



ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS DE UMA EMPRESA PRODUTORA DE PÁS PARA TURBINAS EÓLICAS

FÁBIO RAFAEL DE JESUS NUNES

outubro de 2021

ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS DE UMA EMPRESA PRODUTORA DE PÁS PARA TURBINAS EÓLICAS

Fábio Rafael de Jesus Nunes
1160544

2020 - 2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS DE UMA EMPRESA PRODUTORA DE PÁS PARA TURBINAS EÓLICAS

Fábio Rafael de Jesus Nunes
1160544

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 Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá.

2020 - 2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

AGRADECIMENTOS

Ao meu avô.

À minha mãe, Lúcia, pela oportunidade, pelo seu esforço e apoio ao longo da minha vida académica.

À Ana por estar sempre presente, pelo apoio e motivação.

Ao Especialista José Carlos Vieira de Sá, meu orientador, pelo acompanhamento e disponibilidade ao longo de todo o trabalho.

Ao Engenheiro Ricardo Mendes pela orientação durante todo o período do estágio.

À Equipa de Engenharia, pela amizade e transmissão de conhecimento.

À Siemens Gamesa Renewable Energy Blades (Vagos), empresa de acolhimento, que tornou possível a realização deste trabalho.

A todos, obrigado!

PALAVRAS CHAVE

Lean; Uniformização; *Standard Work*; BoM; *Gemba*; Materiais Compósitos.

RESUMO

O presente trabalho integra a unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo Materiais e Tecnologias de Fabrico, do Instituto Superior de Engenharia do Porto concebido em ambiente empresarial na Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, empresa produtora de pás para turbinas eólicas.

Da necessidade de as empresas serem cada vez mais competitivas e eficientes surge uma busca insaciável pela melhoria contínua, permitindo às que aplicam esta ideologia uma redução de tempos de produção, melhores formas de realizar operações, reduções de custos/materiais e melhores condições de trabalho para os seus colaboradores, refinando ou mantendo a qualidade dos seus produtos.

A presente dissertação tem como principal objetivo analisar o impacto do uso de ferramentas *Lean* numa indústria de compósitos, mais concretamente no fabrico de uma pá eólica implementada, recentemente, na fábrica.

A análise inicial consistiu em encontrar possíveis falhas e melhorias, seguida da medição dos ganhos expectáveis, teste das resoluções, avaliação das medidas, decisão da implementação ou não e, por fim, a atualização da documentação referente ao projeto.

Na busca do aperfeiçoamento do projeto foi realizada uma pesquisa relativa à metodologia *Lean* e a ferramentas, como *Standard Work*, 5S, BoM, Gestão Visual, KPI, para auxiliar o cumprimento do objetivo pretendido.

A utilização de ferramentas *Lean* permitiu reduzir e eliminar quantidades excessivas de materiais usados no processo de fabrico, garantir a robustez na execução de tarefas bem como reduzir o tempo de execução de operações: 70% na tarefa calibração, 75% na montagem de pernos, 85% na criação e atualização de *Standard Works* e de 99% na marcação da posição de componentes aerodinâmicos na pá.

KEYWORDS

Lean; Standardization; Standard Work; BoM; Gemba; Composite Materials.

ABSTRACT

The following essay is presented as part of the course unit of Dissertation/Project/Internship of the Master's in Mechanical Engineering, in the field of Material and Manufacturing Technologies, of Instituto Superior de Engenharia do Porto. This project was designed in a business-like environment at Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, a company which produces blades for wind turbines.

Due to the need for companies to become increasingly competitive and efficient, an insatiable search for continuous improvement has arisen. This allows those who apply this kind of ideology to observe: a reduction of production time, better ways of performing their procedures and operations, cost reductions as well as a cut on supply materials, and overall better working conditions for their employees and associates, all the while refining or, at least, maintaining the quality of their products.

The main objective of this dissertation is to analyze the impact of the use of Lean tools in the composites industry, more specifically in the production of wind blade, recently implemented in the factory.

The initial diagnosis and analysis consisted of finding possible flaws and ways of improvement. This was followed by sizing the expected gains, coming up with resolution tests, evaluating the necessary measures, deciding whether or not to implement them and, last but not least, updating any and all documentation related to the project.

During the search for the improvement of this project, research was carried out regarding the use of Lean methodology, and tools such as Standard Work, 5S, BoM, Visual Management, and KPI, to help achieve the intended objective.

The use of Lean tools has allowed for the quantities of materials used during the manufacturing process to decrease and, in some cases, eliminated. It also ensured sturdiness and strength whilst performing tasks as well as reducing operation time: less 70% during the calibration task, less 75% during bolts assembly, less 85% whilst creating and updating the Standard Works, and whilst tagging the placement of aerodynamic components on the blade, it was observed a decrease of 99%.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

BoM	<i>Bil of Materials</i>
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
EBoM	<i>Engineering Bill of Materials</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LE	<i>Leding Edge</i>
LOPC	<i>Laser Optical Plankton Counter</i>
LPS	<i>Lightning Protection System</i>
MBoM	<i>Manufacturing Bill of Materials</i>
OCN	<i>Operation Change Note</i>
PS	<i>Pressure Side</i>
RIM	<i>Remove Infusion Materials</i>
SAP	<i>System Applications Products</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Dies</i>
SS	<i>Suction Side</i>
TE	<i>Trailing Edge</i>
Tg	Glass Transition (Transição Vítrea)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
UT	<i>Ultrasonic Testing</i>
VG	<i>Vortex Generator</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
VWI	<i>Visual Work Instruction</i>
WID	<i>Waste Identification Diagram</i>

Lista de Unidades

GW	Gigawatt
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
MW	Megawatt
USD	<i>United States Dollar</i>

GLOSSÁRIO DE TERMOS

5S	Conjunto de cinco termos, com origem japonesa, que servem de base para a melhoria continua numa organização.
5W2H	Sigla em inglês, cuja base da metodologia é responder a sete questões.
BoM	Lista de materiais e quantidade necessária para produzir um dado produto.
<i>Bottleneck</i>	Termo com origem inglesa que significa “ponto de estrangulamento”, também designado por gargalo do processo, que limita o fluxo de produção.
<i>Brainstorming</i>	Termo com origem inglesa que significa “Tempestade de Ideias”.
Chão-de-fábrica	Termo derivado da palavra “ <i>Gemba</i> ”, que se refere ao local onde é gerado o valor acrescentado.
Diagrama Causa Efeito	Diagrama que reúne e organiza as causas de um dado problema.
Gestão Visual	Tem como princípio destacar os problemas e utilizando meios visuais conhecer a situação atual das operações.
<i>Kaizen</i>	Termo de origem japonesa que significa “mudança para melhor”.
KPI	Indicadores-chave de desempenho de uma organização.
<i>Layout</i>	Termo com origem inglesa que significa “planta fabril”, ou seja, o modo como se encontra organizado a empresa.
<i>Lean</i>	Ideologia que tem como objetivo cortar e eliminar desperdícios.
<i>Muda</i>	Termo de origem japonesa que significa “desperdício”.
<i>One Point Lesson</i>	Termo com origem inglesa, que se refere a uma instrução visual.
<i>Poka-Yoka</i>	Termo de origem japonesa que significa “à prova de erro”.
Pré-fabricado	Peça em compósito, produzida antes da peça principal, que será incorporada nesta última, na infusão ou na colagem.
Sistema <i>Pull</i>	Sistema de fabrico que dá início à fabricação de um produto, unicamente, após a requisição do cliente.
SMED	Termo com origem inglesa que significa troca rápida de ferramentas.
<i>Standard Work</i>	Documento que reúne uma sequência de operações concreta.
<i>Stock</i>	Termo com origem inglesa que significa “inventário”.
<i>Value Stream</i>	Termo com origem inglesa que significa “cadeia de valor”. Indica todas as operações necessárias no fabrico de um produto.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM CICLO DA METODOLOGIA <i>ACTION RESEARCH</i> , ADAPTADO DE (MCNIFF, 2017).	3
FIGURA 2 - ESPIRAL CÍCLICA DA METODOLOGIA, ADAPTADO DE (MCNIFF, 2017).	3
FIGURA 3 - FASES DA BUSCA DE MELHORIAS.	4
FIGURA 4 - BALANÇO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE, ADAPTADO DE (APREN, 2020).	8
FIGURA 5 - INVESTIMENTO EM ENERGIA EÓLICA (BILIÕES DE USD) (GWEC, 2019).	8
FIGURA 6 - CAPACIDADE MUNDIAL INSTALADA (MW) (GWEC, 2019).	9
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ARTIGOS E LIVROS CONSULTADOS.	9
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA 5S.	18
FIGURA 9 - QUADRO INFORMATIVO EM A) E DELIMITAÇÕES DE ESPAÇO EM B) E C).	19
FIGURA 10 - INSTALAÇÕES FABRIS DA SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY BLADES.	26
FIGURA 11 - COMPONENTES PRINCIPAIS DE TURBINAS DE EIXO HORIZONTAL, ADAPTADO DE (JIANG, HU, DONG, GAO, & REN, 2017).	27
FIGURA 12 - DETALHE DE TURBINAS DE EIXO HORIZONTAL, ADAPTADO DE (JIANG ET AL., 2017).	27
FIGURA 13 - PÁS EÓLICAS <i>ONSHORE</i> ANTES DO TRANSPORTE PARA O PORTO DE AVEIRO.	28
FIGURA 14 - PARTES INTEGRANTES DE UMA PÁ.	28
FIGURA 15 - PÁ EM CORTE.	29
FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA A) DE MANTA E TECIDOS: B) UNIDIRECIONAL [90°], C) BIAIXIAL [-45°/+45°] E D) TRIAXIAL [-45°/90°/+45°].	30
FIGURA 17 - CAMADAS DE FIBRA COLOCADAS NO MOLDE <i>MAIN SHELL</i> .	30
FIGURA 18 - <i>BOBINE</i> DE CARBONO PULTRUDIDO.	31
FIGURA 19 - <i>LAYOUT</i> FABRIL PROJETO SG155.	33
FIGURA 20 - FLUXO DE PRODUÇÃO DE UM PRÉ-FABRICADOS (EXEMPLO <i>CAPS</i>).	33
FIGURA 21 - DEFEITOS RESULTANTES DA COLAGEM (FALTA DE COLA/BOLHAS DE AR) DETETADOS POR ULTRA SONS.	34
FIGURA 22 - DEFEITO AR NO LAMINADO A) E INÍCIO DA SUA REPARAÇÃO B).	35
FIGURA 23 - FLUXO DOS PRÉ-FABRICADOS E PÁ.	35
FIGURA 24 - EXEMPLO DE PÁGINA DE <i>STANDARD</i> ANTES DA INTERVENÇÃO.	40
FIGURA 25 - EXEMPLO DE PÁGINA DE <i>STANDARD</i> DEPOIS DA INTERVENÇÃO.	40
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS DOCUMENTOS PRESENTES NO VWI.	41
FIGURA 27 - ÍNDICE DE REVISÕES DO <i>TEMPLATE</i> VWI.	41
FIGURA 28 - QUIOSQUE.	42
FIGURA 29 - PERFIS OMEGA USADOS COMO SUPORTE ÀS MANGUEIRAS A) E B).	44
FIGURA 30 - REUTILIZAÇÃO DE REFORÇOS DE CARTÃO: A) A 1ª FUNÇÃO DOS REFORÇOS, B) O REFORÇO E C) 2ª UTILIZAÇÃO.	45
FIGURA 31 - MANGUEIRA EM EXCESSO: A) FOTOGRAFIA DO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE RESINA E B) EVIDÊNCIA DE MANGUEIRA EM EXCESSO.	45
FIGURA 32 - <i>ZONINGS</i> DAS MÁQUINAS DE RESINA E DOS <i>BIDONS</i> NA <i>MAIN SHELL</i> .	46
FIGURA 33 - MANGUEIRAS APÓS O PROCESSO DE INFUSÃO COM RESINA CATALISADA.	46

FIGURA 34 - PERNOS MONTADOS NA PÁ A) E DETALHE DA MONTAGEM B).	47
FIGURA 35 - ACESSÓRIO DE APERTO DOS PERNOS EM DETALHE A) E TESTE DO MESMO EM LINHA B).	47
FIGURA 36 - ANTES DA INTERVENÇÃO A) VS DEPOIS DA INTERVENÇÃO B).	48
FIGURA 37 - DETALHES DO JIG DE APERTO: A) NO COVER E B) NA PÁ.	48
FIGURA 38 - VGS MONTADOS AO LONGO DA PÁ.	49
FIGURA 39 - MARCAÇÕES FEITAS PELOS POSTIÇOS DO MOLDE NA PÁ A), DETALHES DOS POSTIÇOS B) E C).	50
FIGURA 40 - CALIBRADOR COLADO NA PÁ.	51
FIGURA 41 - FUROS A) PARA ENCHIMENTO DA MISTURA NUM DOS 3 CALIBRADORES (MÉTODO INICIAL POR GRAVIDADE) E DETALHE DOS FUROS EM B).	51
FIGURA 42 - BOMBA DE VÁCUO A) E UTILIZAÇÃO DE VÁCUO NA CALIBRAÇÃO B) (MÉTODO ATUAL).	52
FIGURA 43 - REPRESENTAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DAS VÁRIAS CAMADAS DE FIBRA.	52
FIGURA 44 - APLICAÇÃO DE MASSAS EM 2 CAMADAS: A) ZONA DA ROOT E B) ZONA DO TE.	52
FIGURA 45 - APLICAÇÃO DE MASSAS “A RASPAR” NO TE A) E B).	53
FIGURA 46 - FIBRA DESENROLADA EM “CORDA” A) VS FIBRA DESENROLADA EM “RAIO” B).	53
FIGURA 47 - EVIDÊNCIAS DE EXCESSO EM LARGURA DE FIBRA A) E B) COM NECESSIDADE DE CORTE NA LINHA DE PRODUÇÃO.	54
FIGURA 48 - EVIDÊNCIAS DE FALTA DE FIBRA EM COMPRIMENTO COM NECESSIDADE DE RETRABALHOS A) E B).	54
FIGURA 49 - VERIFICAÇÃO DE CARROS ANTES DO INÍCIO DA PRODUÇÃO: A) NO ARMAZÉM DE LOGÍSTICA E B) JUNTO ÀS PEÇAS.	55
FIGURA 50 - CARROS APÓS FIM DA PRODUÇÃO DAS PEÇAS A) E B).	56
FIGURA 51 - MATERIAIS ABASTECIDOS NÃO UTILIZADOS A) E B) E MATERIAIS EM EXCESSO C).	56
FIGURA 52 - ABASTECIMENTO DE MATERIAIS EM EXCESSO A) POR PICKING LIST DESATUALIZADA B).	57
FIGURA 53 - MATERIAIS ABASTECIDOS EM EXCESSO POR BOM DESATUALIZADA (CAPS).	57
FIGURA 54 - CAIXAS CHEIAS DE MATERIAIS (SOBRAS).	58
FIGURA 55 - EVIDÊNCIA DA GRANDE DISTÂNCIA ENTRE O OPERADOR E A ZONA DE TRABALHO A) E B).	59
FIGURA 56 - POSIÇÃO DE TRABALHO DESAJUSTADA.	59
FIGURA 57 - ZONAS DE AQUECIMENTO DO MOLDE A) E DETALHE DE ZONA 5.1 QUE NECESSITA DE SER ATIVADA B).	60

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CASOS DE ESTUDO RELATIVOS À ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS NA INDÚSTRIA.	10
TABELA 2 - PRINCÍPIOS CHAVE DO <i>LEAN</i> .	14
TABELA 3 - PRINCIPAIS DESPERDÍCIOS (LIKER, 2004).	14
TABELA 4 - PRINCIPAIS RESULTADOS.	64

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO E PERTINÊNCIA.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	OPÇÕES METODOLÓGICAS	2
1.4	FASES E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	INDÚSTRIA.....	7
2.1.1	IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA NA ECONOMIA NACIONAL.....	7
2.1.2	IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA NA ECONOMIA MUNDIAL.....	8
2.2	ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	9
2.2.1	ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS.....	10
2.2.2	LEAN	13
2.2.3	FERRAMENTAS E INDICADORES	15
2.2.3.1	STANDARD WORK.....	16
2.2.3.2	GEMBA WALK	17
2.2.3.3	5S	17
2.2.3.4	GESTÃO VISUAL.....	19
2.2.3.5	BOM.....	20
2.2.3.6	KPI.....	21
2.2.3.7	SISTEMA DE SUGESTÕES.....	22
3	CONTEXTO INICIAL	25
3.1	EMPRESA.....	25
3.1.1	SIEMENS GAMESA.....	25
3.1.2	RIA BLADES SA.....	25
3.2	PRODUTO	26
3.3	MATÉRIA-PRIMA	29
3.3.1	FIBRAS	29
3.3.2	MATRIZ.....	30
3.3.3	NÚCLEO/CORE.....	31

3.3.4	CARBONO PULTRUDIDO	31
3.4	PROCESSOS.....	32
3.4.1	PROCESSOS PRINCIPAIS.....	32
3.4.2	PROCESSOS COMPLEMENTARES	32
3.5	FLUXOS E LAYOUT FABRIL	33
3.6	SÍNTESE DOS PROBLEMAS.....	35
4	PROPOSTAS DE MELHORIA	39
4.1	STANDARDS.....	39
4.1.1	NOVA ESTRUTURA	39
4.1.2	NOVO TEMPLATE.....	40
4.1.3	QUIOSQUES	42
4.1.4	IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS.....	42
4.1.4.1	CARBONO PULTRUDIDO	42
4.1.4.2	INFUSÃO DIRETA.....	43
4.2	MELHORIAS	44
4.2.1	REDUÇÃO DE PERFIS ÓMEGA NA INFUSÃO.....	44
4.2.2	REDUÇÃO DE MANGUEIRAS	45
4.2.3	JIG APERTO PERNOS	46
4.2.4	JIG PARA O COVER (LOPC)	48
4.2.5	MARCAÇÕES MOLDE VGS.....	49
4.2.6	VÁCUO NA CALIBRAÇÃO	50
4.2.7	APLICAÇÃO DE MASSAS.....	52
4.2.8	ACOMPANHAMENTO LAY-UP.....	53
4.2.9	CONFERÊNCIA CARROS BoM	55
4.3	NECESSIDADE ENCONTRADA	58
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	63
5.1	CONCLUSÕES.....	63
5.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	65
6	BIBLIOGRAFIA	69
7	ANEXOS.....	77
	ANEXO A - PLANTA FABRIL	77

ANEXO B - <i>STANDARD WORK</i> (NOVA ESTRUTURA)	79
ANEXO C - DOCUMENTO DE APOIO (REDUÇÃO DE MANGUEIRAS).....	81
ANEXO D - DOCUMENTO DE APOIO (<i>GEMBA WALK</i>)	83
ANEXO E - EXEMPLO DE CHECK LIST	85

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E PERTINÊNCIA

1.2 OBJETIVOS

1.3 OPÇÕES METODOLÓGICAS

1.4 FASES E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O presente projeto faz parte dos requisitos a cumprir para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, no ramo de Materiais e Tecnologias de Fabrico, desenvolvido no âmbito de um estágio curricular, de outubro de 2020 a maio de 2021, numa organização externa ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e destina-se à análise e melhoria de uma linha de produção de uma pá eólica.

Este capítulo divide-se nos seguintes tópicos: enquadramento e pertinência da dissertação, objetivos da investigação a alcançar, opção metodológica utilizada e as fases e estrutura da presente dissertação.

1.1 ENQUADRAMENTO E PERTINÊNCIA

Os avanços da industrialização e da tecnologia e a intensificação do aquecimento global, tornaram indispensável a redução do consumo de combustíveis fósseis na produção de eletricidade, apostando na produção de energia isenta de poluentes.

As fontes renováveis são recursos naturais, com capacidade de se regenerar num curto espaço de tempo e de forma sustentável. Desde muito cedo e com a necessidade, o Homem foi criando formas de aproveitar, para seu benefício, este tipo de energia, na agricultura por exemplo para bombear água e moer grãos.

A utilização destas fontes renováveis para a produção de energia não é novidade, mas como todas as inovações, numa fase inicial existe pouco interesse, investimento/conhecimento, nestas máquinas que as aproveitam, tornando sua utilização em abundância precoce. Devido a vários fatores, estas não são bem aceites pela sociedade, tornando-se economicamente inviáveis e o seu desenvolvimento lento, o que leva a que fiquem de parte.

A expansão das energias renováveis surge das metas de combate à poluição e apoios à sua utilização, aliadas ao desenvolvimento e do aumento da eficiência dos equipamentos.

Com o aumento da procura, as empresas necessitam de aumentar a sua eficiência e competitividade, desencadeando uma procura permanente pela melhoria continua. A forma mais comum de o conseguir é aplicando metodologias *Lean*, de modo a identificar e eliminar desperdícios que não acrescentam valor no produto final e ao cliente. Deste modo, é possível reduzir recursos e obter uma produção mais rápida e eficiente, sem deterioramento da qualidade.

Comparativamente a outras indústrias, a produção de componentes eólicos é relativamente recente e dispendiosa. Por isso, é perceptível que a produção destes equipamentos apresente uma grande componente de trabalho manual, apesar de já se introduzirem algumas máquinas e robôs para automatizar processos, sempre que possível, quando existem intenções e verbas, já que se tratam de equipamentos extremamente caros.

Este trabalho aborda o fabrico de pás de turbinas eólicas com, aproximadamente, 76 metros. O seu fabrico é um processo bastante complexo e com grande variabilidade, devido aos equipamentos usados, fatores humanos e ambientais. Existem linhas de conceção do produto, mas todos os componentes acabam por se tornar diferentes, uma vez que uns precisam de mais reparações que outros. É esta operação que, a maior parte das vezes, atrasa o processo.

A realização deste trabalho tem como tema a análise e melhoria do processo de fabrico da pá SG155, implementada recentemente na fábrica. Na busca do aperfeiçoamento do projeto estudou-se ferramentas e indicadores *Lean - Standard Work, Gemba Walk, 5S, Gestão Visual, BoM e KPI* - de forma a cumprir o objetivo pretendido.

1.2 OBJETIVOS

A presente dissertação tem como principal objetivo analisar o impacto do uso de ferramentas *Lean* numa indústria de compósitos.

Será que a utilização de metodologias e ferramentas *Lean* possui impacto na melhoria de processos no fabrico de pás para turbinas eólicas?

Para responder à questão de investigação foi necessário analisar todo o processo, identificar melhorias nos procedimentos realizados e nos materiais, planear cenários, medir ganhos expectáveis, testá-los, avaliar os impactos obtidos e proceder à implementação ou não das melhorias.

O estudo realizado é direcionado para a produção da pá SG155 da Siemens Gamesa.

1.3 OPÇÕES METODOLÓGICAS

A metodologia que serviu de suporte à investigação foi a metodologia *Action Research* (Investigação Ação). (Lomax, 1990) define esta metodologia como uma intervenção na atividade profissional com o objetivo de proporcionar uma melhoria.

É uma metodologia de pesquisa fundamentalmente prática, direcionada para a resolução de problemas reais. A primeira fase, registada na Figura 1, consiste em observar/identificar o problema, a segunda em analisar/definir uma solução, a terceira atuar, a quarta modificar/standarizar e a quinta em ponderar outras soluções (novas direções), iniciando um novo ciclo.

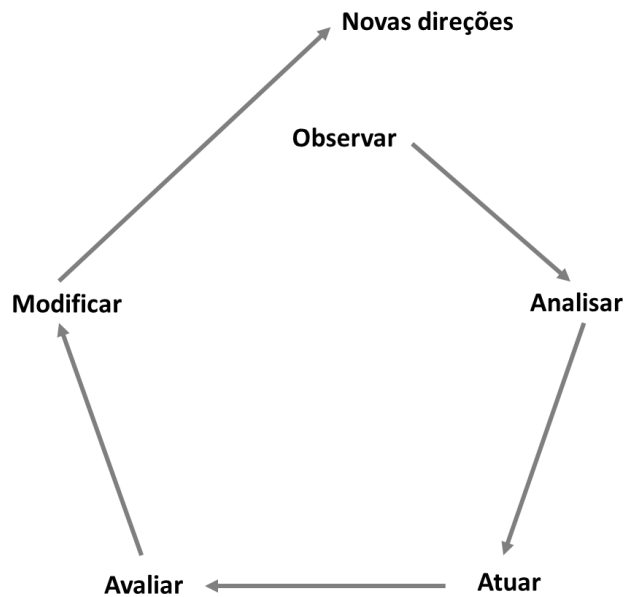


Figura 1 - Esquema representativo de um ciclo da metodologia *Action Research*, adaptado de (McNiff, 2017).

