



Universidade de Aveiro  
2021

**RUTE MARLENE  
GOMES CUNHA**

**MELHORIA DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA NUMA  
UNIDADE INDUSTRIAL DE PÁS EÓLICAS  
ONSHORE: APLICAÇÃO DE ESTUDO DE TEMPOS E  
FERRAMENTAS LEAN**



Universidade de Aveiro  
2021

**RUTE MARLENE  
GOMES CUNHA**

**MELHORIA DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA NUMA  
UNIDADE INDUSTRIAL DE PÁS EÓLICAS ONSHORE:  
APLICAÇÃO DE ESTUDO DE TEMPOS E  
FERRAMENTAS LEAN**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Liliana de Fátima Luís Ávila, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família.  
Obrigada a todos.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Ana Maria Pinto de Moura**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Maria Odete Monteiro Lopes**  
professora adjunta da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

**Prof. Doutora Liliana de Fátima Luís Ávila**  
professora auxiliar convidada da Universidade de Aveiro

## agradecimentos

Ainda que, pelo seu propósito académico, este trabalho seja uma realização pessoal e individual, foram imprescindíveis os contributos de várias pessoas e entidades para a sua concretização.

E é por esse motivo que, o ato de agradecer, embora genuíno e autêntico, se torne ingrato, tendo em conta que é muito difícil, através de palavras, fazer jus a todo o suporte e dedicação dominantes ao longo destes anos. Anos estes pautados por dificuldades, quer pessoais quer académicas, por inúmeros desafios e percalços, mas também por pessoas que sempre me ajudaram a percorrer solidamente o meu caminho.

Assim, expresso o meu sincero obrigada:

À professora Liliana Ávila, que sabiamente teceu críticas e observações que me permitiram melhorar o projeto e que, desde o início, se disponibilizou para suprimir qualquer necessidade minha. Agradeço pela orientação, flexibilidade e todo um suporte pautado pela ética e generosidade.

À Universidade de Aveiro, por me acolher com qualidade ao longo de 5 anos e me proporcionar todas as condições necessárias para completar esta importantíssima etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Nuno Clemente, pelo trato humilde e pelo indescritível exemplo de sabedoria. Desde as aprendizagens e estímulos que me incutiu, à preocupação que sempre demonstrou pelo meu sucesso que, foram sem dúvida, pilares fortíssimos para a minha integração no mundo laboral. Foi e continua a ser uma peça fundamental no meu crescimento profissional. Reconhecer que não foi apenas orientador, mas também um amigo sempre pronto a ajudar e incentivar. Por tudo, o meu sincero obrigada.

A toda a equipa de Produção pelo acolhimento, ajuda e suporte ao longo destes meses. Obrigada pelos ensinamentos, partilha de experiências e conselhos que levarei para sempre.

À SGRE Blades, que acreditou em mim e me ofereceu oportunidades únicas. Obrigada pelo voto de confiança e por me ter proporcionado um leque de ensinamentos e sustentação para a realização deste projeto.

À minha família, por ser o pilar mais forte desta caminhada e ter valorizado e acreditado sempre no meu potencial. Obrigada pela compreensão e paciência. Obrigada pela força afetiva e obrigada por tornarem realidade o sentido literal da palavra amor. O vosso incentivo tornou possível toda esta concretização.

*“Aqueles que passam por nós não vão sós, não nos deixam sós, deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”* O Principezinho, Antoine de Saint-Exupéry

## palavras-chave

*Lean Manufacturing, Business Process Model, Estudo de Tempos, Tempo de Ciclo, Takt Time*

## resumo

O atual cenário de economia global é caracterizado por rápidas mudanças, necessidade de produtos inovadores, com mais valor agregado e elevada capacidade de satisfação do cliente. Portanto, as empresas devem apresentar uma forte orientação para responder a estes desafios de forma eficaz, e criar valor para o seu negócio através de uma maior eficiência e produtividade nos seus processos, garantindo vantagem competitiva face à concorrência. Neste seguimento, este trabalho apresenta um estudo realizado numa unidade fabril de produção de pás eólicas, e surge de uma necessidade evidente de introdução de melhorias no processo de um novo projeto para alcançar os objetivos organizacionais. A melhoria de processos consistiu numa abordagem sistemática para a eliminação de ineficiências, através da simplificação de métodos de trabalho, eliminação de fontes geradoras de não qualidade, redução da variação do processo e de atividades que não agregam valor ao produto final, que resultaram numa redução de tempo de ciclo. Através do mapeamento de processos em BPMN 2.0, e conseqüente recolha de dados, os processos foram analisados. Foi concretizado um estudo de tempos e evidenciados os maiores desvios face ao *target* estipulado pela empresa, definindo-se, assim, as prioridades de atuação. Tendo em conta os pontos críticos identificados, foram destacados os problemas e estabelecidos planos de ação para a sua resolução. Várias ferramentas *Lean* foram empregues para eliminação dos desperdícios identificados e, com o mesmo objetivo, outras propostas de melhoria foram igualmente formuladas, discutidas e aprimoradas. Como resultado, atingiram-se melhorias na produtividade e eficiência do processo, áreas de trabalho mais organizadas, menos esforço na realização de tarefas, maior controlo e normalização de processos, que culminaram numa redução do tempo de ciclo do projeto em 60%.

**keywords**

*Lean Manufacturing, Business Process Model, Time Study, Cycle Time, Takt Time*

**abstract**

The current global economy scenario is characterized by rapid changes, the need for innovative products, with more added value and a high capacity to satisfy the customer. Therefore, companies must present a high orientation to respond to these challenges effectively, and create value for their business through greater efficiency and productivity in their processes, ensuring competitive advantage over the competition. In this context, this work presents a study carried out in a wind blades production factory and comes up from a clear need to introduce improvements in the process of a new project to achieve organizational goals. A systematic approach was adopted to eliminate inefficiencies and improve processes, by simplifying work methods, eliminating non-quality generating sources, reducing process variation and activities that do not add value to the final product, which resulted in a reduction in cycle time. Through the mapping of processes in BPMN 2.0 and consequent data collection, the processes were analysed. A time study was performed and the biggest deviations from the target stipulated by the company were highlighted, defining, thus, the priorities for action. Taking into account the critical points identified, the problems were emphasized, and action plans were established for their resolution. Several Lean tools were used to eliminate identified waste and, with the same objective, other proposals for improvement were also formulated, discussed and improved. As a result, improvements were achieved in productivity and process efficiency, more organized work areas, less effort in performing tasks, greater control and standardization of processes, which culminated in a 60% reduction in project cycle time.

## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	ii
Índice de Tabelas .....	iii
Índice de Gráficos.....	iv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	v
<b>I. Introdução .....</b>	<b>1</b>
I.1 Motivação E Contextualização Do Trabalho.....	1
I.2 Relevância do Desafio .....	2
I.3 Objetivos .....	2
I.4 Metodologia.....	3
I.5 Estrutura .....	5
<b>II. Contextualização Teórica .....</b>	<b>6</b>
<b>II.1 <i>Lean Manufacturing</i> .....</b>	<b>6</b>
II.1.1 Princípios <i>Lean</i> .....	8
II.1.2 Desperdícios <i>Lean</i> .....	8
II.1.3 Ferramentas <i>Lean</i> .....	10
II.1.3.1 <i>Gemba Walk</i> .....	10
II.1.3.2 Metodologia <i>5S</i> .....	11
II.1.3.3 Gestão Visual .....	12
II.1.3.4 <i>Kanban</i> .....	13
II.1.3.5 <i>Standard Work</i> .....	14
II.1.3.6 Diagrama de <i>Spaghetti</i> .....	15
II.1.4 <i>Key Performance Indicators</i> (KPIs).....	16
<b>II.2 <i>Total Quality Management (TQM)</i> .....</b>	<b>17</b>
II.2.1 Ferramentas de Qualidade.....	18
II.2.1.1 Análise de Pareto .....	18
II.2.1.2 Diagrama de <i>Ishikawa</i> .....	18
II.2.1.3 Folha de Verificação.....	19
II.2.2 Relação entre TQM e <i>Lean</i> .....	19
<b>II.3 <i>Business Process Model</i> .....</b>	<b>21</b>
II.3.1 <i>Business Process Model and Notation</i> .....	21
II.3.2 <i>Efeitos Bilaterais ente Lean e BPM</i> .....	22
II.4 Medição de Trabalho .....	23
<b>III. Caso de Estudo .....</b>	<b>28</b>
III.1 Setor Industrial e a Empresa .....	28
III.1.1 Setor da Energia Eólica.....	28
III.1.2 O Grupo Siemens Gamesa Renewable Energy .....	30
III.1.2.1 SGR Blades .....	31
III.1.3 O Produto.....	32
III.1.3.1 Plataforma 5.X <i>Onshore</i> Siemens Gamesa .....	34
III.1.4 Processo .....	36



III.2 Caso Prático .....	41
III.2.1 Análise da Situação Inicial .....	42
III.2.1.1 <i>Takt Time</i> .....	42
III.2.2 Recolha e Análise de Dados .....	46
III.2.3 Planeamento de Ações .....	51
III.2.4 Implementação de Melhorias .....	54
III.2.4.1 <i>Main Shell SS e PS</i> .....	54
III.2.4.2 <i>Main Cap SS e PS</i> .....	74
III.2.4.3 <i>Main Web / Rear Web</i> .....	78
III.3 Resultados.....	80
<b>IV. Conclusão .....</b>	<b>85</b>
IV.1 Considerações Gerais.....	85
IV.2 Limitações.....	86
IV.3 Trabalho Futuro .....	86
Referências .....	<b>88</b>
ANEXOS .....	<b>94</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Ciclo Investigação-Ação (adaptado de Mello et al., 2012). .....	3
Figura 2: BPMN 2.0 da Metodologia.....	5
Figura 3: Casa TPS (adaptado de Rosin et al., 2020; Wagner et al., 2017).....	6
Figura 4: Forças e resistências <i>Lean</i> (adaptado de Melton, 2005).....	8
Figura 5: Conceito 5S.....	12
Figura 6 : Evolução da capacidade instalada de energia eólica na Europa .....	29
Figura 7: 2021-2025 Capacidade instalada de energia eólica na Europa – Cenários.....	30
Figura 8: SGRE Blades SA .....	31
Figura 9: Organograma SGRE Blades .....	32
Figura 10: Componentes principais de uma Turbina Eólica (adaptado de Azimi & Menhaj, 2015) ..	33
Figura 11: Representação da constituição Pá Eólica SG 170.....	35
Figura 12: Componentes Projeto SG 170.....	35
Figura 13: <i>Layout</i> SGRE Blades.....	37
Figura 14: Pá SG170 Colada.....	39
Figura 15: BPMN 2.0 Processo de Obtenção da Pá Colada.....	40
Figura 16: Pá SG170 Acabada .....	41
Figura 17: Quadro de Seguimento MS SS SG170.....	46
Figura 18: Evidência de retrabalho nas peças de <i>core</i> .....	54
Figura 19: Carro de Abastecimento de Fibras.....	55
Figura 20: Carro LEC e TEC.....	56
Figura 21: Distanciadores reguláveis em PVC.....	57
Figura 23: Posicionamento de distanciador para colocação da <i>Cap</i> .....	57
Figura 22: Colocação da <i>Cap</i> com auxílio do distanciador .....	57
Figura 24: Material em excesso na aba do molde .....	58

Figura 25: Corte de fibra seca <i>layup</i> externo .....	58
Figura 26: Calha para sobreposição de fibras <i>layup</i> interno.....	59
Figura 27: Excedente de material aprisionado na calha .....	59
Figura 28: Corte lateral de material excedente .....	59
Figura 29: Estratégia de Infusão Inicial .....	60
Figura 30: Estratégia de Infusão proposta.....	60
Figura 31: Preparação de molde.....	61
Figura 32: Armário de Desmoldagem .....	62
Figura 33: Proposta <i>Layout</i> de Quadro <i>Kanban</i> .....	63
Figura 34: Kit preparativos por molde e tempos de execução .....	63
Figura 35: Diagrama <i>Spaghetti</i> “ <i>as-is</i> ” .....	64
Figura 36: Roteiro para levantamento de Material .....	65
Figura 37: Ajudas visuais para identificação do material necessário em cada local .....	65
Figura 38: Diagrama <i>Spaghetti</i> “ <i>to-be</i> ” .....	66
Figura 39: Modelo “ <i>as-is</i> ” Preparação de <i>Webs</i> .....	66
Figura 40: Modelo “ <i>to-be</i> ” Preparação de <i>Webs</i> .....	66
Figura 41: Modelo “ <i>as-is</i> ” subprocesso Cravação.....	67
Figura 42: Modelo “ <i>to-be</i> ” subprocesso Cravação .....	67
Figura 43: Disposição desordenada de calhas .....	69
Figura 44: Divisão de calhas por suportes .....	69
Figura 45: Aprisionamento de grampos no molde .....	70
Figura 46: Roldana para arrumação de fios .....	70
Figura 47: Evidência de desorganização da área .....	71
Figura 48: Balde aprisionado ao passadoço.....	71
Figura 49: Diagrama de <i>Ishikawa</i> Problemas de Qualidade <i>Caps</i> SG 170.....	74
Figura 50: Fibras UD na <i>Shell</i> .....	75
Figura 51: Trials PCP na <i>Shell</i> .....	76
Figura 52: Teste seco para validar Colagem .....	77
Figura 53: Numeração das mantas .....	79
Figura 54: Etiqueta indicativa de início de fibra.....	79

## Índice de Tabelas

Tabela 1: 7 Desperdícios <i>Lean</i> (Adaptado de Ohno (1998)) .....	10
Tabela 2: Valores típicos de Z usados no Estudo de Tempos.....	25
Tabela 3: Valores típicos considerados para o fator de compensação (adaptado de Stevenson,2021 .....	27
Tabela 4: Características técnicas Pá Eólica SG 170.....	34
Tabela 5: Tempo operacional líquido .....	42
Tabela 6: Plano de Produção Ano Fiscal 2021 .....	43
Tabela 7: <i>Takt Time</i> Projeto SG 170.....	43
Tabela 8: TC e TT SG170 .....	44
Tabela 9: Tempo padrão por UET na obtenção MS SS estado inicial.....	48

Tabela 10: Tarefa e respectivos problemas.....	51
Tabela 11: Tabela Resumo de áreas de atuação e respectivas ações.....	53
Tabela 12: Tabela Resumo Resultados .....	82
Tabela 13: Percentagem de Redução de Tempo de Ciclo.....	83

### **Índice de Gráficos**

Gráfico 1: Comparação TT entre mês de fevereiro e maio .....	44
Gráfico 2: Comparação entre Tempo de Ciclo e <i>Takt Time</i> .....	45
Gráfico 3: Variação entre tempo objetivo e tempo padrão de produção por UET .....	50
Gráfico 4: Tempos de execução situação inicial e após melhorias .....	68
Gráfico 5: Defeitos proeminentes com influência na qualidade da peça .....	72
Gráfico 6: Comparação entre Tempo de Ciclo Inicial e Final .....	83
Gráfico 7: Comparação entre TC e TT para o mês de maio .....	84

## **Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos**

5S – Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke

AEP - Annual Energy Production

BPM – Business Process Model

BPMN – Business Process Model and Notation

GAT – Grupo Autónomo de Trabalho

GW – GigaWatt

KPI – Key Performance Indicator

LCoE - Levelized cost of energy

LE - Leading Edge

LG – Líder GAT

LM – *Lean Manufacturing*

MS – Main Shell

MW - MegaWatt

NCR – Non Conformity Report

NOK – Not OK

PCP - Placas de Carbono Pultrudado

PDP – Plano de Produção

PS – Pressure Shell

RIM - Removable Infusion Materials

SG – Siemens Gamesa

SGRE - Siemens Gamesa Renewable Energy

SS – Suction Shell

SW – Standard Work

TC- Tempo de ciclo

TE - Trailing Edge

Tg – Temperatura de transição vítrea

TPS - Toyota Production System

TQM – Total Quality Management

TT- Takt Time

UET – Unidade Elementar de Trabalho

## **I. Introdução**

### **I.1 Motivação E Contextualização Do Trabalho**

O rápido desenvolvimento da economia e urbanização potencia uma procura crescente por energia elétrica (Mostafaeipour, 2010). Nos últimos anos, a energia elétrica tem sido maioritariamente produzida através de combustíveis fósseis (Wang et al., 2018). No entanto, o aumento desenfreado na procura, resulta numa ameaça preocupante para a escassez de recursos, bem como inerentes problemas ambientais. Face ao exposto, as energias renováveis têm atraído um grande interesse e têm sido alvo de vastos desenvolvimentos para corresponder às expectativas e necessidades económicas e ambientais. Entre os vários recursos de energia renovável, a energia eólica é considerada uma das mais promissoras e aquela que tem sido utilizada mais extensamente (Gijo & Sarkar, 2013; Wang et al., 2018).

Este crescimento e interesse no setor acentua a competitividade entre produtores, pelo que as empresas se veem obrigadas a investir na melhoria contínua dos seus processos, por forma a torná-los mais eficazes, eficientes e precisos. A melhoria de processos pode ser encarada como uma abordagem sistemática para atenuar falhas no desempenho do processo ou sistemas, mediante simplificação de procedimentos, redução de variabilidade, redução de tempo de ciclo, identificação e eliminação de fatores de não qualidade, assim como eliminação de atividades que não agregam valor para a organização (Sutari, 2015).

Tendo em vista esta necessidade de melhorias de desempenho e conseqüentemente de produtividade, as metodologias *Lean*, ao longo dos últimos anos, têm sido amplamente utilizadas. O *Lean Manufacturing* é uma abordagem multidimensional que engloba uma grande variedade de práticas de gestão, impulsionando a formação de um sistema integrado, simplificado e de alta qualidade, que produz de acordo com a procura do cliente e com o mínimo de desperdício possível (Pereira et al., 2016). Quando aplicado corretamente, permite às organizações construir produtos de qualidade mais rapidamente e com maior eficiência. O *Lean* é uma ferramenta versátil, passível de adotar numa ampla gama de contextos organizacionais e com provas dadas de resultados positivos (Sutari, 2015).

Este trabalho foi realizado numa unidade fabril, Siemens Gamesa Renewable Energy Blades S.A., localizada em Vagos, distrito de Aveiro. A fábrica é uma das mais competitivas a nível europeu na produção de pás eólicas, um dos componentes principais das turbinas instaladas nos parques eólicos para produção de energia. Estes componentes são constituídos maioritariamente por materiais compósitos aplicados através do método de *layup* manual, uma técnica que implica muita mão-de-obra e cuja qualidade depende também em larga escala do desempenho dos colaboradores. Portanto, a utilização eficiente de mão-de-obra é essencial. Atualmente as horas-homem excedem os objetivos da empresa, precisando a sua utilização de ser avaliada e quantificada para, posteriormente, ser melhorada. Neste seguimento, realçar também a necessidade de reduzir o tempo de ciclo associado ao processo em estudo. O tempo entre o início e a conclusão de um processo é essencial para avaliar a eficiência operacional. O tempo de ciclo determina a experiência do cliente, produtividade e receita organizacional. Tempos de ciclo mais longos que os esperados significam oportunidades de melhoria na eficiência de um processo no âmbito de custos, economia de tempo e satisfação do cliente (Ramakrishnan & Kaur, 2020).

## **I.2 Relevância do Desafio**

A SGRE Blades é uma das empresas mais competitivas a nível europeu no segmento de negócios a que pertence. O seu reconhecimento tem sido manifestado pelo interesse e confiança de grandes grupos europeus. Recentemente, a empresa passou a integrar o Grupo Siemens Gamesa Renewable Energy, pelo que ocorreu uma reformulação dos processos de negócio em diferentes níveis.

Em resultado desta associação, a SGRE Blades incluiu no seu quadro de negócios três grandes projetos – SG 145, SG 155 e SG 170. Destes, todo o processo de industrialização dos dois últimos é da responsabilidade da SGRE Blades, sendo a primeira empresa a produzir as pás dos respetivos modelos referenciados. Neste momento, o objetivo primordial passa por melhorar todo o processo, de forma a garantir uma capacidade de produção equivalente aos requisitos exigidos, tendo por base a qualidade do produto e o valor requerido pelo cliente. Posteriormente, após estabilização do processo o objetivo é que este seja transversalizado para outras fábricas ou parceiros do grupo.

Os novos projetos podem ser considerados um dos maiores desafios para a empresa, não só pela dimensão das pás que é bastante superior em relação àquelas que foram produzidas até ao momento, mas também devido a todas as alterações em procedimentos e processos resultantes da integração no novo grupo. Num futuro próximo, será introduzida mais uma linha produtiva para cada um dos modelos, o que representa um crescimento exponencial, tanto a nível de produção como recursos humanos. Isto permitirá à empresa consolidar ainda mais a sua presença no mercado.

Fazendo o paralelismo com o desafio proposto, face à prematuridade da produção dos novos modelos verifica-se uma necessidade urgente de introdução de melhorias para otimizar o processo. De referenciar o deficiente aproveitamento de recursos, paragens imprevistas que resultam em tempo improdutivo, esperas não programadas e recorrentes problemas de não qualidade, que se destacam como situações evidentes de desperdício, sem valor acrescentado e que, conseqüentemente, resultam em custos significativos para a empresa.

## **I.3 Objetivos**

Este trabalho tem como foco a melhoria de processos para obtenção da pá colada na SGRE Blades. Um conjunto de ferramentas e procedimentos assentes no *Lean Manufacturing* e gestão de processos é aplicado para melhorar a produtividade, tanto em termos de tempo de produção como também ao nível da redução de custos inerentes a todo o processo e qualidade do produto final.

Assim, pretende-se, numa fase inicial, fazer uma avaliação da situação atual e dos principais problemas evidenciados pela organização fabril, tendo sempre em consideração a criticidade e prioridade de atuação para a mesma. Assente nesta avaliação inicial, o objetivo é estabelecer uma linha orientadora de trabalho e alcançar as melhorias almejadas através da implementação de soluções para os problemas encontrados.

Em suma, com a realização deste trabalho, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Reduzir o tempo de ciclo no projeto de industrialização do SG 170, em pelo menos 50%, na obtenção da pá colada;
- Melhorar o trabalho das equipas, promovendo um aumento da eficiência do fluxo produtivo, reduzindo a variabilidade, paragens não programadas e o desperdício ao mínimo;

- Reduzir tarefas de valor não acrescentado;
- Incrementar a qualidade do processo e, conseqüentemente, do produto final, reduzindo esperas e custos de retrabalho;
- Após domínio e estabilização do processo pretende-se promover a sua normalização, através da criação e implementação de *standards* ainda não definidos.

## I.4 Metodologia

De acordo com Punch, a metodologia pode ser definida como uma estratégia, plano de ação ou projeto envolvidos na escolha e utilização de métodos específicos, interligando a seleção e a utilização dos mesmos para obtenção dos resultados esperados (as cited in Daniel et al., 2018).

No contexto do projeto em estudo, para atingir os objetivos supracitados recorreu-se à metodologia de Investigação-Ação. Esta metodologia representa um processo iterativo de investigação que se destina a desenvolver soluções para problemas organizacionais, através de uma abordagem participativa e colaborativa (Erro-Garcés & Alfaro-Tanco, 2020).

