	Tecnologia autónoma que realiza tarefas através de sensores.
Simulação	Uso de tecnologia virtual com intuito de utilizar possíveis cenários.
Integração vertical e horizontal de sistemas	Sistema de comunicação de dados entre departamentos diferentes.
Internet das coisas industrial	Utilização de tecnologia de automação para processos industriais.
Cloud computing	Permite o armazenamento de dados na Cloud.
Fabricação Aditiva	Tecnologia que permite a produção de novos produtos normalmente em impressões 3D.
Realidade Aumentada	Tecnologia 3D tem como objetivo melhorar a produtividade.
Ciber Segurança	Essencial para a proteção de dados.

2.2.2. Casos de Estudo – Validação de Conceitos

Neste capítulo, encontram-se vários casos de estudo analisados com o propósito de encontrar quais seriam as principais aplicações dos conceitos mencionados. Para isto, posteriormente, apresentaram-se análises das diferentes metodologias praticadas nos diferentes contextos industriais. Posto isto, encontram-se na Tabela 6 os casos de estudo analisados.

Tabela 6 – Validação de Conceitos

Referências	Descrições
[61]	O caso de estudo, realizou-se numa fábrica onde o principal objetivo seria melhorar a manutenção de uma máquina CNC. Para isso, implementou-se uma ferramenta de realidade aumentada, onde esta proporcionou uma monitorização constante da máquina e possibilitou ao operador verificar o estado atual da mesma. Através desta ferramenta, foi possível recolher dados para que futuramente o plano de manutenção seja otimizado de modo a conseguir uma melhor performance do CNC.

Referências	Descrições
[62]	O principal objetivo deste estudo, recai na melhoria da estratégia de manutenção de um motor tendo em conta os conceitos da Indústria 4.0. Para isso, fez-se a análise de dados de um sensor de vibração através de um PLC que envia a informação para um sistema SCADA onde este está ligado a um sistema de interface. Neste último, processa-se e visualiza-se a informação relevante para a otimização do plano de manutenção. Conclui-se que a implementação desta ferramenta ajuda na redução de intervenções de manutenção.
[63]	Este caso de estudo tem como objetivo a implementação de um modelo piloto de manutenção proativa para uma máquina de uma empresa portuguesa. Este projeto segue as normas apresentadas no MANTIS, projeto europeu baseado na construção de uma plataforma de manutenção proativa. Posto isto, realizou-se a recolha de dados fornecidos por 50 sensores existentes na máquina, onde este foram armazenados na CLOUD, via <i>Bluetooth</i> , para posteriormente serem analisados por um modelo matemático de previsão de falhas. Com isto, o técnico de manutenção poderá visualizar em tempo real os dados e escalonar manutenções necessárias.
[64]	Neste estudo, realizou-se uma simulação recorrendo ao programa EXTENDSIM, com o intuito de melhorar a produção global da empresa fabricante de bombas injetoras para automóveis. Para isso, utilizou-se o software e fez-se uma estrutura hierárquica da produção de modo a analisar individualmente cada posto de trabalho. Este método permitiu melhorar a produção em 56% relativamente à configuração anterior.
[65]	Este caso teve como principal objetivo a simulação das filas de espera na passagem pela segurança de um aeroporto situado na polínia, para isso recorreu-se ao software FlexSim para diminuir os tempos de espera. Posto isto, analisaram-se vários cenários com diferentes propósitos, onde os mais relevantes seriam a melhoria do número de pessoas na fila de 45 para 30 pessoas e o tempo de espera media reduzido de 11 para 7 minutos

Referências	Descrições
[66]	O estudo em causa, tem como objetivo a melhoria do planeamento da manutenção numa Indústria de moldes. Para isso, implementou-se um sistema CPS onde através deste se conseguiu recolher dados em tempo real para posteriormente serem analisados. Após esta análise, demonstrou-se a possibilidade de aumentar a performance da produção de moldes e redução e custos.
[67]	O caso de estudo, recai na implementação de uma fábrica piloto que engloba algumas tecnologias da Indústria 4.0. O objetivo seria aprender como uma fábrica 100% digital se organizava e trabalhava. Algumas das tecnologias apresentadas seriam: impressão 3D, simulação <i>digital twin</i> , recolha de dados em tempo real. Este estudo é meramente representativo pois ainda estaria numa fase muito inicial.
[68]	O caso de estudo tem como objetivo sensibilizar o leitor dos principais aspetos que se deve ter em causa na implementação de tecnologias da Indústria 4.0 em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Neste caso, provou-se, através de um estudo feito em 27 empresas brasileiras de diferentes setores, que em algumas empresas a implementação da Indústria 4.0 não teria nenhum tipo de melhoria na produção global, isto porque não haveria condições que o proporcionassem.
[58]	Este caso de estudo, realiza-se na Bottega Veneta, empresa Itália de marcas de luxo. O estudo tem como objetivo implementar tecnologias da Indústria 4.0 para a melhoria da produção. Para isso, procedeu-se a recolha de dados para posteriormente se implementar uma ferramenta de decisão, com o objetivo de realizar diferentes cenários. Isto tudo, com o intuito de tomar a melhor decisão.
[69]	O caso de estudo, tem como objetivo testar uma abordagem diferente de um sistema MES, onde este tem por base um sistema Android. Ou seja, usou-se uma aplicação em telemóveis android, onde nestes se visualiza toda a informação disponível sobre, neste caso, máquinas CNC. No final, apresentaram-se resultados positivos na recolha de dados feita para a implementação desta aplicação.

2.3. Discussão da Revisão Bibliográfica

De acordo com a revisão bibliográfica exposta no capítulo 2, analisaram-se mais de 50 artigos científicos referentes à implementação de ferramentas *Lean*, dos quais se salientam os seguintes resultados. No que diz respeito à ferramenta VSM (*value stream mapping*) concluímos que esta foi implementada em 20 artigos, sendo por isso o método utilizado com maior frequência. Posteriormente, utilizou-se o SMED em 16 artigos distintos, o que também demonstra ser um método bastante utilizado. Por último, aplicou-se as técnicas como indicadores *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e *standard work* em 9 artigos o que também releva a magnitude destas duas.

Apesar das técnicas suprarreferidas terem sido as mais utilizadas no decorrer da revisão bibliográfica, isto não implica que não haja outros métodos mais adequados ao caso concreto. Efetivamente, para o projeto aqui desenvolvido algumas das ferramentas não tão mencionadas nos artigos, tais como 5W2H, 5 *why's* e diagrama de *Ishikawa*, tiveram um enorme impacto nos resultados obtidos.

Neste contexto, deu-se maior foco à utilização da ferramenta A3 *problem solving*, técnica esta que também não se enquadra nas mais recorrentes. Isto porque, após se ter encontrado o foco inicial do problema através do software SCADA, utilizou-se o A3 *problem solving*, visto ser um método concreto e eficaz de estruturar problemas (mesmo que aparentemente estes não sejam visíveis à primeira vista) e posteriormente a equacionar soluções para a melhoria do equipamento.

Para uma maior eficácia do método A3 *problem solving*, recorreu-se à utilização de diferentes ferramentas de forma conjunta, isto é, na procura dos problemas aplicou-se o diagrama de *Ishikawa*, para encontrar a causa raiz do problema utilizou-se a técnica 5 *why's* e para implementar as propostas de melhorias recorreu-se à ferramenta 5W2H.

Contudo os estudos pelos quais se iniciou o desenvolvimento deste projeto, poderiam ter levado a um nível mais extenso, no sentido em que se poderiam ter analisados mais artigos. É de salientar o facto desta ferramenta ter sido eficaz (ainda que pouco referida nos artigos), na medida em que foi devidamente aplicada e, portanto, não carece de validação. Esta ferramenta também impactou de forma positiva na organização, acrescentando valor ao equipamento analisado.

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se a fase de desenvolvimento do projeto, começa-se por apresentar as unidades industriais existentes, segue-se para uma explicação do processo da unidade em estudo e subunidade onde incidiu o *core* deste projeto. Após esta explicação, introduz-se a metodologia *A3 problem solving* com todos os parâmetros e finaliza-se com as melhorias propostas.

3.1. Apresentação e análise do processo estudado

Neste capítulo, apresenta-se a unidade industrial onde foi elaborada a dissertação presente, começando por contextualizar a unidade em questão no *core* da empresa. Assim sendo, a empresa divide-se em cinco unidades industriais:

1. Trituração de cortiça
2. Aglomerados de cortiça com borracha
3. Aglomerados de cortiça
4. Aglomeração contínua de cortiça
5. Moldação e extrusão de cortiça

Posto isto, o estágio decorreu na unidade de “Trituração de cortiça” denominada de GMT (*Grain Material Technology*), que corresponde a parte inicial de todos os processos de compósitos de cortiça. Com isto, a unidade em questão é responsável pela receção da matéria-prima, sendo que esta apresenta vários formatos e tamanhos. De forma a facilitar a compreensão de todo o processo, analisaram-se individualmente todas as subunidades do GMT, onde a matéria-prima vai ser processada e transformada em vários tipos de granulados, sendo que estes vão ser classificados por densidade e dimensão. Em relação ao primeiro, este divide-se em baixa densidade (BD), média densidade (MD) e por fim alta densidade (AD). Em relação ao segundo, este divide-se por intervalos granulométricos, sendo que estes são definidos pela unidade industrial, consoante as necessidades tanto dos clientes internos (outras unidades da empresa), como dos externos. Para melhor compreensão, apresenta-se na Tabela 7 o esquema de todas as classificações.

Tabela 7 – Descrição Material Triturado

Descrição	Granulometria (mm)	Peso Específico (Kg/m ³)
BD 0,5/1	0,5-1	55-75
BD 1/2	1-2	55-75
BD 2/3	2-3	55-75
BD 3/4	3-4	55-75
BD 4/5	4-5	55-75
MD 0,5/1	0,5-1	75-90
MD 1/2	1-2	75-90

Descrição	Granulometria (mm)	Peso Específico (Kg/m ³)
AD 0,5/1	0,5-1	100-120
AD 1/2	1-2	100-120
AD 2/3	2-3	100-120

Em seguida, apresenta-se na Figura 5 esquema da subdivisão da unidade industrial, tendo esta três triturações, dois reprocessamentos, secagem e por fim embalagem. Todas as subunidades representadas abastecem as produções das restantes unidades industriais, excetuando a 1ª trituração e o reprocessamento 1 que podem expedir material em forma de matéria-prima, através do embalamento da mesma.

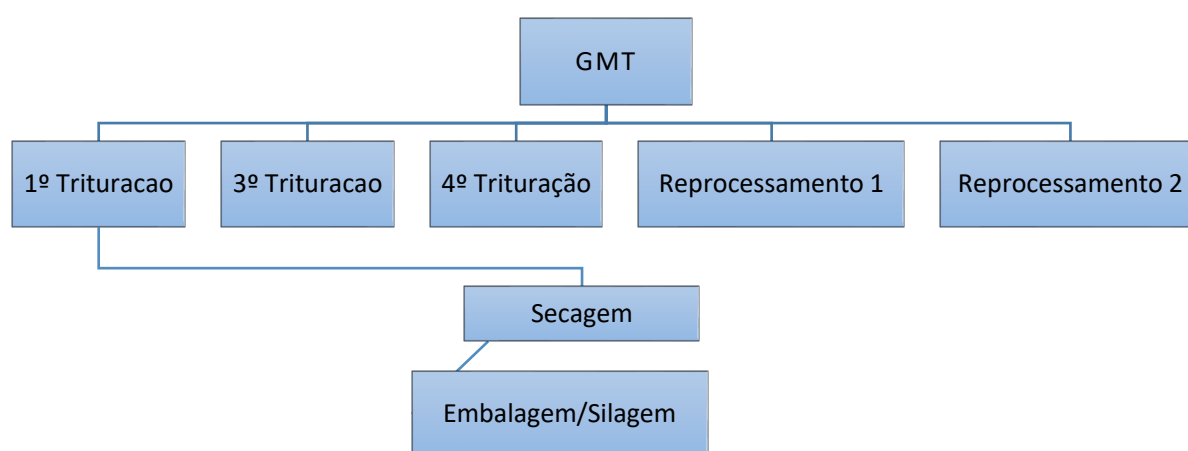


Figura 5 – Unidade GMT

Como mencionado anteriormente, a unidade industrial divide-se em três triturações. A 1ª trituração recebe a maior variedade de matéria-prima em diversos formatos. Do mesmo modo, mas em menor escala, a 3ª trituração é normalmente usada para consumir matéria-prima com características especiais. A 4ª trituração, ocupa-se de triturar desperdícios internos. Em relação ao reprocessamento 1, este produz material especializado de baixa densidade o que torna de alto valor, normalmente utilizado na industrial automóvel, aeroespacial e calçado. No reprocessamento 2, produz-se material de alta densidade principalmente usado nos *underlay* – revestimento de pavimentos - e como *infills* de cortiça nos pavimentos desportivos.

Para melhor compreensão de todo o processo, apresenta-se nos capítulos seguintes uma explicação detalhada da primeira trituração pois esta representa a maior percentagem de consumo de matéria-prima e do reprocessamento 1, pois foi onde incidiu o estágio e a dissertação.