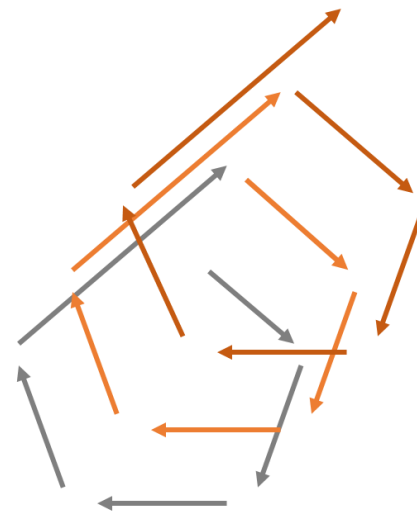


Figura 2 - Espiral cíclica da metodologia, adaptado de (McNiff, 2017).

É, assim, um processo cíclico ou em espiral, como representado na Figura 2, que alterna a ação (mudança) com a reflexão crítica. Os ciclos posteriores ao primeiro são de aperfeiçoamento das ações/métodos e de análise e interpretação de dados, com base no conhecimento adquirido no ciclo anterior. Frequentemente, as primeiras descobertas despoletam novas possibilidades de melhoria, que serão testadas/implementadas no ciclo seguinte (Cortesão, 1998).

Compreender e produzir conhecimento, modificar e melhorar as práticas existentes e transformar o responsável pela mudança são os principais propósitos da metodologia aplicada, a *Action Research*.

1.4 FASES E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A primeira fase, da Figura 3, consistiu numa adaptação ao ambiente empresarial e aquisição de terminologias específicas da indústria. Além disso, esta fase compreendeu a realização de um acompanhamento, no chão de fábrica, da conceção dos vários componentes que compõem uma pá, em paralelo com o estudo das fases que compõem cada processo.

A segunda fase, consistiu num estudo das metodologias e ferramentas *Lean* e realização do primeiro, segundo e terceiro capítulos da dissertação.

Por último, na terceira fase foram analisadas todas as etapas realizadas na produção de uma pá do projeto SG155, na busca de possíveis melhorias. Após a identificação destas e a execução das propostas de melhoria foram também realizados o quarto e quinto capítulos da presente tese.

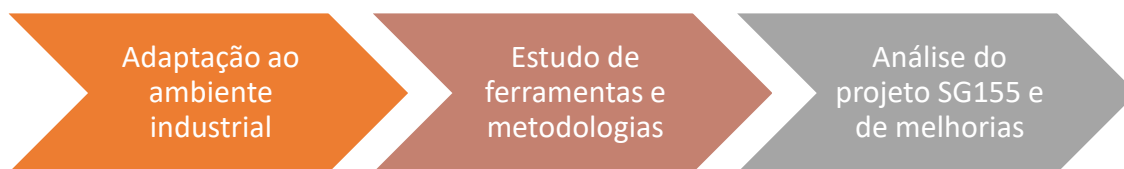


Figura 3 - Fases da busca de melhorias.

A dissertação está dividida em cinco capítulos apresentados de seguida.

No primeiro capítulo é feita a introdução do trabalho, onde é descrito o enquadramento e pertinência do problema, o objetivo da investigação, as opções metodológicas e, por fim, as fases e estrutura da dissertação.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, onde se aborda a importância da indústria para a economia mundial e nacional e é feito o enquadramento teórico, descrevendo as metodologias e ferramentas utilizadas ao longo do estágio.

No terceiro capítulo é realizada a análise do contexto inicial, através da apresentação da empresa de acolhimento, do produto, dos materiais utilizados, dos processos necessários para a produção de pás, dos fluxos e do *layout* fabril e, finalmente, da síntese dos problemas encontrados.

No quarto capítulo são apresentadas as propostas de melhoria, que se dividem em *standard's* relativos aos processos e em melhorias. Neste capítulo são ainda apresentados os resultados da sua implementação.

No quinto e último capítulo encontram-se as conclusões e as considerações finais acerca do trabalho realizado na empresa e das propostas de trabalhos futuros.

Enumerada a introdução do trabalho segue-se a revisão bibliográfica, onde se descreve, sucintamente, os conceitos teóricos utilizados no desenvolver da dissertação e o estado da arte.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA

2.2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo encontra-se dividido em duas partes. A primeira diz respeito ao impacto que a indústria da energia eólica tem na economia nacional e mundial. Na segunda parte são abordados os conceitos teóricos, onde é feita uma análise a artigos da área de análise e melhoria de fluxos produtivos, seguindo-se uma breve descrição dos temas teóricos pertinentes que serviram de base para o capítulo das propostas de melhoria.

2.1 INDÚSTRIA

Este subcapítulo apresenta o estado atual da indústria e o impacto que apresenta, quer na economia nacional quer na economia mundial. Como se trata do fabrico de componentes de grandes dimensões, são necessárias grandes quantidades de materiais e mão de obra para a sua produção e transporte, levando a que o valor do produto final seja muito elevado. Nesta indústria, é comum falar-se em milhares de euros quando nos referimos a uma parte do componente final ou material para a produção da mesma e em milhões de euros quando nos referimos a parques eólicos. É perceptível que a otimização de processos tem um papel muito importante nas indústrias, mas nesta, em concreto, possui uma elevada relevância, já que algumas mudanças se refletem facilmente na redução de centenas de euros no custo final destes componentes.

2.1.1 IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA NA ECONOMIA NACIONAL

A Setembro de 2020, 60,7% da energia produzida em Portugal continental foi obtida de fontes renováveis e os restantes 29,3% de combustíveis fósseis. Na Figura 4 é possível observar que uma grande fatia da produção de energia provém da energia eólica, sendo esta a segunda mais utilizada, seguida da hídrica.

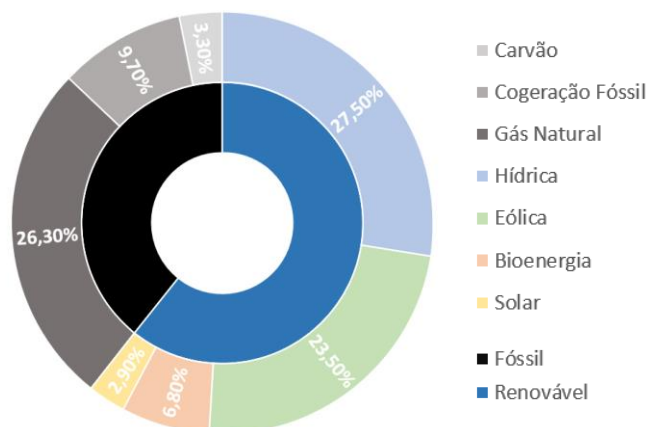


Figura 4 - Balanço da produção de eletricidade, adaptado de (APREN, 2020).

De modo a compreender a relevância da indústria eólica é importante ter em consideração alguns aspetos:

- Estima-se que a procura de energia aumente mais de 30% nos próximos vinte anos (EDP, 2018).
- Os produtores de energia têm metas para que nos próximos dois anos a capacidade de produção de renováveis aumente para os 76%.
- Irão ser construídos novos parques eólicos financiados pelo Banco Europeu de Investimento (BEI) e BPI, no valor de 112 milhões de euros, nos próximos anos.
- Os primeiros parques instalados de turbinas aproximam-se do fim da sua vida útil, sendo necessário renová-los por novos equipamentos mais eficientes.

Tecidas as considerações, é perceptível o elevado impacto que esta indústria tem na economia do país e o potencial de crescimento e aproveitamento de energias renováveis na produção de energia em Portugal.

2.1.2 IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA NA ECONOMIA MUNDIAL

Se em Portugal esta indústria movimenta milhões, já a nível mundial movimenta biliões de euros. A Figura 5 apresenta o crescimento do investimento em energia eólica de 2010 a 2019, evidenciando um aumento de 8,85% da taxa de crescimento composta (CAGR). O aumento mais acentuado ocorreu em 2014 uma vez que se passou de um investimento de 156,1 para 207,4 biliões de dólares (Figura 5).



Figura 5 - Investimento em Energia Eólica (biliões de USD) (GWEC, 2019).

Relativamente à evolução da capacidade mundial instalada, Figura 6, ocorreu um crescimento bastante acentuado, já que em 11 anos passou de 240 para 1272 MW (contabilizando *Onshore* e *Offshore*). Desses 1272 MW, 575 encontram-se localizados na Ásia, o continente detentor da maior capacidade e apenas 388 na Europa.

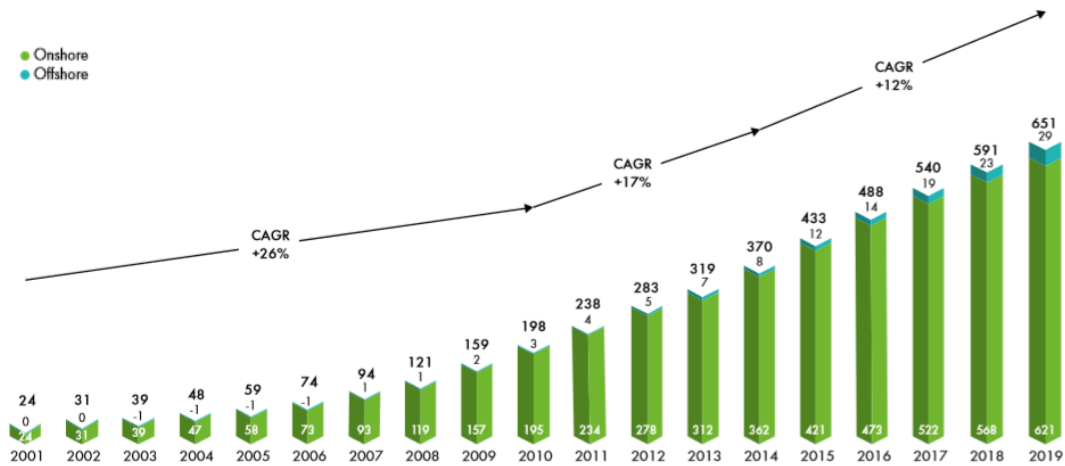


Figura 6 - Capacidade mundial instalada (MW) (GWEC, 2019).

2.2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste subcapítulo são apresentados conceitos teóricos que fundamentam o trabalho realizado na empresa.

A Figura 7 representa a evolução da pesquisa bibliográfica. Pela análise do gráfico, que relaciona o ano de publicação com os artigos e livros consultados, é possível ter uma visão geral do tipo de documentos que fundamentam o trabalho, bem como do ano e local de publicação.

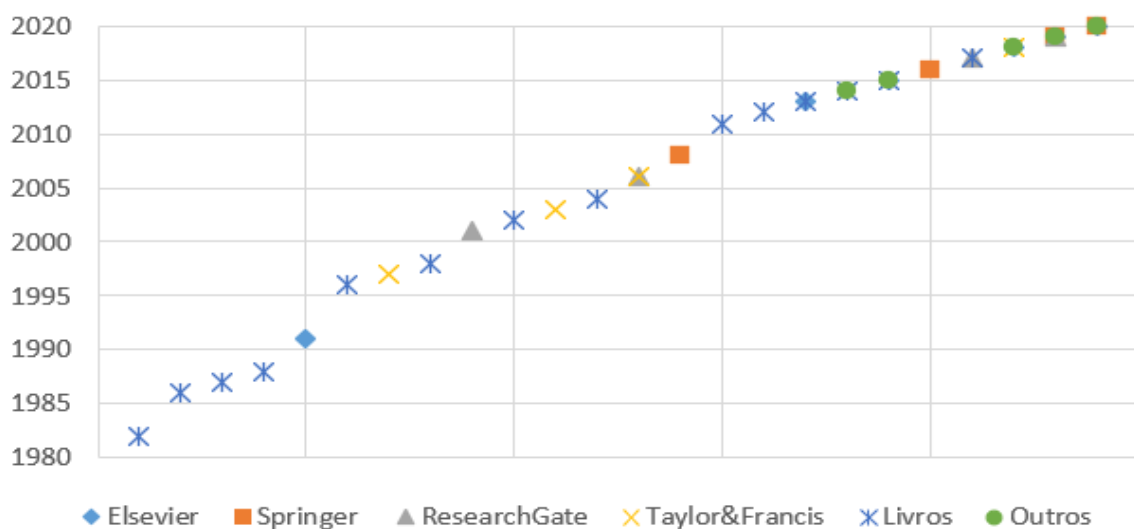


Figura 7 - Representação gráfica dos artigos e livros consultados.

2.2.1 ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS

Com vista a perceber o impacto da utilização de ferramentas *Lean* em situações reais na indústria, nomeadamente no aumento da eficiência, redução de desperdícios nos processos e aumento da produtividade (Correia, Silva, Gouveia, Pereira, & Ferreira, 2018), procedeu-se à realização de uma pesquisa bibliográfica, apresentada de forma sucinta na Tabela 1. Nesta tabela foram compilados alguns casos de estudo e quantificados os resultados conseguidos por estes.

Tabela 1 - Casos de estudo relativos à análise e melhoria de fluxos produtivos na indústria.

Referência	Síntese do trabalho
(Cordeiro et al., 2020)	O objetivo deste trabalho foi implementar ferramentas <i>Lean</i> — 5S, Gestão Visual e <i>One Point Lesson</i> , numa empresa, com o intuito de promover a mudança de comportamentos dos trabalhadores, melhorar o ambiente de trabalho e, conseqüentemente, as condições de segurança e saúde no trabalho. Através de um questionário efetuado aos colaboradores, no final do estudo, apurou-se que 83,4% concorda que, com a implementação das ferramentas <i>Lean</i> , o ambiente de trabalho foi melhorado.
(Sá et al., 2020)	Neste artigo foi realizado um estudo com o objetivo de retratar a integração de ferramentas <i>Lean 6 Sigma</i> com requisitos da norma ISO9001:2015, como ferramenta de operação e suporte do Sistema de Gestão da Qualidade, em empresas portuguesas. Das empresas inquiridas, 99% concordam que a implementação das ferramentas e técnicas produziu melhorias nos seus sistemas, com 63,64% das empresas a apontarem para a "melhoria da resolução de problemas" como principal benefício, seguida a "redução de resíduos" com 41,56% e por último a "melhoria da comunicação interna" com 40,26%. Esta investigação propõe, também, um modelo de integração de ferramentas e requisitos <i>Lean</i> .
(J. Pereira, Silva, Sá, & Bastos, 2020)	Neste artigo, foi realizado um projeto de melhoria, aplicando <i>6 Sigma</i> , com o objetivo de reduzir a quantidade de sucata no sector mais crítico de um fabricante de componentes automóveis. Posteriormente a ser identificado o equipamento responsável pela criação de maior sucata, foram realizadas reuniões Brainstorming e aplicadas técnicas 5W e 5W2H para dar resposta aos diagramas de causa efeito, com o objetivo de entender possíveis causas de raiz. Após uma definição das ações de melhoria, foi conseguida uma redução de 15%, apenas na máquina identificada como o principal gerador de sucata nestes processos.

Referência	Síntese do trabalho
(A. M. H. Pereira, Silva, Domingues, & Sá, 2019)	O objetivo do artigo foi explorar a otimização do processo interno, assumido como fator crítico nas indústrias de moldes, com a aplicação de princípios e técnicas <i>Lean</i> . Verificou-se um grande potencial para alcançar melhorias na produção, com consequentes ganhos de tempo em todo o processo de fabricação. No caso específico de máquinas CNC (<i>Computer Numeric Control</i>), com a implementação de ferramentas <i>Lean 6 Sigma</i> , ocorreu uma melhoria de cerca de 20% na eficiência global do equipamento. Esta investigação proporciona, às indústrias de moldes, uma melhor compreensão da relação entre a estratégia/gestão <i>Lean</i> e o desempenho da sua aplicação.
(Ribeiro et al., 2019)	O principal objetivo deste estudo foi a implementação de ferramentas <i>Lean</i> nos principais componentes, da empresa de produtos plásticos, com o intuito de reduzir os tempos de ciclo, aumentar a produção das linhas e reduzir as reclamações associadas. As melhorias foram propostas através de ferramentas <i>Lean</i> e metodologias como 5S, Gestão Visual, SMED e <i>Standard Work</i> . A implementação destas teve impactos positivos, como a redução de 70% dos tempos de transporte na linha de produção de pintura e o crescimento da eficiência global do equipamento em 18% na operação de injeção, 16% na linha de produção de pintura das Capas das Rodas e de 17% na linha de pintura dos Para-choques.
(Ulewicz & Lazar, 2019)	O artigo apresenta a influência de cinco ferramentas <i>Lean</i> no nível de segurança, numa organização de fabrico de metais. O número de situações potencialmente perigosas e o número de acidentes foram considerados como medida de nível de segurança. Os resultados obtidos indicam que o mais importante para o nível de segurança é 5S, TPM, enquanto <i>Kaizen</i> , <i>Poka-Yoka</i> e VSM possuem menor relação.
(Gonçalves, Sá, Santos, & Gonçalves, 2019)	Este trabalho apresenta uma nova metodologia designada <i>Safety Steam Mapping</i> (SSM) baseada no <i>Value Stream Mapping</i> (VSM) e no Diagrama de Identificação de Resíduos (WID) que permite perceber, nas áreas/processos pertencentes ao fluxo produtivo, qual o risco associado e qual a causa da falta de segurança. É apresentado um caso de estudo, numa empresa têxtil, em que se concluiu que a empresa apresenta um alto nível de risco, sendo riscos muito graves e graves. Maioritariamente, a falta de segurança é causada por falhas humanas, seguidas de espaço e a falhas no equipamento.
(Azevedo et al., 2019)	Neste artigo foi realizado um estudo, com o objetivo de reduzir resíduos resultantes da produção, identificar operações de valor acrescentado, aumentar a produtividade, nivelar e diminuir o

Referência	Síntese do trabalho
	<p>processamento excessivo. O projeto por detrás deste estudo envolveu a instalação de sete linhas de produção final e sete linhas de pré-montagem, sendo que, após a implementação e validação, os custos foram avaliados e a poupança atingiu 10,9 % (2 159 000 euros), tendo em conta todos os custos da industrialização.</p>
<p>(Rodrigues, de Sá, Ferreira, Silva, & Santos, 2019)</p>	<p>Este estudo compreendeu dois objetivos principais. O primeiro objetivo era demonstrar como ferramentas <i>Lean</i>, no sector da metalomecânica, permitiam um maior impacto durante a fase de implementação. Já o segundo objetivo consistia em introduzir alterações processuais baseadas na Gestão de Recursos Humanos através da ferramenta <i>Lean Leadership</i>. Relativamente aos dois objetivos referidos, verificou-se um aumento de 8,5% na taxa de ocupação das máquinas e uma redução de 27,9% relativamente aos custos por hora dos produtos defeituosos. Com esta implementação, a ocupação das máquinas aumentou, os defeitos e os custos diminuíram, pelo que o valor acrescentado cresceu.</p>
<p>(Dias, Ferreira, Sá, Ribeiro, & Silva, 2019)</p>	<p>Este artigo descreve as medidas implementadas, baseadas no <i>Lean</i>, numa empresa do sector da metalomecânica, com vista a melhorar o processo e cumprir os prazos de entrega. Apesar das limitações encontradas durante a implementação e do facto de os processos de fabrico serem invariavelmente diferentes, os resultados globais alcançados foram satisfatórios. Verificou-se uma redução de 25% no tempo de orçamentação, bem como uma melhoria dos sistemas de comunicação e da gestão da produção. Foi ainda conseguida a reorganização dos espaços de armazenamento e, com esta, uma redução dos tempos de funcionamento logístico de cerca de 20% e uma diminuição do tempo de acesso às ferramentas em cerca de 61%.</p>
<p>(Jimenez et al., 2019)</p>	<p>O objetivo deste trabalho foi analisar a situação do processo produtivo na cadeia de valor da transformação e comercialização de uma empresa de Pesca e Marisco como caso de estudo. Pretendeu-se ainda identificar resíduos (Muda), que afetam a qualidade e produtividade dos produtos. Foram apresentadas propostas de melhoria ao abrigo das ferramentas <i>Lean Manufacturing</i>, para aumentar o desempenho da cadeia de valor em estudo. Como principais resultados, destacam-se propostas de melhoria através das ferramentas <i>Lean</i>, que promoveram avanços na organização do <i>layout</i> e tempos de processo.</p>
<p>(Costa, Pinto Ferreira, C. Sa, & Silva, 2018)</p>	<p>Este documento reflete o trabalho realizado numa empresa de metalomecânica, onde foram analisados os problemas observados numa célula de maquinação, com o objetivo de fornecer soluções. Os objetivos foram atingidos através do uso da</p>

Referência	Síntese do trabalho
	metodologia 5S e da realização de algumas ações necessárias, como alterações de <i>layout</i> . Este projeto visava melhorar a própria célula, tornando-a um lugar mais seguro para trabalhar. As ferramentas implementadas na célula de produção melhoraram a segurança no posto de trabalho, aumentaram a produtividade e reduziram drasticamente os resíduos.

Pela leitura da Tabela 1, podemos constatar a elevada importância da metodologia e ferramentas *Lean*, bem como do impacto da sua utilização. Com a sua correta implementação e utilização no dia-dia, as empresas tornam-se mais eficazes na resposta ao cliente, reduzindo desperdícios e obtendo vantagem competitiva, através da melhoria da qualidade e produtividade (Bhamu & Sangwan, 2014), o que vai ao encontro do pretendido com a presente dissertação.

2.2.2 LEAN

De acordo com (Buckley, Prewette, Byrd, & Harrison, 2017) é possível alcançar o sucesso organizacional, recorrendo a três tópicos indispensáveis: Qualidade, Custo e Entrega. É necessário, deste modo, seguir metodologias como *Lean Thinking* para atingir este propósito.

A metodologia *Lean Thinking* pode ser definida como: “Forma de fazer mais com menos. Menos esforço humano, equipamentos, tempo e espaço” (Womack, J., & Jones, 1996). Esta ideologia resulta do aperfeiçoamento da metodologia Toyota *Production System*, em que o foco principal é eliminar os desperdícios encontrados no fluxo de valor da organização, acrescentando valor para o cliente, com a finalidade de entregar um produto de qualidade, de forma eficiente e económica.

A base deste conceito é a perfeição, ou seja, a busca pela melhoria contínua e evolução constante, que resulta no aperfeiçoamento da qualidade do produto, na redução de custos, de stock, de desperdícios e de tempos de ciclo (Natalie J. Sayer, 2012; Pavnaskar, Gershenson, & Jambekar, 2003).

Lean é um conjunto de princípios, práticas, ferramentas e técnicas, que têm como objetivo cortar e eliminar desperdícios que ocorrem nos processos, ou seja, tudo o que não acrescenta valor ao produto final. Esta metodologia tem como finalidade:

- Diminuir despesas decorrentes de erros de produção - Lucro;
- Padronizar processos através de uma maior precisão e detalhe das etapas - Qualidade;
- Otimizar, retirando da produção o que não é necessário, para entregar o produto final com qualidade - Produção;
- Motivar os funcionários, levando a uma melhoria da sua eficiência - Motivação;

- Evoluir, a empresa cresce se conseguir diminuir as suas despesas, fazendo um melhor uso dos recursos - Crescimento.

No sentido de implementar, de forma eficaz, esta filosofia e atingir os objetivos, é necessário entender os cinco princípios apresentados na Tabela 2: valor, cadeia de valor, fluxo de valor, pull e perfeição.

Tabela 2 - Princípios chave do *Lean*.