A Investigação-Ação distingue-se de outras estratégias de pesquisa na medida em que apresenta um foco explícito no planeamento de ações baseado em múltiplos estágios de exploração e avaliação de soluções para questões organizacionais. A participação é um componente chave, uma vez que os membros da organização são envolvidos, funcionando como facilitadores e intermediários em todo o processo, fomentando, assim, a autenticidade e a confiabilidade dos resultados (Genot & Saunders, Mark; Lewis, Philip; Thornhill, 2018).

Uma estratégia de Investigação-Ação resulta de uma combinação entre a recolha de dados e uma necessidade de mudança, através da incorporação de diferentes tipos de conhecimento - conhecimento teórico abstrato, assim como o conhecimento experiencial que resulta das experiências dos participantes e do conhecimento em ação, que advém da aplicação prática (Genot & Saunders, Mark; Lewis, Philip; Thornhill, 2018, p. 204). Ou seja, recorre a várias formas de conhecimento com vista a atingir implicações positivas para os envolvidos e para a organização, destacando-se também pela sua flexibilidade e abrangência multidisciplinar (Erro-Garcés & Alfaro-Tanco, 2020).

Segundo Mello et al., (2012) esta metodologia segue um procedimento constituído por cinco fases, que constituem o ciclo de Investigação-Ação, representado na Figura 1.

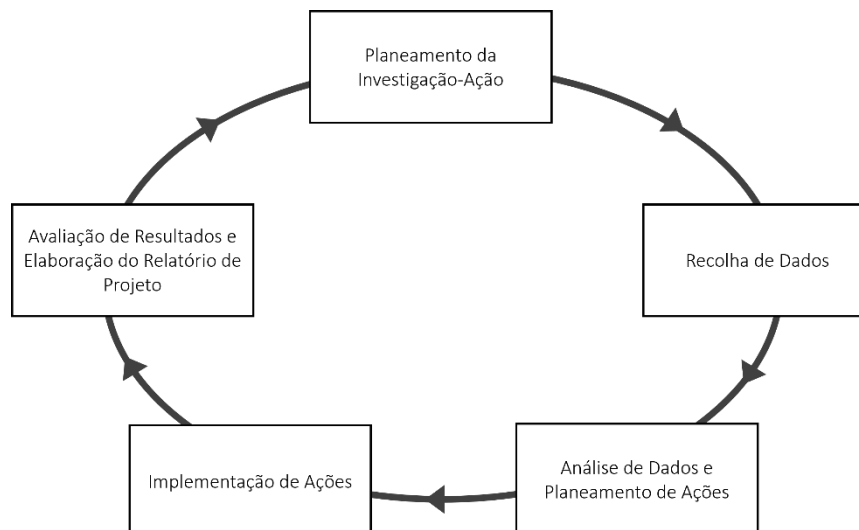


Figura 1: Ciclo Investigação-Ação (adaptado de Mello et al., 2012)

Assim sendo, o processo de Investigação-Ação inicia-se através de uma averiguação e análise do contexto organizacional em questão, tendo em vista o planeamento do estudo a realizar. Nesta fase, pretende-se também definir a estrutura conceptual-teórica, assim como os métodos de recolha de dados. Posteriormente, segue-se o levantamento de dados para posterior análise, tendo em vista o planeamento das ações e a seleção consciente das mesmas para o contexto em questão. Essas ações são executadas, sendo posteriormente avaliados os resultados que advém da sua implementação. Em resultado dessa avaliação é possível perceber direções futuras para o estudo e definir coerentemente as etapas subsequentes da construção do problema, planeamento de ações, ação e avaliação da ação (Mello et al., 2012).

Desta forma, tendo em consideração o principal objetivo deste trabalho, numa primeira abordagem, foi essencial um acompanhamento ativo e uma presença regular no terreno, de forma a compreender o funcionamento da empresa, respetivo processo produtivo, suas variantes e, conseqüentemente, identificar as oportunidades de melhoria existentes mediante o levantamento de problemas.

O conhecimento do processo é a base para uma implementação eficaz de ações de melhoria. Assim sendo, nesta fase inicial, de ressaltar a importância do mapeamento e monitorização dos processos para uma análise consistente e um maior controlo de especificações, restrições e problemas. Durante esta etapa, o envolvimento dos colaboradores e supervisores de produção foi fulcral, tanto na explicação de procedimentos como no levantamento das principais dificuldades sentidas. Simultaneamente, ao longo de toda a análise prática foi realizada uma revisão literária através da seleção e estudo de documentos relacionados com as metodologias, abordagens e conceitos a aplicar, de forma a aprofundar o conhecimento nos temas em estudo e sustentar a sua aplicação prática no contexto organizacional.

Para compreender fidedignamente a realidade da empresa em questão e da área em análise foi estruturada uma recolha de dados, tendo em vista a identificação das atividades de valor não acrescentado, desperdícios e oportunidades de melhoria. Uma vez que o produto em questão apresenta um tempo de ciclo elevado foi importante para a recolha de dados a intervenção de vários elementos e a utilização de métodos de recolha diversificados. Assim, sempre que a incompatibilidade de horários não permitia acompanhar determinadas fases do trabalho, destacar a disponibilidade dos Líder GAT (Grupo Autónomo de Trabalho) para fazer o acompanhamento de tempos através dos quadros de seguimento. Para além disso, foram realizadas gravações para colmatar este tipo de situações.

Posteriormente, todos os dados recolhidos foram sistematicamente analisados para fazer um acompanhamento em tempo real das necessidades do processo. Nesta etapa, dada a necessidade de determinar situações de desvio e definir ações, foi importante a realização de um estudo de tempos, para determinar o tempo padrão associado a cada unidade elementar de trabalho e, assim, definir um critério sólido para estabelecer prioridades de atuação. Neste mesmo sentido, de forma regular, foram marcadas várias reuniões de ponto de situação com exposição dos desvios face aos objetivos, para estabelecer planos de ação eficazes. Tendo em consideração uma análise prévia foram convocadas estrategicamente pessoas com funções distintas para sessões de *brainstorming*, tendo-lhes sido, posteriormente, atribuídas tarefas específicas de acordo com a sua especialidade. Foi realizado um acompanhamento do estado de execução das mesmas tendo em consideração as *deadlines* definidas para essas tarefas. Após implementação os impactos das ações foram analisados, com o objetivo de fazer um refinamento constante das mesmas, tendo por base um pensamento de melhoria contínua.

Neste seguimento, sempre que, com determinadas ações ou em resultado da própria curva de aprendizagem dos colaboradores, os tempos de execução vistos como objetivo foram atingidos e



superados, procedeu-se a uma alteração nos *targets* com validação por parte dos Gestores de Projeto e da Engenharia de Processo. Com isto, pretendeu-se demonstrar um acompanhamento constante para que os trabalhadores se sentissem impulsionados a fazer mais e melhor.

Ao longo do desenvolvimento do projeto foi elaborado o presente relatório que reflete de forma estruturada o estudo realizado e as principais reflexões, nomeadamente, resultados, limitações, assim como oportunidades futuras.

A Figura 2 representa resumidamente, em BPMN 2.0, uma representação da metodologia descrita.

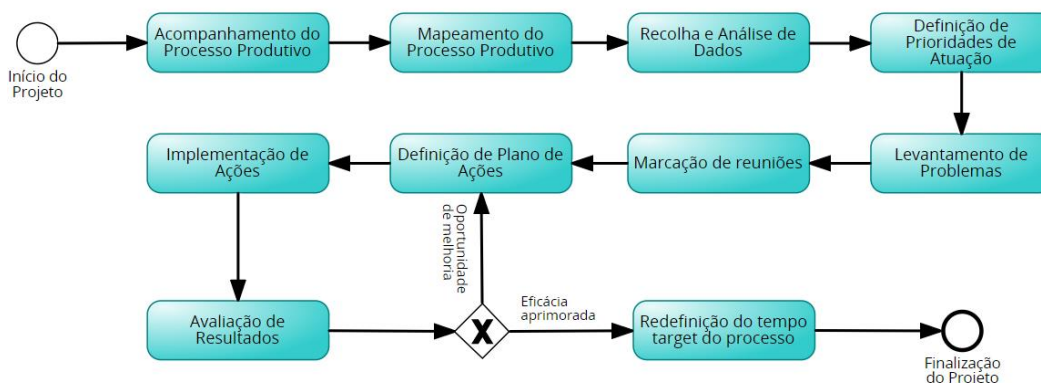


Figura 2: BPMN 2.0 da Metodologia

## 1.5 Estrutura

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos principais, apresentados resumidamente nesta secção.

No presente capítulo (Capítulo I) encontra-se a introdução ao trabalho, assim como a contextualização e relevância do projeto desenvolvido para a empresa. Nesta mesma secção são ainda apresentados os principais objetivos a atingir com a realização do trabalho, a metodologia seguida para tal e um pequeno resumo da estrutura do relatório.

No Capítulo II é apresentado o enquadramento teórico tendo por base os conceitos utilizados ao longo do projeto e que se consideram relevantes para um melhor entendimento dos pressupostos e objetivos assumidos.

O Capítulo III divide-se em duas grandes secções. Na primeira, é feita uma apresentação do setor da energia eólica e da empresa, com exposição dos tópicos mais relevantes do contexto organizacional. Adicionalmente, faz-se uma caracterização do produto com discretização dos componentes principais de uma turbina eólica e, posteriormente, em maior pormenor, são introduzidas as pás eólicas. É também feita uma descrição do processo em estudo. Na segunda secção, é apresentado o caso prático devidamente contextualizado com a análise da situação inicial e apresentação do trabalho realizado ao longo do projeto de estágio, tendo por base a metodologia já explicitada. Adicionalmente, são evidenciados os resultados mais relevantes das aplicações e respetivas considerações.

Por fim, o Capítulo IV compreende as principais conclusões relativas ao projeto, tendo por base resultados, limitações e perspetivas de trabalho futuro.

## II. Contextualização Teórica

### II.1 *Lean Manufacturing*

“*The biggest room in the world is the room for improvement.*”, Helmut Schmidt.

Os princípios do *Lean Manufacturing* (LM) foram amplamente aceites desde o seu aparecimento na década de 1990. Segundo Budianto et al. (2021) este conceito foi introduzido pela primeira vez por Krafcik num trabalho intitulado por “*Triumph of Lean Production System*”, onde o LM é apresentado como uma metodologia que permite que um processo de produção seja capaz de produzir mais com menos recursos (as cited in Kale & Parikh, 2019). Segundo Womak et al. (1990), o LM pode ser entendido como um processo de mudança dinâmico assente num conjunto de princípios e boas práticas que conduzem sistematicamente para uma cultura de melhoria contínua (como citado em Budianto et al., 2021).

Durante as últimas duas décadas, ferramentas e técnicas assentes no *Lean Manufacturing* têm sido implementadas em várias organizações a nível global (Rose et al., 2014). Esta filosofia tornou-se uma abordagem generalizada devido aos ganhos percebidos na eficiência da produção e logística da empresa. Uma grande diversidade de organizações tem estabelecido esforços para introduzir o *Lean* nos seus processos e sistemas (Sundar et al., 2014).

De uma forma abrangente é reconhecido que o *Lean* surgiu tendo por base o *Toyota Production System* (TPS), desenvolvido por Taiichi Ohno (1978) no Japão, de forma a incrementar a competitividade do setor automóvel e a capacidade de produção da empresa (Budianto et al., 2021; Yeen Gavin Lai et al., 2019). Contrariamente ao sistema de produção em massa de Henry Ford, o TPS tinha como foco a qualidade e diversidade dos produtos (Lacerda et al., 2016; Rossini et al., 2019).

Tendo por base a casa TPS (Figura 3), considerada o símbolo dos princípios de produção *Lean*, na base deste conceito encontra-se a filosofia do modelo *Toyota* (através de uma visão de longo prazo, respeito pelas pessoas e aprendizagem contínua), a gestão visual, processos estáveis e trabalho padronizado e o nivelamento de produção através do *Heijunka*. O primeiro pilar refere-se ao *Just-in-Time*, que compreende uma produção baseada nas necessidades; e o segundo pilar assenta na técnica de *Jidoka* que procura incrementar a qualidade do produto através da identificação de irregularidades no processo. No centro estão os princípios de melhoria contínua onde se incluem os colaboradores e o trabalho em equipa, assim como a redução de desperdícios. No topo da casa TPS encontram-se os objetivos de melhor qualidade, redução de custos, tempos de ciclo mais reduzidos, segurança e motivação dos colaboradores (Rosin et al., 2020).

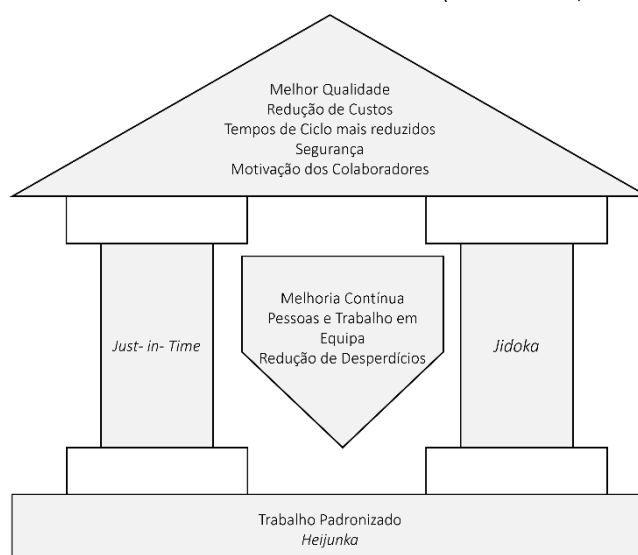


Figura 3: Casa TPS (adaptado de Rosin et al., 2020; Wagner et al., 2017)

Derivado do *Toyota Production System*, a filosofia *Lean* procura otimizar o fluxo de valor enquanto reduz de forma sistemática os recursos necessários para a produção de um conjunto de produtos (Rossini et al., 2019) e o desperdício associado a cada área do fluxo de valor. O fluxo de valor corresponde ao conjunto de todas as atividades que contribuem para a transformação da matéria-prima em produto acabado. Por sua vez, os desperdícios são todas as atividades desnecessárias, que não agregam valor para o cliente (Worley & Doolen, 2006).

O *Lean* enquanto estratégia de negócios visa a melhoria da qualidade e do serviço prestado, reduzir tempos e custos do processo, aumentar a eficácia organizacional, de forma que os produtos cheguem atempadamente ao mercado (Janasekaran et al., 2020; Zhou, 2016) e tornar o fluxo de trabalho mais eficiente e simplificado (Jastia & Kodali, 2015).

Para além da valorização ao nível da produção, o LM permite uma gestão otimizada da relação entre clientes e fornecedores. A contribuição para um fluxo de trabalho mais previsível, através da redução dos níveis de incerteza, potencia a criação de uma relação assente na confiança entre todas as partes envolvidas no processo (Cornelius et al., 2021).

De facto, como resposta a um contexto de negócios altamente competitivo e flutuante, as empresas são impulsionadas a enfrentar vários desafios diários. Qualquer organização, para garantir a sua sustentabilidade, depende da sua capacidade de responder de forma sistemática e contínua às várias mudanças no mercado para aumentar o valor do seu produto. Portanto, a implementação de sistemas de LM ao longo dos últimos anos tem-se tornado uma competência central para aumentar a competitividade das empresas (Zhou, 2016). Os métodos *Lean* têm vindo a ser reconhecidos como benéficos, o que é sustentado pelo número de empresas que os adotam e por vários estudos realizados que corroboram os resultados positivos das aplicações (Alkhoraif et al., 2019).

Não obstante, as implementações *Lean* ainda apresentam vários desafios para serem bem-sucedidas. Num estudo realizado por Zargun & Al-Ashhab foram identificados 27 fatores críticos de sucesso, posteriormente agrupados em quatro categorias: (a) Estratégia e Objetivos; (b) Liderança e Gestão; (c) Recursos Humanos e (d) Fatores Externos. O compromisso da gestão de topo e a liderança são fulcrais para potenciar o envolvimento dos colaboradores de forma contínua em iniciativas de melhoria (como citado em Alefari et al., 2017) e manter a estratégia e os objetivos da organização alinhados. As pessoas são um fator crítico durante todo este processo e devem ser envolvidas em todas as fases de aplicação. A comunicação e colaboração entre funcionários e com a própria gestão é vital para garantir uma cultura organizacional uniforme e para manter todos motivados mediante perceção e divulgação dos resultados alcançados. Para além dos desafios internos, existem também desafios externos à aplicação de práticas *Lean*, nomeadamente o relacionamento com os fornecedores e com os clientes que podem constituir em certas ocasiões barreiras à organização, na medida em que as empresas operam em ambientes globais e estão dependentes de várias variáveis sobre as quais não têm controlo direto (Alefari et al., 2017).

A Figura 4 ilustra sumariamente alguns fatores condutores e barreiras à aplicação *Lean*.

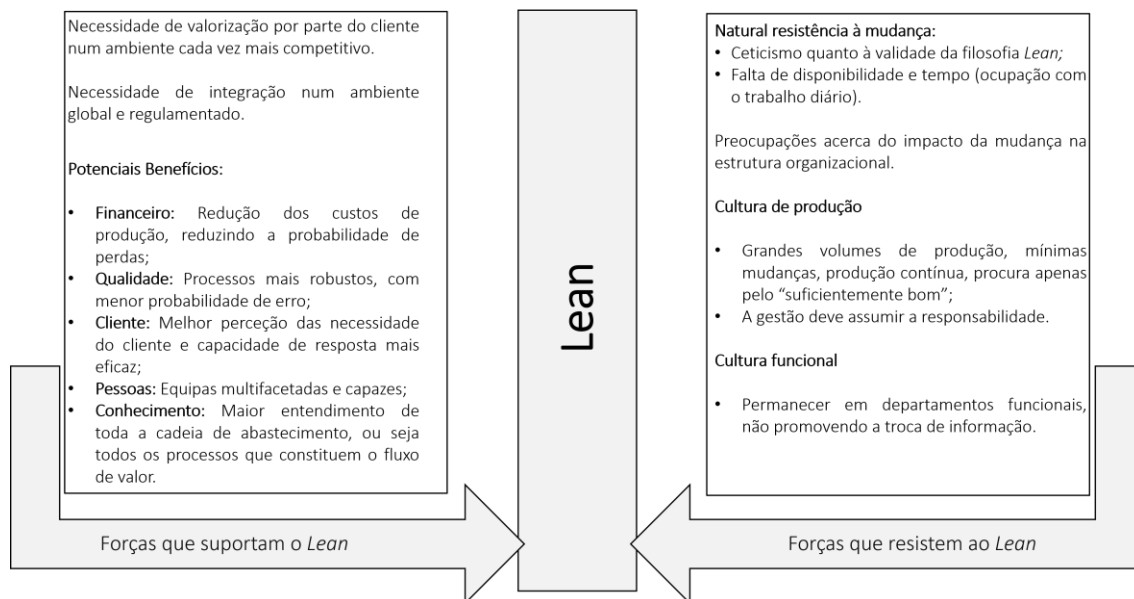


Figura 4: Forças e resistências *Lean* (adaptado de Melton, 2005)

### II.1.1 Princípios *Lean*

O principal objetivo do *Lean* é a maximização de valor para o cliente através da redução e, se possível, eliminação de desperdícios de produção. O valor pode ser entendido como a capacidade de disponibilizar os produtos ou serviços requeridos pelo cliente no momento certo e a um preço condicente, de forma a corresponder às expectativas e satisfazer as suas necessidades. A definição de valor depende do cliente e deve ser a base do pensamento *Lean*. Assim sendo, a **especificação de valor** é considerada o primeiro dos cinco princípios *Lean*. O segundo corresponde à **identificação do fluxo** que consiste no mapeamento da cadeia de valor, ou seja, na sequenciação das ações que compõem o processo produtivo e que agregam valor para o cliente. O **fluxo** é considerado o terceiro princípio, na medida em que o produto deve fluir pelos processos de forma ininterrupta, simplificada e otimizada, garantindo, desta forma, uma redução da inatividade, esperas e, conseqüentemente, tempo de produção. O objetivo de um sistema *Lean* é entregar produtos ou serviços ao ritmo a que são requeridos pelo cliente e, neste sentido, o quarto princípio diz respeito à criação de um **sistema pull**, ou seja, um sistema baseado na procura de mercado em que apenas é produzido aquilo que é requerido. Uma vez estabelecidos todos os princípios enunciados anteriormente, deve insistir-se numa procura constante pela **perfeição**, que constitui o quinto princípio, até se conseguir atingir o valor ideal com zero desperdícios (Czifra et al., 2019; Lacerda et al., 2016).

### II.1.2 Desperdícios *Lean*

Tal como foi referido um dos principais objetivos do *Lean* é reduzir ao máximo os desperdícios, MUDA, de um processo, ou seja, todas as atividades que não agregam valor ao produto final e que o cliente não está disposto a pagar. Segundo Lacerda et al. (2016), em ambiente industrial existem três tipos de atividades: aquelas que agregam valor ao produto final e devem ser mantidas; as que não agregam valor, mas são precisas (MUDA tipo 1); e aquelas que não agregam valor ao produto e são evitáveis, devendo, portanto, ser eliminadas (MUDA tipo 2).

Para direcionar e aplicar eficazmente as várias ferramentas *Lean*, deve-se inicialmente compreender e identificar quais os desperdícios a eliminar. Ohno (1998) categoriza os desperdícios em sete tipos básicos (Tabela 1).

O primeiro desperdício a considerar é a **sobreprodução** que corresponde à produção de mais itens que os requeridos (Morales-Contreras et al., 2020). Implica perdas significativas, nomeadamente, utilização de recursos sem retorno financeiro, mais espaço de *stock* e armazenamento de material e uma menor flexibilidade no planeamento de produção (Klein et al., 2021).

Na mesma medida, todos os tipos de **espera** (pessoas, materiais ou equipamentos), devido a bloqueios no fluxo, *layouts* pouco adequados, atrasos em entregas ou pouco equilíbrio nos processos produtivos implicam perdas para a empresa e constituem fonte de desperdício (Klein et al., 2021; Lacerda et al., 2016).

O **transporte** também deve ser o mais reduzido possível. A movimentação de produtos e materiais requer sistemas de transporte que têm custos de aquisição e manutenção. Ao mesmo tempo, implica aumentos no *Lead Time* e podem ocorrer danificações nas peças durante transporte indevido (Hicks, 2007; Morales-Contreras et al., 2020).

Por sua vez, o **sobre processamento** verifica-se quando operações extra como retrabalho, reprocessamento ou armazenamento ocorrem devido a defeitos, sobreprodução ou excesso de *stock*. Ou seja, o sobre processamento é qualquer operação ou processo que não agrega valor à empresa (Sivaraman et al., 2020).

O **stock** em excesso é também um dos maiores problemas para as empresas e está associado à existência de gargalos de produção ou processos desequilibrados, o que implica a necessidade de mais áreas de *stock* e operações de manuseamento (Lacerda et al., 2016).

Todos os **movimentos** que não agregam valor ao produto, normalmente associados a necessidades de ferramentas ou outros componentes na linha devem ser eliminados (Morales-Contreras et al., 2020).

Por fim, o último desperdício a considerar são os **defeitos**, intimamente relacionados com problemas de não qualidade, detetáveis pelo cliente final ou através de auditorias realizados por equipas de inspeção ou manutenção da empresa; por norma este tipo de problemas está relacionado com ausência de padronização e sistemas de controlo ou erro humano e tem um impacto bastante significativo nos custos de produção e na produtividade (Lacerda et al., 2016). Os defeitos implicam operações de retrabalho (Klein et al., 2021) e estão associados não só a perdas de material como também ativos de trabalho (Sivaraman et al., 2020).