3.1.1. Primeira Trituração

Como mencionado anteriormente, a unidade industrial divide-se em três triturações. A 1ª trituração recebe a maior variedade de matéria-prima em diversos formatos tais como: aparas de

costa (Figura 6), falca, refugo cru e cozido (Figura 6b), triturado (Figura 6c), como apresentado nas figuras.



Figura 6 – Apara de costa a); Refugo cru e cozido b); Triturado c)

Deste modo, a matéria-prima fornecida vai ser transportada via camião até às baias (Figura 7) de alimentação, onde consoante as diferentes tipologias que apresenta, separa-se pelas baias em questão. Posteriormente, combinam-se os diferentes tipos de matéria-prima, de acordo com as especificações pretendidas para o produto final. Este processo é feito através de uma pá carregadora que introduz os diferentes materiais num alimentador, sendo este composto por um tapete vibratório – encaminhamento e doseamento do material - e por um moinho destroçador (MDT). Este moinho é responsável pela primeira fase da trituração da cortiça, ou seja, parte e reduz o tamanho original, tendo na sua arquitetura um sistema de rotor com laminas e contra faca (Figura 8).



Figura 7 – Baia 5



Figura 8 – Moinho Destroçador “MDT”

Após este moinho, o material vai ser extraído do equipamento numa conduta através de um transporte pneumático, onde se encontra montado um dispositivo de filtragem denominado de “tira-pesados” Figura 9 . Este serve para retirar materiais pesados, como ferros e pedras, sendo que estes são prejudiciais para a vida útil dos equipamentos.



Figura 9 – Tira Pesados

Em relação aos transportes utilizados na unidade, estes podem ser de três tipos: transportes por gravidade, transporte por parafuso sem fim (TSF), e transporte pneumático (Figura 13). No primeiro, a queda de material é feita pela ação da gravidade, no TSF o transporte efetua-se através da rotação de um veio com pás helicoidais o que vai permitir a movimentação do material na horizontal ou com uma inclinação máxima de 45°. Por último, nos transportes pneumáticos associam-se sempre três equipamentos sendo este: um ventilador, responsável por transportar o ar e a matéria-prima, um ciclone, para encaminhar o material para o equipamento e um filtro que remove os pós na saída do ciclone, provenientes da trituração do material. No final deste processo encontra-se uma eclusa Figura 10 para dosear o material do equipamento.



Figura 10 – Transporte Pneumático

Em seguida, o material é transportado para dois peneiros, com o objetivo de fazer a primeira separação granulométrica. Realiza-se através de várias redes com tamanhos cada vez menores, auxiliado por uma vibração e inclinação, este equipamento repete-se mais três vezes ao longo de todo o processo. Após os peneiros (Figura 11), encontram-se três balanças para controlo de processo, onde duas quantificam a matéria-prima que segue para o processo, e a restante o material rejeitado que por sua vez é enviado para alimentar as caldeiras.



Figura 11 – 1º Peneiros

Seguidamente, encaminha-se o material para um equipamento desenvolvido para esta Indústria, “PopCork” Figura 12. Este equipamento através da injeção de vapor a pressão e temperatura controlada, vai expandir a cortiça, ou seja, vai aumentar o tamanho de grau da cortiça e consequentemente baixar a massa volúmica. Este processo vai permitir aumentar a rentabilidade, pois quanto maior for o tamanho de grão mais triturado se consegue produzir. Na parte final deste processo encontram-se novamente um “tira pesados” e uma balança para controlo do processo.



Figura 12 – Pop Cork

Neste momento, a cortiça apresenta um nível de humidade acima do pretendido (maior 7%), devido a injeção de vapor de água. Por isso, apresenta-se na etapa seguinte um secador horizontal rotativo (Figura 13), permitindo a secagem e homogeneização do material. Após este processo, encontra-se a segunda peneiração, processo idêntico ao descrito anteriormente, com diferença no tamanho de redes. No interior do primeiro peneiro encontram-se redes de maior tamanho, isto é, o material vai sair desta peneiração com um tamanho de grão maior. No segundo peneiro, o processo é igual, mas as redes são de tamanho menor.



Figura 13 – Secador Horizontal

Nesta fase do processo, procede-se a uma segunda moagem, ou seja, o material sofre a primeira grande redução granulométrica. De acordo com o peneiro onde o material se encontra, este vai ser encaminhado para um moinho de facas específico. Estes moinhos, tem na sua composição um rotor com uma série de facas nas extremidades (Figura14 b) e um crivo fixo com perfurações (Figura14 c), que opera como contra faca. Deste modo, o “corte” do material é feito pelo contacto das facas com o crivo.



Figura 14 – Moinho de facas a); Rotor com facas b); Crivo c)

Após este moinho, o material apresenta um tamanho de grão reduzido, pelo que vai ser necessário separar este material por intervalos granulométricos. Para isto, recorre-se a um equipamento semelhante aos peneiros, denominado de Rotex ou crivos calibradores (Figura 15) que tem uma arquitetura idêntica, mas com uma eficiência de separação maior. A grande diferença entre estes, reside no maior número de redes e no movimento circular para melhor separação do material. O objetivo final deste processo, passa por dividir em granulometrias standard, sendo que a cortiça que é rejeitada serve de input para as caldeiras e a que se encontra acima do limite desejado é reprocessada.



Figura 15 – Rotex

Na parte final desta separação, apresenta-se a uma nova divisão, neste caso por densidades. Para isto, recorre-se a separados gravíticos ou mesas densimétricas (Figura 16) , sendo que este são identificados pelo material que as alimentam, ou seja, cada intervalo granulométrico realizado no

processo anterior vai ser distribuído para uma densimétrica específica. Este equipamento segue o mesmo princípio de rejeição dos anteriores, o material que apresente uma densidade muito superior ao esperado encaminha-se para as caldeiras, sendo que o material ligeiramente fora de especificação encaminha-se para um reprocessamento.



Figura 16 – Mesas Densimétricas

No final deste processo, encaminha-se o material para silos e associa-se uma balança a cada produto, com o objetivo de controlar o processo e o rendimento da trituração.

3.1.2. Reprocessamento 1

O reprocessamento 1 acolhe matérias-primas provenientes da primeira trituração, através de ligações por condutas e transportes pneumáticos, e de matéria-prima de compra introduzida nas duas baias específicas desta subunidade. FALATA

Deste modo, consoante a especificidade da matéria-prima este pode ser distribuído pelas duas baias, sendo que na baia 5 entra material de maior dimensão e na baia 6 de menor.

Em relação a baia 5, o matéria-prima inicia o seu processo num buffer com saída de transporte sem fim, posteriormente encaminhado através de um transporte pneumático para um moinho de facas denominado de PPS (Figura 17). Este moinho tem uma característica diferenciadora, o rotor tem nas extremidades facas e um crivo com perfurações, sendo que a rotação do rotor e do crivo podem ser contrárias. Isto vai fazer com que a eficácia de corte seja bastante superior, ou seja, o equipamento aguenta um maior fluxo de entrada de material, o que consequentemente aumenta a rentabilidade do processo. É importante frisar que para controlo deste equipamento, existe uma balança na entrada do mesmo.



Figura 17 – Moinho de facas PPS

Na baía 6 e em paralelo com a primeira trituração, o material é encaminhado e armazenado num silo através de transportes pneumáticos. No final deste silo, encontra-se um transporte sem fim com inclinação, com o objetivo de encaminhar o material para uma balança e posteriormente para dois moinhos de impacto (MIM). Estes dois equipamentos, têm um mecanismo de funcionamento semelhante aos restantes, ou seja, rotor com facas em rotação e crivo fixo, a principal diferença reside no crivo sendo que este tem perfurações bastante menores com o objetivo de moer o material. Para melhor compreensão apresenta-se a Figura 18.



Figura 18 - Moinho de Impacto "MIM"

Após o processo de moagem tanto no (PPS) como nos (MIM), o material encaminha-se para dois Rotex/ crivos calibradores onde se procede a divisão por granulometrias. Neste equipamento, a rejeição de material envia-se para um silo com o objetivo de ser reprocessado. O material rejeitado encontra-se com um tamanho de grão superior ao previsto. Seguidamente, por ação da gravidade, encaminha-se para quatro mesas densimétricas, dividindo-se por densidades.

Por fim, na saída de cada densimétrica encontram-se balanças para controlo do processo e os canais de expedição do material. Sendo que este podem ser para sacos, Big Bag variados e silos. Para melhor compreensão do processo encontra-se na Figura 19 a ilustração do processo final.



Figura 19 – Big Bag

3.2. Contexto e Maturidade Digital do Reprocessamento 1 - SCADA

Neste capítulo apresenta-se o nível de digitalização e a fase temporal do projeto de implementação do software SCADA na unidade do GMT e subunidade do reprocessamento 1. A implementação foi inicialmente projetada para 2 anos, sendo que o estudo incidiu no final do primeiro ano. Escolheu-se esta subunidade, como objetivo de estudo, pois apresenta um nível de digitalização superior as restantes.

Posto isto, utiliza-se o software AVEVA para visualização em tempo real do processo e aquisição de dados relativos a alarmes, velocidades, rotações etc. Estes dados, vão permitir calcular indicadores de produção e manutenção através da análise dos mesmos. Para isso, é necessária uma arquitetura bem estruturada, onde a conectividade entre os vários elementos tem de ser assegurada. Apresenta-se a (Figura 20) com um esquema de todos os elementos necessários.

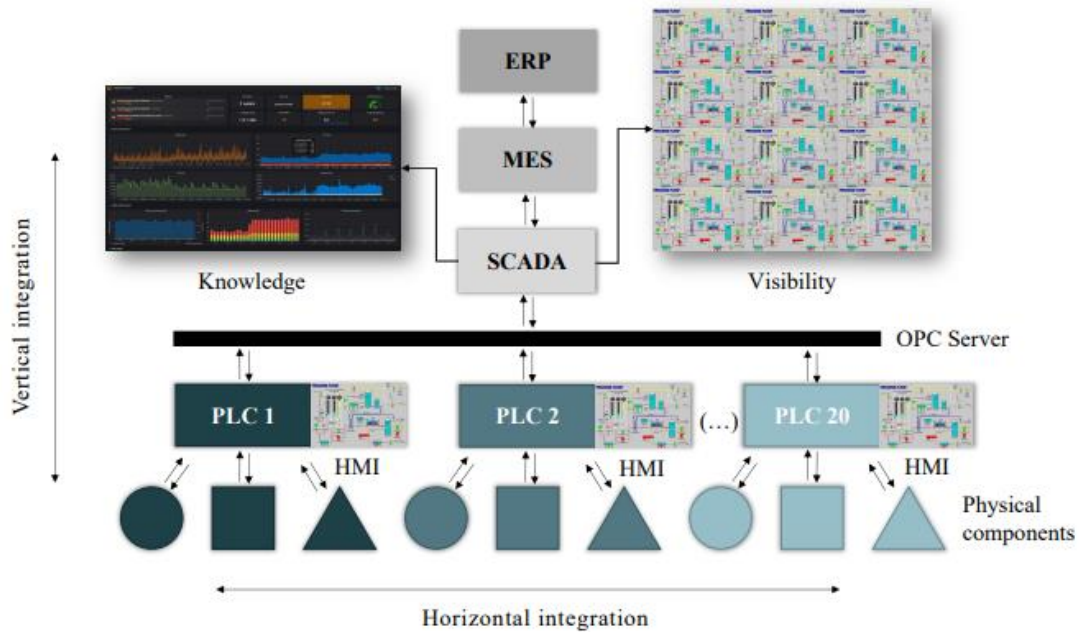


Figura 20 – Implementação Vertical e Horizontal SCADA

Na Figura 20, encontra-se o processo de funcionamento, sendo que no primeiro nível encontram-se os elementos físicos (sensores/atuadores) que comunicam com uma HMI (*human machine interface*) Figura 21, ou seja, neste ecrã apresenta-se o fluxo da linha em questão onde, não só consegue-se controlar os atuadores, como também visualizar todos os alarmes ativos.