Princípio	Descrição
Definir Valor na visão do cliente	Avaliação, pela empresa do seu cliente alvo, por meio de um diálogo, de modo a apurar o que este considera valor num produto ou serviço específico (Smith A, 2015).
Cadeia de valor "Value Stream"	Identificação das ações que geram, efetivamente, valor no fabrico de um produto. As atividades que não geram valor acrescentado são inibidoras de um sistema sob a forma de resíduos, variabilidade e inflexibilidade, que adicionam custos, seja em tempo seja em capital. A informação adquirida é, geralmente, mapeada num VSM, uma ferramenta que facilita a análise da cadeia de valor (Smith A, 2015).
Fluxo de valor	Busca de uma maior eficiência dos postos de trabalho, através da criação de fluxos das ações que acrescentam valor, após eliminação dos desperdícios óbvios (Smith A, 2015).
Implementação do sistema Pull	Implementação do sistema <i>Pull</i> , de forma a garantir a entrega do produto apenas quando o cliente pretende, reduzindo desta forma os stocks, desperdícios e custos desnecessários (Khojasteh, 2016).
Busca pela Perfeição	Após implementação dos quatro princípios anteriores, as empresas devem procurar a perfeição, conscientes que a eliminação de desperdícios não tem fim (Smith A, 2015).

Existem, ainda, três tipos de procedimentos: os que adicionam verdadeiramente valor para o cliente, os que não acrescentam valor, mas que precisam de ser realizados e, por último, os que não incorporam valor e precisam de ser eliminados o mais rápido possível (Womack & Jones, 1997). Deste modo, é necessário identificar os desperdícios para, de seguida, extingui-los.

Os principais desperdícios apresentam-se na Tabela 3 (Liker, 2004).

Tabela 3 - Principais desperdícios (Liker, 2004).

Desperdício	Descrição
Produção Excessiva	Produção maior que a procura, sem encomenda do cliente,

Desperdício	Descrição
	criando stocks e, conseqüentemente, gastos desnecessários, quer em transporte quer em armazenamento do produto.
Esperas	Tempo em que o trabalhador ou máquina não está a produzir, derivado à falta de abastecimento de matéria-prima, falta de ferramentas necessárias e espera de etapas anteriores.
Transportes e movimentos desnecessários	Transportes de matéria-prima, de peças inacabadas e de peças acabadas entre fases do fabrico do componente.
Excesso de processamento	Maus planeamentos, qualidade superior à pretendida e passos desnecessários no fabrico do produto.
Stock	Acumulação de material, produto inacabado ou produto acabado, que não irá ser utilizado de imediato, gerando custos de transporte e armazenamento. Pode indicar problemas de planeamento da produção, de fornecedores e de defeitos.
Movimentações	Todas as movimentações que o operário faz e que podem ser evitadas, como busca de ferramentas e materiais, e que resultam de um mau <i>layout</i> da área de trabalho.
Defeitos	Produção de peças com defeitos ou reparações de peças. Inspeccionar, retrabalhar ou sucatar constituem desperdícios de tempo e dinheiro.
Criatividade dos colaboradores	Descartar a opinião dos colaboradores pode gerar a perda de oportunidades de melhoria.

Dos desperdícios identificados, (Ohno, 1988) destaca a produção excessiva, considerando-o o desperdício mais crítico pelo facto da maioria dos restantes desperdícios se relacionarem diretamente com este, conduzindo a um aumento de custos.

2.2.3 FERRAMENTAS E INDICADORES

A implementação de ferramentas e indicadores *Kaizen* permite às empresas reduzir custos, aumentar o seu volume de negócios, eliminar continuamente as atividades não valorizadas e ainda a reduzir impactos ambientais e sociais (Teixeira et al., 2021).

Kaizen é uma palavra japonesa, que envolve dois conceitos: *Kai* (mudança) e *Zen* (para melhor) (Palmer, 2001). O termo vem do *Gemba Kaizen* (Melhoria Contínua). A Melhoria Contínua é uma das principais estratégias usadas na busca pela perfeição na produção, que requer um esforço infinito de melhoria e envolve todas as pessoas da organização (Malik & Tian, 2006).

A primeira ferramenta apresentada é o *Standard Work*. Com a sua implementação e uniformização dos processos, é possível identificar, mais facilmente, as oportunidades de melhoria e os resíduos ao longo do fluxo de valor. Só depois de identificarmos onde se encontram os resíduos na organização, é que podemos selecionar as ferramentas mais adequadas para os eliminar (Santos, Oliveira, Ramos, & Ferreira, 2019).

2.2.3.1 STANDARD WORK

Os *standards* são documentos que fornecem a base para a melhoria diária. Para gerir diariamente os recursos de forma eficiente é necessária a implementação de *standards*. Sempre que surgirem problemas ou irregularidades, deve-se investigar e identificar a causa raiz, rever os *standards* existentes ou implementar novos para evitar a sua recorrência.

A utilização de *Standard Works* segundo (Masaaki Imai, 2012):

- Permite uniformização;
- Permite rotatividade de operadores;
- Permite especialização;
- Indica o caminho e o que não fazer;
- Permite a redução de desperdícios;
- Implementação de melhorias;
- Redução de problemas de qualidade;
- Representam a forma (da altura) mais simples e segura de realizar o trabalho;
- Fornecem formas de medir o desempenho;
- Oferecem a melhor forma de preservar o “*know-how*” adquirido com a experiência;
- Mostram a relação entre causa-efeito (não seguir *standards* leva a anormalidades, variabilidade, resíduos);
- Promove objetivos e indica metas a alcançar;
- Promove bases para o treino;
- Cria bases para auditorias, diagnósticos e futuras melhorias;
- Fornece meios para prever erros frequentes e minimizar a variabilidade.

Assim, para que seja possível reduzir a variabilidade de tempos em que uma operação é realizada, o processo deve estar definido e bem detalhado e os operadores devem possuir a formação devida, para que a qualidade do produto final não seja comprometida.

Uma empresa que pretenda otimizar os seus processos tem, obrigatoriamente, de ter *standards* de trabalho, pois estes são a base de trabalho tanto de um operador, como de um gestor. “Para melhorar continuamente, deve haver uma base, e o trabalho *standard* é essa base” (Martin & Bell, 2017).

2.2.3.2 GEMBA WALK

Em japonês, *gemba* significa "lugar real" o lugar onde a ação ocorre, onde a fábrica produz valor, em português é muitas vezes referido como "chão de fábrica". A gestão define as condições do *gemba* e tudo o que acontece lá reflete a gestão. O gestor deve saber, em primeira mão, as condições do *gemba* - daí o axioma, "Vá ao *gemba* primeiro" (Ohno, 2013).

Como rotina, deve-se ir imediatamente ao local e observar, com atenção, o que está a acontecer. Depois de desenvolvido o hábito de ir ao *gemba*, o gestor desenvolve competências e conhecimentos para resolver problemas específicos, uma vez que o *gemba* é considerado a fonte de todas as informações, o lugar mais importante na empresa (Imai, 1986).

Ohno incentivava os gestores com quem trabalhava a visitarem o *gemba*, afirmando: "Vá ao *gemba* todos os dias. E quando for, não gaste as solas dos sapatos em vão. Deve voltar com pelo menos uma ideia" (Ohno, 1988). Com isto, o autor pretendia que os gestores tomassem consciência da importância de visitar o local da ação, observando-o criticamente, de forma a encontrar novas e possíveis melhorias.

Akira Miyahara, que começou a sua carreira na Fuji Photo Film Company, afirmava que o trabalho de um gestor não era simplesmente lidar com números, mas também entender o processo por trás dos números. Um lugar que, definitivamente, não é o *gemba*, é a mesa do escritório (Masaaki Imai, 2012).

Em suma, é extremamente importante conhecer e visitar o chão de fábrica com regularidade, para entender os processos, quebrar barreiras entre gestão e os restantes colaboradores, mas também para consciencializar as pessoas que devem ser responsáveis pela qualidade do produto, uma vez que são estas que estão em contato com a realidade o tempo todo.

2.2.3.3 5S

A ferramenta *Lean 5S*, desenvolvida no Japão, visa alcançar um espaço de trabalho limpo e organizado, de modo a melhorar o ambiente de trabalho (Santos et al., 2019). Com esta ferramenta é possível melhorar a segurança dos funcionários, diminuir desperdícios e defeitos, facilitar a manutenção de máquinas, melhorar o funcionamento da empresa e, conseqüentemente, proporcionar-lhe o devido crescimento (Randhawa & Ahuja, 2017).

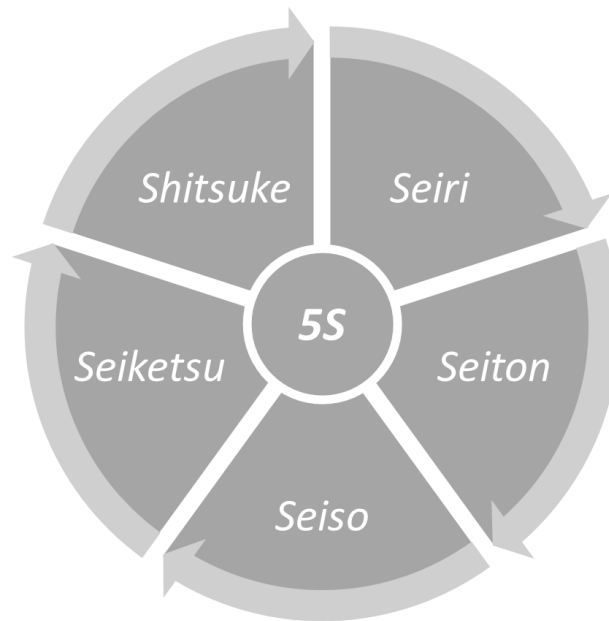


Figura 8 - Representação da metodologia 5S.

O método, representado na Figura 8, consiste no seguimento sequencial de 5 etapas (James Peterson, 1998):

1. *Seiri* (Utilização) - Deixar no ambiente de trabalho apenas os materiais e ferramentas úteis e mais frequentemente utilizadas e remover os restantes;
2. *Seiton* (Organização) - Estabelecer o local de cada objeto, que resultou da etapa anterior, identificando-os e organizando-os pela frequência de utilização, de modo a evitar deslocações desnecessárias;
3. *Seiso* (Limpeza) - Manter os ambientes de trabalho limpos e em boas condições operacionais. Esta etapa pode facilitar a deteção de avarias;
4. *Seiketsu* (Standardizar) - Criação de *standards* das tarefas para auxílio de todos os colaboradores;
5. *Shitsuke* (Autodisciplina) - Estágio avançado de comprometimento das pessoas, que seguem os princípios anteriores independente da supervisão, sendo este o mais importante.

A correta implementação e utilização no dia-a-dia desta ferramenta permite melhorar o ambiente de trabalho e reduzir desperdícios e deslocações desnecessárias. Porém, esta apresenta uma dificuldade, que é ser vista, por todos, como um modo de estar (Jack B. Reville, 2004).

Os benefícios da implementação dos 5S para os colaboradores são os seguintes:

- Ambientes de trabalho limpos, higiênicos, agradáveis e seguros;
- Revitalizar o *gemba* e melhorar a motivação dos funcionários;
- Eliminar vários tipos de desperdícios e a necessidade de procurar ferramentas, facilitando o trabalho dos operadores através da redução do trabalho físico e da libertação do espaço na sua área de trabalho.

Os benefícios do 5S para a empresa são:

- Ajudar os funcionários a adquirirem autodisciplina;
- Destacar os diversos tipos de muda (desperdício) no *gemba*. Reconhecer os problemas é o primeiro passo para eliminar o desperdício;
- Eliminar muda no *gemba* aprimora o processo;
- Identificar anormalidades, como rejeições e excesso de stock;
- Reduzir o desperdício de movimentos, como caminhar desnecessariamente;
- Permitir que problemas associados à falta de materiais, falhas nas máquinas e atrasos na entrega sejam identificados visualmente e, portanto, resolvidos;
- Resolver problemas logísticos pendentes no chão de fábrica, de maneira simples;
- Tornar os problemas de qualidade visíveis;
- Melhorar a eficiência do trabalho e reduzir os custos de operação;
- Reduzir os acidentes.

2.2.3.4 GESTÃO VISUAL

Gestão visual é a base de várias ferramentas *Lean*, como 5S e *Standard Work*, e pode ser definido, (Robert W Hall, 1987), como comunicação sem palavras nem voz. Consiste na utilização de meios de comunicação rápidos e intuitivos (Figura 9), através de vários sistemas de gestão visual, tais como instruções de trabalho, quadros informativos, delimitações de espaço (*zonings*) ou cartas *kamban* (Pinto, 2014).



Figura 9 - Quadro informativo em a) e delimitações de espaço em b) e c).

No *gemba*, anormalidades de todos os tipos surgem todos os dias. Existem apenas duas situações possíveis no *gemba*: ou o processo está sob controlo ou está fora de controlo. A primeira situação significa tranquilidade, a última significa problemas. A prática da gestão visual envolve a exibição de gráficos, listas e registos de desempenho, de modo a que tanto a gerência quanto os trabalhadores sejam continuamente lembrados de todos os elementos que contribuem para o sucesso da qualidade, do custo e da entrega.

No *gemba* as anormalidades devem ser evidentes. Se uma anormalidade não for detectada, ninguém vai corrigir o processo. O primeiro princípio da gestão visual é realçar os problemas, isto é, tornar os problemas visíveis para que as ações de correção possam começar de imediato (Masaaki Imai, 2012).

O melhor que pode acontecer no *gemba* de uma empresa é a linha parar, quando é detetada uma anormalidade. Taiichi Ohno afirma que uma linha de montagem que nunca para é perfeita (impossível) ou extremamente má. Quando uma linha para, todos reconhecem que surgiu um problema e o gestor deve certificar-se que a linha não volta a parar, pelo mesmo motivo.

A primeira razão para a existência da gestão visual é tornar os problemas visíveis, a segunda é ajudar os trabalhadores e supervisores a permanecerem em contato direto com a realidade do *gemba* (Womack & Jones, 1997). A gestão visual é um método prático para determinar quando tudo está sob controlo e para avisar quando surge uma anormalidade.

Com a utilização desta ferramenta, a observação de estados normais ou anormais do processo e da identificação de desperdícios torna-se mais simples e intuitiva. Através do seu emprego pretende-se capacitar os trabalhadores para gerir o seu próprio espaço de trabalho, reduzindo erros e outras formas de desperdício e permitindo, simultaneamente, o envolvimento de todos os colaboradores.

2.2.3.5 BOM

A *Bill of Materials* (BoM) ou lista de materiais, em português, é um documento que reúne todas as matérias-primas e as quantidades necessárias para produzir um dado produto, ou uma parte desse, quando a peça final é complexa ou de grandes dimensões.

Definir, detalhadamente, uma BoM é um procedimento fulcral para reduzir os custos das operações e do produto final (Blokdyk, 2017). Existem diferentes tipos de listas, dependendo da sua finalidade, sendo que as principais são:

- *Engineering Bill of Materials* (EBoM): é criada na fase de design e, geralmente, é baseada em desenhos e especificações. No lançamento de um novo produto, é essencial que a EBoM seja definida de uma forma rigorosa, uma vez que é esta que despoleta as primeiras encomendas de materiais;
- *Manufacturing Bill of Materials* (MBoM): a lista de materiais de fabrico contém informações sobre todos os componentes e subcomponentes necessários para conceber o produto e, ainda, os materiais usados na produção da peça.

Numa BoM, cada material possui:

- **Nível:** é atribuído um número, a cada material, que corresponde ao nível hierárquico da lista de materiais. O nível facilita a compreensão da estrutura da lista, principalmente em produtos mais complexos: no nível 0 encontra-se o produto final, no nível 1 os componentes, no nível 2 os subcomponentes e assim sucessivamente (Hegge & Wortmann, 1991);
- **Código de identificação:** cada material, peça ou componente da lista de materiais possui um código que facilita a sua identificação. É através deste que se consegue a rastreabilidade e gestão dos materiais;

- Descrição: a lista inclui uma descrição (nome) de cada material ou componente, que ajuda a identificar e distinguir os componentes que o compõem;
- Quantidade: o número de unidades de cada componente. É essencial que esta quantidade esteja correta, para que não ocorra excesso (*overstock*) ou rotura de *stock*.

Uma lista de materiais bem definida ajuda as empresas a:

- Planear a compra de materiais: determina qual matéria-prima deve ser comprada para produzir um produto e em que quantidade, reduzindo custos ao evitar o excesso de stock de matéria-prima;
- Estabelecer sintonia entre os abastecimentos e a produção: o armazém adapta-se aos exigentes ciclos de produção e os abastecimentos são coordenados;
- Estabelecer o custo do produto final: além da matéria-prima, o custo relaciona-se com os equipamentos e as operações;
- Evitar ruturas de stock: a fábrica deve possuir a matéria-prima necessária para fabricar um produto, sem que a sua produção seja interrompida.

Uma boa lista de materiais é o ponto de partida para alcançar uma produção otimizada e sem erros, trabalhando à maior capacidade da fábrica. Uma BoM detalhada e bem planeada tem, ainda, um impacto positivo no abastecimento correto das linhas de produção (Mather, 1982).

2.2.3.6 KPI

KPI é abreviatura de *Key Performance Indicator*, que significa indicador-chave de desempenho e que tem como finalidade auxiliar decisões (Haber Jeffry; Schryver Caitlin, 2019). Os bons KPIs são medidas, inequívocas, compreensíveis e comparáveis (Lange, 2009).

É uma ferramenta importante, primeiramente, para as equipas de gestão e que dá apoio, por consequente, às equipas de planeamento e controlo do processo, pois permite perceber se atualmente uma equipa se encontra acima ou abaixo de um dado objetivo, de modo a desencadear ações necessárias para a correção destes desvios (Arora & Kaur, 2015).

Vários autores (Lange, 2009; Werner Gladen, 2014) afirmaram que os KPIs são a base para analisar e melhorar processos, bem como para o *benchmarking* (comparação).

Além disso, os KPIs desempenham as seguintes funções:

- Suporte no planeamento em várias áreas, como na estratégia e nos orçamentos (Meier, Lagemann, Morlock, & Rathmann, 2013);
- Requisito para definir metas e controlar a implementação (Meier et al., 2013);
- Base para a tomada de decisões dentro de uma empresa (Ewert Ralf, 2008);
- Incentivos, especialmente para a gestão de topo, mas também para os colaboradores (Ewert Ralf, 2008).

Assim, os KPIs são uma ferramenta para auxiliar as empresas a melhorarem os seus processos e, a serem mais eficazes, assegurando a sua sustentabilidade a longo prazo, sendo esta uma mais valia também para o trabalho a desenvolver. Custos da BoM, consumos de materiais e tempos de ciclo são alguns exemplos de KPIs.

2.2.3.7 SISTEMA DE SUGESTÕES

O sistema de sugestões funciona como parte integrante da orientação individual *Kaizen*, em que é realçado, como principal benefício, o aumento da moral dos funcionários, ao participarem e contribuírem para a melhoria do processo produtivo (Dijk & Ende, 2002).

Os gestores japoneses consideram que a sua principal função é estimular o interesse dos funcionários no *Kaizen*, incentivando-os a entregarem muitas sugestões, não importando se estas são de pequeno impacto ou não. Os funcionários japoneses são frequentemente encorajados para discutir as suas sugestões com os supervisores, colocando-as em ação imediata, mesmo antes de serem formalizadas as sugestões. Porém, não esperam obter grandes benefícios económicos das variadas sugestões, o objetivo principal é, sobretudo, que os seus funcionários desenvolvam uma mentalidade *Kaizen*, bem como autodisciplina (Masaaki Imai, 2012). Esta perspetiva contrasta fortemente com a gestão ocidental, onde os benefícios são incentivos financeiros, nos sistemas de sugestão.

O sistema de sugestões possui uma extrema importância, dado que é o operador que realiza a tarefa, sendo o especialista da operação, e que possui uma maior sensibilidade para perceber onde é possível melhorar, uma vez que é ele que está em contato com o processo o tempo todo.

Após a apresentação da revisão bibliográfica segue-se a Análise do Contexto Inicial que apresentará a empresa onde foi realizado o trabalho, o produto fabricado, a matéria-prima utilizada na conceção, os processos e, por fim, uma síntese dos problemas encontrados.

CONTEXTO INICIAL

3.1 EMPRESA

3.2 PRODUTO

3.3 MATÉRIA-PRIMA

3.4 PROCESSOS

3.5 FLUXOS E LAYOUT FABRIL

3.6 SÍNTESE DOS PROBLEMAS

3 CONTEXTO INICIAL

Neste capítulo aborda-se o Contexto Inicial, recorrendo a uma breve apresentação da empresa onde foi realizado o trabalho, do produto fabricado, da matéria-prima utilizada, dos processos e dos fluxos e *layout* fabril e, por último, da síntese dos problemas.

3.1 EMPRESA

Antes de apresentar a empresa de acolhimento é necessário contextualizar o estado em que a empresa se encontrava. No período do estágio a empresa apresentava-se em adaptação/transformação, quer em métodos de trabalho quer em instalações, uma vez que a Ria Blades SA tinha sido recentemente adquirida pela Siemens Gamesa.

3.1.1 SIEMENS GAMESA

A Siemens Gamesa resulta da fusão entre a Siemens Wind Power e a Gamesa em 2017. É uma das maiores produtoras de turbinas eólicas, sendo líder em *Offshore* (aplicação no mar) e a segunda maior em *Onshore* (aplicação na terra) e em serviços de manutenção.

Sediada em Zamudio, na Espanha, é fornecedora global de serviços e soluções de energia Eólica e emprega mais de 23000 colaboradores. Com um volume de vendas anuais de 9,1 milhões de euros, possui mais de 103 GW distribuídos por noventa países (Zimmerman, 2019).

Esta tecnologia é projetada em sete centros tecnológicos: Índia (Bangalore), Estados Unidos (Boulder), Dinamarca (Brandeburgo), Alemanha (Hamburgo) e Espanha (Bilbau, Madrid, Pamplona).

3.1.2 RIA BLADES SA

A Ria Blades SA, atual Siemens Gamesa Renewable Energy Blades (Vagos), nasceu do concurso de gestão de parques eólicos ao consórcio *Ventinveste*, em 2007 e começou a laborar dois anos mais tarde, em 2009, com o fabrico da primeira pá de 45,2 m. No presente produz pás SG170 com 83,35 m.

É uma das fábricas de pás eólicas *Onshore* mais competitivas da Europa, devido em grande parte ao conhecimento reunido ao longo dos anos e às suas instalações. Veio reduzir a dependência de produção de fornecedores asiáticos à Siemens Gamesa, adicionando 9,3 GW à sua frota global.

Oferece as melhores características operacionais da classe, devido à altura dos seus armazéns, uma vez que permite a existência de pontes rolantes, à sua localização, com entrada direta da fábrica para a autoestrada A17 (Figura 10) e à proximidade ao mar (porto de Aveiro), facilitando o transporte destes componentes de grandes dimensões. Possui uma turbina junto às suas instalações, tornando-se parcialmente autossustentável, dado que produz 50% da energia que consome.



Figura 10 - Instalações fabris da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades.

É a maior empregadora de Vagos, distrito de Aveiro, com cerca de 1100 colaboradores e ao momento, encontra-se a produzir o projeto SG145 e a desenvolver projetos como o SG155 e o SG170, tornando-se a primeira fábrica do mundo a produzir estes dois últimos modelos com resina epóxi.

3.2 PRODUTO

As turbinas eólicas são equipamentos que convertem energia eólica, proveniente do movimento rotativo provocado pelo vento em eletricidade, através de um gerador.

Estas dividem-se entre turbinas de eixo vertical e de eixo horizontal (Figura 11), sendo que as primeiras são as menos eficientes e, apesar de mais económicas, são as menos utilizadas.

Para que a produção de energia seja rentável/significativa é necessário o auxílio de uma caixa de velocidades para aumentar a rotação do veio de saída, já que a rotação de entrada, por vezes, é muito baixa e sem esta seria insuficiente para gerar energia. Quando são feitas manutenções ou, principalmente, em condições meteorológicas mais adversas é necessário travar a rotação das pás, de modo a evitar o colapso do equipamento. Para isso, existe um travão entre a caixa e o gerador e uma estação meteorológica no exterior para recolher informações do tempo. Em prol de um melhor aproveitamento do vento, a torre e as pás giram em torno do seu eixo.