Desperdício	Descrição
Sobreprodução	Produção em excesso/sem necessidade/sem ordem de produção
Esperas	Perdas de tempo, atrasos, inatividade ou incapacidade de produção devido a imprevistos
Transporte	Desperdício de movimentação de materiais ou produtos não essenciais ao processo produtivo
Sobre processamento	Etapas desnecessárias, sem valor para o cliente
<i>Stock</i>	Desperdício por <i>Work in Progress (WIP)/Stock/Materiais acabados</i> ou por acabar
Movimentações	Desperdício devido a movimentos que não agregam valor ao produto
Defeitos	Irregularidades de fabrico/qualidade inaceitável /necessidade de ações corretivas para aprovação para o cliente.

Tabela 1: 7 Desperdícios *Lean* (Adaptado de Ohno (1998))

Mais recentemente, foi apontada a existência de um oitavo desperdício associado ao não aproveitamento das capacidades dos trabalhadores. Este desperdício está diretamente relacionado com a subutilização das pessoas, nomeadamente, das suas ideias e contribuições para melhorar processos e procedimentos de trabalho (Klein et al., 2021).

### II.1.3 Ferramentas *Lean*

O *Lean* permite às organizações atingirem os seus objetivos de produtividade, através da introdução de técnicas e ferramentas (J. Oliveira et al., 2017). Uma implementação bem-sucedida de elementos *Lean* é a base para atingir os resultados esperados e depende da integração e implementação simultânea dos mesmos com uma sequência adequada (Sundar et al., 2014).

Várias estratégias *Lean* foram formuladas para reduzir atividades de valor não acrescentado e aumentar a eficiência dos sistemas de produção. No entanto, a seleção das ferramentas a utilizar deve obedecer a determinados princípios para não impactar negativamente outras áreas. Portanto, as ferramentas *Lean* devem ser estrategicamente selecionadas e implementadas para eliminar os desperdícios identificados e melhorar as medidas de desempenho em estudo (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013).

Na secção seguinte, serão apresentadas as ferramentas *Lean* utilizadas no projeto apresentado.

#### II.1.3.1 *Gemba Walk*

*Gemba Walk* é uma abordagem fundamental da filosofia *Lean*, que defende que para o entendimento completo de um problema é necessário visitar o local de trabalho e observar o que está a acontecer em tempo real (Tyagi et al., 2015). Apresentado como uma importante ferramenta de melhoria, o *Gemba Walk* implica “going where the action is”, de forma a entender a origem dos problemas e envolver na sua resolução as pessoas diretamente responsáveis pelo processo. Durante o percurso deve ser feito um exame crítico de cada observação/atividade, de forma a identificar as fontes de desperdício e avaliar oportunidades de melhoria (Seth et al., 2017).

A importância deste método tem sido destacada por vários autores. Segundo Suárez-Barraza & Ramis-Pujol (2010), o *Gemba Walk* permite aos analistas uma observação em tempo real do processo para detetar desperdícios; permite que visualizem os problemas quando estes ocorrem e os debatam com os diretos envolvidos no processo. Por sua vez, Imai (1996) destaca a importância da técnica pela possibilidade de definir contramedidas temporárias diretamente no local, identificar a causa raiz do problema e, se necessário, modificar procedimentos para evitar a recorrência (como citado em Alnajem, 2021).

A aplicação eficaz deste método é uma forma poderosa de apoiar a melhoria contínua e a padronização de processos, através do envolvimento de vários intervenientes da empresa. Ao mesmo tempo, possibilita a construção de relações benéficas com as equipas de trabalho e a garantia do seu envolvimento no propósito de melhoria contínua. Por outro lado, há uma maior evidência de alinhamento de esforços entre os vários membros da equipa, o que é fundamental para identificar oportunidades de melhoria e melhorar a eficácia das próprias pessoas. Efetivamente, quando é demonstrado um interesse por parte dos líderes, a equipa sente-se mais ouvida e incentivada o que, conseqüentemente, incrementa o desempenho demonstrado. As pessoas sentem-se respeitadas e úteis ao desenvolvimento e sucesso do processo (Tyagi et al., 2015).

### II.1.3.2 Metodologia 5S

A metodologia 5S é uma das técnicas *Lean* mais comumente usadas em ambiente de trabalho e uma das mais reconhecidas a nível de melhoria de processos, podendo ser aplicada a uma panóplia abrangente de áreas (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014). De uma forma geral, este conceito visa alcançar um espaço de trabalho limpo, organizado e seguro, de forma a garantir um bom ambiente organizacional (Veres et al., 2018).

O método consiste no seguimento sequencial de cinco etapas (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke*), esquematicamente representadas na Figura 5.

**Seiri (Classificar):** Consiste na remoção de tudo o que é considerado desnecessário. O local de trabalho deve ter apenas aquilo que é necessário para a execução das tarefas (Veres et al., 2018). Para além da utilização eficaz do espaço de trabalho, os itens devem ser segregados de acordo com a sua relevância e frequência de utilização (Randhawa & Ahuja, 2017).

**Seiton (Colocar em ordem):** Os diferentes elementos de trabalho devem estar organizados para que sistematicamente possam ser retirados e devolvidos ao local original após cada utilização (Veres et al., 2018). Deve existir um espaço para cada item e o mesmo deve estar identificado, para que de forma rápida e visual se identifiquem as diferentes áreas, o que permite economizar tempo e facilitar processos (J. Oliveira et al., 2017).

**Seiso (Limpar):** A sujidade é fonte de desordem, indisciplina e ineficiência no local de trabalho. A limpeza regular dos equipamentos e locais de trabalho é essencial para a identificação de irregularidades, para reduzir o risco de acidentes e permitir uma melhor inspeção de produtos (Veres et al., 2018).

**Seiketsu (Padronizar):** De forma a otimizar e garantir a execução dos três primeiros 5S há a necessidade de estabelecer e garantir padrões. Esses elementos de trabalho devem ser de compreensão clara, fácil e visual (Veres et al., 2018).

**Shitsuke (Sustentar):** A última etapa consiste no desenvolvimento de um método para garantir o seguimento dos 5S. Este elemento, desempenha um papel importante no estabelecimento de uma rotina diária e autodisciplina para enraizar a ferramenta no seio da cultura organizacional (Randhawa & Ahuja, 2017). Neste seguimento, destacar a importância de auditorias regulares para garantir a sustentabilidade da técnica (J. Oliveira et al., 2017).

Os 5S trazem grandes benefícios para as organizações, entre eles, potenciam melhorias ao nível da qualidade dos produtos e serviços, um ambiente de trabalho limpo e organizado, maior segurança, aumento da eficiência e eficácia dos métodos de trabalho, maior motivação e disciplina por parte dos colaboradores, redução de custos, maior sentido de responsabilidade no seio da equipa, redução de espaço para armazenamento, etc. (Makwana & Patange, 2019).

De destacar, que o sucesso desta metodologia depende da cooperação e envolvimento de todos os membros da organização (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Roy Balinado & Tri Prasetyo, 2020).

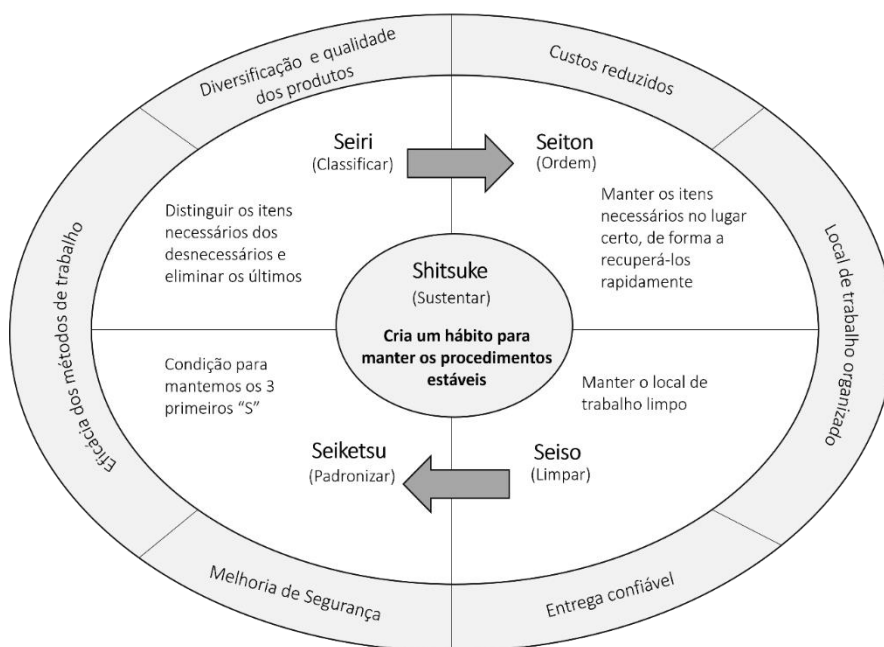


Figura 5: Conceito 5S

### II.1.3.3 Gestão Visual

A Gestão Visual é considerada uma das principais práticas *Lean*. É uma estratégia de gestão que defende a partilha de informações relevantes e de fácil compreensão, no local onde devem ser analisadas e/ou discutidas. Desta forma, é possível incrementar a transparência do processo e a capacidade de comunicação entre os vários elementos com discussão de fatores relevantes, para facilitar a autogestão e a melhoria contínua (Tezel & Aziz, 2017). O objetivo passa por capacitar os trabalhadores para que de forma autónoma, ordenada e regulada consigam gerir o seu espaço de trabalho, reduzindo erros e outros desperdícios (J. Oliveira et al., 2017).

Como referenciado em Eaidgah Torghabehi et al. (2016), este método compreende um conjunto de ferramentas visuais e diretrizes claras, que orientam os funcionários para a realização de



determinada tarefa/operação. Numa outra perspectiva pode ser entendido como qualquer meio que fornece informações “*just-in-time*” sobre a forma como o trabalho deve ser feito e alerta para desvios em relação ao padrão. Este conceito abrange diferentes tipos de ferramentas e métodos usados para visualizar informações, requisitos ou regras (Kurpjuweit et al., 2019).

A Gestão Visual pode ser entendida sobre dois domínios diferentes. Por um lado, enquanto ferramenta informativa, que é utilizada exclusivamente para visualização e compressão de informação, sem definição de qualquer requisito e, portanto, sem implicações ao nível da gestão de desempenho (por exemplo, Mapeamento de Fluxo de Valor, Fluxogramas, Etiquetas, *Layouts*). Por outro lado, pode ser entendido como uma ferramenta diretiva, que para além da visualização propriamente dita, tem implícito um requisito, uma direção e/ou orientação para uma dada ação. Neste último caso, o conceito encontra-se diretamente relacionado com a gestão de desempenho, na medida em que está fortemente associado a iniciativas de melhoria contínua e ao estabelecimento de ações corretivas para eliminar os desvios evidenciados no processo (Eaidgah Torghabehi et al., 2016).

De uma forma resumida, a Gestão Visual torna a organização mais transparente pela disponibilização contante de informação atualizada a todas as partes envolvidas no projeto; aumenta a coordenação da equipa em torno de um objetivo comum; auxilia o fluxo contínuo de informação; melhora as condições de trabalho com auxílio das ferramentas de gestão visual que incrementam a organização; promove a disciplina e facilita o trabalho, apresentando, portanto, repercussões ao nível da eficiência operacional (Singh & Kumar, 2021).

#### **II.1.3.4 Kanban**

Os níveis de *stock* são uma variável de extrema importância para as organizações, uma vez que envolvem custos de armazenamento, manutenção e espaço. Das várias técnicas propostas para o controlo da gestão de *stocks*, uma das mais estudadas e aceites é o sistema *Kanban* (Iannone et al., 2009). Intimamente relacionado com o conceito de produção *just-in-time*, o *Kanban* foi criado para controlar os níveis de *stock*, a produção, o fornecimento de componentes e/ou matéria-prima. De acordo com Graves et al. (1995), um sistema *Kanban* é um mecanismo de controlo de fluxo de material que tem em conta a quantidade e os tempos de produção dos produtos em questão (como citado em Lage Junior & Godinho Filho, 2010).

Na prática, *Kanban* assume o significado de “cartão visual” porque é através da utilização de cartões que é realizada a gestão da entrega e produção de peças, itens ou matéria-prima. De uma forma geral, este sistema permite o fornecimento de componentes apenas no momento em que são necessários no processo de produção. Os cartões em uso devem especificar visualmente as informações necessárias para o correto fluxo de material, nomeadamente a identificação do produto, a quantidade a produzir e o *stock* mínimo desejado, se for o caso. Estes cartões autorizam a entrega do produto a montante e a produção para reabastecer o *stock* a jusante. Não deve ser produzido nenhum material até que existe um sinal de procura (Iannone et al., 2009; Lage Junior & Godinho Filho, 2010). Para além dos cartões propriamente ditos podem ser usados outros mecanismos de controlo como, por exemplo, carros de transporte, sinais eletrónicos, caixas etc..

Assim, a gestão de *stock* é realizada de forma mais eficaz em chão de fábrica estando constantemente atualizada em tempo real, existe um melhor aproveitamento do espaço de *stock* e, conseqüentemente, menos custos de inventário (Faccio et al., 2013). No entanto, este tipo de sistema não é adequado em situações de procura instável, indefinição de tempo de processamento, operações

não padronizadas, tempos de produção demasiado longos e com altos níveis de incerteza (Lage Junior & Godinho Filho, 2010).

### **II.1.3.5 Standard Work**

A padronização é a prática de definir, comunicar e seguir padrões. Este conceito é a base para a implementação de melhorias. Segundo, Pereira et al., (2016) antes da aplicação de melhorias devem-se estabelecer padrões, de forma a estabilizar o processo. Tal como referido por Taiichi Onho “*Where there is no standard, there cannot be improvement*” (Pereira et al., 2016, p. 240), em português: “onde não há *standard*, não pode haver melhoria”. Efetivamente, o padrão é uma medida de referência para avaliar o estado do processo e a eficácia ou não da implementação de alterações no mesmo.

O SW pode ser definido como um conjunto de procedimentos que retratam métodos de trabalho precisos para cada processo e cada trabalhador (Cornelius et al., 2021; Pereira et al., 2016). Estabelece, desta forma, o método mais eficaz e seguro para executar um dado trabalho no menor tempo repetível possível, tendo em consideração o trabalhador, máquina e materiais utilizados (Sundar et al., 2014). Este método de trabalho tem como principal objetivo a eliminação da variação e inconsistência de resultados, incutindo na prática organizacional a formação dos colaboradores para executar atividades, segundo procedimentos bem definidos e inflexíveis (J. Oliveira et al., 2017; Shafeek et al., 2018).

Como referenciado por Pereira et al., (2016), o *Standard Work* envolve três elementos fundamentais, sendo eles:

**Takt Time (TT):** Este indicador corresponde ao ritmo com que um dado produto deve ser produzido para satisfazer a procura do cliente. Através de uma análise do tempo padrão de cada atividade é possível facilmente detetar e analisar uma anomalia e/ou perda em cada operação e direcionar respostas para as mesmas. Por exemplo, fazer uma redistribuição de cargas de trabalho de forma a assegurar que nenhuma atividade excede o TT, ou fica demasiado aquém deste indicador. Assim, é possível reduzir ineficiências, como esperas ou tempos sem atividade.

**Sequência de Standard Work:** É a ordem com que um conjunto de tarefas deve ser realizada para o cumprimento de uma operação, representando a forma mais eficaz e segura de realização dos procedimentos. Cada trabalhador executa essas tarefas específicas, repetidamente e de forma consistente ao longo do tempo, de forma a promover uma melhoria de eficiência nas mesmas e identificar possíveis oportunidades de melhoria.

**Standard Work-in-Progress (SWIP):** Indica a quantidade mínima de *stock* necessária para manter o ritmo de produção em fluxo contínuo sem tempos inativos. O excesso de *stock* e a falta de *stock* provocam uma diminuição ao nível da produtividade.

Se bem aplicado o *Standard Work* apresenta vários benefícios para as empresa, de destacar (J. Oliveira et al., 2017):

- Redução de Variabilidade: O esforço do colaborador é estável, conhecido e mensurável;
- Redução de custos: Através da redução de procedimentos sem valor acrescentado e métodos ineficientes é possível tornar o sistema produtivo mais rentável e com menos custos associados;
- Melhoria de Qualidade: Ao garantir a execução de uma dada tarefa sempre da mesma forma, independentemente do executante, a probabilidade de erro é mais reduzida;
- Envolvimento do colaborador: Os trabalhadores sentem-se mais seguros na execução das tarefas, havendo uma maior desculpabilização pela ocorrência de falhas e sentem-se impulsionados a sugerir melhorias;
- Melhoria contínua: O *Standard Work* é a base para a melhoria contínua, na medida em que facilita a perceção de pontos de intervenção, tornando este processo mais eficiente. Sempre que é evidenciada uma oportunidade de melhoria os *standards*, devem ser atualizados e refletir as mudanças em tempo real.

#### **II.1.3.6 Diagrama de Spaghetti**

O Diagrama de *Spaghetti* corresponde a uma representação visual do fluxo contínuo de um item durante a execução de um dado processo (Katarina et al., 2017).

É uma ferramenta simples, utilizada para estabelecer o *layout* mais adequado para um local de trabalho tendo por base observações das distâncias percorridas pelos trabalhadores, clientes e/ou produtos. Através de um Diagrama de *Spaghetti* é possível detetar *layouts* ineficientes, identificar redundâncias no fluxo de trabalho e visualizar oportunidades para agilizar o fluxo do processo (Luca et al., 2021).

Para criar um Diagrama de *Spaghetti* inicialmente deve-se criar uma representação da área de trabalho em estudo; observar o processo, marcar a localização inicial do colaborador e demarcar através de uma linha contínua todas as movimentações efetuadas até conclusão do processo (Luca et al., 2021). De forma a facilitar a compreensão do diagrama, devem ser usadas cores diferentes para diferenciar as várias entidades envolvidas (Katarina et al., 2017; Luca et al., 2021).

Após a análise do diagrama obtido, são identificadas as distâncias percorridas, a quantidade de movimentos efetuada e os cruzamentos ou sobreposições. Como resultado, é possível identificar movimentos ineficientes e áreas inaptas para a especificidade do contexto que devem atender, reduzir número de colaboradores pela deteção de atividades inúteis e, ainda, implementar alterações no espaço de trabalho para facilitar as operações a realizar (Katarina et al., 2017). Assim, é possível otimizar as distâncias e, conseqüentemente, alcançar entregas mais rápidas ou a mesma entrega com menos esforço ou recursos (Luca et al., 2021).

Ao nível de desperdícios esta ferramentas pode revelar-se extremamente útil na redução de tempos de espera, movimentações e transportes desnecessários (Katarina et al., 2017).

### II.1.4 **Key Performance Indicators (KPIs)**

A introdução de mudanças e a evolução tecnológica no ambiente organizacional implicam que as empresas se foquem em estratégias competitivas para se diferenciar da concorrência. A competitividade e a volatilidade do ambiente de negócios, conseqüentemente, impulsionam a necessidade de avaliação do desempenho organizacional através da utilização de indicadores de desempenho, KPIs (Hedvičáková & Král, 2019).

Os indicadores de desempenho apresentam um papel fundamental na análise do fluxo de valor e na tomada de decisões relativas ao sistema de produção. O uso destes indicadores é essencial para identificar e eliminar atividades de valor não acrescentado (Lacerda et al., 2016).

Os KPIs são usados pelas organizações para avaliar na globalidade o seu desempenho ou para avaliar a eficácia da implementação de uma medida específica (Srivastava, 2016). Tratam-se de medidas quantitativas criadas com o objetivo de monitorizar o desempenho de forma contínua. Devem ser selecionados estrategicamente para evidenciar o desempenho da organização e a sua evolução ao longo do tempo face aos objetivos definidos, controlar fatores críticos que possam ter implicações no sucesso da organização e para melhorar o processo de tomada de decisão, resultando em melhorias de desempenho (Hong, 2015).

Existe um conjunto alargado de indicadores de desempenho, no entanto nesta secção serão apresentados aqueles que se revelaram consistentes com os objetivos e procedimentos da empresa.

**Takt-Time (TT):** O TT diz respeito à frequência com que um dado produto deve ser produzido de forma a responder à procura do cliente. O *Takt Time* pode ser definido com base na procura de mercado e o tempo disponível para produção. Se um dado processo exceder o TT, verificar-se-á uma escassez do produto; numa situação oposta, dar-se-á um excesso de oferta (Cornelius et al., 2021).

**Tempo de Ciclo:** O tempo de ciclo delimita o tempo necessário para completar uma dada operação. Este indicador é definido pelo período de tempo decorrente entre repetições da mesma tarefa (Lacerda et al., 2016; Oliveira et al., 2019). Numa linha de produção, o tempo de ciclo é definido pela operação com maior tempo de execução, representando esta o processo gargalo (M. S. Oliveira et al., 2019). O tempo de ciclo deve ser o mais próximo possível do valor de TT, para evitar ineficiências do processo (Czifra et al., 2019; M. S. Oliveira et al., 2019).

**Lead Time:** Diz respeito ao tempo total que um produto demora a fluir ao longo do fluxo de valor ou processo (Lacerda et al., 2016).

**Value Added Time:** O tempo de valor acrescentado representa o somatório de tempo de todas as operações que agregam valor ao produto final, e que o cliente está disposto a pagar (Lacerda et al., 2016).

## II.2 **Total Quality Management (TQM)**

*“No quality, no sales. No sale, no profit. No profit, no jobs.”* (Charantimath, 2017, p. 7).

A qualidade dos bens e serviços prestados por uma empresa pode ser um fator de vantagem competitiva face à concorrência. A qualidade é a base para o sucesso de negócios e para a conquista do cliente, o que permite à empresa aumentar os seus lucros e valorizar a sua imagem (Charantimath, 2017).

Neste seguimento, destaca-se o *Total Quality Management* (TQM) como uma abordagem de negócios criteriosa, que avalia, não só, os produtos e serviços prestados, como também a força de trabalho, de forma a garantir resultados consistentes que vão de encontro às expectativas dos clientes. Esta abordagem tem como apanágio o envolvimento dos diferentes setores da empresa e de diferentes funções organizacionais em torno de um objetivo comum. Assim sendo, o TQM constitui um esforço integrado projetado para a melhoria contínua dos processos, através da integração do conhecimento e experiências dos colaboradores (Luthra et al., 2021).

O TQM assenta num conjunto de princípios fundamentais. Estes princípios fornecem orientação às organizações sobre a aplicação da gestão da qualidade e podem facilitar a criação de uma cultura de trabalho assente na mesma (Charantimath, 2017):

1. Organização com foco no cliente: As organizações dependem dos clientes para garantir a sua subsistência, como tal, os clientes devem ser a sua principal preocupação. As suas necessidades atuais e futuras devem ser conhecidas para atender aos seus requisitos, satisfazer as suas necessidades e, se possível, superá-las;
2. Liderança: Os líderes da organização precisam de inculcar a importância da qualidade na cultura organizacional, definir expectativas altas e uma abordagem direcionada para a satisfação do cliente que envolva e motive a participação de todos os colaboradores;
3. Envolvimento das pessoas: A aposta no envolvimento das pessoas é fulcral para garantir o aproveitamento das suas capacidades para um benefício comum. O envolvimento das pessoas a diferentes níveis é construto de melhorias a nível da qualidade e produtividade;
4. Abordagem de Processo: Gestão de recursos e material como um processo comum, tendo em vista o alcance dos resultados esperados, de forma mais eficiente;
5. Melhoria Contínua: Deve ser inculcado na cultura organizacional um senso de melhoria contínua para atender às necessidades de todas as partes interessadas;
6. Tomada de decisões factual: Decisões eficazes são tomadas se na base da sua avaliação estiverem dados e informações consistentes, factuais e objetivas;
7. Estabelecimento de relações benéficas com fornecedores: A capacidade da organização de criar valor é incrementada se mantiver relações de simbiose com os seus fornecedores.