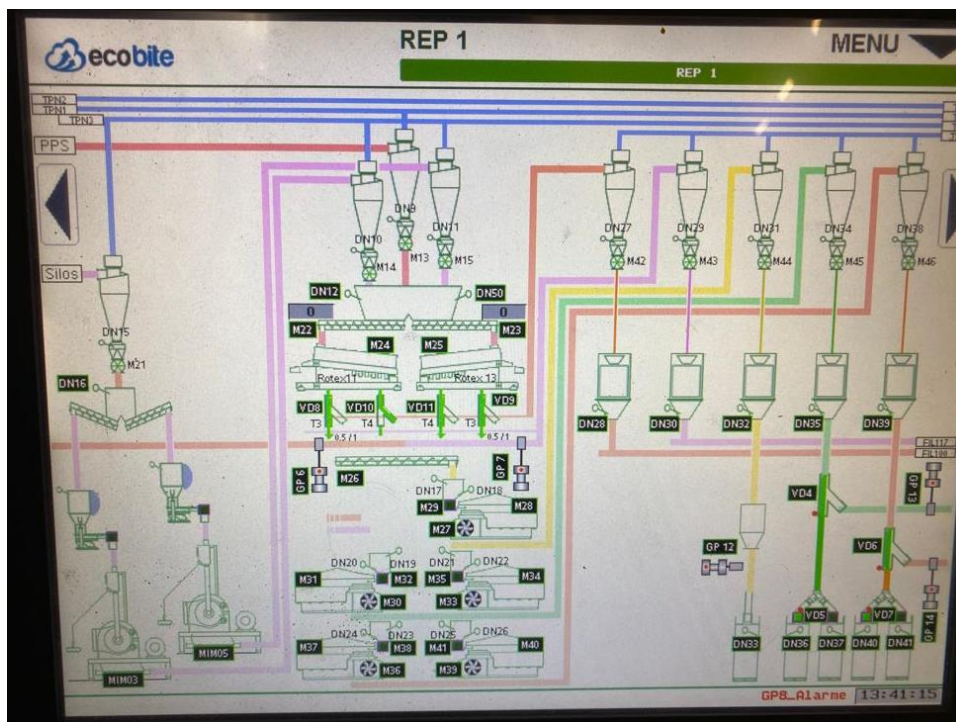


Figura 21 – HMI Reprocessamento 1

As HMI por sua vez comunicam com OPC server e finalmente com o *software* SCADA. Em relação ao primeiro, este processa e transforma a informação de acordo com padrões específicos,

comunica posteriormente com o software onde apresenta a informação relativa de todos os sensores. Por último, no *software* encontra-se informação e analítica de acordo com o que o departamento do GMT solicita.

Deste modo, começa-se por estudar toda a sensorização existente na linha do reprocessamento 1, através de uma lista excel de sinais fornecida pela unidade (apêndice A), desenhada especialmente para o *software* (SCADA). Esta lista vai servir como *input* para o software, onde a caracterização destes sinais varia consoante o tipo de sensores e atuadores utilizados, sendo que estes podem ser dos seguintes tipos:

- DN – Detetor de Nível (sensor)
- M – Motor (atuador)
- GP – Guilhotina Pneumática (atuador)
- FC – Fim de Curso (atuador)
- VD – Válvula de Desvio (atuador)

Estes tipos de sensores e atuadores, estão normalmente associados a equipamentos, o que leva a uma descrição pormenorizada do mesmo. A título de exemplo: DN4_Bal.PPS, este sensor é do tipo detetor de nível associado à balança do equipamento PPS, este vai medir o nível de enchimento da balança (Figura 22).

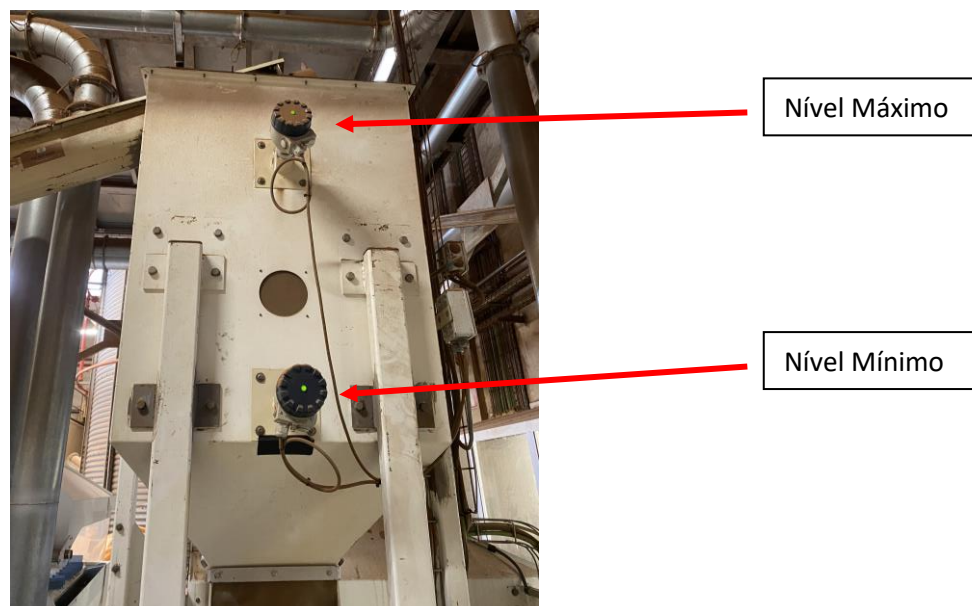


Figura 22 – Detetor de Nível

3.3. Aplicação Metodologia A3 Problem Solving

Com o objetivo de melhorar o processo produtivo do equipamento PPS, o departamento do GMT escolhe o método *A3 Problem Solving* como ferramenta de auxílio para o projeto proposto.

O objetivo principal incide na melhoria do processo dos equipamentos, nomeadamente no aumento da taxa de consumo dos equipamentos, sendo que estas análises são auxiliadas por uma base de dados recolhida no software de monitorização anteriormente mencionado.

3.3.1. Layout A3 Problem Solving

Este layout baseia-se nas quatro fases do ciclo PDCA, ou seja, nos pontos 1 a 4 encontra-se a fase do planeamento com a definição do problema, quantificação da situação atual, os objetivos e a análise das causas. Os pontos 6 e 7, correspondem a fase de execução onde são apresentadas as propostas de melhoria e o plano de ações. Por último, apresenta-se a fase da verificação e acompanhamento do plano Figura 23.

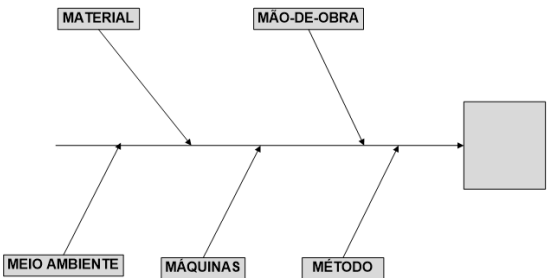
1 – TEMA:	5 – ANÁLISE DAS CAUSAS:																												
2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA:																													
3 – QUANTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ACTUAL:	6 – PROPOSTAS DE MELHORIA:																												
4 – OBJECTIVOS:	8 – PLANO DE VERIFICAÇÃO:																												
<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • • • • • 																												
	7 – PLANO DE ACÇÕES:																												
<ul style="list-style-type: none"> • • • 	<table border="1" data-bbox="802 1173 1398 1294"> <thead> <tr> <th data-bbox="802 1173 997 1196">Quê?</th> <th data-bbox="997 1173 1192 1196">Quem?</th> <th data-bbox="1192 1173 1398 1196">Quando?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Quê?	Quem?	Quando?																								
	Quê?	Quem?	Quando?																										
<ul style="list-style-type: none"> • • • 	<ul style="list-style-type: none"> • • • 																												

Figura 23 – Layout A3 Problem Solving

3.3.2. Tema e Definição do Problema

Tendo por base os pontos anteriormente explicados, inicia-se o projeto com a defenição do problema. O objetivo deste primeiro ponto é descrever o assunto onde vai incidir todo o projeto, sendo este o controlo e melhoria do processo do moinho de facas PPS.

Este equipamento, como mencionado anteriormente, tritura grãos de maior dimensão em três turnos de 6h cada, num período de 5/6 dias por semana.

Em relação ao segundo ponto, recorre-se ao sistema cubo MES, onde estão armazenados todos os dados relativos ao consumo do equipamento em cada turno, e faz-se uma média do consumo dos meses de março e início de abril, perfazendo um total de 50 dias observados. Neste ponto percebe-

se que não existe uma taxa de consumo constante entre turnos, ou seja, o processo não se encontra em controlo/estabilizado.

Através do software de monitorização, verifica-se que o alarme DN4_Bal.PPS, responsável por detetar o nível de enchimento da balança, ativa inúmeras vezes durante um o período de observação de 25 dias, efetuados entre fevereiro e início de março. Isto significa que quando ativo, o alarme, interrompe automaticamente o processo de alimentação do equipamento PPS, o que vai originar uma alimentação não constante. Sendo um alarme, este não deveria estar ativo numa quantidade tao elevada. Consequentemente o esforço do equipamento medido pela intensidade de corrente (Ampere) também tem um comportamento idêntico, pelo que vai ser alvo de análise.

3.3.3. Quantificação da Situação Inicial

Como mencionado anteriormente, apresentam-se na Tabela 8 os dados relativos á média da taxa de consumo do equipamento PPS e desvio padrão. Para controlo do processo definiu-se o período de 50 dias como referência. A tabela do consumo diário encontra-se no APÊNDICE A.

Tabela 8 – Consumo e desvio padrão PPS

Media Consumo (Kg)	Desvio Padrão (Kg)
3591,80	809,03 (23%)

Para isso, utiliza-se o software com a lista de sinais atualizada como input da análise dos dados. Posto isto, inicia-se o processo de extração de dados do software para o programa Excel, estes dados estão inicialmente organizados por data, hora, nome do alarme, descrição e por último a duração (s). A análise seguinte tem como dimensão da amostra 25 dias, sendo estes relativos aos meses de fevereiro e início de março. Com isto, inicia-se a primeira análise relativa ao número de vezes que os alarmes ativam, onde se construiu uma tabela pivot (APÊNDICE A), como forma de auxílio de tratamento da grande quantidade de dados. Nesta Tabela 9, inclui-se apenas as descrições dos alarmes e o somatório do número de vezes que cada alarme ativa, de forma a perceber quais os alarmes com maior número ativação. De forma a facilitar a análise, considera-se os dez alarmes com maior quantidade de ativação.

Tabela 9 – Descrição de Alarmes

Descrição Alarme	Quantidade (unidade)
DN16_Tolva MIMs	13535,00
DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00
DN33_ BB. 0,25/0,5	78,00
DN36_BB1. 0,5/1	230,00
DN37_BB2. 0,5/1	233,00
DN4_Bal.PPS	20310,00

DN40_BB1. 1/2	370,00
DN41_BB2. 1/2	264,00
Transporte Terras Desligado	100,00
Transporte Excedentes Desligado	96,00
VD5_Alarme	78,00

Com esta informação, recorre-se ao diagrama de Pareto com o objetivo de encontrar os alarmes mais críticos para, posteriormente, efetuar uma análise aprofundada. Posto isto utiliza-se a tabela 8 para recolha de dados. Na Figura 24 encontra-se o diagrama de Pareto utilizado.

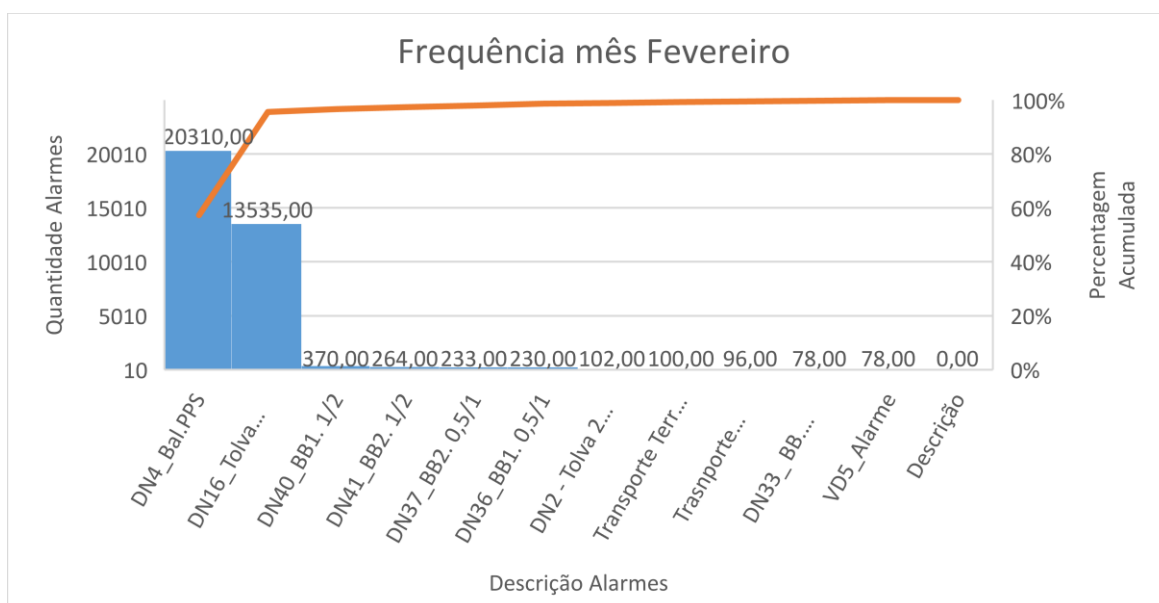


Figura 24 – Diagrama de Pareto

Posto isto, efetua-se uma análise (ABC) para de uma forma sucinta compreender-se quais são os alarmes que mais atuam no reprocessamento 1. Na Tabela 10 seguinte, apresenta-se a análise ABC efetuada.