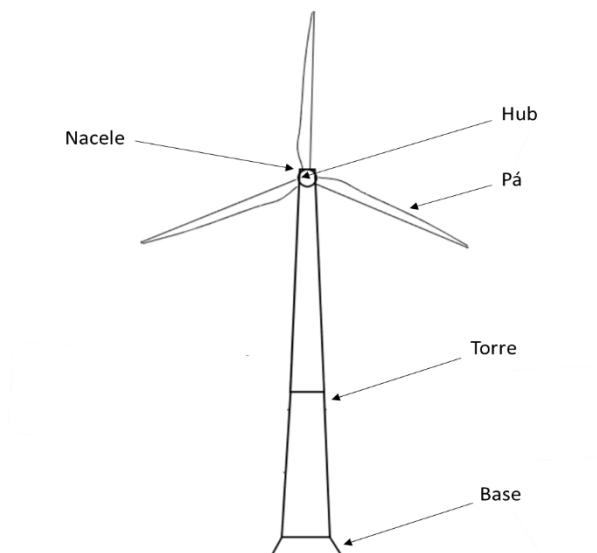


Figura 11 - Componentes principais de turbinas de eixo horizontal, adaptado de (Jiang, Hu, Dong, Gao, & Ren, 2017).

Na Figura 11 e Figura 12 é possível observar os principais elementos que compõem as turbinas de eixo horizontal. São estes:

- Base - Ancora o equipamento ao solo e sustenta todos os restantes componentes;
- Torre - Suporta e eleva a uma altura oportuna os componentes principais da turbina;
- *Nacele* - Estrutura de suporte e abrigo de componentes como a caixa de velocidades e o gerador;
- Caixa de velocidades - Componente responsável por aumentar a rotação do veio que liga ao gerador de eletricidade;
- Estação Meteorológica - Dispositivo que indica qual a posição mais favorável das pás e torre e, se é, ou não, seguro que esta esteja em funcionamento;
- *Hub* - Elemento de agregação das pás e de transmissão de movimento aos componentes da *Nacele*;
- Pás - Elementos de captação da energia do vento responsáveis pelo movimento de rotação.

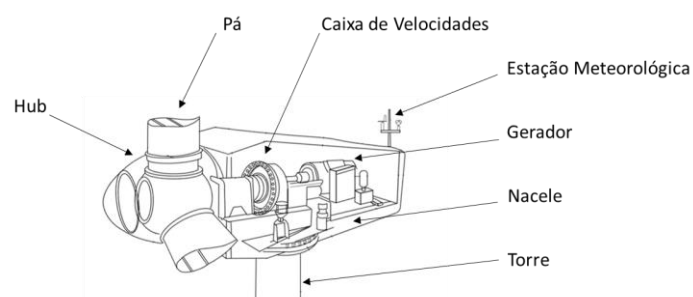


Figura 12 - Detalhe de turbinas de eixo horizontal, adaptado de (Jiang et al., 2017).

É perceptível que as pás têm um papel fundamental na captação de vento. A sua forma, o modo de fabrico e o modo como são conjugadas tem uma elevada influência na eficiência do conjunto final (Erkan, Özkan, Karakoç, Garrett, & Thomas, 2020).

Embora as turbinas de duas pás sejam mais eficientes, são menos utilizadas que as de três pás, pois apresentam menor estabilidade e maiores turbulências, trazendo um maior risco à sua estrutura de suporte e maior fadiga nos componentes (Mühle, Adaramola, & Sretran, 2016). Pelos motivos referidos, cada set é constituído por três pás, devidamente pesadas e calibradas, de modo a evitar desequilíbrios e falhas prematuras.

A empresa dedica-se exclusivamente à produção de pás eólicas *Onshore* (Figura 13) e produz, atualmente, três modelos diferentes SG145, SG155 e SG170.



Figura 13 - Pás eólicas *Onshore* antes do transporte para o porto de Aveiro.

Uma pá é um compósito que inclui vários constituintes (Figura 14): *Main Web*, *Rear Web*, *Cap*, *Rear Cap*, *Insertos/Root Joints*, *Shell PS* e *SS*. As *Caps* são peças com um elevado conjunto de fibras ou placas de carbono pultrudido e são previamente fabricadas relativamente à *Main Shell*. Não é obrigatório que isto aconteça, as *Caps* na prática podem ser produzidas na *Shell*, mas para isso é necessário avaliar bem os prós e contras – tempo de ciclo, estabilidade do processo, necessidade de espaço no armazém, entre outros fatores.

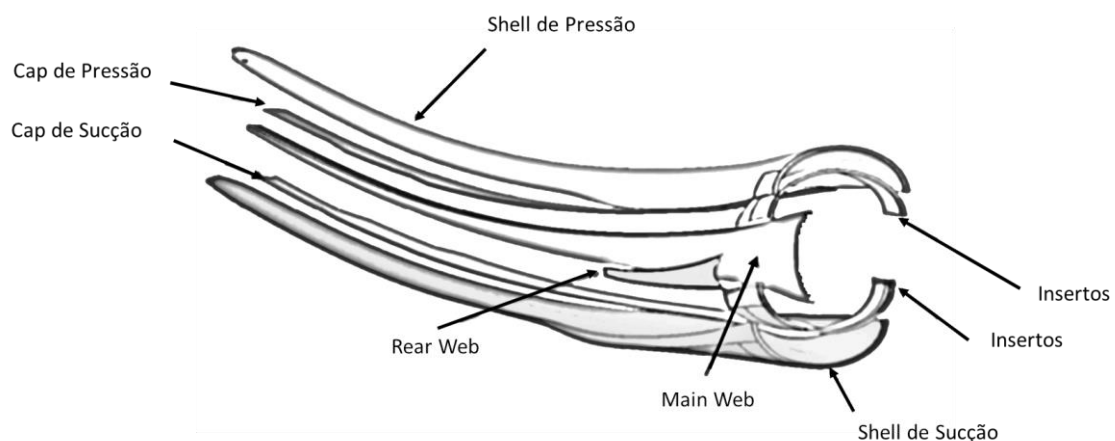


Figura 14 - Partes integrantes de uma Pá.

Para uma melhor compreensão da Figura 14, o fabrico da pá desenvolve-se, resumidamente, da seguinte forma:

- A *Cap*, a *Rear Cap* e os *Insertos* são adicionados aquando o fabrico das *Shells*;
- Após a cura da resina, a *Main Web* e a *Rear Web* são coladas à *Shell SS*;

- Procede-se ao fecho da pá com a colagem do conjunto anteriormente referido à *Shell PS*.

Na Figura 15 é mostrada uma parte da pá em corte onde são evidenciadas as linhas de colagem e referidos alguns dos materiais usados no fabrico de uma pá.

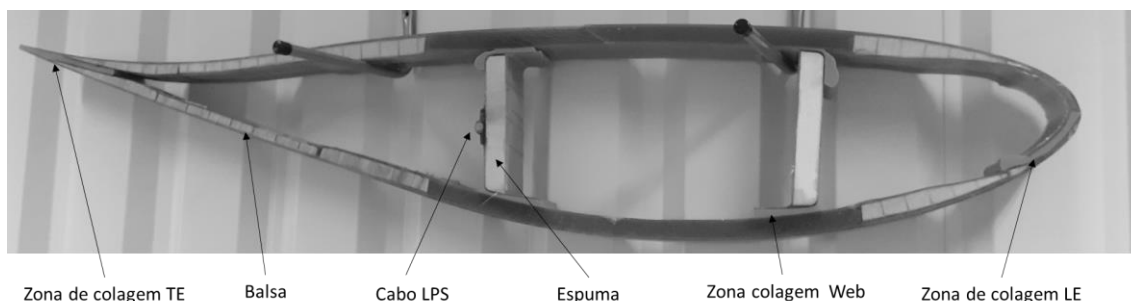


Figura 15 - Pá em corte.

3.3 MATÉRIA-PRIMA

Neste tópico são apresentados os principais materiais constituintes de uma pá, uma vez que no fabrico do projeto SG155 são utilizados pelo menos 295 materiais diferentes. Uns fazem parte da sua constituição, outros dão suporte à realização dos processos de manufatura e ainda uma parte são equipamentos de proteção individual (EPIs).

O produto não é fabricado através de materiais tradicionais, como metais, polímeros, cerâmicos, cimento, mas sim pelo compósito de fibra e resina, dadas as vantagens que este tipo de materiais possui relativamente aos restantes (combinação de leveza com alta resistência mecânica).

Este casamento de materiais, cujas qualidades se complementam, origina um material homogéneo onde as propriedades mecânicas do conjunto são altamente superiores às dos materiais em separado.

Inicialmente, no desenvolvimento da produção de pás eram usados materiais como madeira e metais, porém estes acabaram por ser abandonados pelo facto de falharem precipitadamente por fadiga, dado que estas estruturas estão sujeitas a esforços e solicitações atmosféricas e cargas cíclicas intensas.

3.3.1 FIBRAS

São finos filamentos que apresentam propriedades mecânicas muito superiores às dos materiais na sua forma maciça. Foi demonstrado, pela primeira vez por Griffith, que o vidro na sua forma maciça apresentava tensões de rotura de 170 MPa, enquanto que fibras de vidro com 20 mm de diâmetro apresentavam tensões de rotura de 3500 MPa, 21 vezes mais (Griffiths, 1921).

As fibras são o principal constituinte da pá, cerca de 1800 camadas. A maioria são tecidos e uma pequena parte destas é manta (Figura 16). A manta, *Continuous Random Mat*, é usada geralmente na zona dos pré-fabricados para facilitar a infusão destes na restante peça. Os tecidos unidirecionais, biaxiais e triaxiais são usados em maior quantia, devido ao facto de serem estes que suportam os esforços impostos na pá.

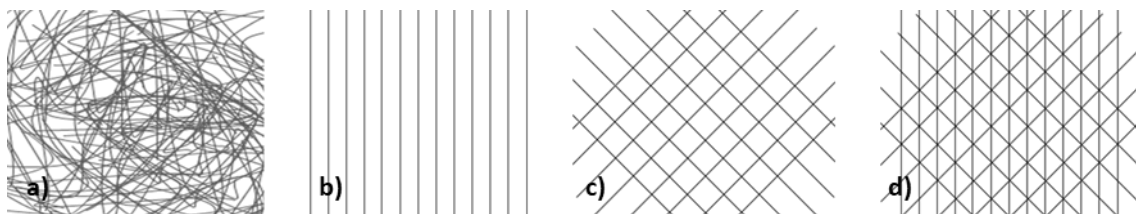


Figura 16 - Representação esquemática a) de Manta e Tecidos: b) Unidirecional [90°], c) Biaxial [-45°/+45°] e d) Triaxial [-45°/90°/+45°].

As camadas dos três tipos de tecidos são, de uma forma geral, intercaladas no molde (Figura 17), sendo que, na pá, existem zonas mais reforçadas que outras, dependendo das solicitações a que vão estar sujeitas. Pelo motivo referido anteriormente, só é permitido levantar a pá em zonas específicas, pois fora destas a peça não está dimensionada para suportar a carga e poderá entrar em rotura.



Figura 17 - Camadas de fibra colocadas no molde *Maln Shell*.

3.3.2 MATRIZ

A matriz resulta da mistura de resina e endurecedor (o catalizador) e tem como funções, no compósito, proteger as fibras do meio ambiente, distribuir as forças pelas fibras, manter as fibras na orientação pretendida e impedir que haja quebras pela expansão entre fibras.

Como o produto obriga a uma alta resistência mecânica, boa aderência ao reforço, resistência à erosão e baixa absorção de água é usada uma resina de epóxido (matriz termoendurecível). Após o termino da impregnação da peça é iniciada a cura, ligando o aquecimento dos moldes, onde se dá a polimerização e a constituição da estrutura dimensional, para que a peça atinga o Tg (*Glass Transition*) desejado - é este que garante as melhores propriedades do compósito (Moura, Morais, & Magalhaes, 2011).

A mistura dos componentes desencadeia uma reação em que o fluido se torna cada vez mais viscoso. É esta característica que marca a infusão como um processo bastante delicado, uma vez que é necessário controlar vários parâmetros para que a matriz só catalise quando toda a peça estiver impregnada. O processo de embeber a matriz nas fibras é que dita se uma peça vai ter muitas reparações, por defeitos de infusão ou se, em casos extremos, a peça tem de ser sucutada.

3.3.3 NÚCLEO/CORE

O uso de um núcleo entre dois blocos de camadas de fibra tem como objetivo aumentar a resistência aos esforços transversais, pelo aumento do momento de inércia e reduzir o peso da peça.

O núcleo usado em pás eólicas é, geralmente, espuma (PVC ou PET) e madeira (balsa), materiais que apresentam elevada leveza e espessura. Estes dois tipos são distribuídos estrategicamente pela pá.

3.3.4 CARBONO PULTRUDIDO

Carbono pultrudido é um perfil maciço de secção constante, utilizado nas *Caps* (zona central da pá que apoia a *Web*), que substitui numerosas camadas de fibra de vidro unidirecional no projeto em estudo (Figura 18).

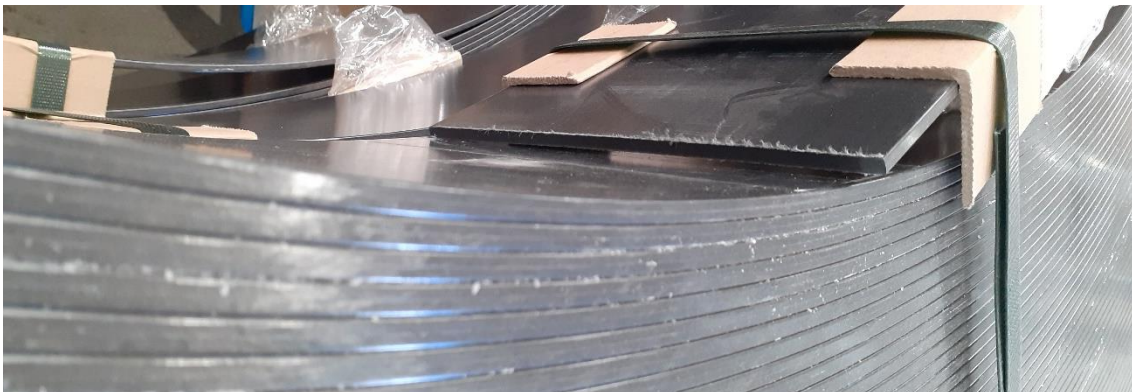


Figura 18 - Bobine de Carbono Pultrudido.

Com a utilização deste perfil conseguem-se excelentes propriedades, como leveza pela utilização do carbono. Dado que o material é condutor de eletricidade, este é usado em conjunto o *Lightning Protection System* (LPS), para auxiliar a descarga de energia para a terra, caso a pá atraia um relâmpago - se esta libertação de energia não acontecer, a pá explode e desintegra-se.

Graças ao emprego deste material, uma pá de menores dimensões, produzida nas mesmas instalações fabris, possui um peso superior de 1 a 2 toneladas relativamente a outra que use este material.

3.4 PROCESSOS

O presente tópico está dividido em dois subtópicos, os processos principais e os complementares referentes à produção de pás para turbinas eólicas. Em cada um, é feita uma breve explicação para uma melhor percepção de alguns termos da indústria referidos no capítulo seguinte da dissertação.

3.4.1 PROCESSOS PRINCIPAIS

Enumeram-se e descrevem-se, de seguida, os principais processos realizados aquando a produção de um pré-fabricado ou da respetiva pá que o possui:

- *Lay-up* - Colocação sequencial das várias camadas de fibra no molde;
- *Remove Infusion Materials* (RIM) - Colocação de materiais, por baixo (RIM inferior) e/ou por cima das fibras (RIM superior), que têm como função auxiliar o processo de infusão da peça;
- Infusão - Impregnação de mistura resina e endurecedor nas fibras e core com auxílio de vácuo;
- Cura - Processo térmico em que o compósito adquire as propriedades físicas e mecânicas desejadas, começa logo após o fim da infusão;
- Ripagem - Remoção do RIM da peça, após termino da cura;
- Desmoldagem - Retirar a peça do molde em que foi fabricada;
- Corte - Remoção de excessos/acerto de faces numa dada peça;
- Colagem - Processo de fixação de peças, através da adição de cola;
- Acabamentos - Conjunto de tarefas realizadas após a pá sair do molde. São laminados reforços nas linhas de colagem, aplicadas massas e tinta e terminadas as tarefas, para que a pá esteja concluída e possa sair do armazém. É nesta etapa que são reparados os defeitos que precisam de ser corrigidos e que atrasam o fluxo de saída das pás.

3.4.2 PROCESSOS COMPLEMENTARES

Similar ao tópico anterior, são apresentados os processos complementares indispensáveis para a realização dos anteriores:

- Corte de fibra - mudança física de rolo para camada com a forma pretendida;
- Preparação das máquinas de resina - abastecimento da máquina com resina e endurecedor para o processo de infusão;
- Preparação das máquinas de colagem - abastecimento da máquina com adesivo e endurecedor para o processo de colagem;
- Abastecimento de materiais - movimentação dos materiais dos armazéns para os moldes com auxílio de carros.

3.5 FLUXOS E LAYOUT FABRIL

Layout ou “planta fabril”, define-se como o modo em que se encontra organizada a empresa, o posicionamento dos moldes e ferramentas, localização de armazéns e de áreas que não influenciam o processo como balneários e cantina.

A disposição do *layout* influencia diretamente o fluxo do processo, os tempos de ciclo e consequentemente, os custos do produto.

Como se tratam de produtos de grandes dimensões, nem sempre é concretizável o melhor *layout* definido pelo especialista, existindo outras condições como o tamanho da área fabril e o facto de alguns dos produtos serem inflamáveis. Na Figura 19, adaptada do Anexo A, é representada a disposição da fábrica relativa ao projeto em estudo, que por motivos de confidencialidade não foi possível representar com mais detalhe.

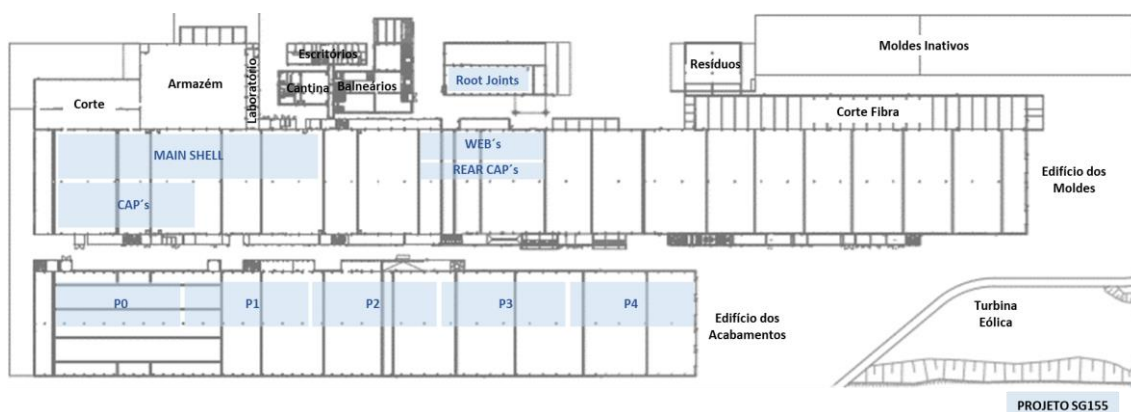


Figura 19 - *Layout* fabril projeto SG155.

Os materiais são, primeiramente, abastecidos nos armazéns - principal, secundários (não representados na figura) e no “corte de fibra”.

O fluxo para a produção de uma peça começa com a saída dos materiais e fibras, após o corte, dos respetivos armazéns em carros, até junto dos moldes (Figura 20), conforme o planeamento de produção e a tarefa a realizar. As máquinas de resina e de cola, depois de abastecidas, deslocam-se também para junto da zona de produção da peça.

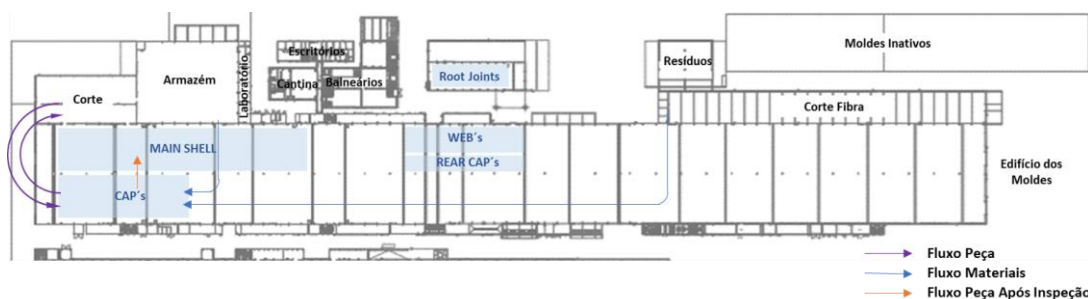


Figura 20 - Fluxo de Produção de um Pré-fabricados (exemplo Caps).

Os Pré-fabricados (*Caps* e *Webs*) são as primeiras peças a serem produzidas. Posteriormente, são desmoldadas e transportadas para o “corte”, enquanto, em simultâneo se produzem as *Root Joints*. Estas peças armazenam-se, de seguida, junto aos moldes principais (*Main Shell*).

No fabrico das duas *Shells*, o fluxo de abastecimento é semelhante ao dos Pré-fabricados, porém, os materiais são abastecidos nas *Main Shells*. Durante o seu *lay-up* são colocadas as *Caps* e as *Root Joints* nos moldes e, feita a infusão, estas passam a integrar as peças principais.

A *Suction Side* (SS) é a primeira a começar a produção. Este desfasamento, em relação à *Pressure Side* (PS) vai permitir a colagem das *Webs* e calibradores nesta peça, enquanto a PS cura da infusão, sem um acréscimo de tempo de ciclo.

Após a PS atingir o Tg desejado, é preparada para ser colada nas restantes peças e para se proceder ao fecho da pá. Segue-se mais um ciclo de cura para que a cola adquira as propriedades pretendidas. Terminada a cura, a pá é desmoldada e pode passar para a zona dos Ultra Sons (UTs) onde se inspecionam as linhas de colagem. Concluída esta tarefa, a pá sai do edifício dos moldes.

Seguidamente, a pá entra no edifício dos acabamentos e é pousada em P0. Aqui cortam-se os excessos de fibra ao longo da linha de colagem e faz-se o despolimento da pá, com auxílio de um robot.

Esta avança uma posição e, em P1, reforçam-se as linhas de colagem, realizam-se os trabalhos relativos ao sistema LPS e aplicam-se as massas.

Contrariamente ao anterior, este edifício, em termos de tempos de ciclo é bastante variável, devido às reparações identificadas pelos inspetores de qualidade (Figura 21). Este é um tópico delicado, uma vez que nenhuma pá é igual, pela forma como se desenrolou a infusão e a colagem.

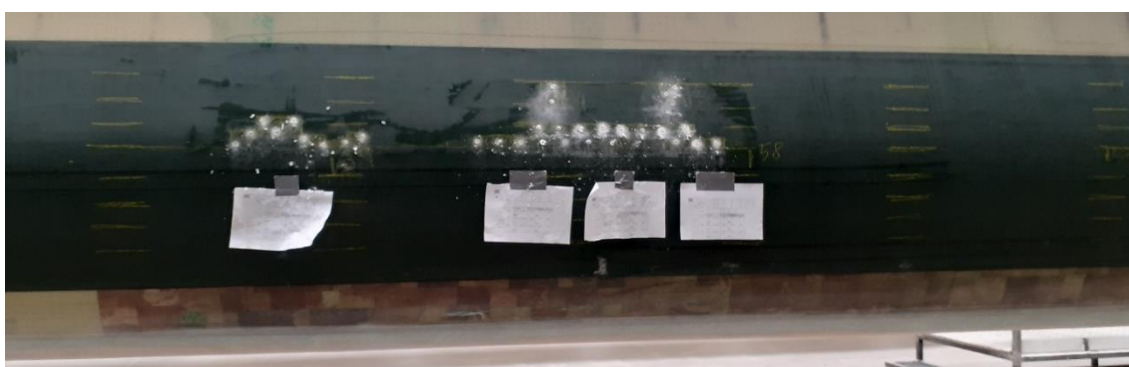


Figura 21 - Defeitos resultantes da colagem (falta de cola/bolhas de ar) detetados por ultra sons.

Uma reparação (Figura 22) é um retrabalho absolutamente necessário, que gera custos e acresce em tempo, onde se corrigem os defeitos encontrados, contribuindo para uma boa performance e durabilidade da pá. O tempo de reparações varia de pá para pá, tendo em conta uma maior ou menor complexidade e a quantidade de defeitos. Estas são feitas, maioritariamente, em P1 e P2.