A implementação do TQM contribui para o aumento de conhecimento e para uma cultura organizacional assente em princípios de qualidade; por outro lado estabelece um alto comprometimento das equipas de trabalho e, conseqüentemente, um maior compromisso com a melhoria de processos (Luthra et al., 2021).

## II.2.1 Ferramentas de Qualidade

As organizações dispõem de um conjunto de ferramentas de controlo de qualidade. Estas ferramentas são amplamente utilizadas para gerir as operações gerais de uma empresa e promover a melhoria contínua. São utilizadas para encontrar as causas raiz para um dado problema e eliminá-las, de forma a melhorar o processo de produção (Charantimath, 2017).

Existem sete tipos básicos de ferramentas de controle de qualidade, frequentemente usadas pelas organizações: (1) Fluxograma, (2) Folha de Verificação, (3) Histograma, (4) Análise de Pareto, (5) Diagrama de *Ishikawa*, (6) Cartas de Controlo e (7) Diagrama de Dispersão. Estas ferramentas permitem a qualquer organização recolher, apresentar e analisar a maioria de seus dados e problemas (Luthra et al., 2021).

De seguida serão apresentadas aquelas que foram utilizadas no âmbito do projeto.

### II.2.1.1 Análise de Pareto

O gráfico de Pareto é um gráfico de barras, cujo comprimento representa a frequência com que a variável em estudo ocorre. No gráfico, os dados mais frequentes encontram-se no extremo esquerdo e os dados menos frequentes no extremo oposto (Luthra et al., 2021).

O gráfico representa visualmente a importância relativa do problema. Frequentemente reconhecido pela regra 80/20, a análise de Pareto é uma técnica estatística de auxílio à tomada de decisão, baseada na seleção de um número de causas limitado que produzem um efeito geral significativo. No domínio da qualidade, podemos ter que, por exemplo, 80% dos defeitos resultam de 20% das causas identificadas (Charantimath, 2017). Assim sendo, o principal objetivo desta técnica é classificar as causas de acordo com o seu grau de importância e focalizar a atuação de acordo com a maior necessidade da empresa, para resolver um elevado número de problemas (Al-Zwainy & Mezher, 2018).

Em suma, a análise de Pareto é uma ferramenta de fácil execução, compreensão e eficiente ao nível do controlo de qualidade. Fornece uma base sólida para discriminar um problema e a sua causa raiz. Não obstante, a regra de Pareto não é universal para todo o tipo de situações; em situações de grande volume de dados a elaboração do gráfico torna-se mais complicada e não é útil para fazer avaliações do estado atual ou futuro (Luthra et al., 2021).

### II.2.1.2 Diagrama de *Ishikawa*

O Diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama de causa-efeito ou diagrama de peixe, constitui uma abordagem estruturada para identificação de possíveis causas para um dado problema (Al-Zwainy & Mezher, 2018). Segundo Suárez-Barraza & Rodríguez-González (2019), esta ferramenta procura estudar a variabilidade de uma característica de qualidade com efeito ou consequência de variadas causas. Por norma, é elaborado através de sessões de *brainstorming*, para explorar todas as causas possíveis para um problema ou efeito.

Trata-se de uma ferramenta de resolução de problemas e pode ser aplicada em diversos contextos, para diferentes situações (Charantimath, 2017). Segundo uma perspectiva de processo, esta ferramenta permite controlar a qualidade, na medida em que, quando surge uma anomalia, é fundamental para fazer o levantamento de causas e resolvê-las.

Para um melhor agrupamento de ideias, as causas podem ser organizadas em seis categorias: Mão-de-Obra, Máquina, Meio-Ambiente, Método, Materiais e Medida, designadas por 6M's. De realçar que, de acordo com o contexto, estas categorias podem ser adaptadas.

O diagrama de causa e efeito mostra as inter-relações entre diferentes causas e as suas possíveis consequências. Para cada categoria, começam-se a construir as relações de causa-efeito através da identificação das causas mais gerais, sendo estas sucessivamente particularizadas. Não obstante, esta especificação pode levar a uma descentralização do foco da questão, pela dificuldade em associar categorias que não estão diretamente relacionadas com o problema em estudo. Neste caso, estamos perante “causas aparentes”, pelo que se deve dar primazia às causas de nível 1 e nível 2 (Suárez-Barraza & Rodríguez-González, 2019).

Depois de um processo iterativo de interrogações, devem ser selecionadas as causas com impacto direto e significativo (causa raiz), criando para cada uma delas uma ação corretiva e/ou de melhoria (Luthra et al., 2021). Frequentemente, esta ferramenta é usada após a execução de uma análise de Pareto ou sessões de *brainstorming*, de forma a organizar as ideias geradas (Al-Zwainy & Mezher, 2018).

### **II.2.1.3 Folha de Verificação**

A folha de verificação é uma ferramenta simples e útil ao nível de controlo de qualidade (Luthra et al., 2021). Trata-se de um formulário estruturado para recolha e análise de dados em chão de fábrica, que pode ser adaptado a vários propósitos (Charantimath, 2017).

As folhas de verificação podem ser usadas para registar dados relativos à frequência com que um dado problema ocorre; registo de dados sobre o tipo de problema (Charantimath, 2017); podem funcionar como guia de controlo de riscos - recolha de dados para posteriormente resolver os diferentes problemas e evitar recorrências; pode ser usada como uma técnica poderosa de estratificação – registar factos e incidentes recorrentes, com o intuito de identificar problemas; como garantia de que todas as tarefas ou pontos de controlo associados a um processo foram concluídos e que, portanto, se pode avançar para o processo seguinte (Luthra et al., 2021).

Esta ferramenta é projetada para uma recolha de dados estruturada e uniforme, de forma a apontar prováveis fontes de erro, e disponibilizar as informações de forma fácil e de rápida compreensão (Charantimath, 2017; Luthra et al., 2021).

## **II.2.2 Relação entre TQM e Lean**

Tal como referido em secções anteriores, o principal objetivo do *Lean* passa pela redução de desperdícios, aumento de produtividade e otimização dos recursos disponíveis. Este conceito está também associado a uma maior criação de valor para o cliente, rapidez e eficiência do processo (Ulibas, 2020). Segundo Khalfallah & Lakhali (2021), o excesso de *stocks* e tempos de ciclo demasiado longos são os principais fatores de desperdício para uma organização; como tal, idealmente pretende-se atingir um

sistema de *stocks* nulos e tempos de ciclo o mais reduzidos possível, sem atividades que não possuem valor acrescentado.

Nestas condições ideais de produção, a ocorrência de problemas de qualidade pode apresentar um impacto extremamente negativo no alcance destes objetivos. Efetivamente, defeitos de produção podem originar interrupções no processo, obrigando a sucatar ou retrabalhar peças. Sob estas condições, as empresas veem-se obrigadas a constituir *stock* para compensar um fluxo produtivo imprevisível e conseguir corresponder positivamente aos pedidos do cliente. Da mesma forma, paragens para correção de defeitos, dependendo da gravidade do mesmo, podem apresentar uma penalização significativa no tempo de ciclo (Khalfallah & Lakhali, 2021).

À luz do exposto, percebe-se que, para atingir os objetivos do *Lean Manufacturing* e da produção *Just-in-Time*, é primordial garantir um elevado nível de qualidade, em direção a zero defeitos. O TQM é, segundo vários autores, a abordagem mais indicada para garantir a qualidade requerida, uma vez que se encontra altamente direcionado para a satisfação total do cliente. Ou seja, a integração dos dois conceitos pode melhorar a satisfação dos clientes, pela aplicação de uma abordagem de melhoria contínua, que inclui uma participação ativa dos colaboradores (Khalfallah & Lakhali, 2021; Ulibas, 2020).

Assim sendo, vários estudos têm vindo a relatar a correlação positiva entre os conceitos de *Lean* e o *Total Quality Management*, na medida em que, sendo um determinante crítico da qualidade numa empresa, o TQM pode funcionar como um suporte fundamental para apoiar as práticas *Lean*. De uma forma abrangente, esta contribuição pode ser resumida mediante apresentação de dois exemplos básicos (Khalfallah & Lakhali, 2021):

1. O TQM tem em vista a qualidade total de todo o processo, estando, portanto, associado a uma contribuição para a redução de peças defeituosas e, conseqüentemente, menos operações de retrabalho, o que tem implicação ao nível do tempo de ciclo (não existe tempo desperdiçado em tarefas sem valor acrescentado);
2. A base do *Lean* assenta em princípios de produção estável e controlada. As práticas de TQM permitem reduzir a variabilidade associada ao processo que, por sua vez, reduz a necessidade de *stock* de segurança.

Apesar da distinção dos conceitos a nível conceptual existe uma panóplia de vantagens que advém da integração dos mesmos, uma vez que se complementam. Na verdade, o principal objetivo desses conceitos coagula num fim comum; ou seja, através da introdução de melhorias, minimizar os desperdícios e recursos, assim como melhorar a satisfação do cliente e os resultados financeiros (Andersson et al., 2006).

Segundo Khalfallah & Lakhali (2021), vários autores defendem a relação positiva entre os dois conceitos, afirmando empiricamente que as práticas TQM contribuem para níveis de qualidade superiores com repercussões positivas ao nível de redução de desperdícios e redução do tempo de ciclo, através da redução do tempo necessário para retrabalho de produtos defeituosos. De acordo com Khalili, Ismail, Karim, & Daud (2018), o TQM é considerado um pré-requisito do *Lean*. Esta relação positiva entre as duas práticas perspetiva que uma implementação do TQM pode espelhar-se em melhorias na adoção do *Lean* (como citado em Ulibas, 2020).



## II.3 **Business Process Model**

As organizações têm de gerir uma grande quantidade de processos. A forma como esses processos são projetados e executados tem influência na qualidade de serviço percebida pelos clientes. Uma organização pode ganhar vantagem sobre outra se apresentar melhores processos e for capaz de os executar mais eficazmente para um tipo de serviço semelhante (Dumas et al., 2018). Tendo em consideração que o núcleo de uma organização são os processos, para geri-los é fundamental perceber como eles são executados e como é que se relacionam entre si (Ongena & Ravesteyn, 2019). No que diz respeito à classificação, os processos podem ser divididos em processos centrais, de suporte e de gestão. Os primeiros incorporam eventos, atividades e pontos de decisão que envolvem atores e objetos que coletivamente contribuem para atingir resultados positivos. Os processos de suporte garantem o bom funcionamento dos processos centrais e, por sua vez, os processos de gestão planeiam, organizam, comunicam e controlam atividades corporativas (Lehnert et al., 2017).

A compreensão dos processos de negócio é apontada como elementar para garantir uma permanência consolidada das empresas num mercado altamente competitivo. Como tal, atualmente, a maioria das organizações tem em consideração o paradigma do *Business Process Model* (BPM), que segundo vários investigadores é considerado relevante como fonte de vantagem competitiva (Arevalo et al., 2016).

O BPM pode ser entendido como uma extensão de conhecimento que articula um conjunto de princípios, métodos, ferramentas e técnicas para sustentar a análise, projetar e melhorar continuamente os processos de negócio (B. K. do A. Castro et al., 2019; Dumas et al., 2018). Segundo Hernaus et al. (2016), o BPM incrementa a coordenação de processos multifuncionais permitindo às empresas direcionar as suas ações tendo em consideração o valor acrescentado para o cliente (como citado em B. K. do A. Castro et al., 2019). Segundo a mesma perspetiva, o BPM está a solidificar-se enquanto vantagem estratégica, na medida em que permite às organizações agilizarem as suas operações (Arevalo et al., 2016).

O *Business Process Model* pode ser visto como um ciclo contínuo que compreende um conjunto de etapas como a identificação, definição, modelagem, implementação e execução, monitorização, controlo e melhoria de processos (Lehnert et al., 2017).

Dentro do ciclo de vida do BPM, a melhoria do processo de negócios, também conhecida como redesenho de processos, é uma atividade fundamental (Dumas et al., 2018) e representa um dos principais objetivos deste conceito (Lehnert et al., 2017). Neste sentido, destacar a articulação recente entre os conceitos de BPM e *Lean*. A orientação para o cliente, o investimento em atividades de valor acrescentado e a redução de desperdícios são alguns dos princípios em que assenta o *Lean* e que foram sistematicamente absorvidos pelo BPM (Dumas et al., 2018).

### II.3.1 **Business Process Model and Notation**

A modelagem de processos de negócio diz respeito à representação dos processos de uma organização, por forma a que o processo atual “*as-is*” possa ser analisado e melhorado no futuro “*to-be*”. Por norma é realizada por analistas e gestores de negócio com o intuito de alcançar melhorias na qualidade e eficiência dos processos (Chinosi & Trombetta, 2012).

Um modelo compreende um conjunto de factos relevantes sobre uma entidade, formulados de uma forma estruturada e documentada. A complexidade de um modelo depende do propósito da modelagem. Segundo Uppington & Bernus, o nível de detalhe no BPM depende do entendimento do estado atual do processo e deve ser limitado às necessidades pragmáticas da fase de mudança que se segue; para além disso, deve ter em consideração as pessoas envolvidas (as cited in Kalpic & Bernus, 2002).

A documentação de procedimentos complexos é de difícil compreensão e suscetível à ocorrência de erros. Assim, revela-se de extrema importância a utilização de uma notação gráfica formal, autoexplicativa, capaz de formular uma representação sintaticamente válida de um processo, congruente com a descrição textual do mesmo (Chinosi & Trombetta, 2012). De destacar a importância da descrição gráfica como forma de detetar e avaliar possíveis incongruências no processo.

Atualmente, a *Business Process Model and Notation* (BPMN) é considerada a linguagem padrão para a modelação dos processos de negócio (Arevalo et al., 2016; Geiger et al., 2018; Haseeb et al., 2019). Esta notação é especialmente adotada pela maioria das organizações em detrimento de outras abordagens, pois destaca-se por apresentar as vantagens de uma linguagem gráfica, simplicidade, padronização e suporte para execução de processos. A BPMN é facilmente compreensível por todos os intervenientes no processo, desde os analistas que formulam os esboços iniciais, até aos desenvolvedores técnicos responsáveis pela implementação e equipa que executa e monitoriza esses mesmos processos (Chinosi & Trombetta, 2012). Para além de unificar a comunicação interna, esta notação também permite uma melhor colaboração entre os vários parceiros de negócio (Arevalo et al., 2016).

### **II.3.2 Efeitos Bilaterais ente Lean e BPM**

O BPM tem em vista um aumento da eficiência e eficácia dos processos de negócio e o LM pode ser visto como exemplo de um meio para atingir esse mesmo fim. Ambas as abordagens estão assentes em princípios de melhoria contínua (Rymaszewska, 2017) e na aposta em processos que criem valor para as empresas, através da eliminação de atividades sem valor acrescentado (S. Castro & Teixeira, 2020).

A modelagem de processos de negócio, através da linguagem BPMN, possibilita a construção de gráficos de modelagem legíveis e de fácil compreensão, que permite analisar a especificação dos processos modelados e caracterizar os vários fluxos inerentes a esses mesmos processos. O BPM melhora o entendimento, não só, dos processos, como também das pessoas, fluxos e tarefas envolvidas em diferentes fases. Desta forma, evidencia-se uma maior facilidade na identificação de atividades ineficientes e, conseqüentemente, dos pontos onde é necessária a introdução de melhorias, bem como a determinação de ferramentas *Lean* que podem incrementar o desempenho do processo em análise (Arromba et al., 2019).

Efetivamente, após análise e mapeamento dos processos de negócio as ferramentas *Lean* podem auxiliar no alcance dos objetivos organizacionais. Recentemente, na literatura têm sido apontados vários estudos que integram a articulação do BPM com conceitos *Lean*, por exemplo, com sistemas *Kanban* baseados na filosofia *pull*, para controlo de fluxos de produção ou transporte (Retamozo-Falcon et al., 2019); 5S para atingir um modelo de organização baseado na limpeza, segurança e higiene (Retamozo-Falcon et al., 2019; Sousa et al., 2018); VSM (*Value Stream Mapping*) para ver e compreender um processo em pormenor e identificar desperdícios e tarefas de valor não acrescentado, dentro da organização e na cadeia de abastecimento (García-Domínguez et al., 2012; Retamozo-Falcon et al., 2019); e PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) que implica uma monitorização constante e aplicação de

medidas corretivas até se atingir os resultados esperados (Colin-Lozano et al., 2019; Ferenhof et al., 2018). Realçar também a importância da avaliação através de KPIs para quantificar o desempenho das implementações efetuadas e, da mesma forma, da metodologia adotada. Os KPIs ajudam na tomada de decisões, a promover a transparência do processo e funcionam como *guideline* para a tomada de decisão (Arromba et al., 2019).

A implementação de melhorias ajuda a transformar o modelo “*as-is*” num modelo “*to-be*”, mais favorável aos objetivos da empresa. De referir, que a integração desta abordagem fomenta a intervenção de toda a organização na compreensão do processo dada a simplicidade da mesma.

Neste seguimento, realçar ainda que em as pessoas são uma das variáveis mais importantes. A aplicabilidade de metodologias como *Lean* e BPM, influencia diretamente a estratégia organizacional. Como tal, é imperativo promover uma cultura orientada para a melhoria contínua, o envolvimento e motivação dos colaboradores. De facto, o sucesso das implementações depende essencialmente da forma como as atividades são desempenhadas pelos trabalhadores (Höök & Stehn, 2008). No mesmo sentido, o processo de aplicação de uma nova estratégia no seio da organização, implica um conhecimento profundo por parte da gestão de topo e a criação de ferramentas e meios necessários para apoiar os colaboradores na mudança e adaptação a uma nova realidade (Sawhney & Chason, 2008).

## II.4 Medição de Trabalho

Para além dos conceitos de *job design* – que determina a especificação do conteúdo e métodos de trabalho, e *análise de métodos* – que se dedica à determinação como um trabalho deve ser realizado; também o conceito de **medição de trabalho** representa um insumo de extrema importância para as organizações (Stevenson, 2021).

A medição de trabalho procura delimitar o tempo necessário para se completar um trabalho. Os tempos de trabalho são indicadores vitais para o planeamento de capacidade produtiva, determinação da força de trabalho, estimativa de custos, calendarização, avaliação de desempenho, comparação de processos alternativos, orçamentação e desenvolvimento de sistemas de incentivo. Paralelamente, segundo uma visão dos trabalhadores, os padrões de tempo indicam a parcela de tempo que estes devem despende para realizar um dado trabalho em condições normais de execução, funcionando como um incentivo em direção ao objetivo da empresa e uma realização pessoal quando o mesmo é atingido. Este indicador, para além do tempo de atividade esperado, deve incluir uma previsão para atrasos prováveis (Heizer et al., 2017; Stevenson, 2021).

O tempo padrão reflete a quantidade de tempo requerida para um trabalhador qualificado executar uma dada tarefa, mediante a utilização de um método de trabalho, ferramentas e equipamentos, materiais e local de trabalho adequados, com um esforço normal. Isto é, trabalhando a um ritmo constante ao longo do horário laboral. Estes tempos nem sempre são de obtenção fácil dada a variabilidade de desempenho associada ao homem (Stevenson, 2021).

Os tempos padrão podem ser obtidos pelas organizações de diferentes formas, destacando-se: (1) dados históricos, (2) tempos padrão pré-determinados, (3) estudo de tempos e (4) amostragem de trabalho (Heizer et al., 2017; Stevenson, 2021). Seguidamente, são descritos os métodos com aplicabilidade para o estudo realizado.

## **Dados Históricos**

Os dados históricos compreendem uma avaliação/juízo de um especialista na estimativa do tempo necessário para executar a tarefa. Esta estimativa resulta da experiência adquirida em tarefas semelhantes realizadas anteriormente, cujos dados históricos de estudo de tempos são conhecidos. Este método pode implicar avaliações subjetivas sempre que uma dada tarefa apresenta alguma variação face ao conhecimento histórico, dependendo, neste caso, a definição de tempo, da interpolação de dados e/ou sensibilidade do analista.

Esta abordagem permite a obtenção de padrões de tempo de forma potencialmente económica a nível de esforço e custo. Além disso, não implica interrupções do trabalho e pode ser executado ainda em fase de definição do projeto.

No entanto, destacar que o método é pouco objetivo e preciso, na medida em que depende da capacidade dos especialistas para a obtenção de boas estimativas. Por outro lado, nem sempre são conhecidas as condições de obtenção de dados, podendo estes ser tendenciosos e pouco precisos (Heizer et al., 2017).

## **Estudo de Tempos**

O método de estudo de tempos foi desenvolvido por Frederick Taylor em 1981 e atualmente é considerado o método mais preciso para obtenção do tempo padrão. Para além da obtenção do tempo padrão, esta metodologia permite à empresa determinar a sua capacidade produtiva, balancear linhas de produção e montagem e, conseqüentemente, contribuir com dados importantes para o planeamento de produção, tornando-o mais eficiente e realista (Stevenson, 2021).

Este estudo, baseia-se na observação e cronometragem de uma amostra de trabalho, durante vários ciclos. Segundo Heizer et al. (2017), um estudo de tempos deve seguir um conjunto de oito etapas:

### **1. Definição da tarefa em estudo e informar o colaborador do estudo:**

É importante familiarizar os trabalhadores sobre o objetivo do estudo. Por vezes, estes podem sentir-se desconfortáveis e impulsioneados a alterar o método de trabalho durante a observação. Como tal, o analista deve promover a cooperação com o colaborador (Stevenson, 2021).

### **2. Divisão da tarefa em unidades elementares de trabalho (UET):**

A tarefa em estudo deve ser dividida em unidades elementares de trabalho para facilitar o estudo de tempos. A divisão proposta deve ter um início e fim bem definido, para facilitar a cronometragem. As UETs devem corresponder a métodos de trabalho padrão, que já tenham sido executados durante algum tempo em ambiente normal de produção (Heizer et al., 2017).

### 3. Determinação do número de ciclos a observar:

O número de ciclos a observar deve ser calculado em função de três parâmetros: (1) variabilidade dos tempos observados, (2) precisão requerida e (3) nível de confiança desejado para a estimativa do tempo de trabalho. A precisão, por norma, é apresentada sob a forma de percentagem da média dos tempos observados. Nesse caso o tamanho da amostra necessário para atingir o objetivo definido é determinado pela seguinte fórmula:

$$n = \left( \frac{Z \times s}{p \times \bar{t}} \right)^2 \quad (1)$$

Em que:

n- Tamanho requerido da amostra;

p- Precisão da estimativa;

$\bar{t}$ - Tempo médio observado para cada UET;

s- Desvio padrão da amostra dos tempos observados para uma UET;

Z- Desvio padrão normal para o nível de confiança desejado.