Tabela 10 – Análise ABC

Análise ABC		
Categoria	Descrição Alarme	Percentagem Acumulada (%)
A	DN4_Bal.PPS DN16_Tolva MIMs	95,62
B	DN40_BB1.1/2 DN41_BB2.1/2	97,41
C	DN37_BB2.1/2	98,07

Com esta análise, facilmente visualiza-se que os alarmes DN4_Bal.PPS e DN16_Tolva MIMs, vão ser alvo de maior atenção, pois correspondem a 95,62 % de todos os alarmes que atuaram no período mencionado. Deste modo, faz-se uma análise crítica ao alarme DN4_Bal.PPS para se perceber o porquê de este atuar inúmeras vezes durante o período de observação.

Posto isto, analisa-se a correlação entre o consumo diário por turno do equipamento PPS e o alarme DN4_Bal.PPS, de forma a tentar perceber o impacto que este induz na produção. Para isso, construiu-se a tabela 5 para posteriormente analisar-se o gráfico de dispersão Figura 25. Esta análise vai contribuir como indicador de controlo do PPS. A Tabela 11 divide-se por consumo e números de alarmes por turno. No apêndice A encontre-se a tabela completa.

Tabela 11 – Consumo e quantidade de Alarmes

	1T	2T	3T	1T	2T	3T	1T	2T	3T
Quantidade DN4_Bal.PPS	231	499	503	378	424	461	475	435	497
Consumo (Kg)	1339	2573	2569	2143	2200	2380	2626	2755	2574

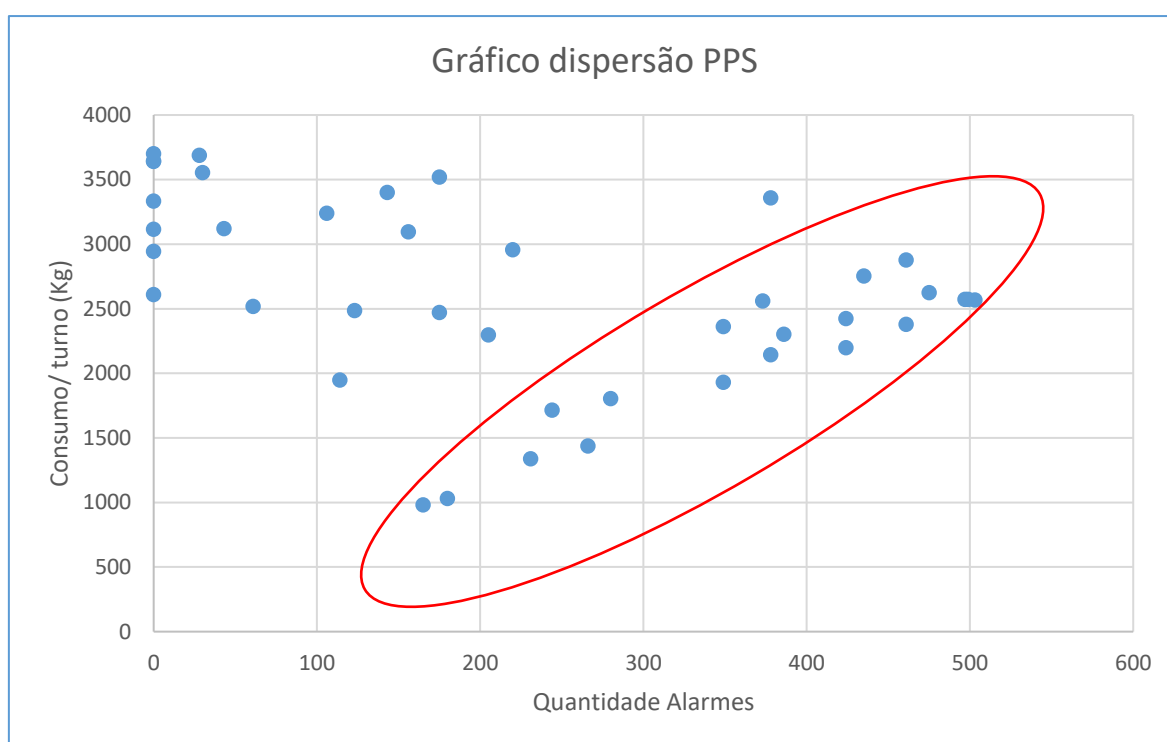


Figura 25 – Gráfico Dispersão PPS

Com este gráfico consegue-se retirar algumas conclusões, sendo a primeira relacionada com a inexistência de índice de correlação ($r=0$), ou seja, não existe qualquer tipo de correlação entre o consumo do equipamento e a quantidade de vezes que o alarme ativa. Isto indica que o processo não se encontra controlado.

No entanto, encontram-se alguns *cluster*, que neste caso indicam uma forte correlação ($r=0,864$) entre as variáveis, o que significa que quanto mais o PPS consome mais o alarme ativa. Este exemplo

do cluster vem reforçar a ideia anterior, pois o cenário ideal seria exatamente o oposto, ou seja, quanto maior for o consumo menor a quantidade do alarme ativo. Isto porque como explicado anteriormente, ao não ativar o alarme DN4_Bal_PPS, a balança responsável pela alimentação do PPS nunca estaria completamente cheia, deste modo o fluxo de material seria contínuo.

3.3.4. Objetivos Traçados

Tendo em conta os dados recolhidos e após definir que os indicadores apresentados são os mais relevantes para este projeto, a equipa do GMT propôs aumentar o consumo médio em 5% e diminuir o desvio padrão em 8% até o dia 10 de junho.

Em relação à quantidade do alarme DN4_Bal.PPS, este deve-se reduzir para metade, ou seja, menos 50% no mesmo prazo que os mencionados anteriormente.

Por último, decidiu-se aumentar o índice de correlação entre o alarme DN4_Bal.PPS e o consumo do equipamento.

3.3.5. Análise das causas

Após identificados os problemas, e antes de tomar contramedidas na possibilidade de corrigir a situação atual, tem-se de entender as causas do problema. Para isso, realizou-se um diagrama de *Ishikawa*, também conhecido por Diagrama de espinha-de-peixe, diagrama causa efeito ou simplesmente por diagrama 6M's: Método, mão de obra, máquinas, meio ambiente e material.

Este diagrama tem como objetivo apresentar de uma forma simples e sucinta de visualizar as várias causas que estão na origem do problema, onde tenta relacionar o resultado imperfeito (efeito) e os diversos fatores (causas) que contribuem para o resultado ocorrido.

Para isso, o departamento organizou um brainstorming na tentativa de identificar as causas do problema e classificá-las de acordo com os 6M's. Desta reunião resultaram as seguintes causas:

Operadores:

Falta de conhecimento técnico do equipamento

Falta de operadores na subunidade

Rotatividade de operadores

Falta de conhecimento técnico da subunidade

Manutenção:

Baixo nível de manutenção

Componentes de elevado desgaste devido à natureza abrasiva da cortiça

Manutenção preventiva inadequada

Medição e Controlo:

Esforço da máquina é baixo

Elevado número de alarmes

Baixo nível de controlo do consumo

Projeto da máquina:

Novo projeto de alimentação da máquina

Falta de integração de novos alarmes para melhor monitorização e desempenho

Ambiente:

Condições desfavoráveis para operar a máquina

Falta de ventilação na caixa da máquina

Sobreaquecimento da máquina, devido ao calor acumulado

Materiais:

Grande desgaste de materiais consumíveis

Matéria-prima não uniforme

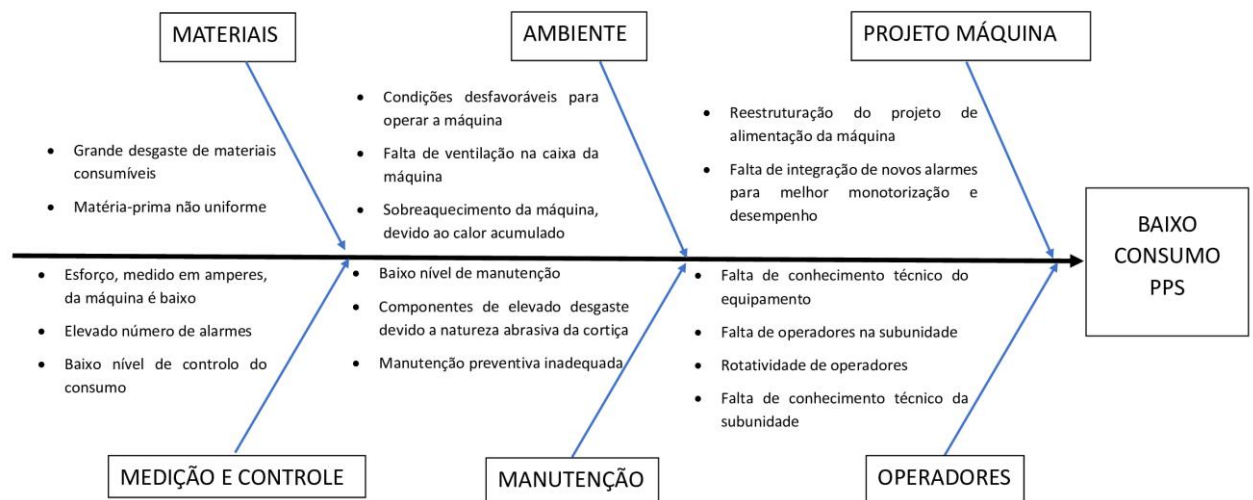


Figura 26 – Diagrama de Ishikawa

Após identificadas as possíveis causas para o problema, recorreu-se a ferramenta 5 *why's* ou cinco “porquês” para analisar as causas raiz. Esta ferramenta tem como objetivo encontrar a causa exata do problema, e tentar solucionar o mais rápido possível.

Posto isto e de forma a encontrar as diferentes possibilidades de causas raiz do problema, priorizaram-se algumas das categorias do diagrama de *Ishikawa* para que a procura fosse mais eficiente e direcionada. Para isso, optou-se por considerar apenas a categoria de medição e

controlo e a categoria de projeto da máquina. Apresentam-se, então, as seguintes tabelas como forma de elucidação da utilização da ferramenta 5 *why's*.

Medição e Controlo

Tabela 12 – Causa Raiz 1

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
1	Elevado número de alarmes.	Porque a tolva de alimentação enche até ao limite.
2	A tolva de alimentação enche até ao limite.	Porque enche demasiado rápido.
3	Enche demasiado rápido.	Porque o material não escoo com um fluxo constante.
4	O material não escoo com um fluxo constante.	Porque o escoamento é feito por uma balança que descarrega de 5 em 5 segundos.
CAUSA RAIZ	O escoamento é feito por uma balança que descarrega de 5 em 5 segundos.	

Nesta tabela 12, encontra-se 4 perguntas efetuadas na procura da primeira causa raiz do problema relacionada com a categoria medição e controlo. Assim sendo, através destas perguntas conclui-se que a primeira causa raiz para esta categoria, diz respeito ao facto de o escoamento do material ser feito por uma balança num período de 5 em 5 segundos.

Tabela 13 – Causa Raiz 2

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
1	Esforço, medido em ampere, da máquina é baixo.	Porque entra pouco material no tapete vibratório de alimentação.
2	Entrada de pouco material no tapete vibratório de alimentação.	Porque a raseira manual, após a balança, está demasiado fechada.
3	A raseira manual após a balança esta demasiado fechada.	Porque o controlo é feito pelos operadores de forma manual e esporádica.
4	Controlo é feito pelos operadores de forma manual e esporádica.	Porque os operadores não têm visualização sobre o esforço máximo, por isso não sabem quanto podem abrir a raseira.

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
CAUSA RAIZ	Os operadores não têm visualização sobre o esforço máximo, por isso não sabem quanto podem abrir a raseira.	

Na tabela 13, expuseram-se 4 perguntas com o objetivo de encontrar a segunda causa raiz relativamente à mesma categoria (medição e controlo). Causa essa, que passa pelo facto de os operadores não terem controlo sobre o equipamento PPS, no que toca à abertura da raseira manual.

Tabela 14 – Causa Raiz 3

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
1	Baixo nível de controlo do consumo.	Porque não se analisa os indicadores de consumo diários nem os do software de monitorização.
2	Não se analisa os indicadores de consumo diários nem os do software de monitorização.	Porque o software ainda tem algumas lacunas e porque existe baixo conhecimento do mesmo.
CAUSA RAIZ	Presença de algumas lacunas no software e baixo conhecimento do mesmo.	

Na Tabela 14 elaboraram-se 2 perguntas para chegar à terceira causa raiz no que diz respeito à categoria medição e controlo. Conclui-se que a causa raiz assenta na questão de o *software* ainda não estar totalmente atualizado, devido ao facto do departamento ainda ter pouco conhecimento sobre o mesmo e o próprio conter algumas lacunas intrínsecas.

Projeto da máquina:

Tabela 15 – Causa Raiz 4

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
1	Reestruturação do projeto de alimentação da máquina.	Porque a alimentação não é eficiente.
2	A alimentação é eficiente.	Porque precisa de ter um buffer de alimentação com mais capacidade.
CAUSA RAIZ	Necessidade um <i>buffer</i> de alimentação com mais capacidade.	

Nesta tabela 15, encontram-se 4 perguntas efetuadas na procura da primeira causa raiz do problema relacionada com a categoria projeto da máquina. Desta forma, através destas perguntas conclui-se que a primeira causa raiz para esta categoria, refere-se à necessidade de um buffer com maior capacidade.