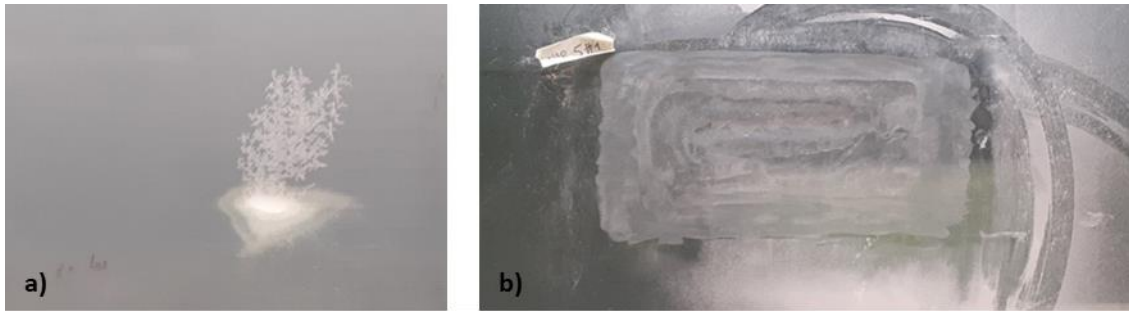


Figura 22 - Defeito Ar no laminado a) e início da sua reparação b).

Em P2 são feitas tarefas sobre a zona que vai encostar no *Hub*, nos insertos, preparando-os para a montagem de pernos, na posição seguinte. Aplicadas as restantes massas em falta após a rotação da pá, procede-se à instalação dos sensores LOPC (*Laser Optical Plankton Counter*), prepara-se o sistema de drenagem da pá e aplica-se a fita anti-erosão no bordo de ataque do vento.

Em P3 aplica-se a flange na face dos incertos e realizam-se as últimas ligações do sistema LPS, montam-se os pernos e os restantes sensores LOPC. É pintada a maioria da pá e são aplicados acessórios aerodinâmicos.

Por fim, na última posição da pá, P4, são feitas tarefas, que por algum motivo, não foram executadas, quer devido a tempo ou pessoas disponíveis, corrigidos defeitos e realizadas operações específicas da posição. Pinta-se a totalidade da pá, aplicam-se as etiquetas de identificação das zonas de manuseio e transporte, pesa-se e calibra-se o produto final. Por fim, dá-se o *packing* da pá para armazenamento e transporte da mesma. Nesta altura, a pá está pronta a sair do armazém dos acabamentos (Figura 23).

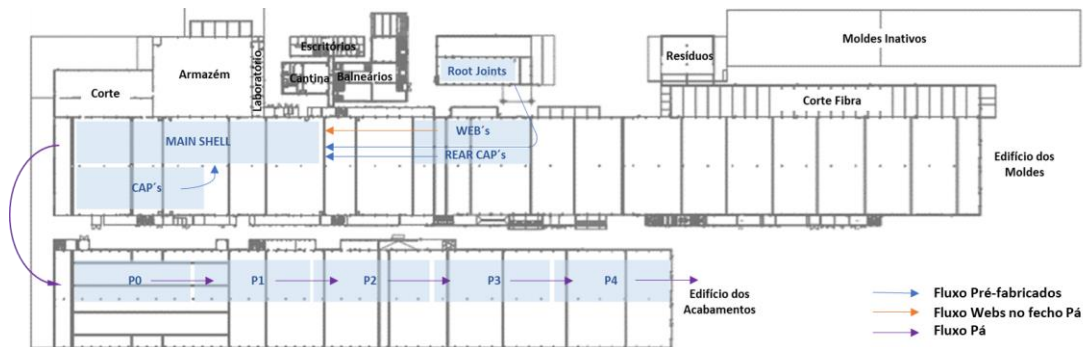


Figura 23 - Fluxo dos Pré-fabricados e Pá.

3.6 SÍNTESE DOS PROBLEMAS

Devido ao facto da indústria em estudo se encontrar em expansão, pouco trabalho é mecanizado, o que faz com que haja muita intervenção humana. No fabrico de uma pá 85 a 90% do trabalho é feito manualmente, tornando o fator humano muito significativo pela quantidade de trabalho realizado na produção do produto.

A variabilidade do produto final é inevitável e não se deve apenas à grande quantidade de mão de obra direta interveniente no processo de fabrico. Deve-se também a

variáveis ambientais como temperatura, humidade e pressão, à disponibilidade de matéria-prima no mercado e à constante busca pela melhoria e otimização do fabrico das peças.

O facto da empresa se encontrar em transformação e expansão, necessitando de mais mão de obra, foi outra dificuldade encontrada, dado que muitas pessoas se encontravam, em formação. simultaneamente.

PROPOSTAS de MELHORIA

4.1 STANDARDS

4.2 MELHORIAS

4.3 NECESSIDADE ENCONTRADA

4 PROPOSTAS DE MELHORIA

Uma vez identificado o maior problema - a variabilidade do produto final, grande parte do trabalho desenvolvido no período de estágio, retratado no presente capítulo, passou por uniformizar, o mais possível, as tarefas com auxílio a uma ferramenta *Lean*, o *Standard Work*.

No processo de standarização foram identificadas algumas melhorias na produção das pás SG155. A fim de se implementarem ou não foram delineados cenários e métodos, medidos os ganhos expectáveis, efetuados os testes, avaliados os impactos e, no fim, atualizada a documentação relativa às melhorias.

4.1 STANDARDS

Uma necessidade encontrada foi a criação de novos *standards* de trabalho, e a uniformização dos existentes.

O facto de, recentemente, ter ocorrido uma mudança de grupo também impulsionou a ocorrência desta mudança, já que criou uma necessidade de implementar novos e diferentes métodos de trabalho dos realizados.

Outro motivo da mudança foi a carência de que todos os turnos realizassem as tarefas da melhor forma e mais semelhante possível, à data.

4.1.1 NOVA ESTRUTURA

Os documentos usados inicialmente não eram uniformes entre si, eram complexos, densos e a sua leitura não era imediata, uma vez que misturavam instruções com figuras (Figura 24).

Por isso, foi necessário criar uma nova estrutura de *Standard Work*, de forma a clarificar e a facilitar a consulta em chão de fábrica, simplificando o documento e tornando-o mais perceptível, sem descurar toda a informação necessária.

Para mudar os inconvenientes referidos, foi apresentada uma proposta de estrutura operação a operação (passo a passo), Anexo B, onde as tarefas são descritas em tabelas apoiadas por ajudas visuais necessárias (Figura 25).

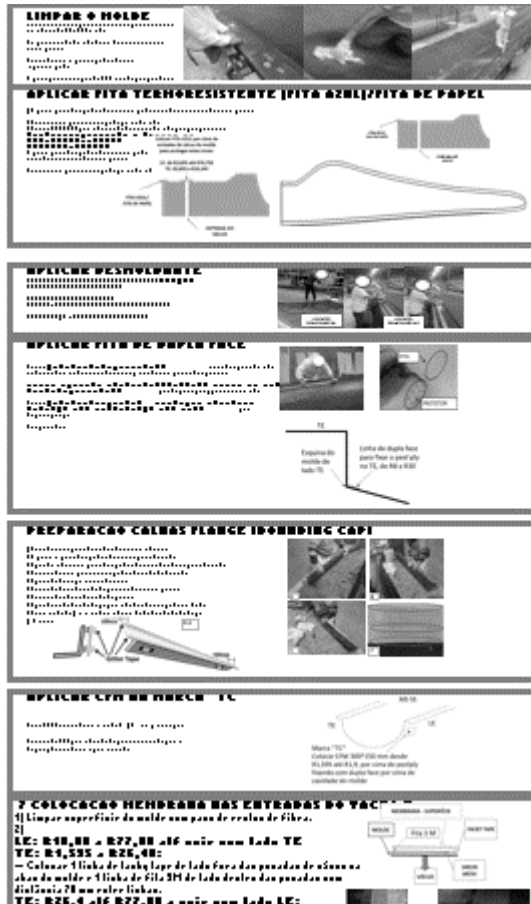


Figura 24 - Exemplo de página de *Standard* antes da intervenção.

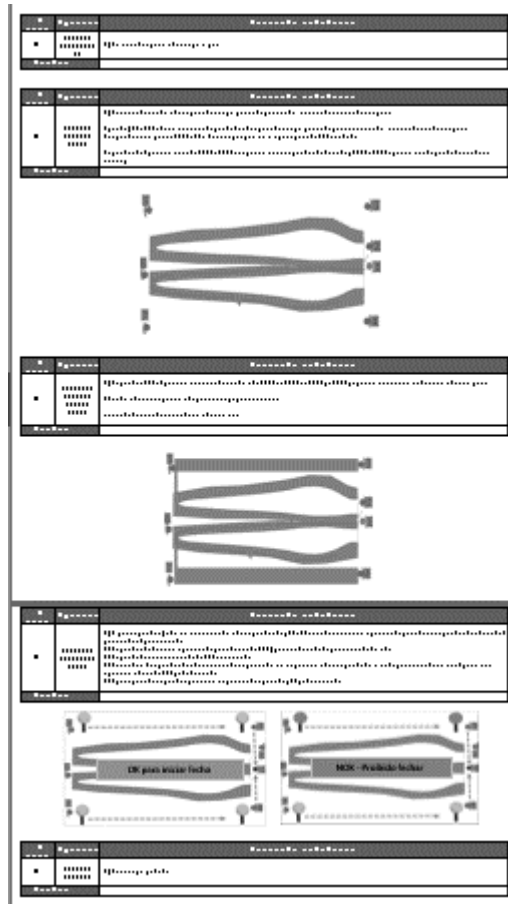


Figura 25 - Exemplo de página de *Standard* depois da intervenção.

Assim, procedeu-se à mudança dos *standards* necessários para a produção de todas as peças. Porém, ao realizar esta tarefa, encontrou-se uma nova oportunidade de melhoria, desta vez o impacto não foi na produção, mas sim no trabalho dos Engenheiros de processo.

4.1.2 NOVO TEMPLATE

O grupo (Siemens Gamesa) tem como objetivo que todas as suas fábricas realizem as tarefas de forma semelhante entre si e, para isso, possui uma plataforma em que partilha documentos como BoMs, especificações e ainda os *Standard Works* dos vários projetos. Para submeter estes últimos documentos referidos é necessário reunir todos os *standards* num único documento, denominado internamente por *Visual Work Instruction* (VWI).

Esse documento reúne todos os *standards* de trabalho necessários para a produção de *Root Joints*, *Caps*, *Webs*, *Main Shells*, montagem e desmoldagem da pá, bem como de acabamentos da pá (Figura 26).



Figura 26 - Representação esquemática dos documentos presentes no VWI.

É aqui que surge a oportunidade de melhoria já referida. À data havia um *template*, um tanto antiquado (Figura 27), desenvolvido em 2015, que reunia os documentos. Com esse *template* sempre que ocorria uma atualização num dos *standards* existia uma tarefa trabalhosa, sem valor acrescentado para cada Engenheiro de Processo, mas essencial para que o documento estivesse atualizado no chão de fábrica.

Confidentiality: 1 / INFORMACIÓN INTERNA

SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY	VWI - Visual Work Instructions	Code: XXXXXXXXXX	Rev: 6
Title: VWI PIECE MANUFACTURING		Date: 28/06/2021	Sheet: 4 of 4

RECORD OF CHANGES

REV.	DATE	AUTHOR	INDUS VWI REVISION	SHORT DESCRIPTION
00	12/11/2015	JIPXXXXXXXXXX	R00	INITIAL VERSION
01	24/01/2017	JIPXXXXXXXXXX	R00	IMPROVE THE FORMAT
02	21/03/2017	JIPXXXXXXXXXX	R00	IMPROVE THE FORMAT
03	07/04/2017	JIPXXXXXXXXXX	R00	IMPROVE THE FORMAT
04	04/09/2017	JIPXXXXXXXXXX	R00	IMPROVE THE SHEET OF "RECORD OF CHANGES" TO INCLUDE THE REV
05	25/10/2017	JIPXXXXXXXXXX	R00	INTRODUCE THE INDEX REVISION
06	28/06/2021	FNUNES	-	NEW VWI TEMPLATE. FORMAT IMPROVED
07				

Figura 27 - Índice de revisões do *Template* VWI.

Sempre que o Engenheiro de Processo fazia uma alteração num *standard*, por mais pequena que fosse, para que essa alteração chegasse à linha tinha de atualizar também o documento principal. De uma forma resumida, tinha de corrigir os dois documentos, consumindo parte do dia de trabalho a fazê-lo.

Para eliminar este passo imposto pelo grupo foi necessário criar um novo *template*, em que os documentos estivessem ligados entre si. Após estudo, pesquisa e algumas tentativas foi criado o *template*, tendo em consideração também as opiniões dos Engenheiros de Processo, uma vez que são eles os responsáveis por manter os documentos atualizados.

Foi necessário apresentar aos colegas externos da Siemens a nova proposta e, formalizar documentos internos, para que este novo *template* pudesse ser usado pelas restantes fábricas do grupo, de modo a que todos pudessem beneficiar desta melhoria.

Esta mudança permitiu uma redução 80 a 90% no tempo despendido na tarefa de atualização e criação de *standards*, mas também uma garantia de que não existem perdas de informação e que o documento está o mais atual possível.

Um *Standard Work* é um documento “vivo”, em constante mutação e o novo *template* veio facilitar em muito essa mudança.

4.1.3 QUIOSQUES

Os documentos encontram-se junto aos moldes (em formato físico) e em quiosques (formato digital) espalhados pela fábrica.

Verificou-se que a pesquisa nos quiosques (Figura 28) de uma tarefa em específico, no VWI, não era intuitiva nem rápida, principalmente no edifício dos acabamentos em que o documento é extenso.



Figura 28 - Quiosque.

No sentido de facilitar esta consulta e dado que nem todos os colaboradores estão familiarizados com este formato digital, foram testados vários métodos até chegar ao final, o mais *user-friendly*. A melhoria no documento, consistiu em criar ligações, na página do índice às várias tarefas. Isto é, ao selecionar a tarefa, o documento muda para a página em que se encontram os passos para realizar essa tarefa, reduzindo o tempo de procura.

4.1.4 IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Neste tópico são referidas duas tecnologias que necessitaram de ser implementadas e acompanhadas na linha de produção. Através do acompanhamento foram definidos os parâmetros, os materiais e o modo de realizar as tarefas para que, posteriormente, fosse dada a formação às equipas. Por fim, foi tudo documentado.

4.1.4.1 CARBONO PULTRUDIDO

O uso de placas de carbono pultrudido nas *Caps* é uma tecnologia nova no *Onshore*, que começou a ser usada no projeto em estudo (SG155). É de fácil perceção, que sem experiência com um material novo, as primeiras peças não saíam perfeitas.

A produção das *Caps* demorou a estabilizar uma vez que as placas são um corpo sólido e dificultam o processo de infusão. A resina ao chegar às placas encontra um

obstáculo, um sólido e, em algumas situações, tornava-se difícil infundir todo o pré-fabricado sem defeitos.

As primeiras peças produzidas possuíam bastantes indicações de não qualidade dada a dificuldade referida. Sendo que as reparações destas peças são bastante mais complexas que uma reparação em fibras ou core, uma vez que as placas necessitam de ser cortadas, retiradas, chanfradas nas extremidades e repostas na peça, foi necessário encontrar um método robusto.

Esta tecnologia impulsionou o desenvolvimento do 4.1.2 NOVO TEMPLATE pelas dificuldades em estabilizar o processo. Realizaram-se vários testes de diferentes métodos de infusão e constantes alterações ao *Standard Work* com as especificações mais atuais, na busca pela conformidade sem defeitos.

4.1.4.2 INFUSÃO DIRETA

Para que o compósito adquira as propriedades desejadas é necessário infundir as fibras de carbono e vidro em resina. Este processo é bastante delicado e muito variável, sendo que uma distração/falha de um componente pode originar custos de milhares de euros ou de reparações demorosas e indesejadas. Entre as inúmeras variáveis deste processo, está o fator humano.

O uso de máquinas que forcem a entrada de resina, máquinas de infusão direta, tem como principal objetivo ter um melhor controlo do processo através da gestão de temperaturas e pressão de saída da resina. Através da sua utilização é reduzido, também, o fator erro humano.

O método convencional, em que a entrada de resina na peça é feita apenas por auxílio de vácuo, implica o uso de *bidons* espalhados pelo molde. Cada *bidon* precisa de uma pessoa a verificar a temperatura da resina e a observar a quantidade da mesma.

O *bidon* não pode estar cheio de resina, porque esta em grandes quantidades começa a reagir rapidamente, tornando-se mais viscosa, o que levaria a que a peça não ficasse toda infundida, criando “áreas brancas”, zonas que não foram molhadas pela resina. Outro inconveniente do *bidon* centra-se na necessidade de os operadores usarem EPIs para se protegerem dos vapores nocivos que a mistura de resina com endurecedor liberta.

O uso das máquinas permite as seguintes vantagens:

- Redução para 1/3 o número de pessoas necessárias para realizar a tarefa;
- Controlo de temperatura de saída da resina;
- Controlo do fluxo de saída de resina;
- Permite um registo automático dos dados, tempos e quantidades de resina gasta;
- Elimina a libertação de vapores para a atmosfera, pois o circuito é fechado e, a resina sai da máquina diretamente para a peça;
- Reduz, significativamente, o tempo de ciclo;

- Elimina o desperdício de resina nos *bidons* (8 kg em cada);
- Menor risco de a resina reagir e entrar na peça num estado mais viscoso;
- Menos risco de entrar ar na peça (por falta de resina num *bidon*);
- Permite repetibilidade.

Esta tecnologia foi testada e implementada em parte das peças em produção, porém, como o número de máquinas não era significativo para as necessidades da produção, algumas das peças permaneceram com o método convencional. Com compra e a chegada de mais máquinas, o objetivo é tornar o processo transversal às restantes peças, uma vez que há múltiplas vantagens em usar o novo método.

4.2 MELHORIAS

Em paralelo com a tarefa de uniformizar, foram encontradas oportunidades de melhoria na linha de produção e, com estas, a otimização do processo, o tema da dissertação. Neste tópico são apresentadas as ações de melhoria desenvolvidas durante o período do estágio.

4.2.1 REDUÇÃO DE PERFIS ÓMEGA NA INFUSÃO

No processo de infusão, método convencional, são utilizados vários *bidons* distribuídos estrategicamente ao longo dos moldes, que são abastecidos com resina de acordo com as necessidades. Verificou-se que se estava a utilizar um consumível (perfil ómega), com um custo para a empresa, simplesmente para dar estrutura/suporte à mangueira no *bidon* (Figura 29).

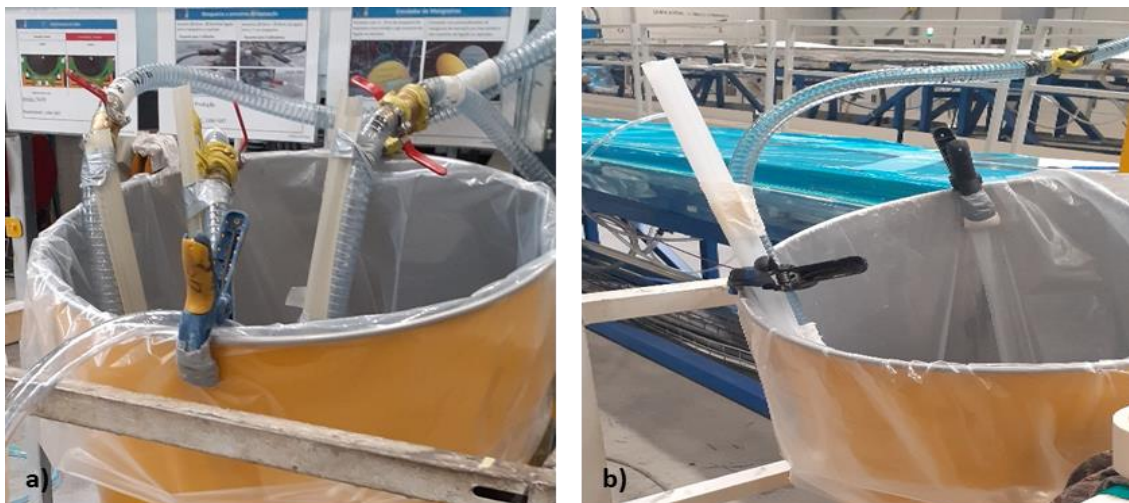


Figura 29 - Perfis Omega usados como suporte às mangueiras a) e b).

O primeiro objetivo passou por eliminar os perfis com essa finalidade e passar a utilizar outro elemento sem custos associados. Os elementos escolhidos foram os reforços de cartão que chegam à empresa a proteger materiais em paletes e que, até então, eram descartados para a reciclagem (Figura 30), dando-lhes uma segunda vida.

Esta solução permitiu descartar o uso anual de 6240 perfis, apenas na pá do projeto em estudo, e, conseqüentemente, eliminar um custo associado a este processo.

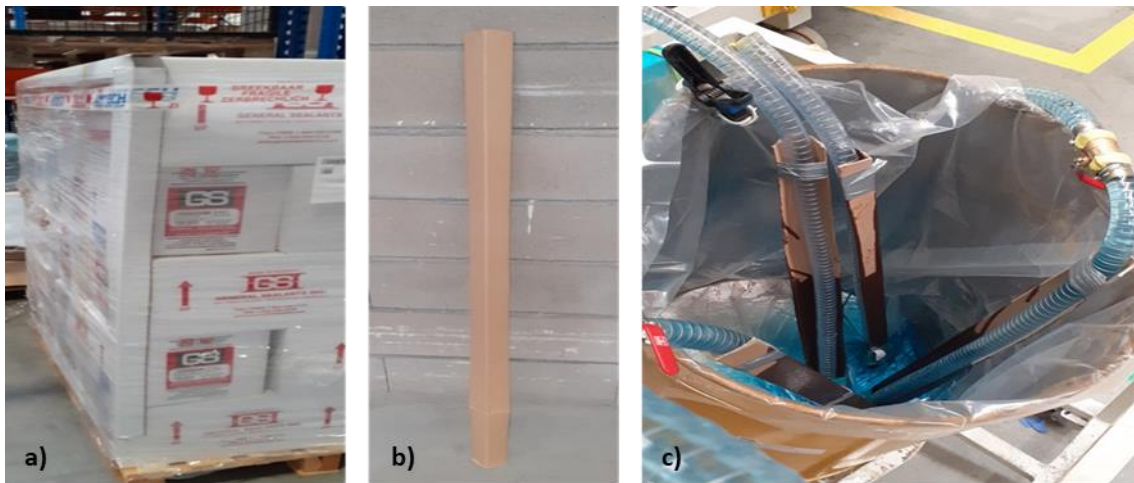


Figura 30 - Reutilização de Reforços de cartão: a) a 1ª função dos reforços, b) o reforço e c) 2ª utilização.

4.2.2 REDUÇÃO DE MANGUEIRAS

Para conduzir a resina das máquinas aos *bidons* e dos *bidons* à peça são utilizadas mangueiras. Numa fase inicial, como a que o projeto se encontrava no começo do estágio, essas mangueiras foram dimensionadas por excesso, para que a produção arranque-se o mais rápido possível.

O caso apresentado na Figura 31 é o do molde *Main Shell*, e que, devido às dimensões e complexidade da peça, possui maior impacto.



Figura 31 - Mangueira em excesso: a) fotografia do processo de transferência de resina e b) evidência de mangueira em excesso.

Após identificada a oportunidade de melhoria, por inspeção visual, verificou-se que a mangueira com mais excesso era a que fazia o abastecimento dos *bidons*, mas que as restantes ainda tinham uma grande margem de otimização.

Para colmatar o desperdício, primeiramente, foram marcados os *zonings* no chão (Figura 32), de modo a que as máquinas só pudessem estar numa única localização. Deste modo, preveniu-se que, numa infusão, as mangueiras definidas fossem insuficientemente compridas, dada a má colocação da maquinaria. As localizações dos

bidons e das máquinas já tinham sido definidas, mas não se encontravam devidamente identificadas no chão de fábrica.