Os valores típicos de Z a usar neste cálculo são:

Confiança desejada (%)	Z
90	1,65
95	1,96
95,5	2,00
98	2,33
99	2,58

Tabela 2: Valores típicos de Z usados no Estudo de Tempos

Alternativamente, pode ser usada outra fórmula, quando a precisão requerida, é apresentada como uma quantidade da medida em estudo em vez de uma percentagem. Nesse caso deve-se calcular o valor de n pela seguinte fórmula:

$$n = \left( \frac{Z \times s}{e} \right)^2 \quad (2)$$

Em que:

e- Quantidade máxima aceitável de erro de tempo.

Para fazer uma estimativa do tamanho da amostra, tipicamente é utilizado um pequeno número de observações (entre 10 a 20) e é calculado o  $\bar{t}$  e s. Na prática, estas fórmulas podem ou não ser utilizadas, dependendo da analista e da sua experiência. Por vezes, este tem confiança suficiente para definir o número de observações sem recorrer a cálculos (Stevenson, 2021).

#### 4. Cronometrar o tempo real observado para cada UET:

As UETs nesta fase devem ser cronometradas e, para tal, devem ser selecionados colaboradores treinados na execução das tarefas. Pode ser efetuada uma cronometragem contínua, em que o cronómetro apenas é desligado no final da execução da tarefa; ou em alternativa pode ser cronometrada cada UET individualmente (Heizer et al., 2017).

#### 5. Cálculo o tempo médio obtido (média aritmética dos tempos de cada UET):

$$\bar{t}_{UET} = \frac{\sum t_{UET}}{\text{Número de Observações}} \quad (3)$$

Em que:

$\bar{t}_{UET}$  – Tempo médio para cada UET;

$\sum t_{UET}$  – Somatório de tempo das observações efetuadas para cada UET.

Se um elemento de trabalho não ocorrer a cada ciclo, o seu tempo médio deve ser determinado separadamente e esse valor deve ser incluído no tempo observado (Stevenson, 2021).

#### 6. Determinação do tempo normal avaliando a performance do colaborador:

O tempo normal é o tempo observado ajustado para o desempenho do trabalhador. Isto é calculado multiplicando o tempo observado por uma classificação de desempenho e pela frequência de realização da UET.

$$NT = \bar{t}_i \times RF \times RF_{freq} \quad (4)$$

Em que:

NT- Tempo normal;

$\bar{t}_i$  - Tempo médio observado para cada Unidade Elementar de Trabalho (UET);

RF- Fator de desempenho;

$RF_{freq}$ - Frequência de realização da UET.

A inclusão do fator de desempenho é importante para ter em consideração a variabilidade na taxa de produção. Assim sendo, é atribuído este fator de desempenho de forma a ajustar os tempos observados ao ritmo “médio” de produção.

Se  $RF=1$  a tarefa foi desempenhada a um ritmo normal, se  $RF>1$  a tarefa foi desempenhada a um ritmo superior ao normal e se  $RF<1$  a tarefa foi desempenhada a um ritmo inferior ao normal (Stevenson, 2021).

#### 7. Adição dos tempos normais para cada elemento para encontrar o tempo normal total para a tarefa:

Para determinar o Tempo Normal da tarefa procede-se ao somatório do tempo normal calculado para cada UET (Heizer et al., 2017).

## 8. Adição do fator de compensação ao tempo normal, para obtenção do tempo padrão:

O tempo normal não tem em consideração fatores como, o cansaço do trabalhador, atrasos, condições do ambiente de trabalho, entre outros. Pelo que, para calcular o tempo padrão, é necessário multiplicar o tempo normal por um fator de compensação que contempla esse tipo de variáveis. Assim sendo, este indicador é calculado pela seguinte fórmula:

$$ST = NT (1 + A) \quad (5)$$

Em que:

ST- Tempo padrão;

A- Fator de compensação que entra em linha de conta com os efeitos da fadiga, os períodos de descanso e as paragens imprevistas.

Na prática, o fator de compensação calcula-se tendo por base a tabela de fatores de compensação (em percentagem) para vários tipos de trabalho (Tabela 3).

Percentagem (%)	Percentagem (%)
A. Tolerâncias invariáveis:	4. Iluminação deficiente:
1. Tolerâncias para necessidades pessoais . . . 5	a. Ligeiramente abaixo do recomendado . 0
2. Tolerâncias básicas para a fadiga. . . . . 4	b. Bem abaixo do recomendado . . . . . 2
B. Tolerâncias variáveis:	c. Muito inadequado. . . . . 5
1. Tolerância para permanência em pé . . . . 2	5. Condições atmosféricas
2. Tolerância de postura:	(calor e umidade) - variável. . . . . 0-10
a. Ligeiramente desajeitada. . . . . 0	6. Atenção:
b. Desajeitado (curvada) . . . . . 2	a. Trabalho razoavelmente bom . . . . . 0
c. Muito desajeitada (deitada, esticada). . . 7	b. Bom ou exigente. . . . . 2
C. Uso de força ou energia muscular	c. Muito bom ou muito exigente. . . . . 5
(levantar, puxar ou empurrar):	7. Nível de ruído:
Peso levantado (em Kg):	a. Contínuo. . . . . 0
2,5. . . . . 0	b. Intermitente - alto. . . . . 2
5 . . . . . 1	c. Intermitente - muito alto. . . . . 5
7,5. . . . . 2	d. Em tom agudo - alto. . . . . 5
10. . . . . 3	8. Tensão mental:
12,5 . . . . . 4	a. Processo bastante complexo. . . . . 1
15. . . . . 5	b. Extensão de atenção complexa . . . . . 4
17,5 . . . . . 7	c. Muito complexo. . . . . 8
20. . . . . 9	9. Monotonia:
22,5. . . . . 11	a. Baixo . . . . . 0
25. . . . . 13	b. Médio. . . . . 1
27,5 . . . . . 17	c. Alto . . . . . 4
30 . . . . . 22	10. Grau de Tédio:
	a. Bastante tedioso. . . . . 0
	b. Tedioso. . . . . 2
	c. Muito tedioso. . . . . 5

Tabela 3: Valores típicos considerados para o fator de compensação (adaptado de Stevenson, 2021)

No âmbito do projeto, o Estudo de Tempos, dada a variabilidade de dados recolhidos, foi essencial para avaliar o desempenho real do processo e fazer uma comparação com o tempo *standard* estabelecido para cada tarefa, permitindo, desta forma, estabelecer qual a prioridade de atuação, perante a evidência dos pontos críticos.

### **III. Caso de Estudo**

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo desenvolvido no âmbito do projeto de estágio. Numa primeira secção, é feita a contextualização ao estudo através da apresentação do setor industrial e da empresa em questão, com explanação do produto e processo em análise. Posteriormente, numa segunda secção, é apresentado o caso prático que suporta o alcance dos objetivos organizacionais pretendidos, com a apresentação da análise da situação inicial, processo de formulação de sugestões de melhoria e avaliação de resultados.

#### **III.1 Setor Industrial e a Empresa**

Nesta secção é feita uma abordagem ao setor da energia eólica, sendo referenciados aspetos como a evolução, desafios atuais e perspetivas futuras.

Adicionalmente, para contextualização do projeto, é realizada uma apresentação do Grupo e da SGRE Blades. Na mesma sequência, são apresentadas as turbinas eólicas como motor de produção da energia e, posteriormente, com maior pormenor, são caracterizadas as pás eólicas que correspondem ao produto fabricado na empresa. Mais especificamente são depois apresentadas algumas características da Plataforma 5.X *Onshore* da Siemens, na qual se insere o projeto em análise. Por fim, é referenciado e representado o processo para obtenção da pá colada e, resumidamente, é apresentado o processo para obtenção da pá acabada. De ressaltar que o âmbito do projeto incide na otimização do processo apenas no que diz respeito à obtenção da pá colada (antes da fase dos acabamentos).

##### **III.1.1 Setor da Energia Eólica**

A energia é um dos insumos mais importantes para o desenvolvimento económico e para a industrialização. Um fornecimento de energia confiável é crucial para garantir e melhorar as condições de vida do ser humano (Mostafaeipour, 2010).

As fontes de energia renovável são um segmento importante na estratégia de desenvolvimento sustentável, promovendo uma redução na necessidade de importação de energia. A longo prazo, podem contribuir para o aumento da competitividade da indústria, ter impacto positivo no desenvolvimento regional, assim como na empregabilidade (Mostafaeipour, 2010).

A conversão de energia e a melhoria da eficiência reivindicaram-se como uma prioridade mundial para garantir o fornecimento de energia e ao mesmo tempo enfrentar os desafios das mudanças climáticas, redução das emissões de gases de efeito de estufa, proteção da biodiversidade e desenvolvimento de tecnologias renováveis. Entre todas as fontes de energia renovável, a energia eólica é o setor que apresenta o maior crescimento em termos de capacidade instalada (Gijo & Sarkar, 2013; Tchakoua et al., 2014).

À medida que a procura por energia eólica continua a crescer, a redução de custos operacionais e de manutenção, e o aumento da confiabilidade tornaram-se prioridades na estratégia de manutenção das turbinas eólicas (Tchakoua et al., 2014).

Ao longo dos últimos anos, o preço das turbinas eólicas tem vindo a decair e a sua eficiência operacional tem melhorado substancialmente (Nagy et al., 2018). O aumento de tamanho das turbinas e a conseqüente redução de custo por MW implica uma redução no custo da energia eólica (Tchakoua



et al., 2014). De facto, o custo da energia eólica baixou significativamente, sendo mais atrativa para proprietários de serviços públicos (Nagy et al., 2018).

Segundo os dados mais recentes do *Global Wind Energy Council* (GWEC), em 2019 foram instalados globalmente 60.4 GW de capacidade de energia eólica, o que representa um aumento de 19% face às instalações efetuadas em 2018. Assim, a capacidade total de energia eólica é, atualmente, superior a 651 GW, 10% superior em relação a 2018. A China e os EUA representam os maiores mercados eólicos *onshore* do mundo, totalizando 60% da nova capacidade instalada em 2019. O mercado *offshore* também apresenta um crescimento avultado de 6.1 GW em 2019 (WindEurope, 2021).

De acordo com *Wind Energy Association* (WWEA), 2019 foi o segundo ano mais forte em termos de crescimento de mercado para a energia eólica. As turbinas instaladas em 2019 têm a capacidade de cobrir mais de 6% da procura global de eletricidade.

A nível europeu, segundo uma análise interna da *WindEurope* em 2020, a Europa instalou 14,7 GW de capacidade, o que representa uma queda de 6% face ao ano anterior devido ao impacto da COVID-19 no setor eólico *onshore*. Ainda assim, 2020 foi o terceiro maior ano em termos de instalações e os parques eólicos da Europa cobriram 16 % da procura de eletricidade na Europa (EU 27 e Reino Unido) (WindEurope, 2021).

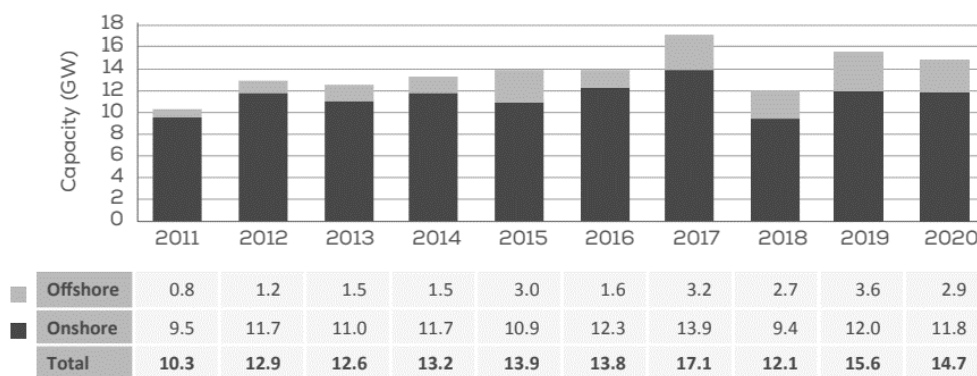


Figura 6 : Evolução da capacidade instalada de energia eólica na Europa (retirado de WindEurope, 2021)

Segundo as perspetivas mais positivas para os próximos cinco anos, prevê-se uma instalação de cerca de 105 GW de nova capacidade eólica, condicionada pelas medidas governamentais vigentes. Das novas instalações, 70-72% representarão energia eólica *onshore*. Pelo contrário, as perspetivas menos otimistas, baseadas nas consequências da pandemia e incapacidade dos governos implementarem estratégias eficazes de combate à pandemia, preveem uma instalação de menos de 80 GW entre 2021 e 2025 (WindEurope, 2021).

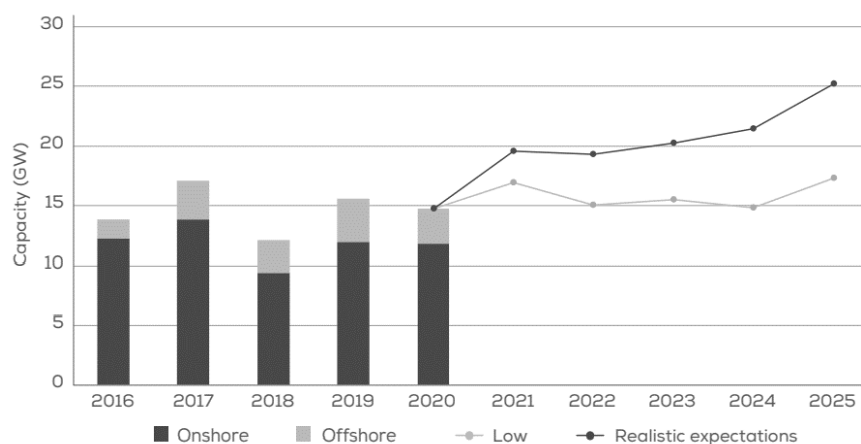


Figura 7: 2021-2025 Capacidade instalada de energia eólica na Europa – Cenários (retirado de WindEurope, 2021)

### III.1.2 O Grupo Siemens Gamesa Renewable Energy

A Siemens Gamesa Renewable Energy S.A, com sede em Zamudio, Espanha, surgiu como resultado da fusão da Wind Power com a Gamesa, no ano de 2017. Considerada líder global na indústria de energia eólica, apresenta um amplo portefólio de produtos e presença consolidada em todas as facetas do negócio, nomeadamente, *offshore*, *onshore* e prestação de serviços. Com mais de 107 GW instalados em todo o mundo, a Siemens Gamesa fabrica, instala e garante a manutenção de turbinas eólicas (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021a).

O Grupo tem uma forte consolidação global estando presente em todo o mundo, com negócios distintos. Esta diversificação geográfica coloca-os mais perto dos clientes e torna as cadeias de abastecimento globais com capacidade de se estenderem a todas as regiões. A SGRE conta com uma força de trabalho diversificada, com cerca de 100 nacionalidades diferentes, contabilizando um número total de aproximadamente 24 500 funcionários. Segundo um ponto de vista regional, a Europa, Médio Oriente e África apresentam a maior proporção de força de trabalho (67%), seguidas da Ásia e Austrália (20%) e, por fim América do Norte e Sul (14%) (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021b).

Na Siemens Gamesa, a melhoria é uma preocupação constante para conseguir soluções renováveis mais eficientes – energia mais limpa, confiável, mais acessível e com maior valor percebido para os principais interessados. Neste sentido, a liderança tecnológica é umas das mais importantes vantagens competitivas do Grupo, permitindo-lhes oferecer produtos de alta qualidade para todas as condições eólicas e geográficas, assentes nas necessidades e requisitos dos clientes (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021c).

Para além dos resultados financeiros e empresariais, a Siemens Gamesa está altamente comprometida com o desenvolvimento sustentável. O grupo almeja “ser líder mundial no setor das energias renováveis, impulsionando ações para um mundo sustentável” e rege-se por seis valores fundamentais, que estão na base de todo o seu funcionamento - orientação para resultados, foco no cliente, inovação, liderança eficaz, compromisso e responsabilidade e valorização das pessoas.

### III.1.2.1 SGRE Blades

Fundada em 2009, a Ria Blades SA nasceu no seguimento da atribuição da fase B do concurso nacional de gestão de parques eólicos ao consórcio Ventinveste (constituído em 2007 pela Galp, Martifer, Repower, Efacec e Enersis).

Em janeiro de 2009 foram recrutados os primeiros cargos e em maio do mesmo ano os primeiros operadores, dando-se por esta altura, início à Escola de Formação Prática com funcionamento em instalações alugadas na Zona Industrial de Vagos. Neste mesmo mês, foram adquiridos os terrenos para instalação definitiva da empresa e foi iniciada a sua construção no Parque Empresarial de Soza, no concelho de Vagos, distrito de Aveiro. A fábrica assume um posicionamento estratégico para facilitar a expedição das pás. A proximidade junto à A-17 permite otimizar em termos logísticos o transporte do produto final.

Perante a dificuldade de selecionar colaboradores com experiência e conhecimento relativo ao produto e processo, a Ria Blades investiu vigorosamente na formação dos seus colaboradores por um longo período, tendo sido a primeira pá desmoldada apenas passado um ano do início da Escola de Formação Prática - em maio de 2010.

Em 2011 a empresa produz o primeiro *set* (3 pás) e neste mesmo ano, atinge o marco de 100 pás do modelo RE45.2, o único produzido em série até então. No ano seguinte, inicia-se a produção do RE50.8. E, em 2013, é atingido um novo marco importante com a produção da pá número 1000 do projeto RE45.2. Neste mesmo ano são confiados à organização mais dois novos grandes projetos - RE55.8 e o RE59.8. Em 2015, a empresa contabilizava nove moldes de pás e iniciava o arranque de um novo projeto, o RE40.

Face ao crescimento evidente tornou-se uma necessidade o aumento das instalações que ficou concluído no final do ano de 2017, contabilizando um investimento de 16 milhões de euros. Atualmente, a empresa tem uma área total de 83 000 m<sup>2</sup> (Figura 8).



Figura 8: SGRE Blades SA

Em 2019, a empresa destaca-se pela instalação de uma turbina eólica no recinto fabril, a maior em Portugal, com o objetivo de aumentar a sua sustentabilidade e gerar energia para autoconsumo, reduzindo assim os seus custos energéticos.

Em fevereiro desse mesmo ano, após uma série de erros operacionais que conduziram a uma crise de liquidez, a Senvion estabeleceu um plano de ações para reorganizar a empresa e apresentou em tribunal alemão um pedido de insolvência. Neste seguimento, em janeiro de 2020, foi concretizada a compra da Ria Blades pela Siemens Gamesa Renewable Energy.

Em comunicados oficiais, o grupo sublinha a consistência do negócio destacando a competitividade da Ria Blades a nível europeu. Com esta aquisição a Siemens pretendia reforçar a sua presença nos negócios *onshore*, absorvendo o crescimento esperado de fornecedores externos, principalmente da Ásia e tornar-se um centro de exportação para mercados internacionais. Para além disso, o grupo passa a aumentar a sua capacidade de produção.

Segundo, Alfonso Faubel, CEO da unidade de negócios *Onshore* da Siemens Gamesa, a Ria Blades é “uma fábrica de última geração que se complementa muito com a nossa pegada atual. A nova fábrica vai ajudar-nos a servir diferentes mercados com diferentes modelos e vamos fazê-lo de acordo com os mais elevados padrões de qualidade de fabrico” (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021d).

Também Markus Tacke, CEO da Siemens Gamesa destaca a importância do negócio, na medida em que “(...) estamos a operar num ambiente de mercado altamente competitivo e, para manter o sucesso neste ambiente, é exigido que nos esforcemos continuamente para encontrar formas de crescer e nos adaptarmos à dinâmica do mercado” (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021d).

Face à inclusão num novo grupo, em março de 2021, o nome da empresa passou a ser Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S. A.. Adicionalmente, vários procedimentos e métodos de trabalho foram alterados e pode-se afirmar que a fábrica se encontra ainda numa fase de mudança e estabilização face às normas da Siemens Gamesa. A própria estrutura organizacional sofreu alterações e, neste momento, a SGRE Blades apresenta uma estrutura mais horizontal, com uma menor diferenciação hierárquica de cargos face a um cenário anterior (Figura 9).

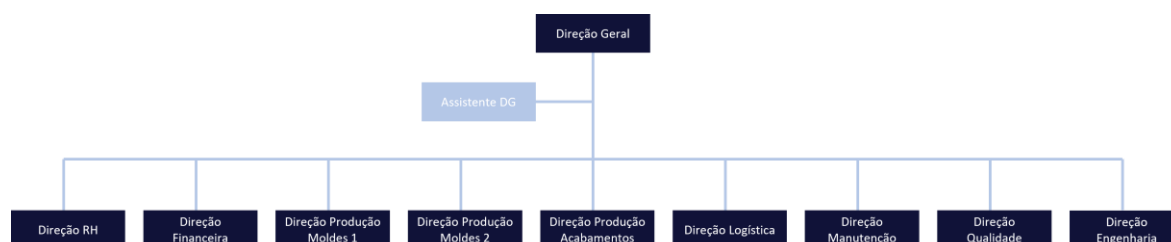


Figura 9: Organograma SGRE Blades

Ao momento, a empresa tem em mãos três grandes projetos distribuídos por 4 linhas de produção, emprega cerca de 1000 colaboradores e labora em 3 turnos, ou seja, 24 horas por dia, durante 5 dias por semana. Num futuro próximo, calcula-se um investimento exponencial na empresa e, conseqüentemente, um crescimento tanto a nível de recursos como produção.

### III.1.3 O Produto

Uma turbina eólica é um equipamento rotativo, que utiliza a energia do vento para gerar energia elétrica. De uma forma simplificada, o composto das pás que constituem a turbina giram por ação da força do vento, fazendo girar o rotor, que por sua vez transmite uma rotação multiplicada ao gerador. O gerador em conjunto com o conversor transforma a energia mecânica recebida em energia elétrica.

Existem duas categorias básicas de turbinas eólicas - as de eixo vertical e as de eixo horizontal. Dentro destas categorias podemos ainda ter turbinas constituídas por um número variável de pás. No

entanto, dadas as vantagens a nível de eficiência energética, destaca-se a utilização das turbinas de eixo horizontal constituídas por três pás.

Por conseguinte, e no âmbito do projeto, a turbina é formada por um conjunto de **três pás** (*set*), pela **hub** que funciona como elemento de fixação das pás e transmite o movimento de rotação, pela **torre** que suporta todos os componentes numa altura apropriada ao seu funcionamento, pela **nacele** que agrupa o conjunto de elementos essenciais ao processo de conversão de energia, incluindo a **gearbox** que multiplica a velocidade de rotação das pás, permitindo que o **gerador** converta a energia mecânica em energia elétrica (IRENA, 2021). Os componentes principais de uma turbina encontram-se representados na Figura 10.

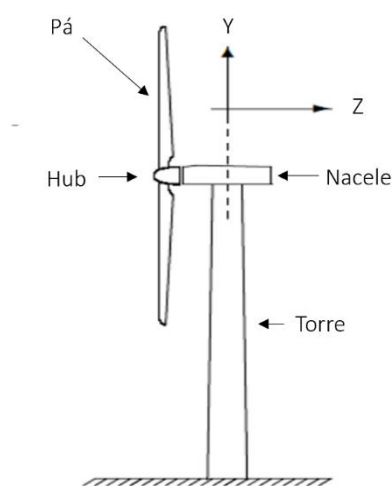


Figura 10: Componentes principais de uma Turbina Eólica (adaptado de Azimi & Menhaj, 2015)

As **pás** eólicas são consideradas os constituintes mais importantes da turbina, na medida em que são os componentes responsáveis por captar a energia do vento. Como tal, o *design* da pá é extremamente importante devendo ser estrategicamente concebido para captar o máximo de energia possível e operar sob condições ambientais mais ou menos extremas, garantido um ciclo de vida dentro do esperado.