Tabela 16 – Causa Raiz 5

Passo	Razão ou Motivo	Porquê?
1	Falta de integração de novos alarmes para melhor monitorização e desempenho	Porque o projeto SCADA ainda não esta 100% funcional.
2	O projeto SCADA ainda não está 100% funcional	Porque alterou-se o responsável do projeto e o software de monitorização dos alarmes ainda tem lacunas.
CAUSA RAIZ	Alteração do engenheiro responsável do projeto e presença de algumas lacunas no software de monitorização dos alarmes.	

Na tabela 16, expuseram-se 4 perguntas com o objetivo de encontrar a segunda causa raiz relativamente à mesma categoria (projeto da máquina). Causa essa, que passa pelo facto de se ter alterado o engenheiro responsável pelo projeto e ainda pelo facto do software continuar com lacunas.

3.3.6. Propostas de Melhorias

Uma vez definidas as causas raiz, inicia-se a mais um *brainstorming* para decidir quais as propostas de melhoria e como estas podem impactar na resolução dos efeitos negativos apresentados. Nesta fase, o departamento de GMT tentou perceber quais seriam as propostas mais eficazes e que não envolvessem um custo demasiado elevado. Para isso, fez-se uma tabela onde se priorizou as ações a realizar tendo em conta o grau de dificuldade de implementação e se acrescentavam valor ou não, sendo que este último ponto foi decidido pela diretor da unidade com base no seu conhecimento. Posto isto, na Tabela 17 apresenta-se a descrição, causa raiz, proposta de melhoria, fácil ou difícil implementação, VA – valor acrescentado VNA – valor não acrescentado e prioridade – *do now* ou *do later*.

Tabela 17 – Prioridade de Melhorias

Descrição	Causa Raiz	Proposta de Melhoria	Fácil / Difícil implementação	VA / VNA	Prioridade
Elevado número de alarmes	O escoamento é feito por uma balança que descarrega de	Alterar o tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos	Fácil	VNA	Do Later

Descrição	Causa Raiz	Proposta de Melhoria	Fácil / Difícil implementação	VA / VNA	Prioridade
	5 em 5 segundos.				
Esforço, medido em ampere, da máquina é baixo	Os operadores não têm visualização sobre o esforço máximo, por isso não sabem quanto podem abrir a raseira de alimentação.	Na HMI de visualização adicionar um novo indicador de esforço do equipamento.	Fácil	VNA	Do Now
Baixo nível de controlo do consumo.	O software ainda tem algumas lacunas e existe baixo conhecimento do mesmo.	Análise de indicadores do software de monitorização.	Difícil	VA	Do Now
Reestruturação do projeto de alimentação da máquina	Necessidade de um buffer de alimentação com maior capacidade	Projeto com novo sistema de alimentação	Difícil	VA	Do Later
Falta de integração de novos alarmes para melhor monitorização e desempenho.	Alteração do engenheiro responsável do projeto e presença de algumas lacunas no software de monitorização dos alarmes.	Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto.	Fácil	VNA	Do Now

Após a construção desta tabela, decidiu-se que a prioridade seria nas melhorias *do now*. Nesta fase do projeto, a equipa já estava totalmente envolvida nas melhorias, o que ajudou no comprometimento de todos.

3.3.7. Plano de Ações

Em relação ao plano de ações, iniciou-se a implementação recorrendo à ferramenta 5W2H (*What, Why, Where, When, Who, How, How much*), ferramenta essa utilizada para controlo de tarefas e execução das mesmas. Esta ferramenta permite definir o objetivo, o propósito, local, data, responsável, método de resolução e o custo de implementação das melhorias.

Para isso, criou-se uma tabela com todas as etapas do plano, onde se determinou as pessoas envolvidas, o propósito, localização, data, resolução e por último o custo das melhorias.

Tabela 18 – Ferramenta 5W2H

Objetivo O quê	Propósito Porquê	Localização Onde	Data Quando	Responsável Quem	Resolução Como	Quant o custa
Alterar o tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos	Para a descarga ser mais rápida o que vai aumentar o fluxo de material na entrada e diminuir o número de alarmes.	REP1 - Reprocessamento 1	10/06/2023	GMT	Contactar o programador da Ecobite para alterar os parâmetros.	200
Na HMI de visualização adicionar um novo indicador de esforço do equipamento.	Para que os operadores tenham visibilidade do esforço máximo, o que vai proporcionar um aumento de rendimento do equipamento	REP 1 – reprocessamento 1	12/04/2023	GMT	Contactar o programador da Ecobite para alterar os parâmetros.	70
Análise de indicadores do software de monitorização.	Para analisar a possibilidade de um maior controlo do equipamento através do software	REP 1 – Reprocessamento 1	01/03/2023	GMT	Análise dos indicadores como número de alarmes e quantidade, onde em conjunto com o consumo se consiga otimizar o rendimento da subunidade	-

Objetivo O quê	Propósito Porquê	Localização Onde	Data Quando	Responsável Quem	Resolução Como	Quant o custa
Projeto com novo sistema de alimentação	Para que a alimentação seja mais eficiente, se consiga obter um maior rendimento	REP 1 – Reprocessamento 1	10/06/2023	GMT	Reunir com o departamento de projeto, onde em conjunto se consiga obter o primeiro esboço.	20000
Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto.	Para que o comprometimento de todos os responsáveis seja sempre mantido.	REP 1 – Reprocessamento 1	01/06/2023	GMT	Marcação de reuniões com o departamento de projeto.	-

Este plano elaborou-se em conjunto maioritariamente com o departamento de projeto, onde foi revisto 3 vezes entre 20 de janeiro e 1 de junho, o que resultou em algumas alterações. Os estados de concretização das ações estão assinalados por cores. A verde as que se concretizaram, as que estão em curso a amarelo, e as que nunca chegaram a ser iniciadas a vermelho.

3.3.8. Plano de verificação

O propósito do A3 é alcançar o objetivo definido, resolver a situação atual e erradicar definitivamente o problema. Assim, é absolutamente fundamental implementar as medidas e, se forem bem-sucedidas, padronizá-las.

O acompanhamento e a verificação do plano asseguram que as ações são devidamente postas em prática. Além disso, permitem perceber qual é o estado atual, estar ciente das dificuldades encontradas na implementação e reajustar as atividades e avançar, se possível, com a padronização das ações que foram concluídas com sucesso.

Posto isto, nesta situação o acompanhamento efetuado realizou-se através de reuniões quinzenais com a equipa, onde se revia o estado de concretização dos objetivos impostos bem como as datas definidas de conclusão das ações.

No final, os indicadores de produção, tais como a taxa de consumo e diminuição dos alarmes são os mais relevantes para o projeto proposto. Assim sendo, no capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos com as melhorias implementadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos com as melhorias implementadas ao longo do período previsto. No primeiro subcapítulo, apresenta-se a discussão de resultados obtidos nas melhorias implementadas. Por último, a discussão da revisão bibliográfica, onde se encontra uma breve explicação das ferramentas usadas para o desenvolvimento deste projeto.

4.1. Apresentação de resultados

De acordo com a ferramenta A3 *problem solving* realizada, decidiu-se implementar as melhorias definidas. Primeiramente, iniciou-se com a implementação do indicador de esforço na HMI, depois seguiu-se a análise dos indicadores retirados do software, posteriormente a alteração do tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos, as reuniões quinzenais para verificação do projeto e por último o projeto de um novo sistema de alimentação. Apresenta-se de seguida a Figura 27 que resume o esquema das melhorias.

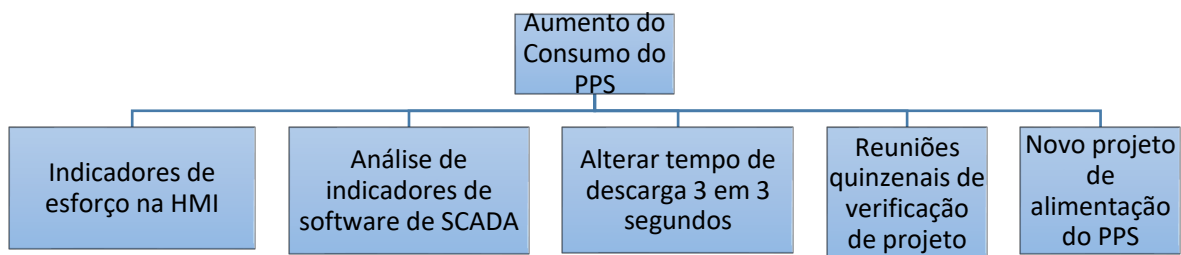


Figura 27 – Melhorias Implementadas

4.1.1. Implementação do indicador de nível de esforço na HMI

Em primeiro lugar, analisa-se o esforço máximo de cada motor do equipamento, sendo que para M9 - 55 (A) e para M10 - 100 (A). Estes valores vão servir como referência para os operadores poderem visualizar se o equipamento está perto da sua capacidade máxima. Na Figura 28, encontra-se o indicador Implementado na HMI.

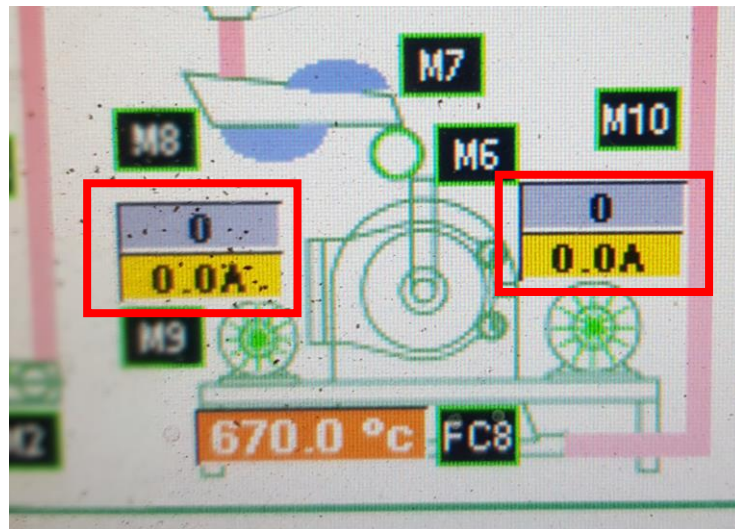


Figura 28 – Indicadores de visualização de esforço

Com esta implementação, e após uma explicação aos operadores, conseguiu-se aumentar o esforço do PPS e por consequência o consumo do mesmo, pois o esforço é diretamente proporcional ao consumo. Desta forma, os operadores conseguem ajustar rapidamente a raseira de alimentação do equipamento, o que vai aumentar o fluxo de material na entrada do PPS. Na Figura 29 apresenta-se a raseira manual de alimentação.



Figura 29 – Raseira Manual de Controlo de Fluxo

Com isto conseguiu-se aumentar o consumo em 6.3%, o que de acordo com o objetivo este foi conseguido e ultrapassado. Por outro lado, o desvio padrão aumentou, sendo que impacta negativamente no controlo do equipamento pois os consumos têm uma maior variabilidade, ou seja, o processo ficou mais difícil de controlar, este fenómeno tem como explicação a implementação efetuada pois conseguir que os operadores trabalhem segundo as mesmas diretrizes torna-se bastante difícil. Como também, o período de análise pós implementação não ter sido bastante longo, o que de certa forma vai impactar na estabilidade da produção e daí não se conseguir ver aumentos significativos. Na Tabela 19 apresenta-se os ganhos e perdas obtidos.

Tabela 19 – Ganhos e perdas obtidos

Media Consumo (Kg)	Aumento Percentual	Desvio Padrão (Kg)	Aumento Percentual
3815,71	6,3%	809,03 (30%)	7%

4.1.2. Análise de indicadores do software SCADA

Para a análise de dados recorreu-se novamente aos indicadores apresentados anteriormente, onde efetua-se um gráfico de dispersão com os novos consumos e alarmes Figura 30.

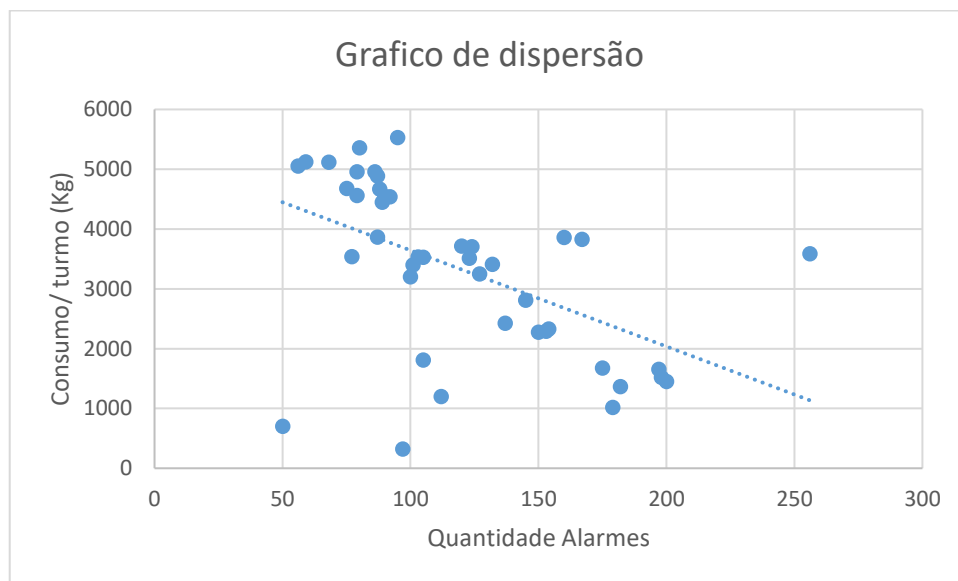


Figura 30 – Gráfica dispersão PPS após melhoria

Neste gráfico, o índice de correlação encontra-se $R = -0,51$ o que significa que ocorreu um aumento de correlação, neste caso inversa, entre estas duas variáveis, ou seja, quanto maior o consumo menor o número de alarmes ativos. Este indicador não só nos permite afirmar que ocorreu um aumento de controlo, como também uma diminuição do alarme DN4_Bal.PPS em 53%.