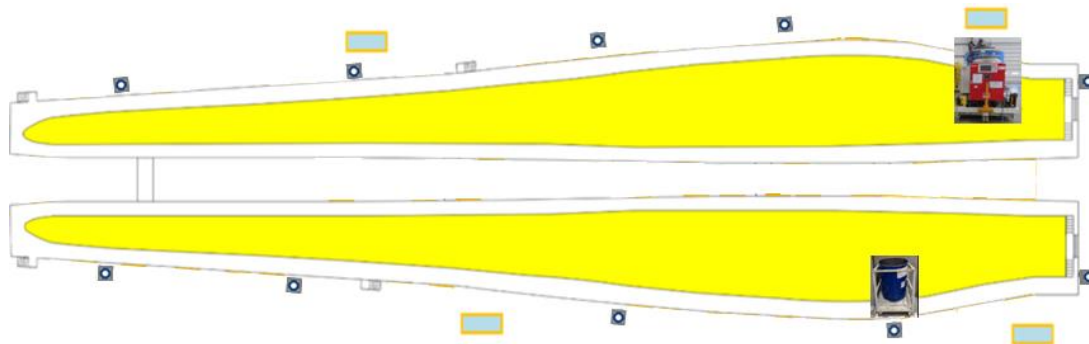


Figura 32 - Zonings das máquinas de resina e dos *bidons* na *Main Shell*.

Após reunir os comprimentos das mangueiras em uso, Anexo C, foi crucial definir os comprimentos realmente necessários, com o Engenheiro de Processo responsável pela infusão, junto do molde.

Só num dos moldes da *Main Shell* foi possível reduzir as mangueiras em 84 metros e, conseqüentemente, o consumo de resina que fica nestas (Figura 33), culminando numa redução de custo associado a estes materiais de 19%, face à situação inicial.



Figura 33 - Mangueiras após o processo de infusão com resina catalisada.

4.2.3 JIG APERTO PERNOS

Para fixar a pá ao *Hub* (elemento que agrega as 3 pás) é necessário que exista um tipo de ligação. Esse tipo de ligação nas pás eólicas é feito através da utilização de pernos, que apertam na pá (Figura 34) e, posteriormente, no *Hub*, aquando a instalação da torre. A montagem destes pernos é feita na fase final da produção da pá (em P3 nos acabamentos).

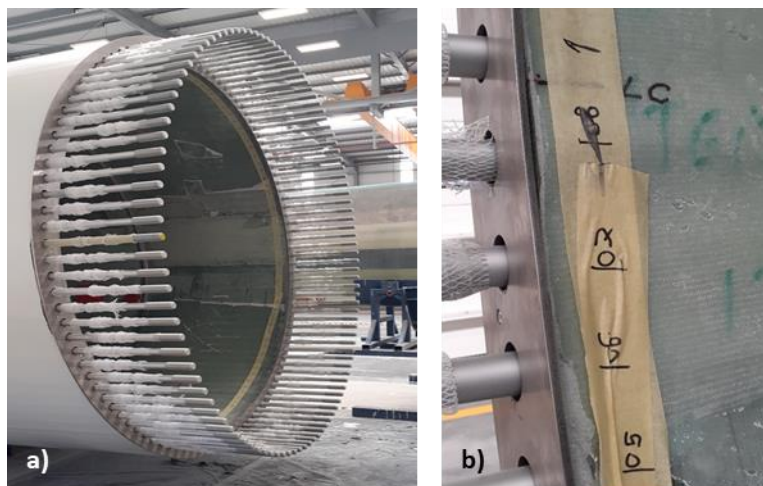


Figura 34 - Pernos montados na pá a) e detalhe da montagem b).

Após *Gemba Walk* foi observada a realização da tarefa de montagem dos 108 pernos na pá do projeto em estudo. Verificou-se uma oportunidade de melhoria, já que esta tarefa é bastante demorosa e repetitiva, uma vez que os pernos eram apertados à mão, Anexo D.

Foram propostos alguns *Jigs* de aperto, que facilitavam esta montagem, mas percebeu-se, entretanto, que a fábrica em projetos passados tinha utilizado uma ferramenta de auxílio na tarefa (Figura 35). Essa ferramenta é ligada a uma aparafusadora a bateria sem impacto e com força de aperto reduzida, para não danificar a rosca dos pernos nem a proteção galvânica que possuem.

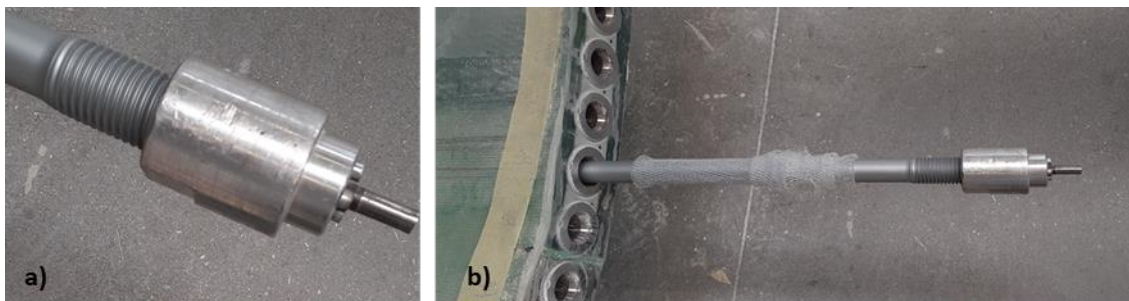


Figura 35 - Acessório de aperto dos pernos em detalhe a) e teste do mesmo em linha b).

Após reunir esta ferramenta, testou-se se a rosca dos novos pernos era semelhante à da ferramenta (Figura 35 a)). Como o resultado do teste foi positivo, procedeu-se a um teste de uma situação real em linha (Figura 35 b)). No final, constatou-se que este método era bem mais eficaz.

Com o uso desta ferramenta verificou-se que, na realização da tarefa, havia uma redução de 75% do tempo de montagem, face ao método inicial, e mais ergonomia para o operador ao realizar a operação, uma vez que ao fim de montar alguns pernos torna-se desconfortável a montagem dos restantes à mão. Procedeu-se, então, à alteração dos documentos de trabalho e à formação das equipas relativamente à nova forma de realizar a tarefa.

4.2.4 JIG PARA O COVER (LOPC)

Já no final do estágio, nos novos projetos (o caso do SG155), foi implementada uma nova tecnologia, sensores de carga (LOPC). Já vem sendo utilizado no *Offshore*, mas para o *Onshore* é uma nova tecnologia que começou a ser implementada pela primeira vez na fábrica de Vagos.

Como a tecnologia é nova no *Onshore* não existia método nem *standard* de montagem destes sensores. A partir da ficha técnica do componente, em conjunto com o Engenheiro de Processo responsável, desenvolveu-se o *standard* de trabalho, que servirá de referência também para as restantes fábricas do grupo.

Após algumas montagens percebeu-se que a montagem dos *covers* dos cabos era uma dificuldade no processo, não ficavam montados nas posições desejadas, em que inicialmente se tinham posicionado, muito devido à geometria circular da pá. Para contornar esse problema, inicialmente, usou-se fita-cola e extensores de pintura para evitar deslocamentos indesejados. Porém, este sistema não era robusto (Figura 36).

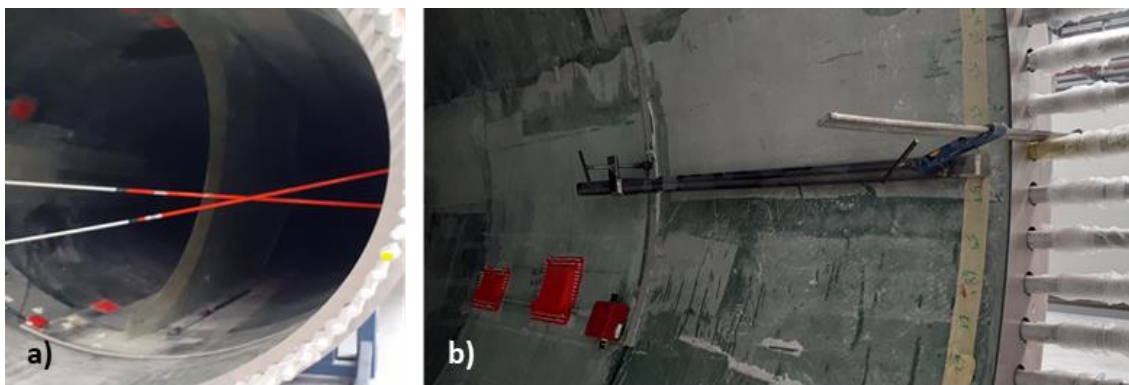


Figura 36 - Antes da intervenção a) VS depois da intervenção b).

Depois de se estudar o problema, foi desenvolvido um *Jig* de apoio na montagem desses *covers*. Numa extremidade aperta na *Root* formando a fixação à pá e na outra um parafuso ajustável permite pressionar os *covers* contra a pá (Figura 37), enquanto o adesivo cura.



Figura 37 - Detalhes do *Jig* de aperto: a) no *cover* e b) na pá.

4.2.5 MARCAÇÕES MOLDE VGS

Existem pás que, dependendo dos parques em que irão ser montadas, proximidade ou não de habitações/tipo de vento, necessitam de acessórios aerodinâmicos. Uns melhoram a performance da pá, enquanto outros diminuem o ruído que estas produzem em rotação (Gao, Zhang, Liu, & Han, 2015).

Os *Vortex Generator* (VGs), pequenos acessórios montados em locais definidos da pá, são um tipo desses acessórios (Figura 38). Para os fixar de forma permanente é necessário, primeiramente, marcar as suas posições na pá de acordo com o desenho do produto, também conhecido como especificação.



Figura 38 - VGs montados ao longo da pá.

Inicialmente, estas marcações eram feitas nos acabamentos, sendo necessário marcar metro a metro a sua posição (33 marcas por pá com 2 operadores a fazê-lo), o que tornava esta tarefa bastante demorosa. Este método trazia também alguns problemas, como a não garantia da repetibilidade, devido à geometria da pá nessa zona e das referências de ponto de partida no desenho. Uma medição mais a cima ou mais a baixo (devido à forma da pá) altera em muito a posição, neste caso o erro humano é grandemente notório.

Foi necessário definir uma alternativa que tornasse a tarefa mais estável e robusta. A ideia foi colocar uns postigos no molde (*Main Shell*) com formato de cruz (Figura 39) para marcar a posição exata, aquando a fabricação da pá. Assim, uma vez colocados, esses postigos marcam a pá nas zonas indicadas em desenho, permitindo repetibilidade, fiabilidade e robustez, algo que não existia no método anterior.

Sendo o armazém dos acabamentos o mais crítico no fluxo de saída das pás, pois é o “gargalo do processo”, todas as tarefas que seja possível serem feitas antes de chegarem a este armazém devem ser realizadas.

Estes postigos têm algumas particularidades, pois são fabricados internamente e, possuem inclinação nas extremidades, para que na desmoldagem permaneçam no molde e não na pá.

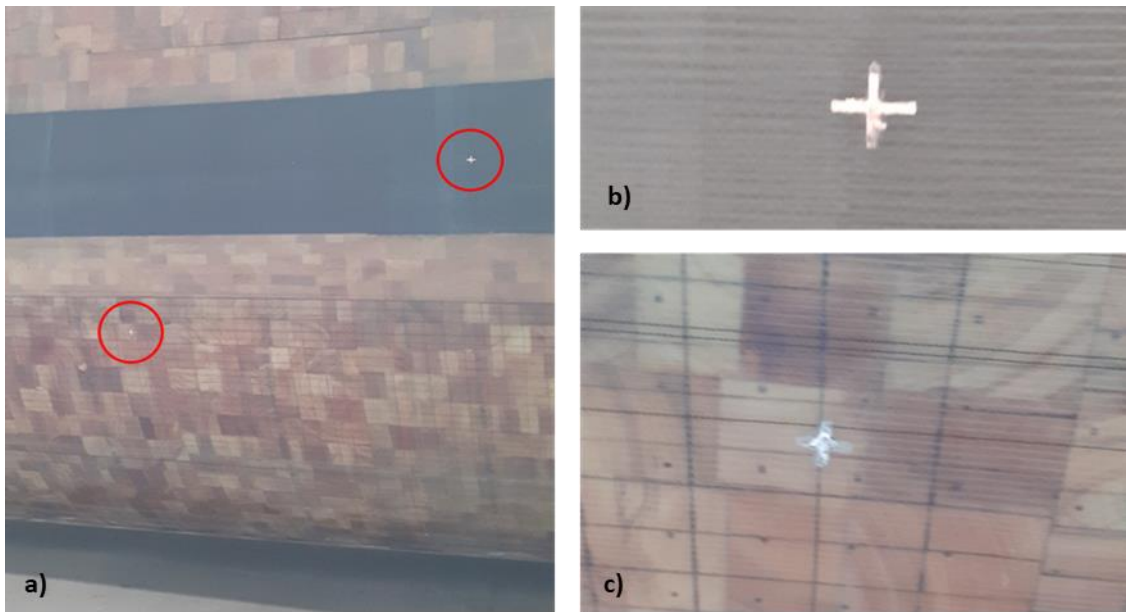


Figura 39 - Marcações feitas pelos postigos do molde na pá a), detalhes dos postigos b) e c).

A sua aplicação é delicada e, para que tenhamos referências para várias pás, deve ser feita com alguns cuidados:

- Marcar no molde a localização de acordo com o desenho técnico;
- Despolir a zona;
- Limpar e desengordurar com acetona;
- Aplicar o postigo;
- Aplicar 3 demãos de desmoldante.

Considerando que estes postigos se mantêm no molde entre 15 a 20 peças, obteu-se uma redução na tarefa marcação dos VGs de 99%, face á situação inicial, uma enorme redução de horas homem. Porém, o maior ganho é que esta redução afeta positivamente o fluxo de saída das pás.

4.2.6 VÁCUO NA CALIBRAÇÃO

Uma turbina eólica transforma a energia do vento em energia mecânica e, por sua vez, a energia mecânica é convertida em elétrica. O aproveitamento do vento é feito pela rotação das pás da turbina.

Todos os componentes que trabalham em rotação precisam de ser calibrados para evitar desequilíbrios, vibrações e falhas prematuras. As pás não são exceção. Uma torre é composta por três pás e, partindo da pá mais pesada, as restantes são calibradas em função desta, de modo a aproximar o peso e o centro de massa das três.

Esta operação é feita na fase final de acabamento da pá (P4), sendo uma das últimas tarefas a ser feita antes da pá poder sair do armazém para o stock.

A calibração é feita em zonas específicas da pá. Na colagem da pá são também coladas as “caixas”, denominadas internamente por calibradores (Figura 40), que permitem armazenar o material de calibração. Uma correta colagem para uma boa estanquicidade destas caixas é crucial no processo de calibração, um defeito aqui atrasará bastante o processo em P4, no armazém dos acabamentos.



Figura 40 - Calibrador colado na pá.

Para realizar a tarefa de calibração é necessário executar dois furos: um pequeno para saída de ar e outro, de maior dimensão, para poder colocar o produto de calibração com um funil (Figura 41). Este produto resulta da mistura de areia (extremamente fina) com resina e, em certos casos, pode ser necessário introduzir 105 kg pelos vários calibradores.



Figura 41 - Furos a) para enchimento da mistura num dos 3 calibradores (método inicial por gravidade) e detalhe dos furos em b).

A viscosidade desta mistura torna a operação demorada, uma vez que a deslocação do composto se deve apenas à força da gravidade. Para reduzir este tempo de operação, pensou-se inicialmente em formas de forçar a entrada da mistura.

Primeiramente, usou-se um aspirador no pequeno furo para uma maior extração de ar. Os resultados foram positivos, mas testou-se outro método. Como na empresa existe uma grande quantidade de bombas de vácuo, devido ao processo de infusão, utilizou-se uma (Figura 42) no lugar do aspirador, verificando-se um decréscimo de tempo bastante impressionante face ao inicial.

No final conseguiu-se uma redução na ordem dos 50%, quando há dificuldades no processo (vedação do calibrador), e dos 70%, quando não há dificuldades.

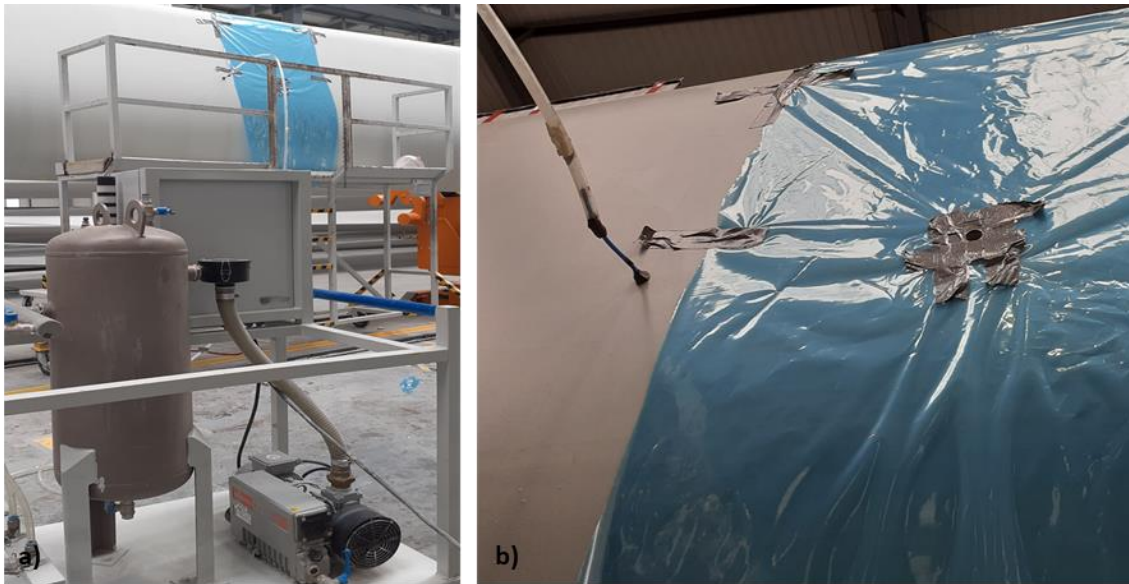


Figura 42 - Bomba de vácuo a) e utilização de vácuo na calibração b) (método atual).

4.2.7 APLICAÇÃO DE MASSAS

Após a pá sair do armazém dos moldes, entra no segundo armazém onde são realizados os acabamentos da pá. Uma das operações é a aplicação de reforços nas linhas de colagem das *Shells*. A aplicação desses reforços é feita por laminação manual, onde são adicionadas várias camadas em zonas definidas da pá (Figura 43).

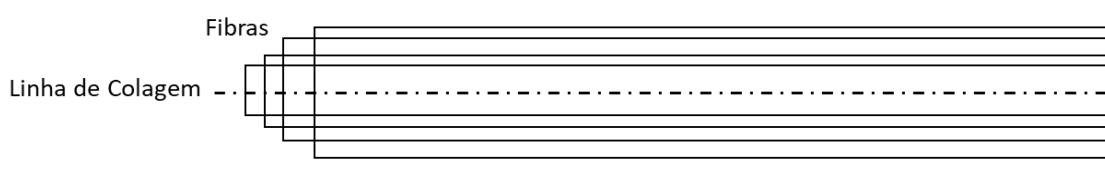


Figura 43 - Representação da disposição das várias camadas de fibra.

Esses reforços formam uma espécie de “degrau” e, como não é feita infusão a vácuo, estas camadas ficam ainda mais salientes por conterem uma maior quantidade de resina. Para disfarçar estes “degraus” é necessário aplicar massas (Figura 44) e, de seguida, tapa poros para que posteriormente a pá seja pintada.

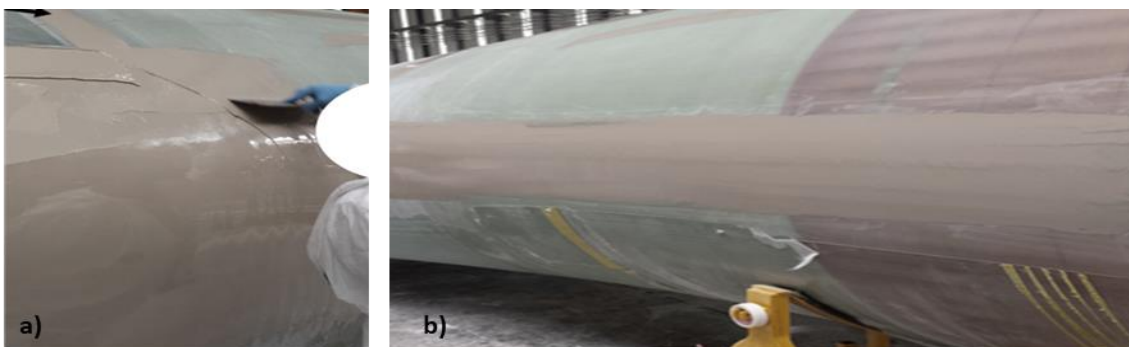


Figura 44 - Aplicação de massas em 2 camadas: a) zona da *Root* e b) zona do TE.

Após algumas pás perto do peso limite admissível, foi necessário pensar em ações que pudessem reduzir esse peso. Uma das ações testadas passou por diminuir a quantidade de massa. Essa redução foi estratégica para que não comprometesse a performance da pá, e o bordo de ataque do vento (LE) não foi incluído nesta alteração uma vez que é onde o vento “ataca” a pá, sendo uma zona mais delicada (afeta negativamente a aerodinâmica).

A forma como a massa é aplicada na zona da *Root* e no bordo de saída do vento (TE) foi mudada e, atualmente, é dada “a raspar”, isto é, ficando apenas o imprescindível na pá (Figura 45). Para garantir a repetibilidade, foi dada formação aos colaboradores e foram atualizados os documentos de trabalho (*Standard Work*).

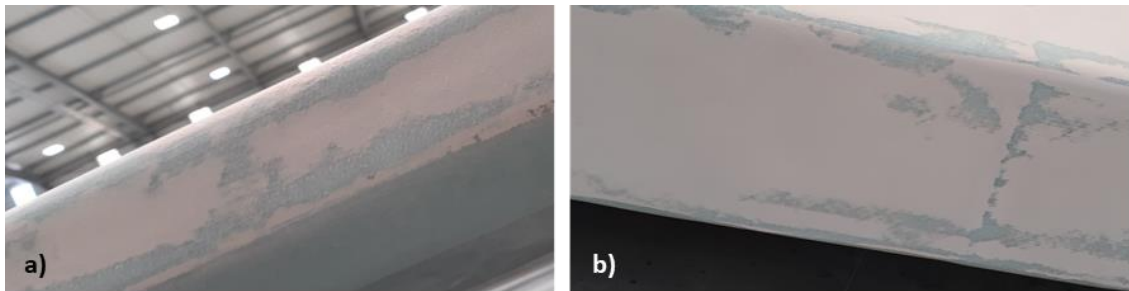


Figura 45 - Aplicação de massas “a raspar” no TE a) e b).

Esta ação para além de reduzir o peso da pá, o principal objetivo, permitiu diminuir a quantidade de massa usada nesta tarefa em 50% e, conseqüentemente reduzir o tempo desta operação.

4.2.8 ACOMPANHAMENTO LAY-UP

No desenrolar de uma ação com o objetivo de mudar a posição (de raio para corda) das fibras (Figura 46), de modo a melhorar as condições de trabalho (ergonomia) na *Shell*, foi necessário acompanhar o *lay-up* para, posteriormente, se proceder às correções necessárias nas fibras.

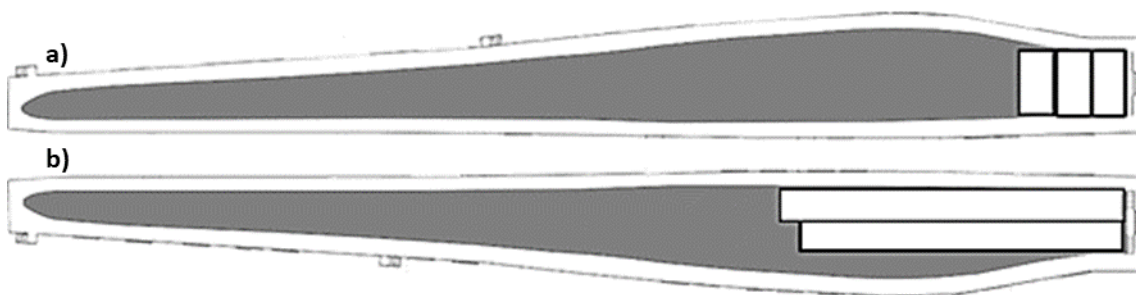


Figura 46 - Fibra desenrolada em “Corda” a) VS fibra desenrolada em “Raio” b).