As pás das turbinas são constituídas maioritariamente por materiais compósitos, e apresentam uma forma aerodinâmica pensada para incrementar o desempenho da rotação, ou seja, a criação de potência mecânica que, posteriormente é convertida em energia elétrica (Willis et al., 2018). Os materiais compósitos são amplamente utilizados por apresentarem características específicas que conferem à pá alta rigidez e resistência, alto desempenho anti fadiga (Lanting, 2012) e elevada proporção entre a rigidez e o peso (Jureczko et al., 2005).

Assim sendo, a projeção de uma turbina tem em vista o alcance da maior produção de energia possível sob condições atmosféricas variadas, o que, segundo um ponto de vista técnico, depende do formato e dimensão da pá (Jureczko et al., 2005).

Ao momento, na SGRE Blades, são fabricados três modelos de pás que dizem respeito a três grandes projetos da Siemens Gamesa *Onshore* – SG 145, SG 155 e SG 170. Destes, todo o processo de industrialização/prototipagem, dos dois últimos (Plataforma 5.X) esteve a cargo da SGRE Blades, apresentando um dos maiores desafios para a empresa nos últimos anos.

### III.1.3.1 Plataforma 5.X Onshore Siemens Gamesa

A abordagem *Onshore* da Siemens Gamesa distingue-se pela fiabilidade, robustez, design modular e flexível para uma adaptação eficiente em diferentes locais e para diferentes condições ambientais. Assente nestas premissas, surgiu a plataforma *Onshore* 5.X da Siemens Gamesa, que oferece uma proposta de valor excepcional para os clientes. Esta plataforma traduz uma nova geração de turbinas que supera os patamares, até então, ao nível de desempenho, eficiência, custos e confiabilidade (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021e).

A nova plataforma 5.X da Siemens Gamesa incorpora dois novos modelos de turbinas eólicas: SG 5.8-155 e SG 5.8-170.

Ao longo dos últimos anos, os diâmetros de rotação das turbinas têm aumentado de forma a incrementar a captura de energia e reduzir o LCoE (*Levelized Cost of Energy*). A esta tendência estão subjacentes abordagens inovadoras, no que diz respeito à matéria-prima utilizada e estratégia de fabrico das pás (Willis et al., 2018).

Estes modelos distinguem-se pela utilização de Placas de Carbono Pultrudado (PCP) que conferem à peça propriedades excecionais e, conseqüentemente, um melhor desempenho e flexibilidade do produto final. Estes projetos oferecem um desempenho e um custo nivelado de energia, LCoE, aprimorados. São uma referência ao nível de potência e apresentam dois dos maiores diâmetros de rotação no mercado, 155 e 170 metros. Exibem um desempenho máximo em condições de vento forte, médio e baixo; traduzem um maior AEP (*Annual Energy Production*) por turbina eólica e um CAPEX otimizado para o projeto.

Relativamente ao projeto SG 5.8-170 que é o âmbito específico deste trabalho, encontram-se resumidas na Tabela 4 as especificações técnicas do produto. A pá deste modelo apresenta um diâmetro de rotação em relação à *hub* de 170 metros (últimos três dígitos da designação do projeto) e um comprimento de 83 metros (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021e).

Detalhes Gerais	
Potência nominal	6,6 MW
Vento	Baixo e Médio
Classificação de potência flexível	Até 6.2 MW disponíveis
Rotação	
Diâmetro	170 m
Área de Varredura	22, 697 m <sup>2</sup>
Torre	
Altura	100, 115, 135, 165 m e específico p/local
Primeiro Protótipo	
Data	Início 2021

Tabela 4: Características técnicas Pá Eólica SG 170

A pá é constituída por duas *Main Shells* (MS), *Suction Shell* (SS) e *Pressure Shell* (PS) – que dão forma à pá (moldes principais) –, e um conjunto de pré-fabricados com funções estruturais e de resistência, designadamente *Cap* e *Rear Cap*, *Web* e *Rear Web*. O processo de fabrico destas peças é realizado

previamente, em moldes próprios, dando-se posteriormente a montagem de todos os componentes nos moldes principais para obter o produto final. Entre os pré-fabricados, a *Cap* e *Rear Cap* colocadas junto das fibras têm como função garantir estabilidade à parte externa da pá. Por sua vez, *Web* e *Rear Web* fazem a ligação entre a *Suction Side* e a *Pressure Side* assegurando que a pá não colapsa. Na Figura 11 encontra-se ilustrada a constituição da pá e localização dos respetivos elementos, representados de forma real na Figura 12.

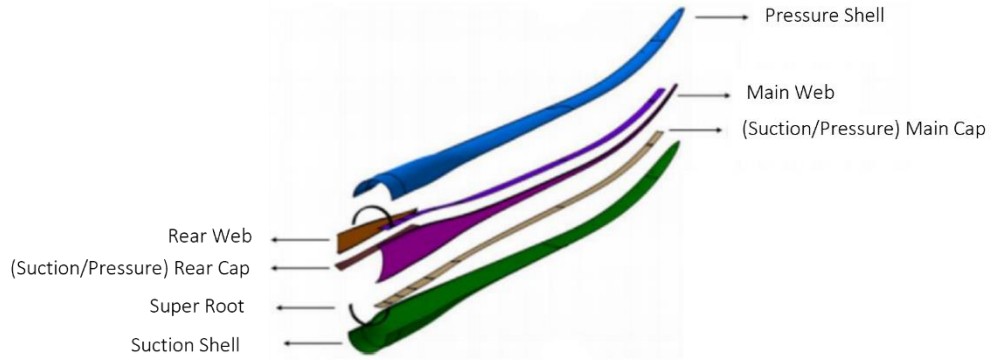


Figura 11: Representação da constituição Pá Eólica SG 170

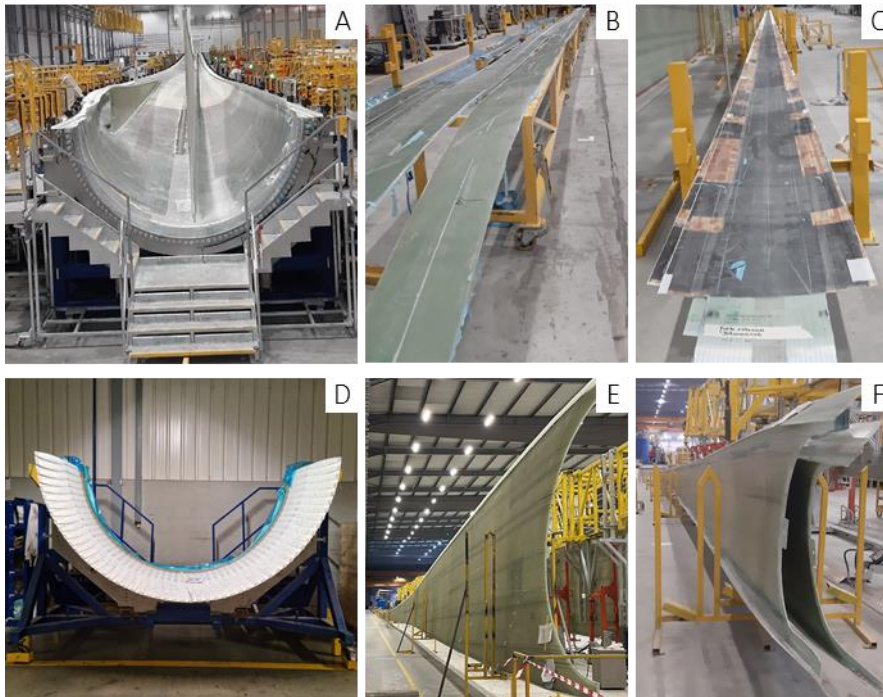


Figura 12: Componentes Projeto SG 170  
A-*Main Shell*; B-*Rear Caps*; C- *Main Cap*; D- *Flange/Bushings*; E- *Main Web*; F-*Rear Web*

### III.1.4 Processo

Para obtenção do produto final, podemos afirmar que o processo produtivo se divide em dois grandes grupos. Numa primeira fase temos a produção da pá colada no armazém dos moldes e, posteriormente, dá-se a preparação da peça para exportação no armazém dos acabamentos. Adicionalmente, com importantes funções de suporte à produção na fábrica, existe ainda uma área de corte onde são preparadas todas as fibras para os três projetos; o armazém de produção das *Super Roots*; um armazém logístico encarregue de todos os abastecimentos em linha para assegurar o correto funcionamento da produção; e uma área de resíduos onde é feita a separação dos mesmos para posterior distribuição externa, através da qual a empresa consegue recuperar algum capital.

Na Figura 13, é possível visualizar o *layout* da fábrica, no qual consta a identificação das posições fixas dos moldes principais e dos pré-fabricados.



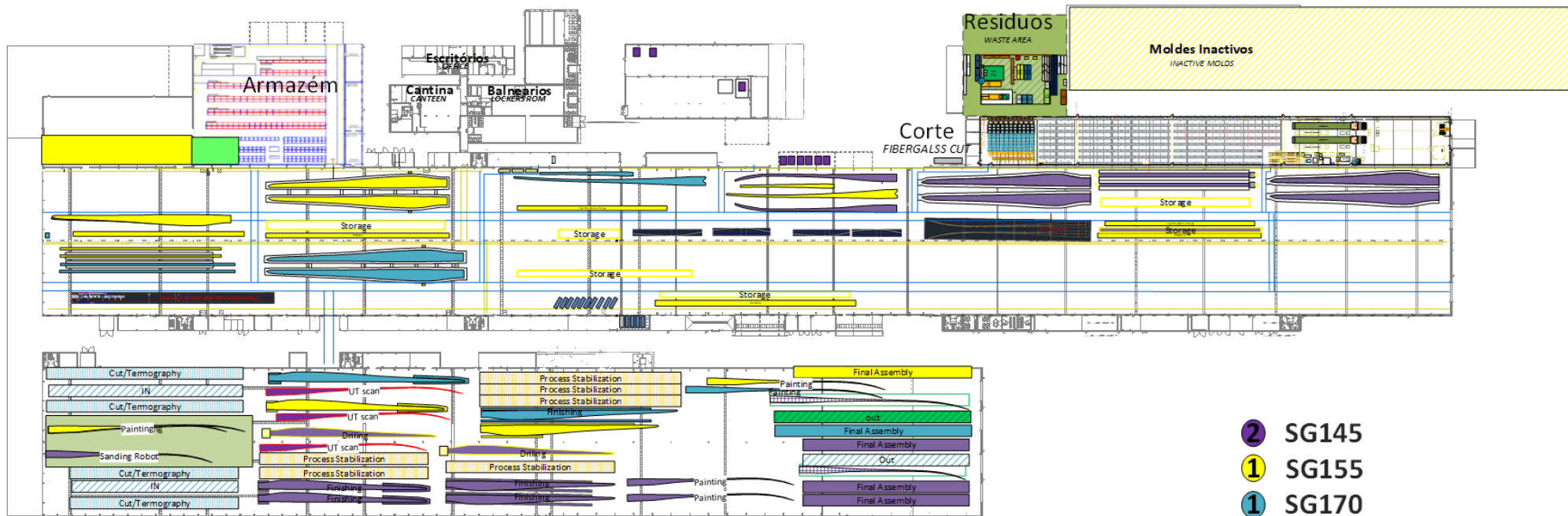


Figura 13: Layout SGRE Blades

O processo de fabrico da pá eólica é bastante extenso e complexo. Tal como referido anteriormente, este projeto está centrado nas operações de obtenção da **pá colada**, no edifício dos moldes. Assim sendo, para uma discretização mais detalhada das tarefas e um entendimento mais claro do processo é feita uma representação do mesmo, recorrendo à notação *Business Process Model and Notation 2.0*. A modelação do processo foi desenvolvida utilizando o *software Signavio Process Manager* (versão académica).

Adicionalmente, para uma melhor compreensão de todo o fluxo produtivo, será feita uma breve descrição do processo produtivo na ala dos acabamentos, com a obtenção da pá até à fase de expedição.

### Processo de Obtenção Pá Colada

No edifício dos moldes, numa primeira fase, o molde tem de ser devidamente preparado. É executada uma limpeza na qual têm de ser removidos os resíduos de material que permanecem após desmoldagem da pá anterior (principalmente resina, restos de fibra e *tacky tape*). De seguida, é aplicado o desmoldante em toda a superfície do molde e é feita toda a **preparação externa**, que inclui o posicionamento dos canais de vácuo e membranas para circulação e extração do ar na peça. Esta preparação inicial é fulcral para minimizar os defeitos a nível externo na pá. Nesta fase, é também colocado o *veil*, de forma a proteger a superfície do molde e auxiliar a desmoldagem da pá no final do processo.

Posteriormente, ocorre a fase **layup** (**layup externo e layup interno**) na qual são sobrepostos os vários materiais que constituem o corpo da pá. Primeiro, durante o **layup externo**, são colocadas as várias camadas de fibra de vidro, em zonas bem definidas previamente e com sobreposições determinadas para conferir à pá as propriedades desejadas. Entre o **layup interno** e **layup externo** são colocados os pré-fabricados: *Cap* e *Rear Cap*. Deve-se ter em atenção que a ripagem destas peças só pode ter acontecido até 12h antes da sua colocação. Por esta altura, a flange é transportada e fixada no molde. Depois passa-se à distribuição do *core* (balsa e espuma) ao longo da peça. Os operadores durante o processo devem ter em consideração os *gaps* existentes entre o material, fazendo retrabalho sempre que necessário. De seguida, passa-se para a adição de mais camadas de fibra de vidro, constituindo esta etapa a fase de **layup interno**.

Posteriormente, ocorre a preparação da peça para infusão com a execução do **RIM** (*Removable Infusion Materials*) constituído por um conjunto de material que será posteriormente removido da peça e que tem como principal finalidade conduzir da forma requerida o fluxo de resina. Depois, são colocados os sacos na peça e o sistema de vácuo é ativado. A infusão só pode ser iniciada quando o valor de vácuo estabilizar e não sofrer uma queda superior aos limites estabelecidos, caso contrário têm de ser identificados os pontos de fuga e volta-se a realizar o teste. Quando as condições são favoráveis, procede-se, então, à **infusão** através de uma mistura de resina *epóxi* com endurecedor, que é uniformemente dispersa por ação da força de vácuo. A temperatura de infusão varia entre os 35°C e os 45°C, consoante as condições atmosféricas vigentes. Subsequentemente, ocorre a **cura** da peça por aquecimento controlado dos moldes e isolamento através de mantas térmicas. A receita de cura existente atinge temperaturas máximas de 85°C. Obtém-se, no final desta etapa, uma peça sólida.

Após término da 1ª cura, valida-se a Tg final da peça (temperatura de transição vítrea), calculada através de uma ferramenta digital com base numa relação entre tempo de exposição a uma dada temperatura. Se a Tg estiver conforme especificação, após arrefecimento da peça procede-se à **ripagem** da *Main Shell*, ou seja, à remoção do RIM e sacos de vácuo. Posteriormente, um técnico de qualidade realiza a inspeção à MS. Em caso de anomalias, é lançado uma *Non Conformity Order (NCR)*, a peça tem de ser retrabalhada e validada novamente por um técnico de qualidade.

Quando tudo estiver conforme, é feita a **colagem da Web e Rear Web** na MS SS, por cima dos pré-fabricados colocados anteriormente (*Cap e Rear Cap*). A cola passa por um processo de cura a 90°C e, numa fase seguinte, após catalisação, procede-se à **colagem da pá**. Para tal, adiciona-se cola na parte superior da *Web e Rear Web* e em zonas de colagem definidas na MS SS e MS PS. A colagem fica concluída com o fecho de molde do lado PS sobre o lado SS.

Por último, dá-se o processo de **cura da pá fechada**. Analisa-se a Tg da cola e, se estiver de acordo coma as especificações, procede-se ao arrefecimento da peça e, posteriormente, à abertura de molde para realização da desmoldagem. A pá encontra-se devidamente identificada por uma etiqueta e é transportada para o armazém dos acabamentos onde é preparada para exportação.

A pá colada encontra-se representada na Figura 14 e o processo de obtenção mapeado em BPMN 2.0 na Figura 15.



Figura 14: Pá SG170 Colada

Relativamente à produção dos pré-fabricados, o processo de fabrico é muito semelhante ao supramencionado, englobando as operações de preparação de molde, *layup* de fibra de vidro e *core* (balsa e espuma), a infusão, cura e, no final, a desmoldagem. Estas peças são transportadas para *stock* para, mais tarde, se dar a assemblagem de todos os componentes no molde principal.

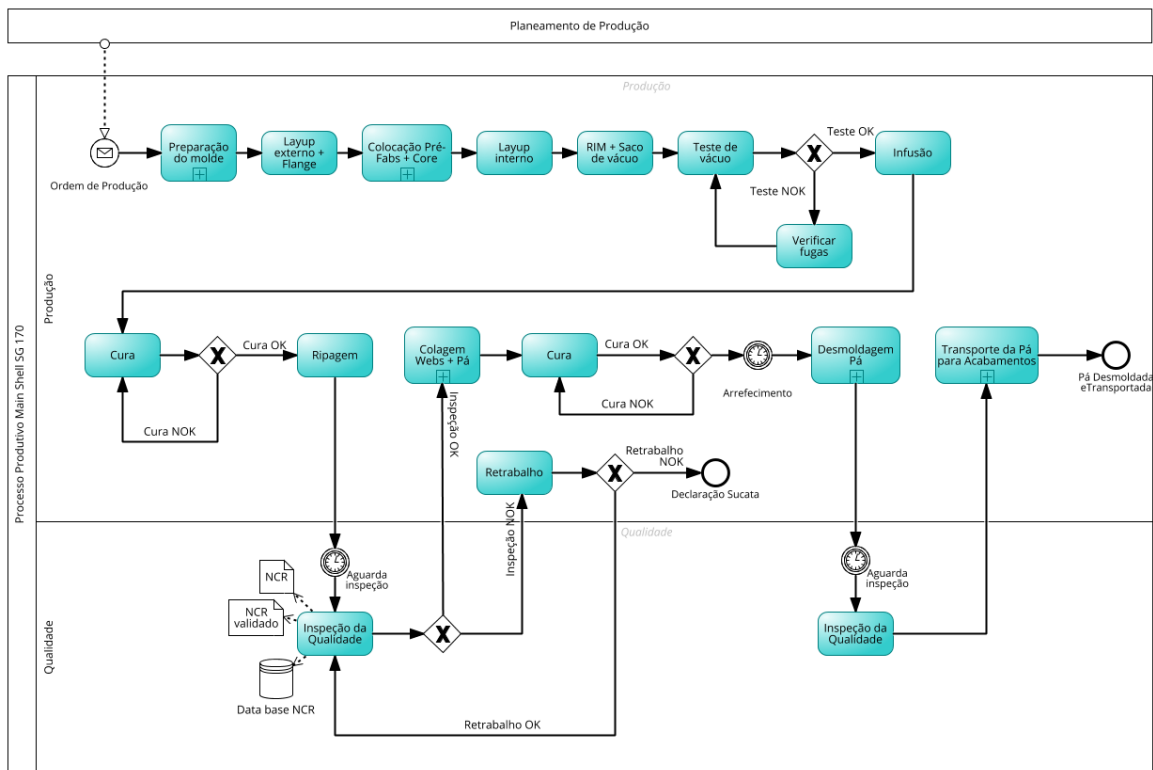


Figura 15: BPMN 2.0 Processo de Obtenção da Pá Colada

### Processo de Obtenção Pá Acabada

No armazém dos acabamentos a pá passa por um conjunto de cinco posições onde são realizadas operações de finalização, sendo elas:

- **Posição 0** – Nesta fase dá-se o corte e desbaste de materiais em excesso, por exemplo, cola e fibra impregnada. Adicionalmente é realizado o despolimento da superfície com auxílio de um *robot* para o efeito.
- **Posição 1** – Ocorre a laminação de reforços na zona de junção das duas pás, lado TE e LE. Ao mesmo tempo, é realizado o despolimento da superfície e são colocadas massas nos primeiros metros. Deve também ser furado o percurso de drenagem.
- **Posição 2** – Nesta posição dá-se a preparação da superfície para aplicação de massas, retificação dos insetos, assim como preparação e aplicação de *vortex's*.
- **Posição 3** – Os reforços colocados anteriormente têm de curar e, posteriormente, pinta-se a pá em três camadas. São montados componentes para minimizar o ruído (*Tabs, serrations e vortex's*), a RCO (estrutura de fibra que isola o interior da pá) e, por fim, o anel defletor.
- **Posição 4** – Na última fase, é realizada a pesagem da peça, avaliada a necessidade de calibração e a identificação do produto final, de forma a preparar a peça para transporte.

A pá acabada encontra-se representada na Figura 16.



Figura 16: Pá SG170 Acabada

### III.2 Caso Prático

Tal como referido anteriormente, o âmbito do trabalho de estágio passa por alcançar uma redução no tempo de ciclo do projeto SG 170 na obtenção da pá colada. À data de início do estudo estavam a ser produzidas as primeiras pás do projeto, como tal, face à prematuridade e desconhecimento do mesmo, a margem para aplicação de melhorias revelou ser bastante elevada.

A empresa encontrava-se, efetivamente, numa fase de aprendizagem e descoberta do processo, de metodologias e até mesmo de materiais. No entanto, os níveis de produção a partir de meados do ano 2021 eram bastante ambiciosos, sendo fulcral o estabelecimento de medidas que permitissem uma maior estabilização e conhecimento do processo para alcançar os níveis de produtividade desejados.

Assim sendo, o trabalho apresentado denota uma elevada importância para atingir os objetivos organizacionais da SGRE Blades num curto espaço de tempo. Espera-se, de facto, que este estudo permita à empresa identificar atividades de valor não acrescentado, desperdícios a eliminar e facilite determinadas operações, de forma a incrementar a sua margem de evolução e crescimento.

Numa fase inicial, para delinear o seguimento do projeto, foi feito um acompanhamento regular do processo em chão de fábrica, com uma presença muito próxima junto das equipas. Em simultâneo, foram recolhidos vários dados para uma análise objetiva das prioridades de atuação e identificação de oportunidades de melhoria. No processo de recolha e análise de dados foi efetuado um estudo de tempos, que permitiu encontrar um tempo padrão para cada unidade elementar de trabalho e avaliar a eficácia ou não do processo por comparação com os tempos objetivo. Depois de identificados os gargalos do processo e as fontes de desperdício, foram sucessivamente desenvolvidos e atualizados planos de ação, tendo em vista incrementar a eficácia e eficiência do processo. Mediante a elaboração desses planos surgiram várias propostas, cuja aplicabilidade e resultados serão discutidos nas secções seguintes.

De realçar que os resultados positivos e por vezes imediatos das propostas apresentadas resultaram também de outros estudos efetuados, nomeadamente no projeto SG 155. De facto, dadas as semelhanças entre os projetos e a necessidade da empresa em reduzir ambos os tempos de ciclo, as ações foram levadas a cabo em simultâneo e foram formuladas tendo por base a necessidade de cada um. Inicialmente, foi feito um maior acompanhamento ao SG 155, uma vez que a produção se encontrava numa fase mais avançada e era possível medir com maior exatidão o impacto das medidas propostas e a evolução gradual na redução no tempo de ciclo. Como tal, a eficácia das ações de melhoria para o projeto SG 170, resulta da experiência adquirida com o projeto SG 155 e da própria curva de

aprendizagem dos colaboradores que, ao momento, se distribuem faseadamente por ambos os projetos.