Por outro lado, este indicador contradiz o anterior relacionado com o desvio padrão, sendo que o maior controlo relacionado com um índice de correlação superior explica-se pelo simples facto de os operadores estarem com maior atenção ao esforço do equipamento, pelo que conseguem abrir

a raseira manual – responsável pelo fluxo de material na entrada – e consequentemente aumentar o consumo e principalmente diminuir os alarmes.

4.1.3. Projeto com novo sistema de alimentação

Neste capítulo, apresenta-se o novo projeto efetuado em conjunto com o departamento de projeto da empresa. Nesse sentido, o principal objetivo recai na melhoria da alimentação do equipamento PPS, onde na primeira abordagem decidiu-se colocar um buffer de alimentação. Este vai permitir não só aumentar quantidade de material a entrar no equipamento, como também distribuir uniformemente. Para melhor compreensão apresenta-se Figura 31 com a situação atual.

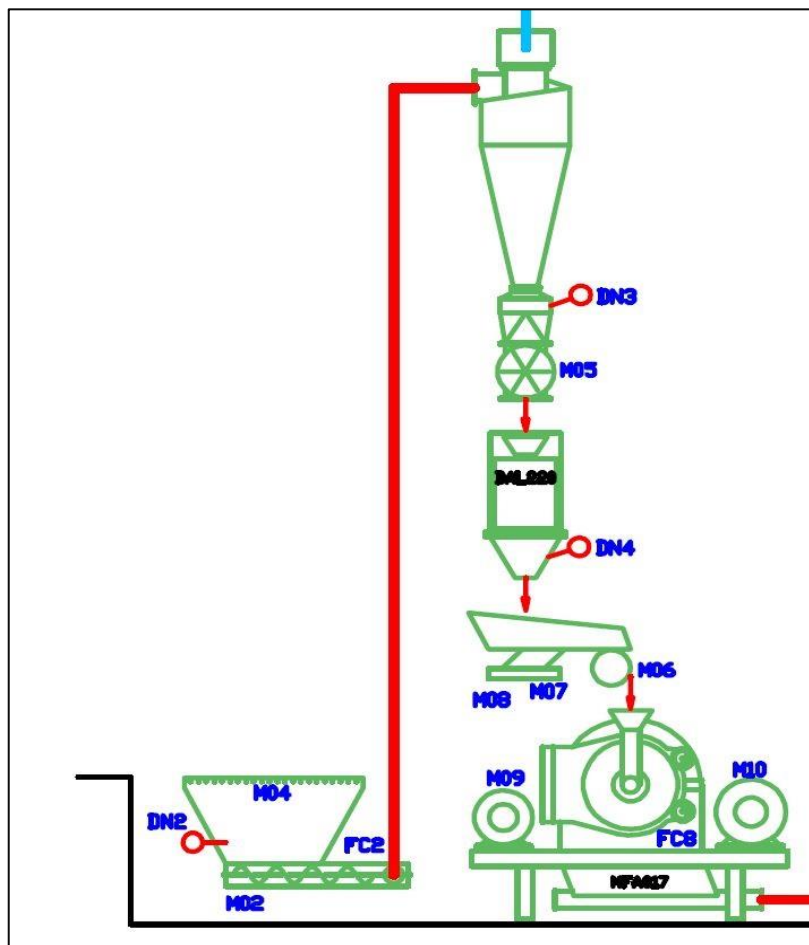


Figura 31 – Alimentação Atual PPS

Como mencionado anteriormente, neste momento o encaminhamento do material faz-se a partir do enchimento da tolva da baía 5, onde através de um transporte pneumático encaminha-se para a balança de alimentação do PPS, que descarrega para o tapete vibratório onde se encontra a raseira manual. Por último, entra no equipamento para ser triturado.

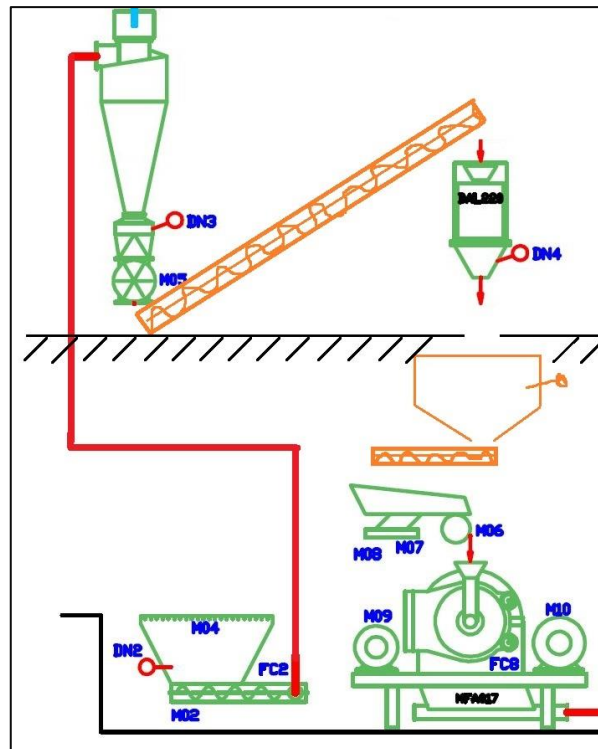


Figura 32 – Projeto futuro alimentação PPS

Na Figura 32, o material após a saída do transporte pneumático encaminha-se para um sem fim inclinado (equipamento novo), onde após passar pela balança, encaminha-se para o buffer 1 de alimentação (equipamento novo). Com isto, o material encaminha-se sem interrupções para um TSF, onde vai ser descarregado de forma uniforme e contínua para o tapete vibratório. Com estas alterações, consegue-se retirar a raseira manual, o que vai permitir um maior controlo da alimentação.

5. CONCLUSÃO





Neste capítulo, apresenta-se a conclusão da dissertação com todas as análises importantes para o desenvolvimento do projeto. No último subcapítulo, enunciam-se as limitações encontradas ao longo do projeto e como algumas destas foram ultrapassadas.

5.1. Conclusões finais

Neste trabalho, primeiramente, conseguiu-se encontrar uma ligação entre uma tecnologia da Indústria 4.0 e uma ferramenta Lean. Esta simbiose, consegue-se com utilização do software SCADA, na procura do problema da subunidade do reprocessamento 1, e posteriormente na utilização desse problema como tema para a ferramenta A3 *problem solving*.

O problema em questão, melhoria e controlo do equipamento PPS, vai ser aplicado no modelo A3 *problem solving* para que possa ser estruturado e estudado. Com isto, chega-se a três objetivos, sendo estes o aumento do consumo em 5%, desvio padrão diminua em 8% e o número de alarmes ativos diminua em 50%. Com as melhorias implementadas, foi possível cumprir dois objetivos e contrariamente ao esperado piorar o restante. Com isto apresenta-se em seguida uma Tabela 20 resumo dos objetivos concluídos:

Tabela 20 – Resumo dos Objetivos

Objetivo	Ação de Melhoria	Estado de Conclusão
Aumento da taxa de consumo em 5%	Aumento da taxa de consumo em 6,3%	
Diminuição da percentagem de desvio padrão em 8%	Aumento da percentagem de desvio padrão em 7%	
Diminuição dos alarmes em 50%	Diminuição do número de alarmes em 53%	
Aumento do índice de correlação entre o alarme DN4_Bal.PPS e o consumo do equipamento.	Aumento de $r=0$ para $r=-0,51$	

Em suma, a simbiose entre o software SCADA e a ferramenta A3 *problem solving*, trouxe para a organização melhorias com grande impacto na unidade do GMT. Este método comprova, que o trabalho em equipa e a coordenação/alinhamento entre todos se torna um elemento indispensável na realização deste projeto. A dedicação e empenho de todas as partes envolvidas, tornou-se uma “peça chave” para o sucesso das melhorias implementadas.

5.2. Discussão e Contribuições

O desenvolvimento deste projeto e consequente elaboração da dissertação, teve como principal objetivo avaliar os efeitos das tecnologias da Indústria 4.0. integradas na filosofia *lean* e o impacto que estes tiveram na empresa em questão. Assim sendo, esta investigação contribuiu para a comunidade científica e acadêmica da seguinte forma:

1. Avaliou na prática como a filosofia *lean* e a Indústria 4.0 conseguem coabitar em ambiente industrial.
2. Identificou as dimensões da filosofia *lean*, nomeadamente as ferramentas acarretadas pela mesma e as vantagens que a aplicabilidade das respetivas ferramentas trouxeram em equipamentos industriais.
3. Determinou os ganhos inerentes à simbiose entre a filosofia *lean* e a Indústria 4.0 para um melhor desempenho operacional.

Apesar deste contributo, foi notória a presença de algumas lacunas, nomeadamente a nível de revisão de literatura no que concerne à aquisição de artigos nos quais estes dois conceitos (*lean* vs. Indústria 4.0) estivessem explorados de forma coexistente. Neste sentido, esta dissertação e respetiva investigação parece ser de alguma relevância por permitir a existência de sinergias destes dois conceitos e dar possibilidade ao aparecimento de novos estudos futuros que incidam sobre esta questão.

5.3. Limitações e trabalhos futuros

O projeto desenvolvido apresentou algumas limitações a nível da recolha de informação do software, pois devido a um problema de *ciber* segurança o software SCADA não esteve operacional durante um período de dois meses. Este problema teve um enorme impacto no desenvolvimento do projeto, não obstante conseguiu ser ultrapassado com dedicação e esforço de todos elementos envolvidos. Para além disso, o software também foi limitativo para o desenvolvimento do projeto, na medida em que apresentava lacunas a nível de informação disponível. Isto porque, os dados referentes à rotação e temperatura do equipamento, apesar de serem relevantes para os indicadores, não eram apresentados pelo software.

Em relação a trabalhos futuros, o projeto de um novo equipamento de alimentação do PPS continua em desenvolvimento e por esse motivo recorreu-se à parceria entre o departamento de GMT e o departamento de projeto, com o propósito de desenvolver novas ideias de alimentação e melhoria do equipamento. É de realçar a relevância dos custos inerentes a este projeto, uma vez é um fator crucial para a concretização do mesmo.

No que toca aos indicadores propostos, estes requerem uma revisão, uma vez que é importante averiguar o impacto que estes tiveram a longo prazo. Isto porque, quanto melhor e mais adequados forem esses indicadores melhor será a atuação e eficácia e prevenção de alguns cenários.

Um outro aspeto a melhorar futuramente, passa por padronizar indicadores, ou seja, perceber se os implementados e analisados neste projeto conseguem evoluir para um *report* diário, juntamente com outros indicadores já estabelecidos no departamento de GMT.