Este acompanhamento é bastante importante para garantir que a fibra tem a dimensão correta, sendo feito sempre que há uma alteração deste tipo. O motivo para realizar esta tarefa deve-se a uma propriedade que as fibras têm (de esticarem), isto é, por exemplo, se desenrolarmos um rolo de papel, ele terá o comprimento inicial que

foi enrolado, mas se enrolarmos um rolo de fibra o mesmo não acontece. No último caso, o comprimento será maior e passado um tempo a fibra retrairá, voltando ao comprimento inicial. Isto acontece porque as fibras são armazenadas em rolos sobre alguma tensão, sendo que quanto maior o rolo mais tensão haverá no mesmo.

Na indústria, o tempo é valioso e, não é viável estar a desenrolar os rolos, para que as fibras retraiam e se cortem com o tamanho correto. O que acontece é que a fibra é desenrolada diretamente para a máquina de corte, com essa tensão. Para minimizar o problema, de modo a cortar as fibras com a dimensão pretendida, o Engenheiro responsável ao desenhar as camadas aplica um coeficiente de retração para compensar este comportamento. Este coeficiente é um tópico delicado, varia de fabricante para fabricante, se o rolo tem mais ou menos fibra, entre outras variáveis. É por este motivo que se corta uma peça sobredimensionada para que quando chegue ao molde já possua a dimensão desejada.

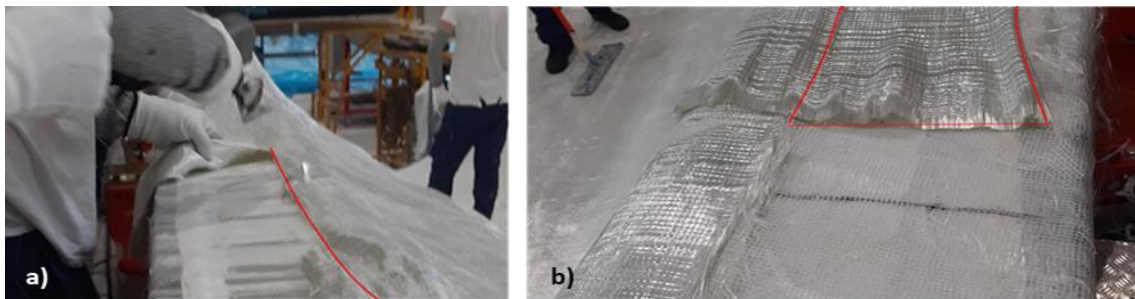


Figura 47 - Evidências de excesso em largura de fibra a) e b) com necessidade de corte na linha de produção.

Estas correções são feitas com alguma urgência, pois quanto mais tempo se demorar a fazê-lo mais atrasará o tempo de ciclo do *lay-up*, obrigando os operadores a cortar fibras em excesso (Figura 47) ou a fazer retrabalhos para cumprir as especificações (Figura 48).

O tempo de ciclo não é o único inconveniente, pois ao serem feitos retrabalhos cria-se um efeito de “bola de neve”. Vamos ter mais sobreposições, logo mais fibra que o ótimo, com mais fibra precisamos de mais resina, que no final resulta num aumento de peso da peça final e dos custos associados.

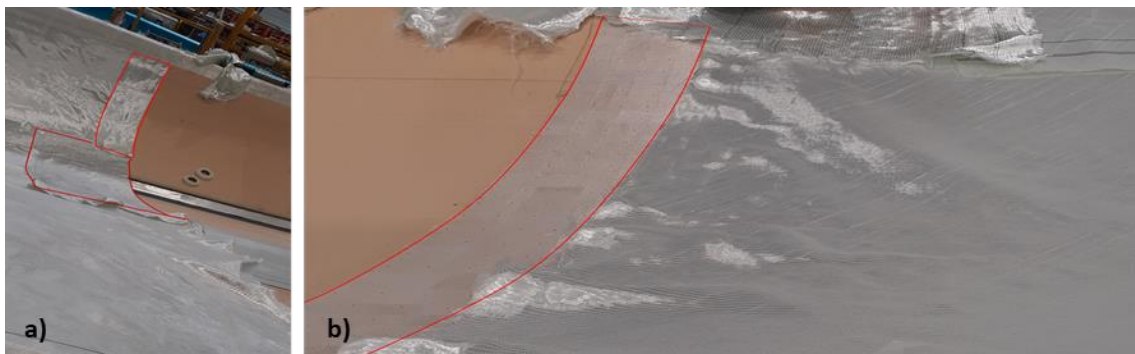


Figura 48 - Evidências de falta de fibra em comprimento com necessidade de retrabalhos a) e b).

Para que os ajustes posteriores sejam bem executados, é necessário garantir o correto posicionamento das camadas (em raio e em corda), a correta sequência de colocação de fibras e as sobreposições entre estas. Todos estes fatores afetam o objetivo final e a produção, sendo que, por vezes, para cumprir um menor tempo de ciclo não tem a atenção necessária acabando por cometer pequenos erros, que no final têm impacto e contribuem para pás diferentes entre si e com pesos disparos.

As correções de fibra, quer em falta quer a mais, permitem um ganho de tempo na linha muito significativo, devido ao elevado número de camadas usado. É importante que esta intervenção seja executada rapidamente, para que chegue depressa à linha. As correções são efetuadas mas só chegam à *Shell* após todos os kits de fibras já cortados serem utilizados.

4.2.9 CONFERÊNCIA CARROS BoM

Na produção de uma peça são definidos, primeiramente, os materiais e qual a quantidade necessária em BoM. De seguida, define-se de onde saem e para onde vão os carros BoM com os materiais. A maioria sai do armazém principal (logística) e o operador abastece o carro, de acordo com a *Picking list* (Anexo E). Esta lista resulta de uma extração parcial da BoM, referente às peças e operações que irão ser realizadas.

Com o intuito de realizar um ajuste para a quantidade real necessária dos materiais que são abastecidos na linha, foram verificados os carros à saída do armazém confrontando-os com a *Picking* e com a BoM (Figura 49).



Figura 49 - Verificação de carros antes do início da produção: a) no armazém de logística e b) junto às peças.

Após a conclusão do fabrico das peças, os carros foram novamente verificados para perceber que materiais existiam a mais, que materiais estavam em falta e que materiais não estavam a ser usados (Figura 50).

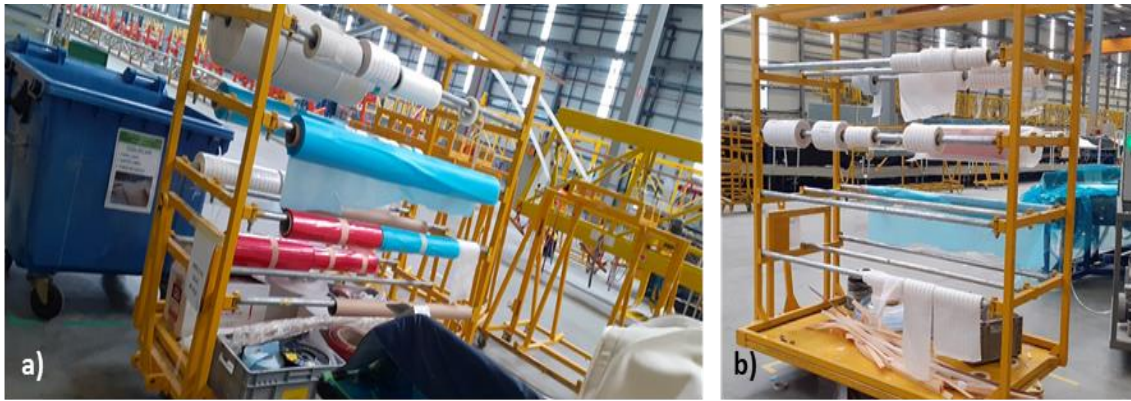


Figura 50 - Carros após fim da produção das peças a) e b).

Depois estas verificações, percebeu-se que, como seria de esperar, existiam materiais a mais do que o necessário, ou mesmo alguns que não eram usados (Figura 51), principalmente nas peças que sofriam atualizações de processo quase diariamente.



Figura 51 - Materiais abastecidos não utilizados a) e b) e materiais em excesso c).

As verificações foram feitas geralmente 2 a 3 por peça, porque o tempo entre o carro estar pronto e ser abastecido é muito reduzido, tornando assim difícil esta tarefa e pequena a amostra. Foi necessária uma grande coordenação para o conseguir, até porque a maioria dos carros eram abastecidos fora do horário do estágio.

É extremamente fácil que os resultados sejam enviesados, se alguém da produção precisar e for buscar um material a esse carro, para usar noutra peça ou mesmo se for pousar algo que sobrou de outra tarefa que não aquela no carro verificado. Por estes motivos, foi necessário confrontar os resultados obtidos com as quantidades que o Engenheiro de Processo responsável pretendia, para verificar a veracidade dos mesmos antes de proceder a qualquer ajuste.

De seguida, são apresentados os resultados obtidos durante o processo de verificação:

- Carros P0

Eram abastecidos rolos a mais de *tackytape* (Figura 52), porque a lista de abastecimento na logística não estava atualizada após uma redução da engenharia.

Ações tomadas - Atualizar frequentemente a *Picking list* e a engenharia gerar um alerta sempre que atualiza quantidades e materiais.



Figura 52 - Abastecimento de materiais em excesso a) por picking list desatualizada b).

- Carros P1

Foi possível identificar uma redução de tempos na linha com otimização dos materiais recebidos. Cortar consumíveis em largura demorava entre 1 a 1 hora e meia na linha e, cortando os rolos à medida na máquina eliminamos esta tarefa.

Ações tomadas - Foi necessário criar OCN (*Operation Change Note*) e códigos para as novas larguras poderem ser abastecidas e cortadas internamente na serra circular.

- Carros Caps

Alteração frequente de processo, em que a estratégia de infusão foi muito alterada até encontrar uma que minimizasse os defeitos, que fosse viável e robusta.

A BoM estava desatualizada, pois havia material para duas infusões quando só se estava a fazer uma (Figura 53), material que já não fazia sentido ser abastecido e material em falta e que a produção para fabricar as peças precisava de fazer requisições constantemente.

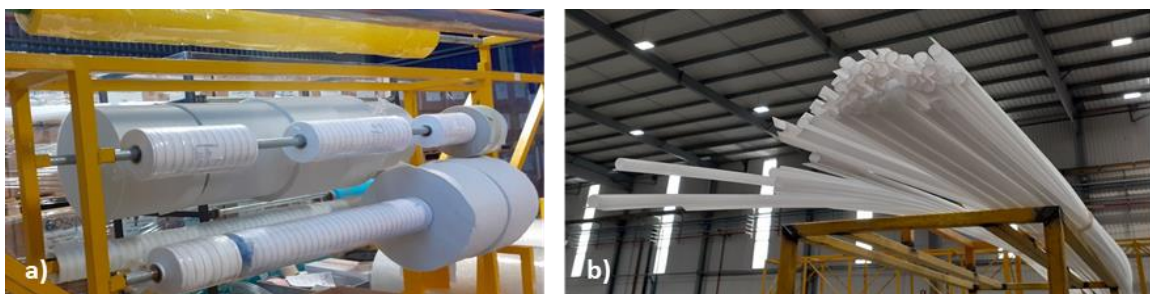


Figura 53 - Materiais abastecidos em excesso por BoM desatualizada (Caps).

Enquanto os testes não eram conclusivos, a BoM não era atualizada, uma vez que se tornava necessário criar OCN's (a justificar as alterações) e quando se pudesse implementar na fábrica, já seria necessário mudar outra vez.

Ações tomadas - Quando o processo estabilizou, foi feita a atualização para os materiais necessários e realizada uma nova verificação.

- Outros carros

Verificou-se também a existência de uma caixa em que eram colocadas as sobras. Através da análise destes conseguiu-se perceber quais os materiais que sobravam sistematicamente.

É evidenciada também uma deficiente gestão das sobras, uma vez que os operadores do armazém, mesmo com as sobras, abasteciam todos os materiais presentes na *Picking list* e, em certos casos, não consideravam os materiais destas caixas, o que fazia com que muitos circulassem para pela fábrica de peça em peça (Figura 54).



Figura 54 - Caixas cheias de materiais (Sobras).

Dificuldades encontradas ao realizar a ação:

- Utilização dos materiais de uma dada tarefa noutras pás;
- A burocracia atrasa a implementação de uma melhoria;
- Demoras na atualização de BoM em SAP (*System Applications Products*) pelas validações necessárias (OCNs), uma vez que era necessário justificar ao grupo as alterações (*delay* entre identificação de oportunidade de melhoria e implementação).

4.3 NECESSIDADE ENCONTRADA

No início, a ideia foi produzir as *Caps* dentro do molde principal (*Shell*), mas o plano mudou e decidiu-se produzir fora do molde estes pré-fabricados. Como esta mudança não estava planeada foi necessário produzir novos moldes rapidamente.

Ao dar início à produção verificou-se que a forma da peça não era a adequada ao pretendido, quando se colocava no molde principal. Para não parar a produção, foi testada uma maneira para ser possível produzir essas peças, sendo que a forma encontrada foi utilizar uma pequena parcela do molde.

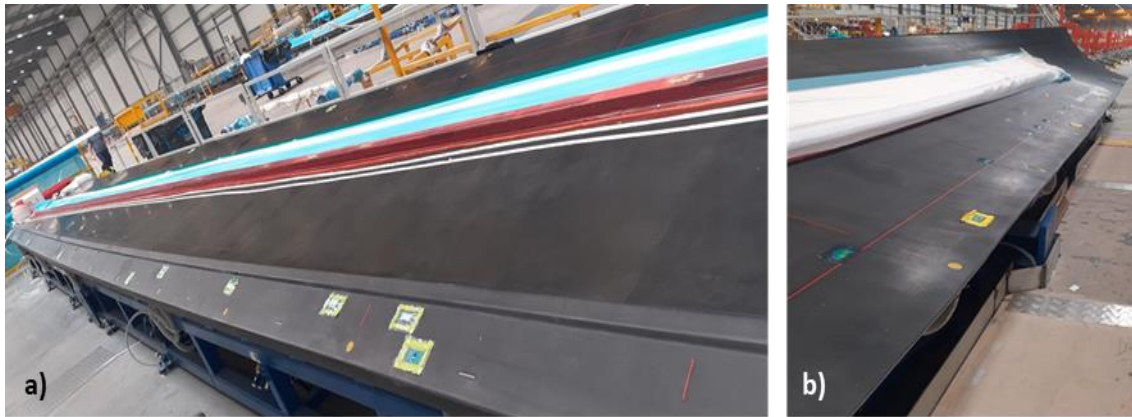


Figura 55 - Evidência da grande distância entre o operador e a zona de trabalho a) e b).

Esta decisão trouxe a alguns inconvenientes (Figura 55), como dificuldades no fabrico da peça (*lay-up*), em que os operadores precisam de recorrer a posições ergonomicamente desajustadas e, em alguns casos subir ao molde (Figura 56).



Figura 56 - Posição de trabalho desajustada.

O desajuste entre o molde/operador, a necessidade de usar um inserto no meio do molde para posicionar a peça e, com este, o acréscimo de uma tarefa, a preparação do inserto acrescentam, significativamente, o tempo de ciclo da peça.

Outro inconveniente é, durante a infusão e cura, a necessidade de aquecer o molde e como estas resistências são ligadas por zonas (Figura 57), acabamos por ter zonas que estão a ser aquecidas na totalidade quando não é necessário, gerando um consumo de energia maior para o fabrico da peça. Tomando como exemplo a imagem abaixo, a peça (representada a amarelo) toca na zona 5.1 apenas numa pequena área (vermelho), porém, atualmente, toda essa zona (5.1) precisa de estar ligada durante a cura, para que a peça adquira as propriedades pretendidas.

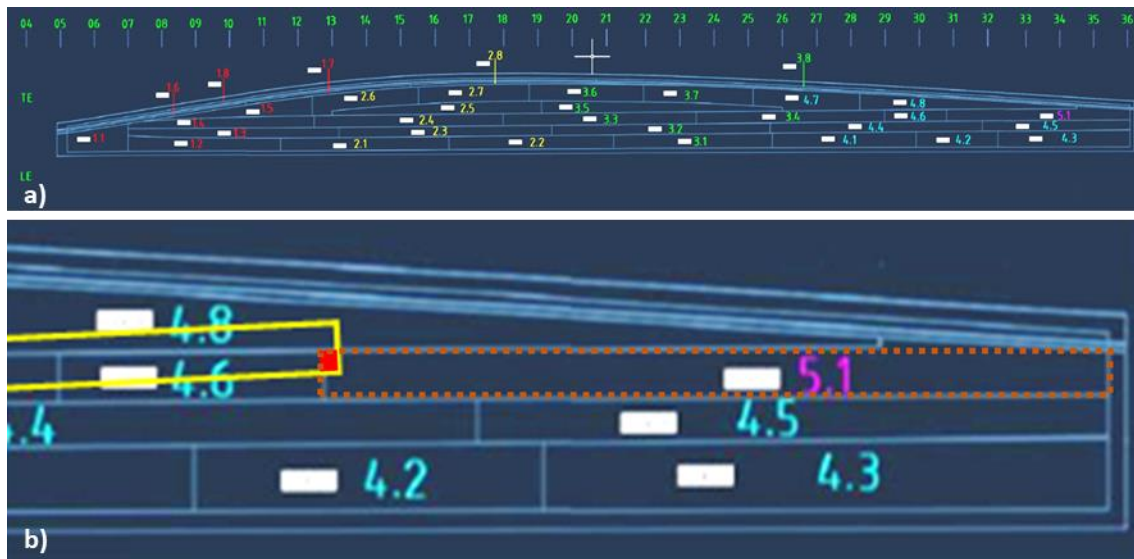


Figura 57 - Zonas de aquecimento do molde a) e detalhe de zona 5.1 que necessita de ser ativada b).

A solução, visto que os passadiços junto ao molde não são suficientes, passa por trocar os moldes. Esta decisão acarreta custos elevados e é necessário que haja vontade e interesse em avançar, dado que os moldes são muito caros, não é economicamente viável trocá-los já, tendo em conta o investimento que foi feito neles.

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Este último capítulo encerra o trabalho desenvolvido no período de estágio. Neste são apresentadas as conclusões, onde é exposto um quadro resumo das ações tomadas e onde são também apresentadas as propostas de trabalho futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Na indústria, a temática da melhoria de processos não deixa de ser atual a cada ano que passa, dado que, pelo fator competitividade, as empresas necessitam de melhorar os seus processos de forma contínua. Só as que o conseguem fazer é que sobrevivem à guerra que é o mercado.

Foram abordadas metodologias *Lean* e ferramentas de auxílio que, como comprova este trabalho, permitem aumentar a eficiência das empresas, identificar e eliminar desperdícios que não acrescentam valor no produto final para o cliente, reduzindo desta forma recursos, e ainda obter uma produção mais rápida e eficiente, sem deterioramento da qualidade.

As metodologias e ferramentas estudadas no capítulo 2 possuíram um papel fundamental, uma vez que serviram de suporte e auxílio às visitas ao “chão de fábrica” e às posteriores tomadas de decisão.

A indústria em estudo, ou seja, a indústria da energia eólica, encontra-se em crescimento. Cada vez se desenvolvem máquinas maiores e mais eficientes, com grandes investimentos associados. Por isso, a otimização dos processos de produção destes produtos tem um grande impacto financeiro, uma vez que, por mais pequeno que seja o ajuste, pode resultar numa redução de centenas ou mesmo milhares de euros.

A primeira fase consistiu na uniformização e simplificação dos *Standard Works*, os documentos base de todos os operadores, bem como também do *template* que o constitui e que é utilizado pelos Engenheiros de Processo.

Este passo foi muito importante, pois a fabricação de um produto em compósito ainda requer, nos dias de hoje, uma forte componente de trabalho manual. Estes documentos são as “bíblías” dos operadores quer mais antigos, quer mais recentes. Este documento é mais crítico para um novo operador que chegue à linha, uma vez que este ainda está pouco familiarizado com os termos, tornando-se indispensável que o documento seja de fácil perceção, particularmente na fase em que se encontrava a empresa, a contratar em massa.

Após a padronização seguiu-se outra etapa: as melhorias, quer na forma de realizar os processos quer na otimização dos materiais. Foi possível identificar desperdícios de material, reduzir outros e ainda otimizar algumas formas de realizar os processos.

A Tabela 4 resume as ações e os principais resultados obtidos.

Tabela 4 - Principais Resultados.

Ação	Descrição dos Resultados;
<i>Standards</i>	<i>Standard Works</i> uniformes, quer os existentes quer os novos. Um novo <i>template</i> de mais fácil leitura. Redução de 85% da tarefa criação e atualização de standards.
Redução de Perfis Ómega	Eliminação de 6240 perfis anuais na produção do projeto em estudo e, conseqüentemente, eliminação do seu custo, com a reutilização de um componente existente na fábrica.
Redução de Mangueiras	Redução de mangueiras em excesso, culminado numa redução de custo em 19% por pá, face à situação inicial.
<i>Jig</i> Aperto Pernos	Redução de 75% do tempo de montagem, relativamente ao método inicial, e mais ergonomia na realização da tarefa.
<i>Jig</i> Montagem de Sensores	Robustez e uniformização na montagem de componentes.
Marcações Molde	Redução em tempo de 99% da tarefa marcação da posição de componentes aerodinâmicos, no 2º armazém crítico para o fluxo.
Vácuo na Calibração	Redução de 50 a 70% na realização da tarefa calibração.
Aplicação De Massas	Redução da quantidade de massa gasta na pá em 50% e, conseqüentemente, do seu peso final.
Acompanhamento <i>Lay-up</i>	Redução do tempo de ciclo, de retrabalhos e conseqüente redução de materiais.
Conferência Carros BoM	Identificação e ajuste de quantidades reais e de materiais não usados. Identificação de larguras de materiais e posterior redução de tempo de ciclo (eliminando os cortes na linha).

Ao consultar o capítulo 4, PROPOSTAS DE MELHORIA, verifica-se que o objetivo de analisar o impacto do uso de ferramentas *Lean* numa indústria de compósitos foi cumprido e que os resultados das ações foram muito satisfatórios.

Relativamente à questão de investigação “Será que a utilização de metodologias e ferramentas *Lean* possui impacto na melhoria de processos no fabrico de pás para turbinas eólicas?” é perceptível, pela análise do capítulo 4 e da Tabela 4, que a sua aplicação provoca resultados muito positivos e benéficos para a empresa em estudo bem como para as outras que empregam a filosofia *Lean* no seu dia-a-dia.

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

A empresa já pratica metodologias *Lean*, sendo que até possui um departamento dedicado à melhoria contínua, mas como se encontra numa fase de industrialização de dois novos projetos, existe uma elevada carga de trabalho sobre todos os departamentos, e certas coisas acabam por se descorar, uma vez que não há tempo para realizar tudo na perfeição.

A otimização do projeto SG155 necessita ainda de muito trabalho, quer em materiais quer no processo, dadas as dimensões do produto e a complexidade de fabrico do mesmo.

Entre esse trabalho destaco:

- Estudo do impacto da implementação de *lasers* posicionadores das camadas de fibra;
- Estudo de um método de automatizar parcial ou totalmente, a colocação de fibras nos moldes;
- Mudar ou otimizar o sistema de registo de tempos, de forma que seja o mais simples possível para o operador;
- Continuar o trabalho de conferência de carros BoM e ajuste dos materiais quer em quantidades quer em larguras de rolos;
- Melhorar a gestão de sobras de materiais.