### III.2.1 Análise da Situação Inicial

Nesta secção pretende-se demonstrar qual o cenário evidenciado pela empresa no momento inicial do estudo e compará-lo com os resultados necessários para atingir o objetivo de produção.

#### III.2.1.1 Takt Time

O *Takt Time* é um KPI fulcral numa organização, na medida em que funciona como um mecanismo de gestão e controlo de produção. Este indicador evidencia com que frequência um dado produto deve ser produzido de forma a satisfazer as necessidades do cliente.

O acompanhamento e estudo do *Takt Time* permite à organização fazer um planeamento de produção consistente e evitar desperdícios por excesso ou rutura de *stock*, estabelecendo desta forma um fluxo de produção contínuo. O cálculo deste indicador pode ser obtido através da seguinte fórmula.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível}{Procura} \quad (6)$$

O tempo disponível corresponde ao tempo efetivo de produção, no qual o trabalhador está em exercício das suas tarefas produtivas. Assim sendo, é necessário ter em consideração o número de horas de trabalho, excetuando o tempo definido para as pausas. A SGRE Blades opera 24h diárias, distribuídas por três turnos de trabalho, cujos horários de encontram especificados na Tabela 5.

Turno 1 (540 min)	Turno 2 (540 min)	Turno 3 (510 min)
Almoço 30 min	Jantar 30 min	Pausa 30 min
Pausa 10 min	Pausa 10 min	Limpeza 20 min
Limpeza 20 min	Limpeza 20 min	
<b>Tempo operacional líquido</b>		
480 min	480 min	460 min

Tabela 5: Tempo operacional líquido

Relativamente à procura, o plano de produção da empresa é definido anualmente pelo grupo. Posteriormente, internamente, é feita uma distribuição semanal de forma a cumprir os objetivos propostos. Todas as sextas-feiras é lançado o Plano de Produção (PDP) para a semana seguinte e, através desse documento, todas as equipas gerem o seu trabalho para responder ao objetivo semanal. Para além da produção, todas as funções de suporte estão articuladas com o PDP para dar seguimento às necessidades da produção, nomeadamente, a logística para abastecimento de moldes e material no tempo correto; corte de fibra para garantir que todas as peças têm a fibra preparada; químicos para assegurar máquinas de cola e resina abastecidas, entre outros.

Na Tabela 6 é apresentado o plano de produção para o ano de 2021. De notar, que nos primeiros meses o número de pás a produzir é relativamente baixo, tendo em consideração o período de industrialização (referente à produção das dez primeiras pás) e a capacidade de resposta da empresa. No entanto, nos meses subsequentes o plano revela-se mais ambicioso. Para perceber de que forma

a empresa estará preparada para responder à procura, para o cálculo do *Takt Time* foi considerado o mês com uma maior necessidade produtiva até à data de término do estágio. Como tal, este cálculo teve por base os dados para o mês de maio, com uma necessidade mensal de 11 pás, que implica uma produção de 2 a 4 pás semanalmente.

			2021																																				
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Mês	jan	jan	jan	jan	fev	fev	fev	fev	mar	mar	mar	mar	abr	abr	abr	abr	mai	mai	mai	mai	jun	jun	jun	jun	jun	jun	jul	jul	jul	jul	ago	ago	ago	ago	ago	set	set	set	set
Pás	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	3	2	3	2	4	2	3	3	4	2	4	4	3				2	4	4	4	4	3	4	4	
Pás/mês	2				4				6				10				11				14				11				12				15						

Tabela 6: Plano de Produção Ano Fiscal 2021

Posto isto, foi considerada a seguinte fórmula, com inclusão do período mensal em análise e um fator de disponibilidade, uma vez que alguns dos recursos necessários são partilhados com outros projetos/setores.

$$Takt\ Time = \frac{(Tempo\ disponível - pausas) \times N^{\circ} dias\ trabalhados}{N^{\circ} pás\ mensal} \times Disponibilidade \quad (7)$$

O valor de *Takt Time*, em horas, referente ao mês de maio, para os moldes principais e respetivos pré-fabricados encontram-se resumido na Tabela 7.

No Gráfico 1, por sua vez, é feita uma comparação entre o TT do mês de fevereiro e maio, tendo em conta as especificidades de cada um (equipas existentes e disponibilidade). Através da analogia entre os dois meses percebe-se uma redução no valor deste indicador em cerca de 75% para a obtenção da pá colada. Assim, mais uma vez se reflete a necessidade de introdução de melhorias que permitam à empresa atingir os objetivos de produção.

Componente	T1 (min)	Pausa T1(min)	T2 (min)	Pausa T2(min)	T3 (min)	Pausa T3(min)	Nº dias trabalhados no mês	Nº Pás (Procura)	Disponibilidade (%)	Takt Time (h)
<i>MS SS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	100%	45,18
<i>MS PS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	100%	45,18
<i>Bushings SS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	20%	9,04
<i>Bushings PS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	20%	9,04
<i>PCP SS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	25%	11,30
<i>PCP PS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	25%	11,30
<i>Main Cap SS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	40%	18,07
<i>Main Cap PS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	40%	18,07
<i>Rear Cap SS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	40%	18,07
<i>Rear Cap PS</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	40%	18,07
<i>Main Web</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	60%	27,11
<i>Rear Web</i>	540	60	540	60	510	50	21	11	40%	18,07

Tabela 7: *Takt Time* Projeto SG 170

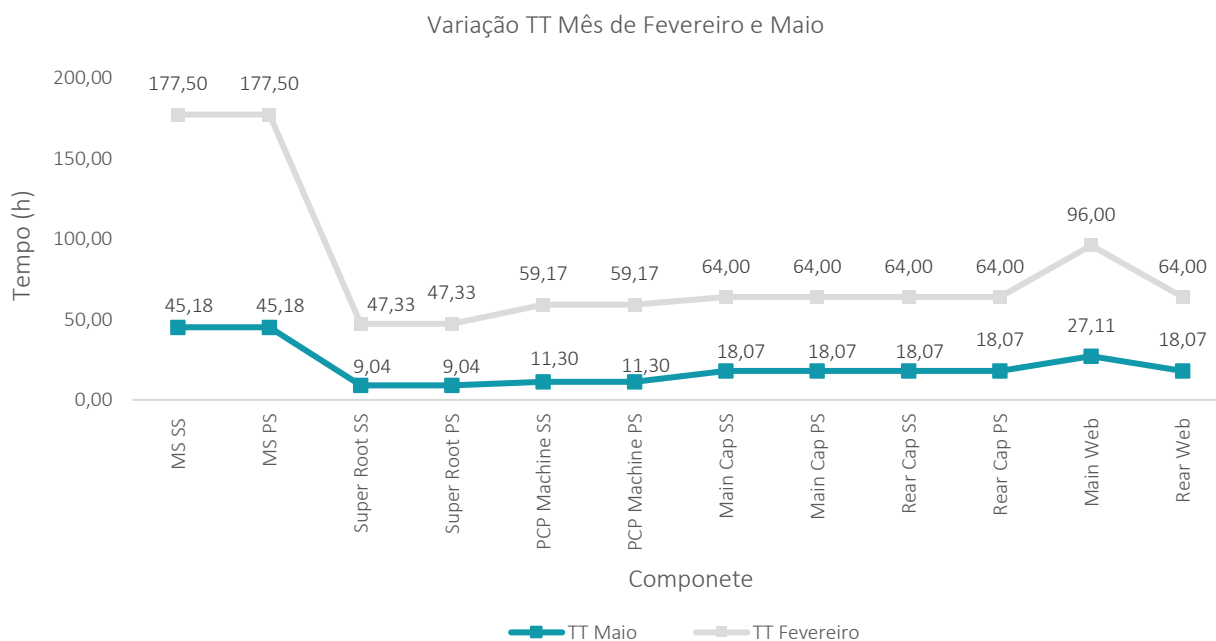


Gráfico 1: Comparação TT entre mês de fevereiro e maio

Tendo o valor do *Takt Time* calculado, é necessário perceber o desempenho real dos processos para avaliar a sua capacidade de responder ou não às necessidades do mercado no futuro. Assim sendo, para avaliar o estado da situação inicial, a informação foi analisada através de dados recolhidos pelos engenheiros de processo relativos aos tempos de operação. Adicionalmente, foram recolhidos dados de um sistema informático conectado com o *software* de gestão SAP, onde é possível aceder aos registos de horas-homem para cada tarefa, através da picagem no início e final de uma operação em execução por cada trabalhador. Neste caso, realçar a necessidade de uma análise criteriosa, dado que nem sempre o processo de picagens e registos é realizado com rigor e pode induzir o analista em erro.

Os tempos de ciclo para todos os componentes da pá colada encontram-se resumidos na Tabela 8. Estes dados foram calculados através dos dados analisados das três primeiras pás do projeto.

Componente	TC (h)	<i>Takt Time</i> (h)
MS SS	135,40	45,18
MS PS	85,70	45,18
Bushings SS	3,10	9,04
Bushings PS	2,90	9,04
PCP Machine SS	17,30	11,30
PCP Machine PS	15,30	11,30
Main Cap SS	38,90	18,07
Main Cap PS	35,60	18,07
Rear Cap SS	25,25	18,07
Rear Cap PS	23,00	18,07
Main Web	41,10	27,11
Rear Web	29,15	18,07

Tabela 8: TC e TT SG170



Após elaboração da tabela, procedeu-se a uma comparação entre o tempo de ciclo inicial e o *Takt Time*, para evidenciar quais eram os gargalos do processo e quais os componentes que apresentavam uma maior prioridade de atuação.

De realçar, que o TT é um indicador-chave de complemento à análise do tempo de ciclo, na medida em que permite identificar pontos de estrangulamento na capacidade produtiva existente em relação à procura do mercado.

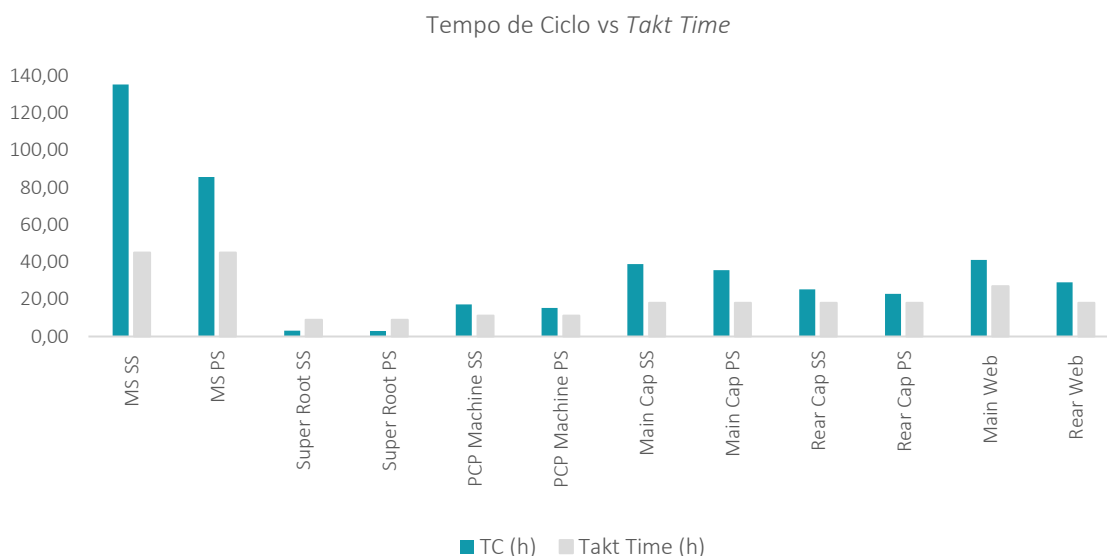


Gráfico 2: Comparação entre Tempo de Ciclo e *Takt Time*

Pela análise do Gráfico 2 salientar que a maior variação de valores diz respeito às *Main Shells* SS e PS. Com efeito, e tratando-se dos componentes que ditam o tempo de ciclo do processo, a melhoria no fabrico das *Main Shells* (MS) promoverá uma redução efetiva do tempo de processamento da pá colada. Para além disso, estamos a falar da peça que apresenta maior complexidade produtiva e o custo mais elevado de fabricação. Como tal, o foco do projeto incidiu sobre este componente.

Nas secções seguintes será descrito o processo de recolha e análise de dados referentes à MS SS que permitiu determinar o tempo padrão associado a cada tarefa para obtenção da pá colada, identificação das prioridades de atuação, desenvolvimento de propostas de melhoria e avaliação dos resultados das respetivas implementações.

Paralelamente a este estudo, procurou-se fazer também uma análise abrangente a outros pré-fabricados, nomeadamente *Main Web* e *Rear Web*, *Main Cap SS* e *Main Cap PS* que apresentam também elevada disparidade entre tempo real e tempo requerido de produção. Pelo que, serão igualmente apresentadas algumas ações desenvolvidas e estudos efetivados para estes componentes.

De referir que algumas propostas não foram passíveis de ser totalmente concretizadas no âmbito do estágio. De qualquer forma, foi estudado o seu impacto previsível e avaliadas como válidas para uma aplicação num futuro próximo.

### III.2.2 Recolha e Análise de Dados

Para definir o estado atual de qualquer processo de produção é fundamental ter uma base sólida de entrada de dados. Assim sendo, foram realizados três tipos de recolha de dados. Numa primeira fase, a fim de compreender todas as atividades do processo, foram estudados os *Standard Work* e fluxogramas. Diariamente, foi feito um acompanhamento do processo no chão de fábrica, de forma a promover um maior envolvimento com os colaboradores, fazer o levantamento dos principais problemas associados à sua atividade e perceber quais as suas necessidades efetivas. Paralelamente, foi também realizado um estudo de tempos através de dados recolhidos por dispositivos de foto e/ou vídeo, por cronometragem e registo de tempos em quadros de seguimento para determinar o tempo padrão associado a cada tarefa do processo.

Para a realização destas recolhas foi fundamental englobar os colaboradores, pois, tratando-se de um processo bastante longo, era inviável fazer o registo de todas as observações por completo. Sempre que possível, durante o horário laboral foram registados os tempos relativos a cada operação e acompanhado o preenchimento dos quadros de seguimento do processo. Estes quadros, representados na Figura 17, encontram-se acoplados à estrutura do molde, e incluem a discretização das tarefas organizadas sequencialmente, pequenas caixas de texto para evidenciar desvios, os tempos de produção definidos (*target*) e um espaço para preenchimento do tempo real de cada tarefa. Por norma, o responsável de preenchimento é o Líder GAT (LG) devendo os tempos atingidos/superados ser registados a marcador verde e os tempos excedidos registados a marcador vermelho. Desta forma, conseguimos facilmente fazer uma comparação entre dados e avaliar a eficiência do processo produtivo.



Figura 17: Quadro de Seguimento MS SS SG170

Posteriormente, para fazer uma compilação de todos os dados, foi criado um documento *Excel* que foi devidamente partilhado com a equipa de engenharia e gestores de projeto, de forma que todos tenham acesso aos mesmos dados e consigam partilhar informação relevante, nomeadamente fatores de desvio ou introdução de variáveis condicionantes ao tempo de execução de uma dada atividade. No

Anexo A encontra-se representado parte do documento criado para a recolha de tempos da *Main Shell SS* SG 170.

Para estimar o valor da média e desvio padrão dos respetivos tempos, inicialmente foi definida uma amostra de 10 observações para cada tarefa, ou seja, das 10 primeiras pás produzidas, correspondentes ao chamado período de industrialização definido pela empresa. Dada a disparidade de tempos relativos à primeira pá do projeto, esta foi desconsiderada dos cálculos, assim como todos os *outliers* da amostragem. Como precisão foi definido um valor de 10% e um nível de confiança de 95%.

Foi então possível determinar o tamanho da amostra necessária para determinar o tempo padrão de cada tarefa (Equação 1). Porventura, sempre que o valor de  $n$  (tamanho da amostra) foi superior a 10, tiveram de ser incluídas observações adicionais para as tarefas em questão. Para situações específicas em que a proposta de melhoria foi introduzida antes do período de industrialização foram desconsideradas as observações após implementação da ação.

$$n = \left( \frac{Z \times s}{p \times \bar{t}} \right)^2 \quad (1)$$

Depois de reunido um número válido de observações, o tempo observado, o tempo normal e o tempo padrão foram calculados. O fator de classificação de desempenho (RF) usado para determinar o tempo normal (Equação 4) foi de 85%, uma vez que a produção estava numa fase inicial e, como tal, os operadores não tinham o nível de experiência requerido nas tarefas exigidas.

$$NT = \bar{t}_i \times RF \times RF_{freq} \quad (4)$$

Por sua vez, para calcular o tempo padrão (Equação 5) foram considerados valores entre os 9% e 18% para o fator de compensação de cada UET, tendo em consideração variáveis como as necessidades pessoais e tolerâncias para a fadiga, a temperatura associada a determinadas tarefas, posições desfavoráveis, levantamento de peso, ruído e o nível de atenção. Os fatores de compensação foram atribuídos de acordo com o trabalho associado a cada uma das UET em análise.

$$ST = NT (1 + A) \quad (5)$$

A Tabela 9 apresenta o tempo médio, o tempo normal, desvio padrão, número de observações e tempo padrão obtidos para cada unidade de trabalho na obtenção da *Main Shell SS*. Os tempos encontram-se representados em minutos.

O somatório do tempo padrão de cada UET perfaz o valor de 124,63 horas. Ou seja, o tempo padrão obtido para a produção da MS SS foi de 124,69 horas.

<b>Operação</b>	<b>tm (min)</b>	<b>Nti (min)</b>	<b>s (min)</b>	<b>n</b>	<b>ST (min)</b>
Limpeza molde	39,50	33,58	5,99	9	37,27
Aplicação e Secagem desmoldante	29,00	24,65	4,32	9	26,87
Fitas e Aplicação <i>Veil</i>	126,67	107,67	10,31	3	119,51
<i>Layup</i> externo	715,00	607,75	117,26	10	704,99
Colocação CFM + CAP	355,00	301,75	35,36	4	334,94
Colocação core entre CAP e Rear CAP	780,00	663,00	56,57	2	735,93
Colocação de CFM + Rear Cap	630,00	535,50	28,28	1	594,41
Balsa + Espuma TE	950,00	807,50	70,71	2	896,33
Colocação de Flange Bushing (Root)	55,63	47,28	7,29	7	52,48
Lay-up interno + Flanges (TE + LE)	920,00	782,00	69,76	2	907,12
Marcações travões + <i>Peel Ply</i>	38,57	32,79	6,27	10	36,39
Colocação do sistema de leitura de vácuo	43,00	36,55	7,15	11	39,84
Folha desmoldante + <i>Green Mesh</i> + Canais de resina	200,63	170,53	16,13	2	194,41
Saco vácuo + Estabilização + Teste vácuo	184,38	156,72	16,78	3	173,96
Infusão	315,00	267,75	21,21	2	305,24
Cura + Colocação de mantas	428,50	364,23	25,39	1	411,57
Ripagem + Autocontrolo	123,00	104,55	9,49	2	121,28
Fazer Vácuo Shell SS	94,44	80,28	7,26	2	87,50
Ripar peel ply Cap SS	25,70	21,85	4,40	11	23,81
Teste Seco Webs SS	93,33	79,33	15,06	10	88,06
Marcar áreas colagem e colocar blocos posicionadores Web	66,67	56,67	10,00	9	61,77
Aplicação cola SS	26,00	22,10	3,94	9	24,53
Rumping UP Cura Web + Aplicar guias LPS + Recetores + Calibradores	208,89	177,56	15,37	2	197,09
Corte e desbastes (Root, LEBC e TEBC)	460,00	391,00	26,46	1	461,38
Retirar galáctica + Preparação Teste Seco	90,00	76,50	4,71	1	83,39
Teste Seco	61,11	51,94	6,01	4	57,66
Ripar <i>peel ply</i> TE e LE	86,43	73,46	10,69	6	81,55
Aplicação de plásticos limpeza cola	31,67	26,92	2,58	3	29,34
Aplicação de Cola SS + PS	59,00	50,15	6,15	4	55,67
Fecho molde e Limpeza (retirar plásticos/cartões e escoras)	65,00	55,25	10,69	10	65,75
<i>Rumping</i> + Cura Pá	370,00	314,50	49,75	7	342,81
Abertura Molde	38,70	32,90	5,70	8	36,18
Desmoldagem Pá	92,00	78,20	4,83	1	92,28
<b>TOTAL (h)</b>	<b>130,05</b>	<b>110,54</b>			<b>124,69</b>

Tabela 9: Tempo padrão por UET na obtenção MS SS estado inicial

Depois de calculado o tempo padrão de cada tarefa elementar, foi feita uma análise das tarefas mais críticas para a organização, ou seja, foram identificadas aquelas para as quais existia uma maior prioridade de atuação. Esta análise foi efetuada através de um estudo comparativo entre o tempo esperado de produção e o tempo padrão calculado, de forma a evidenciar os maiores desvios face ao objetivo.

De ressaltar que os tempos objetivo previamente definidos foram calculados com base na experiência de outros projetos para cada uma das tarefas associadas à obtenção do produto final, totalizando um valor de aproximadamente 62 horas para a obtenção da *Main Shell SS*.

Os dados dos desvios de tempo em minutos, encontram-se representados no Gráfico 3.

De destacar a discrepância entre valores para as operações de colocação de balsa e espuma, colocação de core entre *cap* e *rear cap*, *layup* interno, colocação de *rear cap*, *layup* externo, corte e desbastes, colocação de *cap* e infusão.