Por último, uma das próximas etapas seria analisar o alarme DN16_MIM relativo aos moinhos de impacto, sendo que este alarme também se encontra na mesma categoria que o alarme analisado neste projeto. Alguns trabalhos foram iniciados após o término do estágio, no sentido de implementar novamente a ferramenta A3 *problem solving*, com o intuito de melhorar a eficiência e consumo dos moinhos de impacto. Isto porque, quis-se replicar o método utilizado, de forma a tentar obter resultados semelhantes a nível de melhoria de processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Pereira, “Revista da Universidade Vale do Rio Verde,” vol. 16, no. 1, 2018.
- [2] G. Maria Ferreira Reis & E. José Scoton, “Estudo Sobre os Impactos da Sustentabilidade na Indústria 4.0 Study on the Impacts of Sustainability on Industry 4.0.”
- [3] E. Jiménez, A. Tejada, M. Pérez, J. Blanco, and E. Martínez, “Applicability of lean production with VSM to the Rioja wine sector,” *Int J Prod Res*, vol. 50, no. 7, pp. 1890–1904, Apr. 2012, doi: 10.1080/00207543.2011.561370.
- [4] B. Das, U. Venkatadri, and P. Pandey, “Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 71, no. 1–4, pp. 307–323, Mar. 2014, doi: 10.1007/s00170-013-5407-x.
- [5] N. A. A. Rahman, S. M. Sharif, and M. M. Esa, “Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation,” *Procedia Economics and Finance*, vol. 7, pp. 174–180, 2013, doi: 10.1016/s2212-5671(13)00232-3.
- [6] A. Amrani and Y. Ducq, “Lean practices implementation in aerospace based on sector characteristics: methodology and case study,” *Production Planning and Control*, vol. 31, no. 16, pp. 1313–1335, Dec. 2020, doi: 10.1080/09537287.2019.1706197.
- [7] A. Silva, J. C. Sá, G. Santos, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and M. T. Pereira, “A comparison of the application of the smed methodology in two different cutting lines,” *Quality Innovation Prosperity*, vol. 25, no. 1, pp. 124–149, Mar. 2021, doi: 10.12776/QIP.V25I1.1446.
- [8] J.P.Womack, D.T.jones, e D.Roos, *The machine that changed the world*. London: Simon & Schuster, 2007.
- [9] D. Martins, L. Fonseca, P. Ávila, and J. Bastos, “Lean practices adoption in the portuguese industry,” *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 14, no. 2, pp. 345–359, 2021, doi: 10.3926/jiem.3291.
- [10] M. Thüerer, I. Tomašević, and M. Stevenson, “On the meaning of ‘Waste’: review and definition,” *Production Planning and Control*, vol. 28, no. 3. Taylor and Francis Ltd., pp. 244–255, Feb. 17, 2017. doi: 10.1080/09537287.2016.1264640.
- [11] J. Rodrigues, J. C. Sá, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, G. Jimenez, and G. Santos, “A rapid improvement process through ‘quick-win’ lean tools: A case study,” *Systems*, vol. 8, no. 4, pp. 1–19, Dec. 2020, doi: 10.3390/systems8040055.
- [12] N. A. A. Rahman, S. M. Sharif, and M. M. Esa, “Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation,” *Procedia Economics and Finance*, vol. 7, pp. 174–180, 2013, doi: 10.1016/s2212-5671(13)00232-3.
- [13] P. Cordeiro, J. C. Sá, A. Pata, M. Gonçalves, G. Santos, and F. J. G. Silva, “Correction to: The Impact of Lean Tools on Safety—Case Study,” 2020, pp. C1–C1. doi: 10.1007/978-3-030-41486-3_88.
- [14] J. S. Randhawa and I. S. Ahuja, “Evaluating impact of 5S implementation on business performance,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 66, no. 7, pp. 948–978, 2017, doi: 10.1108/IJPPM-08-2016-0154.
- [15] A. Buandra, “Optimization of Metal Tapping Cycle Operation at INALUM,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/505/1/012002.
- [16] M. Kuczyńska-Chałada, “Implementation of the SMED method in a production enterprise,” *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 224–233, Sep. 2019, doi: 10.2478/mape-2019-0022.
- [17] A. Aka, A. D. Isah, C. J. Eze, and O. Timileyin, “Application of lean manufacturing tools and techniques for waste reduction in Nigerian bricks production process,” *Engineering*,

- Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 3, pp. 658–679, Mar. 2020, doi: 10.1108/ECAM-09-2018-0375.
- [18] A. Ur Rehman, Y. S. Usmani, U. Umer, and M. Alkahtani, “Lean Approach to Enhance Manufacturing Productivity: A Case Study of Saudi Arabian Factory,” *Arab J Sci Eng*, vol. 45, no. 3, pp. 2263–2280, Mar. 2020, doi: 10.1007/s13369-019-04277-9.
- [19] A. Dresch, D. R. Veit, P. N. de Lima, D. P. Lacerda, and D. C. Collatto, “Inducing Brazilian manufacturing SMEs productivity with Lean tools,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 68, no. 1, pp. 69–87, Jan. 2019, doi: 10.1108/IJPPM-10-2017-0248.
- [20] IEEE Staff, *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. IEEE, 2019.
- [21] M. M. Maalouf and M. Zaduminska, “A case study of vsm and smed in the food processing industry,” *Management and Production Engineering Review*, vol. 10, no. 2, pp. 60–68, 2019, doi: 10.24425/mper.2019.129569.
- [22] R. Acero, M. Torralba, R. Pérez-Moya, and J. A. Pozo, “Value stream analysis in military logistics: The improvement in order processing procedure,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3390/app10010106.
- [23] J. C. Lu and T. Yang, “Implementing lean standard work to solve a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment,” *Int J Prod Res*, vol. 53, no. 8, pp. 2285–2305, Apr. 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.937009.
- [24] S. Nallusamy and V. Saravanan, “Enhancement of overall output in a small scale industry through VSM, line balancing and work standardization,” *International Journal of Engineering Research in Africa*, vol. 26, pp. 176–183, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.26.176.
- [25] A. Realyvásquez-Vargas, F. J. Flor-Moltalvo, J. Blanco-Fernández, J. D. Sandoval-Quintanilla, E. Jiménez-Macías, and J. L. García-Alcaraz, “Implementation of production process standardization-A case study of a publishing company from the SMEs sector,” *Processes*, vol. 7, no. 10, 2019, doi: 10.3390/pr7100646.
- [26] A. Al-Refaie, G. Abbasi, and H. Al-shalalkeh, “Lean and agile practices to improve the performance of filling process via simulation and data envelopment analysis,” *SN Appl Sci*, vol. 1, no. 9, Sep. 2019, doi: 10.1007/s42452-019-1199-4.
- [27] F. Cavdur, B. Yagmahan, E. Oguzcan, N. Arslan, and N. Sahan, “Lean service system design: a simulation-based VSM case study,” *Business Process Management Journal*, vol. 25, no. 7, pp. 1802–1821, Oct. 2019, doi: 10.1108/BPMJ-02-2018-0057.
- [28] J. X. Yang, T. D. Hunt, H. H. Ting, D. Henderson, J. Finkelstein, and K. W. Davidson, “Improving Value-Add work and satisfaction in medical residents training: A Resident-Led quality improvement project employing the lean method to improve hospital supply usage,” *Postgrad Med J*, vol. 93, no. 1098, pp. 193–197, Apr. 2017, doi: 10.1136/postgradmedj-2016-134163.
- [29] M. Tanco, J. Santos, J. L. Rodriguez, and J. Reich, “Applying lean techniques to nougat fabrication: A seasonal case study,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 68, no. 5–8, pp. 1639–1654, Sep. 2013, doi: 10.1007/s00170-013-4960-7.
- [30] R. S. Rekha, P. Periyasamy, and S. Nallusamy, “An optimized model for reduction of cycle time using value stream mapping in a small scale industry,” *International Journal of Engineering Research in Africa*, vol. 27, pp. 179–189, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.27.179.
- [31] S. C. Skeldon *et al.*, “Lean methodology improves efficiency in outpatient academic uro-oncology clinics,” *Urology*, vol. 83, no. 5, pp. 992–998, 2014, doi: 10.1016/j.urology.2013.11.048.
- [32] P. Garre, V. V. S. Nikhil Bharadwaj, P. Shiva Shashank, M. Harish, and M. Sai Dheeraj, “Applying lean in aerospace manufacturing,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 8439–8446. doi: 10.1016/j.matpr.2017.07.189.

- [33] G. L. Hodge, K. Goforth Ross, J. A. Joines, and K. Thoney, "Adapting lean manufacturing principles to the textile industry," *Production Planning and Control*, vol. 22, no. 3, pp. 237–247, Apr. 2011, doi: 10.1080/09537287.2010.498577.
- [34] H. Rifqi, A. Zamma, S. B. Souda, and M. Hansali, "Lean manufacturing implementation through DMAIC approach: A case study in the automotive industry," *Quality Innovation Prosperity*, vol. 25, no. 2, pp. 54–77, 2021, doi: 10.12776/qip.v25i2.1576.
- [35] M. Küçük, "Prioritisation and Analysis of Faults in Shirt Production by the A3 Technique," *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, vol. 30, no. 2, pp. 35–46, 2022, doi: 10.2478/ftce-2022-0005.
- [36] M. M. Yusof, S. Khodambashi, and A. M. Mokhtar, "Evaluation of the clinical process in a critical care information system using the Lean method: A case study," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 12, no. 1, 2012, doi: 10.1186/1472-6947-12-150.
- [37] J. Pereira, F. J. G. Silva, J. A. Bastos, L. P. Ferreira, and J. C. O. Matias, "Application of the A3 methodology for the improvement of an assembly line," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 745–754, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.101.
- [38] G. F. L. Pinto, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, R. B. Casais, A. J. Fernandes, and A. Baptista, "Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 1582–1591, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.127.
- [39] P. Ribeiro, J. C. Sá, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira, and G. Santos, "The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 765–775, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.104.
- [40] P. Dias, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira, and T. Santos, "Analysis and improvement of an assembly line in the automotive industry," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 1444–1452, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.143.
- [41] T. Pombal, L. P. Ferreira, J. C. Sá, M. T. Pereira, and F. J. G. Silva, "Implementation of lean methodologies in the management of consumable materials in the maintenance workshops of an industrial company," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 975–982, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.181.
- [42] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and R. Campilho, "SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry," *Procedia Manuf*, vol. 13, pp. 1034–1042, 2017, doi: 10.1016/J.PROMFG.2017.09.110.
- [43] I. Antoniulli, P. Guariente, T. Pereira, L. P. Ferreira, and F. J. G. Silva, "Standardization and optimization of an automotive components production line," *Procedia Manuf*, vol. 13, pp. 1120–1127, 2017, doi: 10.1016/J.PROMFG.2017.09.173.
- [44] E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, and R. P. Silva, "Applying SMED methodology in cork stoppers production," *Procedia Manuf*, vol. 17, pp. 611–622, 2018, doi: 10.1016/J.PROMFG.2018.10.103.
- [45] P. Neves, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, T. Pereira, A. Gouveia, and C. Pimentel, "Implementing Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products," *Procedia Manuf*, vol. 17, pp. 696–704, 2018, doi: 10.1016/J.PROMFG.2018.10.119.
- [46] R. Pena, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, J. C. Sá, N. O. Fernandes, and T. Pereira, "Lean manufacturing applied to a wiring production process," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 1387–1394, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.10.193.
- [47] J. Azevedo *et al.*, "Improvement of production line in the automotive industry through lean philosophy," *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 1023–1030, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2019.10.029.
- [48] T. Vieira *et al.*, "Optimization of the cold profiling process through SMED," *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 892–899, 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.01.171.
- [49] A. Silva, J. C. Sá, G. Santos, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and M. T. Pereira, "Implementation of SMED in a cutting line," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 1355–1362, 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.10.189.

- [50] T. Pereira, A. S. L. Neves, F. J. G. Silva, R. Godina, L. Morgado, and G. F. L. Pinto, "Production process analysis and improvement of corrugated cardboard industry," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 1395–1402, 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.10.194.
- [51] A. M. Vieira, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira, J. C. Sá, and T. Pereira, "SMED methodology applied to the deep drawing process in the automotive industry," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 1416–1422, 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.10.197.
- [52] C. Ferreira, J. C. Sá, L. P. Ferreira, M. P. Lopes, T. Pereira, and F. J. G. Silva, "iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools," *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 1095–1102, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PROMFG.2019.10.038.
- [53] R. Pena, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, J. C. Sá, N. O. Fernandes, and T. Pereira, "Lean manufacturing applied to a wiring production process," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 1387–1394, 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.10.193.
- [54] G. Gartlehner *et al.*, "User testing of an adaptation of fishbone diagrams to depict results of systematic reviews," *BMC Medical Research Methodology*, vol. 17, no. 1. BioMed Central Ltd., Dec. 12, 2017. doi: 10.1186/s12874-017-0452-z.
- [55] M. F. Suárez-Barraza and F. G. Rodríguez-González, "Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them?: A first research approach," *International Journal of Quality and Service Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 302–316, Jun. 2019, doi: 10.1108/IJQSS-12-2017-0113.
- [56] J. A. Bassuk and I. M. Washington, "The a3 problem solving report: a 10-step scientific method to execute performance improvements in an academic research vivarium.," *PLoS One*, vol. 8, no. 10, 2013, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0076833.
- [57] A. Realyvásquez-Vargas, K. C. Arredondo-Soto, T. Carrillo-Gutiérrez, and G. Ravelo, "Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry. A case study," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 11, Nov. 2018, doi: 10.3390/APP8112181.
- [58] A. Grieco *et al.*, "An Industry 4.0 Case Study in Fashion Manufacturing," *Procedia Manuf*, vol. 11, pp. 871–877, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.190.
- [59] A. Patrucco, F. Ciccullo, and M. Pero, "Industry 4.0 and supply chain process re-engineering: A coproduction study of materials management in construction," *Business Process Management Journal*, vol. 26, no. 5, pp. 1093–1119, Oct. 2020, doi: 10.1108/BPMJ-04-2019-0147.
- [60] L. M. Fonseca, "Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits," *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, vol. 12, no. 1, pp. 386–397, May 2018, doi: 10.2478/picbe-2018-0034.
- [61] D. Mourtzis, E. Vlachou, V. Zogopoulos, and X. Fotini, "Integrated Production and Maintenance Scheduling Through Machine Monitoring and Augmented Reality: An Industry 4.0 Approach," in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Springer New York LLC, 2017, pp. 354–362. doi: 10.1007/978-3-319-66923-6_42.
- [62] K. S. Kiangala and Z. Wang, "Initiating predictive maintenance for a conveyor motor in a bottling plant using industry 4.0 concepts," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 97, no. 9–12, pp. 3251–3271, Aug. 2018, doi: 10.1007/s00170-018-2093-8.
- [63] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, and Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole, *WFCS 2017 : 2017 IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS) : Trondheim, Norway, 31st May - 2nd June 2017*.
- [64] M. Straka, R. Lenort, S. Khouri, and J. Feliks, "Design of large-scale logistics systems using computer simulation hierarchic structure," *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 17, no. 1, pp. 105–118, Jan. 2018, doi: 10.2507/IJSIMM17(1)422.