**BIBLIOGRAFIA e OUTRAS FONTES
de INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA

- APREN. (2020). Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental. Retrieved 13 November 2020, from www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao
- Arora, A., & Kaur, S. (2015). Performance Assessment Model for Management Educators Based on KRA/KPI.
- Azevedo, J., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Santos, G., Cruz, F. M., Jimenez, G., & Silva, F. J. G. (2019). Improvement of production line in the automotive industry through lean philosophy. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 41, pp. 1023–1030). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.029>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, 34(7), 876–940. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Blokdyk, G. (2017). *Bill of Materials BOM: A Concise and Practical Guide*.
- Buckley, P., Prewette, P., Byrd, J., & Harrison, G. (2017). *Staying Lean. Staying Lean*. Productivity Press. Retrieved 30 January 2021 from <https://doi.org/10.1201/b10492>
- Cordeiro, P., Sá, J. C., Pata, A., Gonçalves, M., Santos, G., & Silva, F. J. G. (2020). The Impact of Lean Tools on Safety—Case Study. *Studies in Systems, Decision and Control*, 277, 151–159. Retrieved 14 January 2021 from https://doi.org/10.1007/978-3-030-41486-3_17
- Correia, D., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M., Pereira, T., & Ferreira, L. P. (2018). Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 17, pp. 663–671). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.115>
- Cortês, L. (1998). Da necessidade da vigilância crítica em educação à importância da prática de investigação-ação.
- Costa, C., Pinto Ferreira, L., C. Sa, J., & Silva, F. J. G. (2018). Implementation of 5S Methodology in a Metalworking Company, 001–012. Retrieved from <https://doi.org/10.2507/daam.scibook.2018.01>
- Dias, J. A., Ferreira, L. P., Sá, J. C., Ribeiro, M. T., & Silva, F. J. G. (2019). Improving the order fulfilment process at a metalwork company. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 41, pp. 1031–1038). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.030>
- Dijk, C. Van, & Ende, J. Van Den. (2002). *Suggestion systems: transferring employee creativity into practicable ideas. R&D Management* (Vol. 32). John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00270>

- EDP. (2018). Energias renováveis. Retrieved 18 November 2020, from www.edpdistribuicao.pt/pt-pt/redes-do-futuro/producao-de-energia/energias-renovaveis
- Erkan, O., Özkan, M., Karakoç, T. H., Garrett, S. J., & Thomas, P. J. (2020). Investigation of aerodynamic performance characteristics of a wind-turbine-blade profile using the finite-volume method. *Renewable Energy*, 161, 1359–1367. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.138>
- Ewert Ralf, W. A. (2008). *Interne Unternehmensrechnung. Interne Unternehmensrechnung*. Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77284-2>
- Gao, L., Zhang, H., Liu, Y., & Han, S. (2015). Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines. *Renewable Energy*, 76, 303–311. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2014.11.043>
- Gonçalves, I., Sá, J. C., Santos, G., & Gonçalves, M. (2019). Safety stream mapping—a new tool applied to the textile company as a case study. *Studies in Systems, Decision and Control*, 202, 71–79. Retrieved 14 January 2021 from https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3_8
- Griffiths, A. A. (1921). VI. The phenomena of rupture and flow in solids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 4(1), 9–14. Retrieved from <https://doi.org/10.1098/RSTA.1921.0006>
- GWEC. (2019). *Wind Industry Statement on Economic Recovery from COVID-19 | Global Wind Energy Council*. Retrieved 29 January 2021 from <https://gwec.net/wind-industry-statement-on-economic-recovery-from-covid-19/>
- Haber Jeffrey; Schryver Caitlin. (2019). How to Create Key Performance Indicators.
- Hegge, H. M. H., & Wortmann, J. C. (1991). Generic bill-of-material: a new product model. *International Journal of Production Economics*, 23(1–3), 117–128. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(91\)90055-X](https://doi.org/10.1016/0925-5273(91)90055-X)
- Imai, M. (1986). *Kaizen: the key to Japan's competitive success*. New York: Random House Business Division.
- Jack B. Revelle. (2004). *Quality Essentials: A Reference Guide from A to Z*.
- James Peterson, R. S. (1998). *The 5S Pocket Guide*.
- Jiang, Z., Hu, W., Dong, W., Gao, Z., & Ren, Z. (2017). Structural Reliability Analysis of Wind Turbines: A Review. *Energies*, 10(12), 2099. Retrieved 27 December 2020 from <https://doi.org/10.3390/en10122099>
- Jimenez, G., Santos, G., Sá, J. C., Ricardo, S., Pulido, J., Pizarro, A., & Hernández, H. (2019). Improvement of productivity and quality in the value chain through lean manufacturing - A case study. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 41, pp. 882–889). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.011>
- Khojasteh, Y. (2016). *Production Control Systems: A Guide to Enhance Performance of Pull Systems*. Retrieved 14 January 2021 from <https://ur.book.global/book/2679219/c7d644>

- Lange, I. C. (2009). *Leistungsmessung industrieller Dienstleistungen : Prozess- und Leistungstransparenz als Basis für das Management von Produkt-Service-Systemen*.
- Liker, D. J. K. (2004). *The Toyota Way*. McGraw-Hill Education.
- Lomax, P. (1990). *Managing Staff Development in Schools: An Action Research Approach*.
- Malik, S. A., & Tian, Y. Z. (2006). Execution of continuous improvement practices in Spanish and Pakistani industry: A comparative analysis. *ICMIT 2006 Proceedings - 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 2, 761–765. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262323>
- Martin, T. D., & Bell, J. T. (2017). *New Horizons in Standardized Work. New Horizons in Standardized Work*. Productivity Press. Retrieved from <https://doi.org/10.1201/b10507>
- Masaaki Imai. (2012). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach To A Continuous Improvement Strategy*.
- Mather, H. (1982). *Bills of materials, recipes & formulations*. Wright Pub. Co.
- McNiff, J. (2017). *Action Research: All You Need to Know*.
- Meier, H., Lagemann, H., Morlock, F., & Rathmann, C. (2013). Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. In *Procedia CIRP* (Vol. 11, pp. 99–104). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.056>
- Moura, M. F. de S. F., Morais, A. M. B. de., & Magalhaes, A. G. de. (2011). *Materiais compósitos : materiais, fabrico e comportamento mecânico* (2ª Edição). Publindústria.
- Mühle, F., Adaramola, M. S., & Sretran, L. (2016). The effect of the number of blades on wind turbine wake - A comparison between 2-and 3-bladed rotors. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 753, p. 032017). Institute of Physics Publishing. Retrieved 27 December 2020 from <https://doi.org/10.1088/1742-6596/753/3/032017>
- Natalie J. Sayer, B. W. (2012). *Lean for dummies*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production - Taiichi Ohno*. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Ohno, T. (2013). *Taiichi Ohnos Workplace Management*. McGraw-Hill Education - Europe.
- Palmer, V. S. (2001). Inventory management Kaizen. *Proceedings - 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology, EMAT 2001*, 55–56. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/EMAT.2001.991311>
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075–3090. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0020754021000049817>

- Pereira, A. M. H., Silva, M. R., Domingues, M. A. G., & Sá, J. C. (2019). Lean six sigma approach to improve the production process in the mould industry: A case study. *Quality Innovation Prosperity*, 23(3), 103–121. Retrieved from <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I3.1334>
- Pereira, J., Silva, F. J. G., Sá, J. C., & Bastos, J. A. (2020). Reducing the Scrap Generation by Continuous Improvement: A Case Study in the Manufacture of Components for the Automotive Industry. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 122, pp. 231–240). Springer. Retrieved 14 January 2021 from https://doi.org/10.1007/978-3-030-41429-0_23
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras*.
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). 5S implementation methodologies: Literature review and directions. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 20(1), 48–74. Retrieved from <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2017.080692>
- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study. In *Procedia Manufacturing* (Vol. 38, pp. 765–775). Elsevier B.V. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Robert W Hall. (1987). *Attaining manufacturing excellence : just in time, total quality, total people involvement*.
- Rodrigues, J., de Sá, J. C. V., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., & Santos, G. (2019). Lean management “quick-wins”: Results of implementation. A case study. *Quality Innovation Prosperity*, 23(3), 3–21. Retrieved from <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I3.1291>
- Sá, J. C., Vaz, S., Carvalho, O., Lima, V., Morgado, L., Fonseca, L., ... Santos, G. (2020). A model of integration ISO 9001 with Lean six sigma and main benefits achieved. *Total Quality Management and Business Excellence*. Retrieved 14 January 2021 from <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1829969>
- Santos, G., Sá, J. C., Oliveira, J., Ramos, D., & Ferreira, C. (2019). *Quality and safety continuous improvement through lean tools*. Retrieved 15 January 2021 from https://www.researchgate.net/publication/334208135_Quality_and_safety_continuous_improvement_through_lean_tools
- Smith A, T. Y. (2015). Lean Thinking: An Overview. *Industrial Engineering and Management*, 04(02). Retrieved from <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000159>
- Teixeira, P., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Santos, G., & Fontoura, P. (2021). Connecting lean and green with sustainability towards a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129047. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129047>
- Ulewicz, R., & Lazar, L. V. (2019). The Effect of Lean Tools on the Safety Level in Manufacturing Organisations. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*, 1(1), 514–521. Retrieved 14 January 2021 from <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0066>

- Werner Gladen. (2014). *Performance Measurement: Controlling mit Kennzahlen - Werner Gladen*.
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking*.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*. Taylor & Francis. Retrieved 14 January 2021 from <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967>
- Zimmerman, G. (2019). 2019 Top 10 Wind Turbine Manufacturers — Wind Supplier Analysis. Retrieved 27 December 2020, from <https://energyacuity.com/blog/2019-top-10-wind-turbine-manufacturers/>

ANEXOS

ANEXO A - PLANTA FABRIL

ANEXO B - STANDARD WORK (NOVA ESTRUTURA)

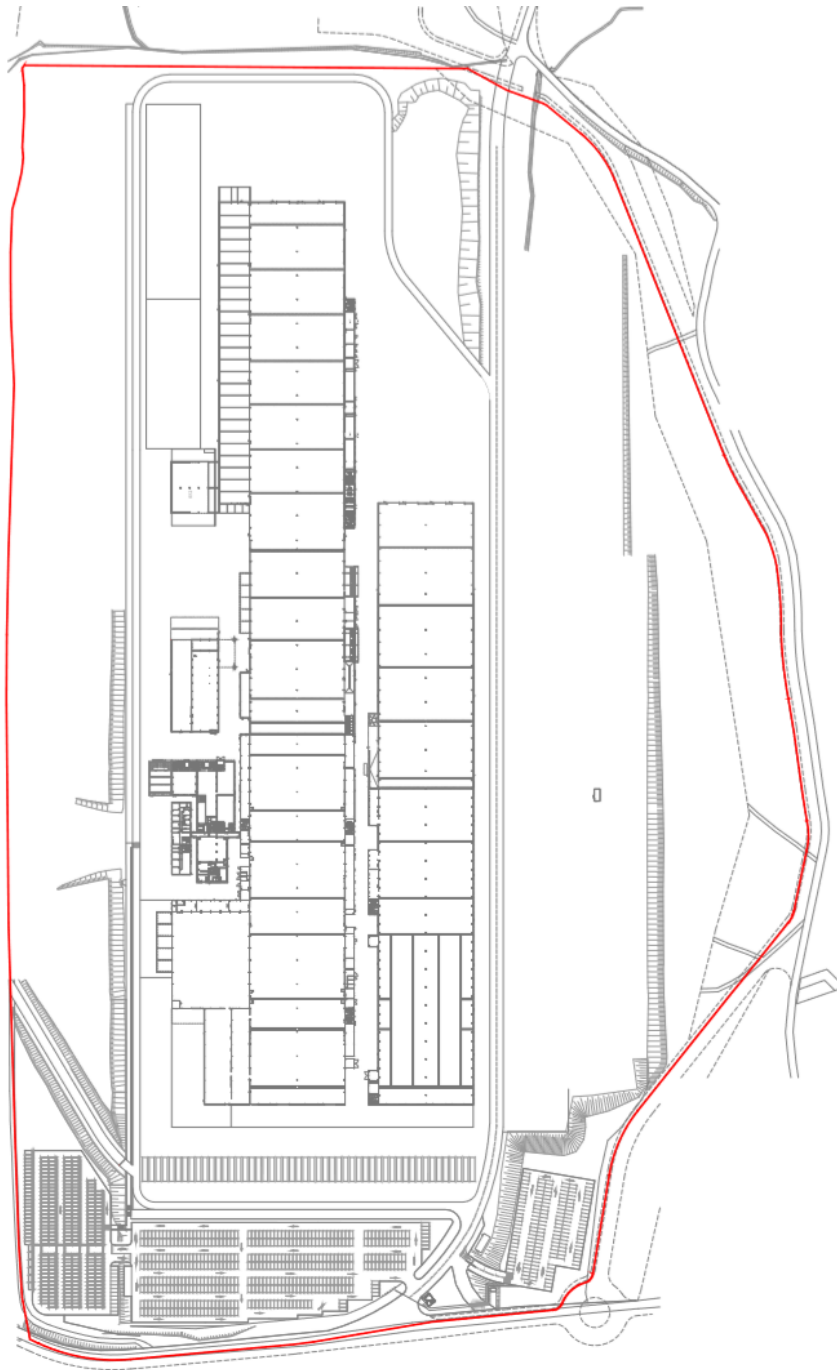
ANEXO C - DOCUMENTO DE APOIO (REDUÇÃO DE
MANGUEIRAS)

ANEXO D - DOCUMENTO DE APOIO (GEMBA WALK)

ANEXO E - EXEMPLO DE CHECK LIST

7 ANEXOS

ANEXO A - PLANTA FABRIL



ANEXO B - STANDARD WORK (NOVA ESTRUTURA)

Nº operação	Operação	Descrição Sumária das Acções
10	Início de Processo	- xxxxxxxx - yyyyyyyy - zzzzzzzz
Auxiliar Visual:		

Inserir as imagens e os esquemas necessários.

Nº operação	Operação	Descrição Sumária das Acções
20	Início de Processo	- xxxxxxxx - yyyyyyyy - zzzzzzzz
Auxiliar Visual:		

Inserir as imagens e os esquemas necessários.

ANEXO C - DOCUMENTO DE APOIO (REDUÇÃO DE MANGUEIRAS)

Antes							
PS		Molde -passador (m)	passador - bidão (m)		Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	
	1TE- A	7	1		1TE- B	10	1
	1LE -A	7	1		1LE -B	10.5	1
	2LE -A	8	1		2LE -B	11.5	1
	NOVA TE ABA	8	1		2TE-B	9	1
		Molde -passador (m)	passador - bidão (m)		Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	
	1TE- C	8	1		1TE- D	6	1
	1LE -C	7	1		1LE -D	7	1
		Molde -passador (m)	passador - bidão (m)				
	1TE- E	5	1				
		Molde -passador (m)	passador - Vácuo (m)				
	Puxada A	5	0	liga R75 TE			
	Puxada B	5	0	liga R28 TE			
	Transfega 1 (m)		15				
	Transfega 2 (m)		20				
	Mangueira de 18mm e passador plástico						
	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)					
Nova Aba LE	0.5	5					
Nova Aba TE	0.5	5					
NOVA LEC	7	1					
SS		Molde -passador	passador - bidão		Molde -passador	passador - bidão	
	1TE- A	8.45	1		1LE -A	9.6	1
	1TE- B	8.6	1		1LE -B	9.5	1
	1TE- C	7	1		1LE -C	8	1
	1TE- D	5.6	1		1LE -D	6.2	1
	1TE- E	4.85	1				
		Peça - Passador	Ligação no molde				
	Puxada A	5	4	liga R75 TE			
	Puxada B	5	6	liga R28 TE			
	Transfega 1		15				
	Transfega 2		20				
					Molde -passador	passador - bidão	
					2LE -A	9.5	1
					2LE -B	10.25	1
					Molde -passador	passador - bidão	
				1ROOT-A	6.2	1	
				2TE-B	4.4	1	
	Mangueira de 18mm e passador plástico						
	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)					
Nova Aba LE	0.5	5					
Nova Aba TE	0.5	5					

Depois da intervenção																										
PS																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- A</td><td>7</td></tr> <tr><td>1LE -A</td><td>7</td></tr> <tr><td>2LE -A</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>NOVA TE ABA</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - bidão (m)	1TE- A	7	1LE -A	7	2LE -A	7.5	NOVA TE ABA	6	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passador (m)</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- B</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>1LE -B</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>2LE -B</td><td>9</td></tr> <tr><td>2TE-B</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	1TE- B	8.5	1LE -B	8.5	2LE -B	9	2TE-B	6				
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
1TE- A	7																									
1LE -A	7																									
2LE -A	7.5																									
NOVA TE ABA	6																									
Molde -passador (m)	passador - bidão (m)																									
1TE- B	8.5																									
1LE -B	8.5																									
2LE -B	9																									
2TE-B	6																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- C</td><td>7</td></tr> <tr><td>1LE -C</td><td>7</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - bidão (m)	1TE- C	7	1LE -C	7	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passador (m)</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- D</td><td>5</td></tr> <tr><td>1LE -D</td><td>5.5</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	1TE- D	5	1LE -D	5.5												
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
1TE- C	7																									
1LE -C	7																									
Molde -passador (m)	passador - bidão (m)																									
1TE- D	5																									
1LE -D	5.5																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- E</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - bidão (m)	1TE- E	5																					
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
1TE- E	5																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - Vácuo (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Puxada A</td><td>5</td></tr> <tr><td>Puxada B</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - Vácuo (m)	Puxada A	5	Puxada B	5	0 lliga R75 TE	0 lliga R28 TE																	
Molde -passado	passador - Vácuo (m)																									
Puxada A	5																									
Puxada B	5																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>Transfega 1 (m)</td><td>10</td></tr> <tr><td>Transfega 2 (m)</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	Transfega 1 (m)	10	Transfega 2 (m)	15																					
Transfega 1 (m)	10																									
Transfega 2 (m)	15																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Mangueira de 18mm e passador plástico</th> </tr> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nova Aba LE</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>Nova Aba TE</td><td>0.5</td></tr> </tbody> </table>	Mangueira de 18mm e passador plástico		Molde -passado	passador - bidão (m)	Nova Aba LE	0.5	Nova Aba TE	0.5																	
Mangueira de 18mm e passador plástico																										
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
Nova Aba LE	0.5																									
Nova Aba TE	0.5																									
SS																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1TE- A</td><td>8.45</td></tr> <tr><td>1TE- B</td><td>8.6</td></tr> <tr><td>1TE- C</td><td>7</td></tr> <tr><td>1TE- D</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>1TE- E</td><td>4.85</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - bidão (m)	1TE- A	8.45	1TE- B	8.6	1TE- C	7	1TE- D	5.6	1TE- E	4.85	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passador (m)</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1LE -A</td><td>9.6</td></tr> <tr><td>1LE -B</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>1LE -C</td><td>8</td></tr> <tr><td>1LE -D</td><td>6.2</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	1LE -A	9.6	1LE -B	9.5	1LE -C	8	1LE -D	6.2		
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
1TE- A	8.45																									
1TE- B	8.6																									
1TE- C	7																									
1TE- D	5.6																									
1TE- E	4.85																									
Molde -passador (m)	passador - bidão (m)																									
1LE -A	9.6																									
1LE -B	9.5																									
1LE -C	8																									
1LE -D	6.2																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Puxada A</td><td>5</td></tr> <tr><td>Puxada B</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passado	passador - bidão (m)	Puxada A	5	Puxada B	5	0 lliga R75 TE	0 lliga R28 TE																	
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
Puxada A	5																									
Puxada B	5																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>Transfega 1</td><td>10</td></tr> <tr><td>Transfega 2</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	Transfega 1	10	Transfega 2	15																					
Transfega 1	10																									
Transfega 2	15																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passador (m)</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2LE -A</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>2LE -B</td><td>10.25</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	2LE -A	9.5	2LE -B	10.25																			
Molde -passador (m)	passador - bidão (m)																									
2LE -A	9.5																									
2LE -B	10.25																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Molde -passador (m)</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1ROOT-A</td><td>6.2</td></tr> </tbody> </table>	Molde -passador (m)	passador - bidão (m)	1ROOT-A	6.2																					
Molde -passador (m)	passador - bidão (m)																									
1ROOT-A	6.2																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>2TE-B</td><td>7.4</td></tr> </tbody> </table>	2TE-B	7.4																							
2TE-B	7.4																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Mangueira de 18mm e passador plástico</th> </tr> <tr> <th>Molde -passado</th> <th>passador - bidão (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nova Aba LE</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>Nova Aba TE</td><td>0.5</td></tr> </tbody> </table>	Mangueira de 18mm e passador plástico		Molde -passado	passador - bidão (m)	Nova Aba LE	0.5	Nova Aba TE	0.5																	
Mangueira de 18mm e passador plástico																										
Molde -passado	passador - bidão (m)																									
Nova Aba LE	0.5																									
Nova Aba TE	0.5																									

ANEXO D - DOCUMENTO DE APOIO (GEMBA WALK)

Gemba Walk - Documento de apoio

Data: 16 / 04 / 2021

Problema nº 1
Tarefa
Montagem de pernos no armazém dos acabamentos.

Descrição do Problema
Montagem de 108 pernos à mão na pá - tarefa morosa, repetitiva e desconfortável.

Oportunidade de melhoria
Mudar a forma de como são montados os pernos.
Desenvolver uma ferramenta ou Jig.
Tornar a tarefa mais mecanizada, se possível com auxílio de máquinas.

Impacto: Materiais Tempo de ciclo Condições de trabalho

Esquema/Registo fotográfico



ANÁLISE E MELHORIA DE FLUXOS PRODUTIVOS DE UMA EMPRESA
PRODUTORA DE PÁS PARA TURBINAS EÓLICAS

Fábio Nunes

ANEXO E - EXEMPLO DE CHECK LIST

SIEMENS Gamesa		Check List BOM				
OP 1419653		Peça 146-9	Data: 8/3/			
Operador <i>João</i>		Nº 2213	Turno			
MATERIAL	DESCRIÇÃO	Qtd. Pedida	UM	UND MAT	SOBRAS	
G	7-001 VÉU/FELPO 30G 1270MM 4000ML	07	ROL	✓		
G	Folha identificação 390 840 branco A4	1	UN	✓		
Gi	1-003 DF G CFM300 3B EU ADVANTEX M8610 1350mm	85	KG	✓		
Gi	Gitter Tape L:30mm	45	ROL	✓		
Gi	AGRAFOS PLÁSTICOS 81\06	00	PEÇ	✓		
Gi	Balde 7.5 l plast. D266 sem tampa	2	UN	✓		
Gi	AGRAFO 10MM	2	PEÇ	✓		
Gi	FITA BIADESIVA 50Mx25MM ACRILICO	8	ROL	7+5		
Gi	-002 DF G CFM300 3B EU ADVANTEX M8610 940mm	46	KG	✓		
Gi	Fita Cinzenta A6230 25mm	2	ROL	✓		
GF	-010 VACUUM BAG 70 LT PRECUT 1SHELL SG145	1	ROL	✓		
90	5480 Filme VF-400Y-50-4000-75-CSC 150m	1	PEÇ		5	
GP	SG145 TB V2 PRESSURE SHELL CORE KIT	1	PEÇ	✓		
GP	Saco plástico para bidon infusão	4	UN	✓		
GP	-005 PEEL PLY 85 450MM 100ML		ROL	✓		
GP	Balde 7.5 l plast. D266 sem tampa		UN	✓		
F2C	Disco Abrasivo Ades. 150mm 9f gr60		PEÇ	✓		
GP	PEEL PLY 85 900MM 100ML		ROL	✓		
GP	Pano Branco		KG	✓		
GP	Balde 2.5 l plast. sem tampa		UN	✓		
GP	FITA DE ALTA TEMPERATURA SILICONE 50MM		ROL	✓		
GP	BREATX 300G 250MM 75ML		ROL	2+5		
GP	-004 PEEL PLY 85 350MM 100ML		ROL		5	
GP	PEEL PLY 85 300MM 100ML		ROL			
GP5	Membrana Infusion 750mm		ROL	✓		
GP5	Membrana Infusion 89mm		ROL	✓		
P70	Termopar tipo J		M		5	
GP4	FITA ADESIVA PARA MÁSCARA 45ML		ROL	✓		
GP5	FITA BIADESIVA REDE 50MMx25M		ROL	✓		
GP5	SG145 KIT RIM DE INFUSAO SHELL PS		PEÇ	✓		
GP4	001 TACKY-TAPE 12MM	45	12	ROL	✓	
GP2	CONECTOR EM L DA MANG. DE INFUSÃO 19MM		PEÇ	✓		
GP2	02 PEEL PLY 85 1800MM 111ML		ROL			
GP2	01 PEEL PLY 85 200MM 100ML		ROL			
GP5	Kit mangueiras de Infusão MS PS SG145		PEÇ			

TI E0/90