- [65] A. Kierzkowski and T. Kisiel, "Simulation model of security control system functioning: A case study of the Wrocław Airport terminal," *J Air Transp Manag*, vol. 64, pp. 173–185, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.jairtraman.2016.09.008.
- [66] D. Mourtzis and E. Vlachou, "A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance," *J Manuf Syst*, vol. 47, pp. 179–198, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jmsy.2018.05.008.
- [67] F. Li, J. Yang, J. Wang, S. Li, and L. Zheng, "Integration of digitization trends in learning factories," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2019, pp. 343–348. doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.054.
- [68] L. S. Dalenogare, G. B. Benitez, N. F. Ayala, and A. G. Frank, "The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance," *Int J Prod Econ*, vol. 204, pp. 383–394, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019.
- [69] P. D. Urbina Coronado, R. Lynn, W. Louhichi, M. Parto, E. Wescoat, and T. Kurfess, "Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system," *J Manuf Syst*, vol. 48, pp. 25–33, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.jmsy.2018.02.002.

APÊNDICE A

Tabela 21 - Consumo diário Antes Melhorias

Consumo diário (Kg)	
2708	4303
3266	2869
2560	4315
4194	300
4532	3383
2210	4201
4298	4749
4601	3054
2980	4141
1111	3200
1111	3129
473	4305
2378	3124
4092	2057
3433	4281
4318	4324
4281	1842
3261	4271
4169	4419
4428	2183
2801	3407
4169	3805

Tabela 22 – Análise ABC

Descrição	Quantidade	Percentagem	Percentagem Acumulada
DN4_Bal.PPS	20310,00	57,38%	57,38%
DN16_Tolva MIMs	13535,00	38,24%	95,62%
DN40_BB1. 1/2	370,00	1,05%	96,66%
DN41_BB2. 1/2	264,00	0,75%	97,41%
DN37_BB2. 0,5/1	233,00	0,66%	98,07%
DN36_BB1. 0,5/1	230,00	0,65%	98,72%
DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00	0,29%	99,01%
Transporte Terras Desligado	100,00	0,28%	99,29%
Trasnporte Excedentes Desligado	96,00	0,27%	99,56%
DN33_ BB. 0,25/0,5	78,00	0,22%	99,78%
VD5_Alarme	78,00	0,22%	100,00%

REV.	H LEVELS			TAG	TAG ADDRESS	description_aux	DESCRIPTION	LENGTH (MAX 24)
	H1	H2	H3					
1	REP1	PRODUCAO	DN	in_DN39	10.06	Detetor de Nivel - Tolva Balança 1/2	DN: NIVEL TOLVA DA BALANÇA - 1/2	32
1	REP1	PRODUCAO	DN	in_DN40	10.07	Detetor de Nivel - Big-Bag (1) 1/2 (Cheio)	DN: NIVEL (CHEIO) BIGBAG 1/2 (1)	32
1	REP1	PRODUCAO	DN	in_DN41	10.08	Detetor de Nivel - Big-Bag (2) 1/2 (Cheio)	DN: NIVEL (CHEIO) BIGBAG - 1/2 (2)	34
1	REP1	PRODUCAO	DN	in_DN42	10.09	Detetor de Nivel - Ciclone Alimentação Silo 1/2 1ª Trituração	DN: NIVEL CICLONE - SILO 1/2	29
1	REP1	PRODUCAO	DN	in_DN43	10.10	Detetor de Nivel - Ciclone Alimentação Silo 0,5/1 1ª Trituração	DN: NIVEL CICLONE - SILO 0,5/1	30

Figura 33 – Listas de Sinais Excel

Tabela 23 – Alarme DN4_Bal.PPS

09/02/2023 10:14	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:14	FALSE
09/02/2023 10:14	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:14	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:13	FALSE
09/02/2023 10:15	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:15	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:10	FALSE
09/02/2023 10:15	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:16	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:09	FALSE
09/02/2023 10:16	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:16	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:10	FALSE
09/02/2023 10:17	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:18	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:16	FALSE
09/02/2023 10:18	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:18	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:12	FALSE
09/02/2023 10:19	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_ALM	00:00:00	TRUE
09/02/2023 10:19	TEC01_DigitalInput_DN4.DigSignal	DN4_Bal.PPS	A01_Main1	UNACK_RTN	00:00:11	FALSE

QUANTIDADE ALARMES			
Descrição	Count of Quantidade		
DN16_Tolva MIMs	13535,00		
DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00		
DN33_BB. 0,25/0,5	78,00		
DN36_BB1. 0,5/1	230,00		
DN37_BB2. 0,5/1	233,00		
DN4_Bal.PPS	20310,00		
DN40_BB1. 1/2	370,00		
DN41_BB2. 1/2	264,00		
Transporte Terras Desligado	100,00		
Trasnporte Excedentes Desligado	96,00		
VD5_Alarme	78,00		
Grand Total	35396,00		
Diagrama Pareto ABC			
Descrição	Frequencia/mês	Percentagem	Percentagem2
DN4_Bal.PPS	20310,00	57,38%	57,38%
DN16_Tolva MIMs	13535,00	38,24%	95,62%
DN40_BB1. 1/2	370,00	1,05%	96,66%
DN41_BB2. 1/2	264,00	0,75%	97,41%
DN37_BB2. 0,5/1	233,00	0,66%	98,07%
DN36_BB1. 0,5/1	230,00	0,65%	98,72%
DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00	0,29%	99,01%
Transporte Terras Desligado	100,00	0,28%	99,29%
Trasnporte Excedentes Desligado	96,00	0,27%	99,56%
DN33_BB. 0,25/0,5	78,00	0,22%	99,78%
VD5_Alarme	78,00	0,22%	100,00%
TOTAL	35396,00		

Figura 34 – Tabela Pivot

A3 - PROBLEM SOLVING

1 – TEMA:	5 – ANÁLISE DAS CAUSAS:																																											
<p>Melhoria e Controlo do processo do moinho de facas PPS</p> <p>2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA: Através do software SCADA, verifica-se uma grande quantidade do alarme DN4_Bal.PPS ativo. 20310 vezes durante 31 dias no mês de fevereiro e início de março.</p> <p>Consumo do equipamento não é constante entre os turnos. O consumo tem variações grandes. Para isso, realizou-se o consumo médio e o desvio padrão durante 50 dias como forma de indicador.</p>																																												
3 – QUANTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO ACTUAL:	6 – PROPOSTAS DE MELHORIA:																																											
<p>Consumo médio e desvio padrão durante os 50 dias observados.</p> <table border="1" data-bbox="439 766 909 826"> <thead> <tr> <th>Medida Consumo (Kg)</th> <th>Desvio Padrão (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3591,80</td> <td>809,03 (23%)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Quantidade de alarmes durante 31 dias:</p> <table border="1" data-bbox="439 893 757 1209"> <thead> <tr> <th>Descrição Alarme</th> <th>Quantidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>DN16_Tolva MIMs</td><td>13535,00</td></tr> <tr><td>DN2 - Tolva 2 Vazia</td><td>102,00</td></tr> <tr><td>DN33_BB. 0,25/0,5</td><td>78,00</td></tr> <tr><td>DN36_BB1. 0,5/1</td><td>230,00</td></tr> <tr><td>DN37_BB2. 0,5/1</td><td>233,00</td></tr> <tr><td>DN4_Bal.PPS</td><td>20310,00</td></tr> <tr><td>DN40_BB1. 1/2</td><td>370,00</td></tr> <tr><td>DN41_BB2. 1/2</td><td>264,00</td></tr> <tr><td>Transporte Terras Desligado</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>Transporte Excedentes Desligado</td><td>96,00</td></tr> <tr><td>VD5_Alarme</td><td>78,00</td></tr> </tbody> </table> <div data-bbox="940 852 1137 922" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px;"> Através do diagrama de pareto faz análise ABC. </div> <table border="1" data-bbox="954 925 1227 1177"> <thead> <tr> <th colspan="3">Análise ABC</th> </tr> <tr> <th>Categoria</th> <th>Descrição Alarme</th> <th>Percentagem Acumulada (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>DN4_Bal.PPS DN16_Tolva MIMs</td> <td>95,62</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>DN40_BB1.1/2 DN41_BB2.1/2</td> <td>97,41</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>DN37_BB2.1/2</td> <td>98,07</td> </tr> </tbody> </table>	Medida Consumo (Kg)	Desvio Padrão (Kg)	3591,80	809,03 (23%)	Descrição Alarme	Quantidade	DN16_Tolva MIMs	13535,00	DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00	DN33_BB. 0,25/0,5	78,00	DN36_BB1. 0,5/1	230,00	DN37_BB2. 0,5/1	233,00	DN4_Bal.PPS	20310,00	DN40_BB1. 1/2	370,00	DN41_BB2. 1/2	264,00	Transporte Terras Desligado	100,00	Transporte Excedentes Desligado	96,00	VD5_Alarme	78,00	Análise ABC			Categoria	Descrição Alarme	Percentagem Acumulada (%)	A	DN4_Bal.PPS DN16_Tolva MIMs	95,62	B	DN40_BB1.1/2 DN41_BB2.1/2	97,41	C	DN37_BB2.1/2	98,07	<ul style="list-style-type: none"> Alterar tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos Visualização de esforço na HMI do reprocessamento 1 Análise de indicadores do software de monitorização Projeto com novo sistema de alimentação Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto
Medida Consumo (Kg)	Desvio Padrão (Kg)																																											
3591,80	809,03 (23%)																																											
Descrição Alarme	Quantidade																																											
DN16_Tolva MIMs	13535,00																																											
DN2 - Tolva 2 Vazia	102,00																																											
DN33_BB. 0,25/0,5	78,00																																											
DN36_BB1. 0,5/1	230,00																																											
DN37_BB2. 0,5/1	233,00																																											
DN4_Bal.PPS	20310,00																																											
DN40_BB1. 1/2	370,00																																											
DN41_BB2. 1/2	264,00																																											
Transporte Terras Desligado	100,00																																											
Transporte Excedentes Desligado	96,00																																											
VD5_Alarme	78,00																																											
Análise ABC																																												
Categoria	Descrição Alarme	Percentagem Acumulada (%)																																										
A	DN4_Bal.PPS DN16_Tolva MIMs	95,62																																										
B	DN40_BB1.1/2 DN41_BB2.1/2	97,41																																										
C	DN37_BB2.1/2	98,07																																										
4 – OBJECTIVOS:	7 – PLANO DE AÇÕES: <table border="1" data-bbox="1303 948 1971 1209"> <thead> <tr> <th>Quê?</th> <th>Quem?</th> <th>Quando?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alterar tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos</td> <td>GMT</td> <td>10 Junho</td> </tr> <tr> <td>Visualização de esforço na HMI do reprocessamento 1</td> <td>EcoBite</td> <td>12 Abril</td> </tr> <tr> <td>Análise de indicadores do software de monitorização</td> <td>GMT</td> <td>1 Março</td> </tr> <tr> <td>Projeto com novo sistema de alimentação</td> <td>GMT</td> <td>10 Junho</td> </tr> <tr> <td>Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto</td> <td>GMT</td> <td>10 Junho</td> </tr> </tbody> </table>	Quê?	Quem?	Quando?	Alterar tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos	GMT	10 Junho	Visualização de esforço na HMI do reprocessamento 1	EcoBite	12 Abril	Análise de indicadores do software de monitorização	GMT	1 Março	Projeto com novo sistema de alimentação	GMT	10 Junho	Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto	GMT	10 Junho																									
Quê?	Quem?	Quando?																																										
Alterar tempo de descarga da balança para 3 em 3 segundos	GMT	10 Junho																																										
Visualização de esforço na HMI do reprocessamento 1	EcoBite	12 Abril																																										
Análise de indicadores do software de monitorização	GMT	1 Março																																										
Projeto com novo sistema de alimentação	GMT	10 Junho																																										
Realização de reuniões semanais para alinhamento do projeto	GMT	10 Junho																																										
<p>Aumento do consumo médio do PPS em 5% ; Diminuição do desvio padrão em 8% ; Diminuição do alarme DN4_Bal.PPS em 50% ; Aumentar correlação entre o alarmes DN4_Bal.PPS e o consumo do equipamento.</p>	8 – PLANO DE VERIFICAÇÃO: <ul style="list-style-type: none"> Realização de reuniões quinzenais Padronização das melhorias 																																											

Figura 35 – A3 Problem Solving