### Varição entre Tempo Objetivo e Tempo Padrão de Produção

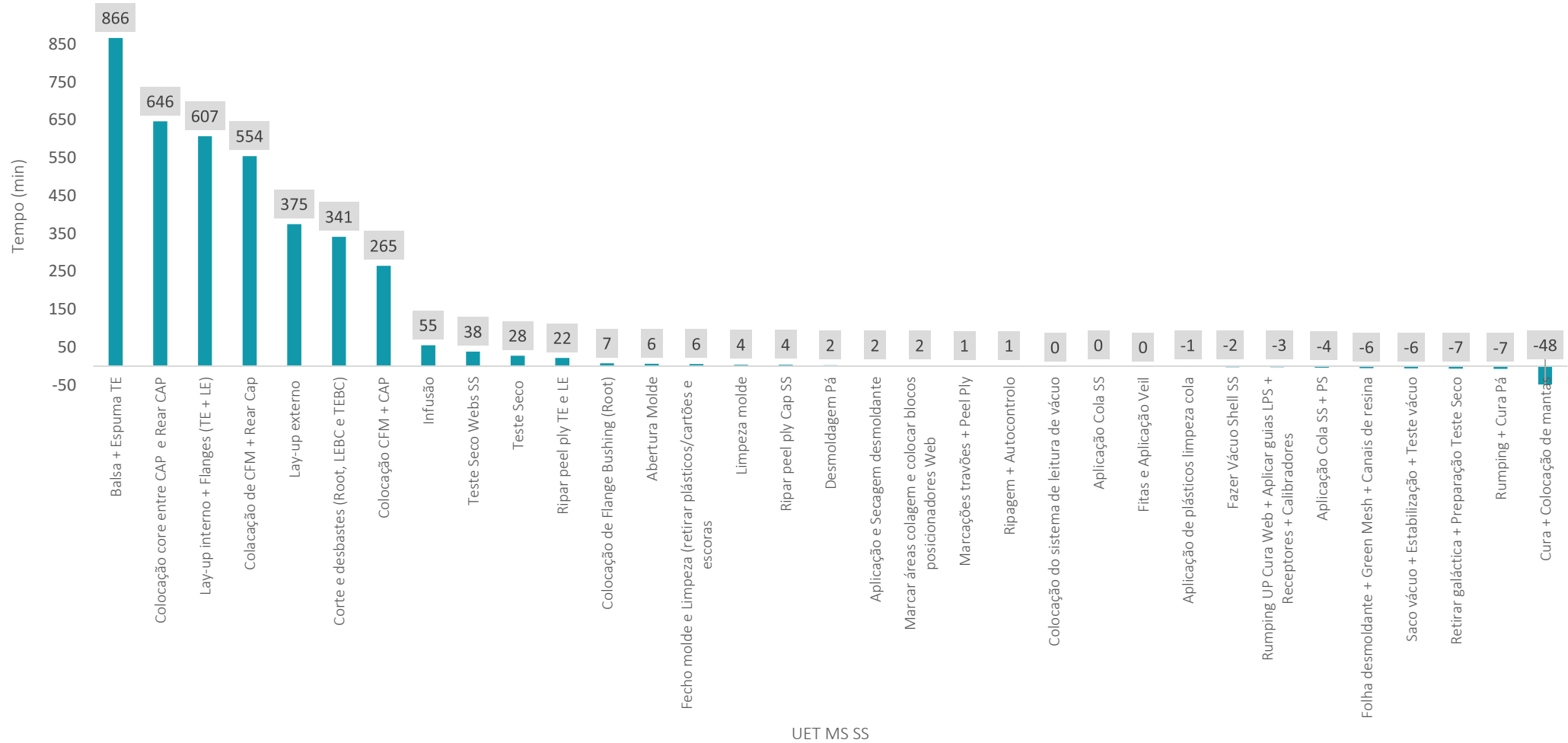


Gráfico 3: Variação entre tempo objetivo e tempo padrão de produção por UET

### III.2.3 Planeamento de Ações

Através de uma análise cuidada dos dados explicitados na secção anterior é perceptível uma necessidade evidente de introdução de melhorias em algumas fases do processo, para que a empresa consiga atingir os seus objetivos produtivos a curto prazo. Pretende-se, com a elaboração deste trabalho, atuar no máximo de pontos críticos possível, promovendo uma redução significativa no tempo de ciclo, no esforço dos colaboradores, no investimento necessário e ao mesmo tempo, incrementar a qualidade do produto e segurança dos colaboradores.

A introdução de melhorias assentou nos fundamentos do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), de forma a fazer um planeamento conciso, aplicar as medidas, avaliá-las e refiná-las continuamente, com base um pensamento cíclico para chegar à melhor solução possível.

No seguimento da recolha de dados e tendo em consideração os pontos mais críticos para a organização, numa primeira fase, foi feito o levantamento de problemas associados a cada um dos desvios, que se encontram sumariados na Tabela 10. Este dados foram sempre previamente preparados e analisados e, posteriormente, expostos em reuniões programadas periodicamente, por norma, semanalmente. O intuito desta reuniões passava por fazer uma exposição explícita de dados, com apresentação dos problemas concretos existentes, de forma a chegarmos a um plano de ações o mais eficaz possível. Para estas reuniões foi formada uma equipa multidisciplinar, para a qual foram convocados estrategicamente elementos de diferentes áreas, tendo em conta o contexto do problema em análise. De destacar o envolvimento assíduo da área de Produção com Diretor, Coordenador, Supervisores de Produção e Líder GATs sempre representados e, ainda, da área da Manutenção com respetivos supervisores, assim como a Engenharia com presença do Diretor e Engenheiros de Processo.

Área de Atuação	Descrição de Problema
Colocação core entre <i>Cap</i> e <i>Rear Cap</i> Balsa + Espuma TE	- Material mal especificado (não cumpre requisitos de <i>shape</i> da peça, obrigando a retrabalho).
<i>Layup</i> Interno + Flanges <i>Layup</i> Externo	- Trocas nos carros de fibras (fibras mal posicionadas); - Fibras curtas ou demasiado longas (necessidade de retrabalho); - Falhas de abastecimento (ausência de fibras); - Má ordenação nos carros de fibras.
Colocação CFM + <i>Rear Cap</i> Colocação CFM + <i>Cap</i>	- Medições com distanciadores improvisados no momento (distâncias são variáveis, as peças têm tolerância e nem sempre apresentam a mesma dimensão).
Corte e desbastes da <i>Root</i>	- Excedente de fibra na aba do molde que obriga a desbaste de material infundido (posições ergonómicas desfavoráveis, contacto com material prejudicial para a saúde).
Infusão	- Estratégias de infusão pouco adequadas (necessidade de redistribuição dos canais de resina); - Grande quantidade de defeitos, nomeadamente áreas brancas (zonas por impregnar).

Tabela 10: Tarefa e respetivos problemas

Como resultado de cada reunião foram então definidos planos de ação com descrição da ação, responsáveis e prazos de execução, sendo notificados os responsáveis e feito o acompanhamento regular do estado da ação, de forma a garantir o monitoramento das mesmas. Sempre que necessário as propostas foram refinadas, alteradas ou excluídas por não se adequarem ou não serem passíveis de execução.

De realçar que o plano de ações, elaborado ao longo do projeto de estágio, incorpora um vasto conjunto de ações que resultaram do levantamento de problemas efetuado e que implicaram uma colaboração ativa na sua definição e acompanhamento. No entanto, neste trabalho serão apresentadas apenas aquelas em que existiu um envolvimento mais direto e que se repercutiram em resultados positivos mensuráveis quantitativamente e, em algumas situações, qualitativamente.

Para além das propostas de melhoria apresentadas para as *Main Shells* com base no estabelecimento de pontos críticos e na identificação de problemas (Tabela 10), foram também percecionadas outras oportunidades de melhoria, noutras fases do processo, com implicações diretas no desempenho das equipas associadas a este molde. Da mesma forma, foi feito o acompanhamento do estado dos pré-fabricados e identificadas possíveis vantagens pela introdução de alterações ao processo e/ou pequenas melhorias com ganhos potenciais a nível de redução de tempos, eliminação de desperdícios, melhoria de segurança, entre outros. Assim, para além das *Main Shells*, serão discutidas aplicações formalizadas na *Main Cap SS e PS*, assim como, *Main Web e Rear Web*.

Na Tabela 11, apresentam-se resumidamente todas as áreas de intervenção, seccionadas de acordo com o componente e/ou tarefa em questão, que serão explicitadas na secção seguinte.

Componente	Área de Intervenção	Ação de Melhoria
MS SS/PS	A Colocação de Core (Balsa e Espuma)	1. Ajuste do core na pá colada
	B <i>Layup</i> Interno e <i>Layup</i> Externo	2. Alteração do <i>Nesting</i> das fibras com medidas NOK
		3. Redistribuição dos rolos de fibra nos carros de abastecimento
		4. Cozedura das fibras LEBC e TEBC
	C Colocação de <i>Cap</i> e <i>Rear Cap</i>	5. Criação e ajuste de distanciadores para colocação dos pré-fabricados
	D Corte e desbaste da <i>Root</i>	6. Corte de fibras secas <i>layup</i> externo
		7. Criação de calha para corte de <i>layup</i> interno
	E Infusão	8. Alteração da estratégia de infusão



	F Preparação de Molde	9. Descentralização de tarefas, criação de equipamento para armazenamento de material e ajudas visuais para execução de tarefas
		10. Sugestão de implementação de um sistema <i>Kanban</i>
	G Colagem <i>Web</i> e <i>Rear Web</i>	11. Alteração do local e posição de preparação de <i>Webs</i>
		12. Elaboração de um roteiro para levantamento de material
		13. Elaboração de <i>Standard Work</i> e Formação aos Colaboradores para execução da tarefa
	H Organização da área	14. Criação de suportes para distanciadores, cristos de infusão e calhas para <i>layup</i>
		15. Aprisionamento no molde dos grampos de fecho do molde
		16. Roldana para armazenamento dos comandos do molde
		17. Utilização de caixotes de lixo ao longo do molde
	I Incremento da Qualidade da Peça	18. Criação de <i>hold points</i> de verificação
CAP SS/PS	A <i>Layup</i> interno	1. Passagem de <i>layup</i> superior para a <i>Shell</i>
	B <i>Standard Work</i>	2. Atualização de <i>Standard Work</i> obsoleto
	C Estudo para inclusão da <i>Cap</i> na <i>Shell</i>	3. <i>Trials PCP</i> na <i>Shell</i> , acompanhamento de processo e levantamento de conclusões
Main Web/Rear Web	A Processo de Colocação de Mantas	1. Numeração e ordenação das mantas
	B <i>Layup</i>	2. Atualização das etiquetas de colocação de fibra
	C <i>Standard Work</i>	3. Uniformização e atualização do <i>Standard Work</i>

Tabela 11: Tabela Resumo de áreas de atuação e respectivas ações

### III.2.4 Implementação de Melhorias

Nesta secção serão apresentadas as várias melhorias propostas e implementadas em cada componente e fase do processo, assim como uma breve descrição dos resultados obtidos.

Os resultados são quantificados em relação a um novo tempo padrão calculado para cada tarefa após a aplicação da melhoria. Para obtenção destes dados, foram mantidas as mesmas variáveis e seguida a mesma metodologia apresentada na secção III.2.2. O resumo dos dados obtidos pode ser consultado na tabela do Anexo B.

#### III.2.4.1 *Main Shell SS e PS*

##### A - Colocação de Core (Balsa e Espuma)

##### 1. Ajuste do core na pá colada

O core, que compreende a balsa e a espuma, é disposto ao longo do comprimento da pá, segundo uma disposição bem definida. Estes elementos apresentam uma importante função estrutural e conferem resistência à pá.

Numa fase inicial do processo, as várias peças de *core* não estavam especificadas com as medidas e formas corretas, pelo que a sua colocação na peça obrigava a operações de retrabalho minuciosas e demoradas (Figura 18). O correto dimensionamento das placas constituiu uma oportunidade de melhoria com influência direta no tempo de ciclo. O processo foi acompanhado e foi feito um levantamento das placas com incongruências e das dimensões ou alterações de *shape* necessárias para entregar ao fornecedor, de forma a existir correção.

As alterações efetuadas repercutiram-se numa melhoria da operação com uma redução do tempo de execução em cerca de 90%. Ou seja, as peças passaram a encaixar praticamente sem necessidade de retrabalho o que tornou o processo muito mais fluído, sem paragens e incrementou a qualidade na medida em que se reduziram os *gaps* entre placas.

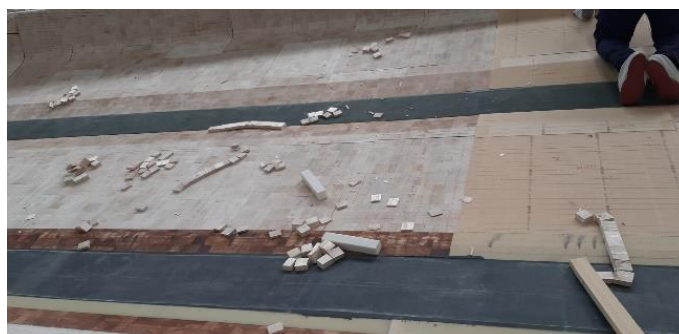


Figura 18: Evidência de retrabalho nas peças de *core*

## **B - Layup Interno e Layup Externo**

As operações de *layup* são aquelas que consomem mais tempo em todo o processo e exigem um elevado nível de precisão para garantir o cumprimento das especificações do processo. Adicionalmente, as equipas destinadas a esta tarefa são aquelas que apresentam o número mais elevado de elementos. De uma análise continuada no terreno perceberam-se um conjunto de limitações que se refletiam num impacto negativo ao nível do tempo de execução das tarefas.

### **2. Alteração do *Nesting* das fibras com medidas NOK**

Numa primeira fase, foi feito um levantamento na linha de todas as camadas de fibra que se encontram em falta ou duplicadas e de todas as fibras que exigem retrabalho por se encontrarem demasiado curtas ou longas. Este trabalho foi passado à Engenharia de Processo, nomeadamente aos engenheiros responsáveis pelo *Nesting* que procederam a uma alteração na dimensão das fibras. Para contextualização, a equipa de *Nesting* tem como preocupação conjugar o corte de camadas, distribuídas pelos diferentes tipos de fibras (*UD, Biax e Triax*) tendo em conta não só as especificações técnicas definidas pelo grupo, como também potenciar o menor desperdício possível de material.

Devido às alterações efetuadas, tiveram de ser alterados os desenhos técnicos com as especificações a entregar à equipa de cortes, responsável pelo corte de fibras e alocação das mesmas nos carros de abastecimento, representados na Figura 19. Dados os problemas ao nível de abastecimento, nomeadamente, ausência e troca de fibras entre carros, ao longo do projeto promoveu-se um trabalho conjunto com a equipa de cortes, nomeadamente com os supervisores. Após a produção de cada peça, todas as falhas foram sucessivamente identificadas e reportadas com o objetivo de auxiliar a identificação dos problemas existentes na secção de corte para posterior resolução.



Figura 19: Carro de Abastecimento de Fibras

### **3. Redistribuição dos rolos de fibra nos carros de abastecimento**

As fibras são alocadas aos carros de abastecimento, tendo como objetivo minimizar as deslocações dos colaboradores alocando a fibra ao carro mais próximo do local onde a mesma vai ser utilizada. No entanto, numa fase inicial verificou-se que os colaboradores tinham de percorrer vários metros até chegarem ao local pretendido, tinham as fibras trocadas entre lado LE e TE e carregavam rolos de forma ergonomicamente pouca adequada.

Assim sendo, foi estudado um melhor posicionamento de fibras de acordo com a proximidade ao local de uso e identificado o carro ao longo do passadiço de trabalho em que as mesmas deveriam ser posicionadas (de acordo com o espaço livre ainda existente nos carros). Teve-se ainda em atenção a colocação das fibras de acordo com a ordem de utilização das camadas, com o objetivo de reduzir as movimentações dos colaboradores ao mínimo possível e evitar que estes percam demasiado tempo à procura de material.

Este trabalho foi realizado em conjunto com a equipa de Melhoria Contínua que posteriormente procedeu à alteração do *standard* de abastecimento. O novo *standard* tem de ser cumprido pelas equipas de corte de fibra seca na altura de disposição das fibras no carro e, pela equipa logística aquando da colocação dos carros de fibra nas cestas do molde pré-definidas.

#### 4. Cozedura das fibras LEBC e TEBC

Na fase de construção dos reforços da pá LEBC e TEBC, que correspondem às zonas onde é aplicado o maior número de camadas de fibras, e onde incide diretamente o vento, percebeu-se uma oportunidade de melhoria evidente. Numa fase inicial, estas fibras eram colocadas separadamente, uma a uma, tendo de ser a equipa de *layup* a garantir as sobreposições adequadas e a fixação das fibras. Assim sendo, foi proposto à equipa de engenharia que as fibras fossem entregues cozidas previamente pela equipa de corte de fibra de vidro. Assim, de uma vez só passou a ser possível colocar as 10 camadas do LE (*Leading Edge*) e as 12 camadas no TE (*Treating Edge*). Dado o peso dos rolos, as fibras são abastecidas ao solo num carro próprio, Figura 20, e são colocadas no molde com recurso a pontes suspensas, de forma a minimizar o esforço dos colaboradores.



Figura 20: Carro LEC e TEC

Com a implementação destas ações foram reduzidas as necessidades de retrabalho, o que torna o processo muito mais fluído e sem paragens. Para além disso, verificou-se uma redução significativa de movimentações em vazio e transporte de fibras, facilitando o trabalho dos colaboradores.

Consequentemente, obtiveram-se ganhos significativos nas operações de *layup* ao nível do tempo da operação, com uma redução de aproximadamente 58% para o *layup* externo e 74% para o *layup* interno.

## C - Colocação de *Cap* e *Rear Cap*

### 5. Criação e ajuste de distanciadores para colocação dos pré-fabricados

A colocação da *Cap* e *Rear Cap* no molde faz-se com recurso a uma galáctica que transporta as peças aprisionadas em *lifters* até ao molde. A galáctica devidamente controlada vai baixando e os colaboradores vão ajustando a sua posição com medições constantes ao longo da peça. Para facilitar esta operação, foram desenvolvidos internamente distanciadores reguláveis. Desta forma, os distanciadores são colocados no molde no raio correspondente com uma medida previamente ajustada e, posteriormente, o pré-fabricado assenta no distanciador. Adicionalmente, este método garante um posicionamento mais preciso. Assim sendo, para além de uma redução no tempo de execução da tarefa, verificam-se melhorias ao nível de qualidade, com reflexo na equipa de colagem.

Numa fase inicial foram improvisados uns distanciadores reguláveis em PVC (Figura 21).



Figura 21: Distanciadores reguláveis em PVC

No entanto, dada a necessidade de uma solução mais robusta, foi pedido na serralharia da empresa o desenvolvimento de uma solução metálica, ajustável e com encaixes fixos no molde (Figuras 22 e 23). Esses distanciadores foram devidamente identificados com uma etiqueta indicativa do projeto e raio de utilização. O local de armazenamento foi identificado da mesma forma. De destacar a importância das ajudas visuais para facilitar o trabalho dos colaboradores, principalmente daqueles com menos experiência.



Figura 22: Posicionamento de distanciador para colocação da *Cap*



Figura 23: Colocação da *Cap* com auxílio do distanciador

A utilização dos distanciadores repercutiu-se em ganhos elevados nas operação de colocação dos pré-fabricados, conseguindo-se uma redução do tempo de execução da tarefa em aproximadamente 79% no caso da *Cap* e 91% no caso da *Rear Cap*.

#### **D - Corte e desbaste da *Root***

Durante o *layup*, as várias camadas de fibra sobrepõem a aba do molde e, após infusão, formam uma camada de material espessa que tem de ser desbastada para garantir o fecho do mesmo, aquando da colagem. Quanto mais fibras na aba, maior a quantidade de material a rebarbar (Figura 24).

O corte e desbaste da *Root* é uma das operações mais críticas no processo, não só pelo elevado tempo de execução como também pela segurança dos colaboradores que ocupam posições ergonómicas pouco favoráveis durante longos períodos de tempo e estão expostos a materiais altamente prejudiciais para a saúde. Assim, evidenciou-se a necessidade de definir um conjunto de ações, descritas de seguida, para minimizar os problemas em questão.



Figura 24: Material em excesso na aba do molde

#### **6. Corte de fibra seca *layup* externo**

Foi proposto o corte das fibras secas do *layup* externo (Figura 25) que não são essenciais para a estrutura da pá, evitando o excesso de material impregnado nesta zona. Após implementação desta alteração, perceberam-se resultados bastante positivos com uma redução de cerca de 50% no tempo de execução da operação.



Figura 25: Corte de fibra seca *layup* externo

## 7. Criação de calha para corte de *layup* interno

Adicionalmente, foi também estudada a viabilidade de cortar parte do *layup* interno. Para tal, foi proposto à equipa de manutenção o desenvolvimento de uma calha, de forma que as fibras se sobreponham à mesma para que depois sejam cortadas (Figura 26). Neste caso as fibras devem ser agarradas recorrendo a operações de cosedura e fita adesiva de dupla face entre camadas, para assegurar que não descaem.



Figura 26: Calha para sobreposição de fibras *layup* interno

Os sacos de vácuo são fechados sobre a calha e após infusão e cura, com uma máquina própria, procede-se ao corte lateral do excedente evitando desta forma operações de rebarbagem extremamente lentas e penosas para os colaboradores (Figuras 27 e 28).



Figura 27: Excedente de material aprisionado na calha

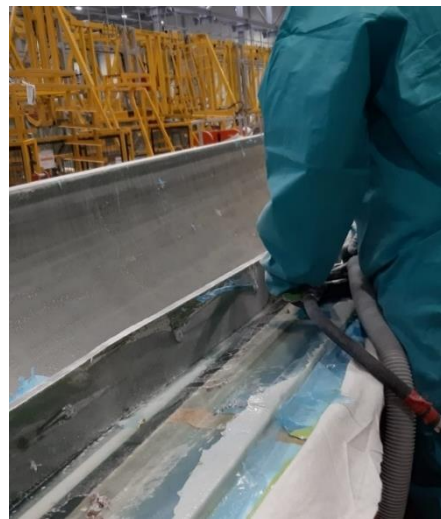


Figura 28: Corte lateral de material excedente

Com a introdução da calha, aliada à ação de corte do *layup* externo foi conseguida uma redução de 69% no tempo de execução da operação de rebarbagem. Adicionalmente, de realçar que o esforço dos colaboradores foi reduzido substancialmente e o processo tornou-se mais limpo e seguro.

## E - Infusão

A infusão é um dos processos mais críticos durante o processo produtivo. A estratégia de infusão selecionada influencia o fluxo de resina e, conseqüentemente, a rapidez da infusão. Para além disso, estratégias pouco adequadas podem originar problemas de não qualidade variados.

Nas primeiras pás de ambos os projetos foram evidentes vários problemas de qualidade, destacando-se a existência de áreas brancas que representam falhas de impregnação e um tempo de execução de infusão bastante superior ao espectável.

### 8. Alteração da estratégia de infusão

Em conjunto com os LG e engenheiro de processo foi proposta uma alteração na estratégia de infusão com uma nova disposição dos canais de resina ao longo da peça, tendo sido também os *timings* de abertura dos mesmos repensados e ajustados. Numa situação inicial, existia um canal no primeiro metro da *Root* responsável por fazer a impregnação de toda aquela zona, sendo que apenas posteriormente se podiam abrir faseadamente os restantes passadores (Figura 29). Dado que a *Root* é a secção da pá com mais camadas de fibra, só a impregnação desta zona consumia aproximadamente duas horas. A proposta passou por estender os canais centrais até ao início da peça e promover uma infusão faseada. Nesta situação, ao mesmo tempo que ocorre a impregnação da *Root*, também ocorre a impregnação de outras áreas da peça (Figura 30).

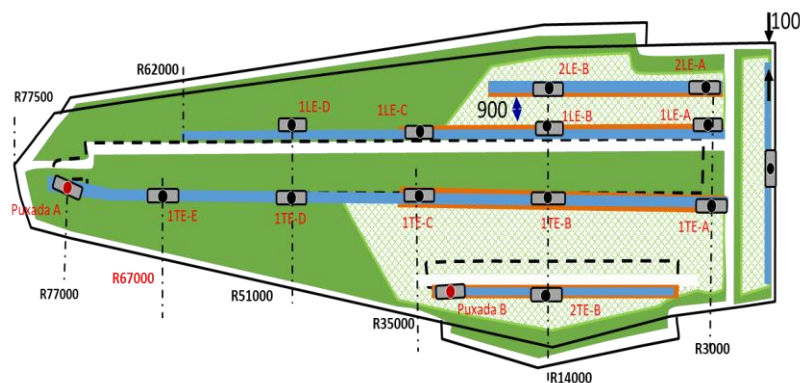


Figura 29: Estratégia de Infusão Inicial

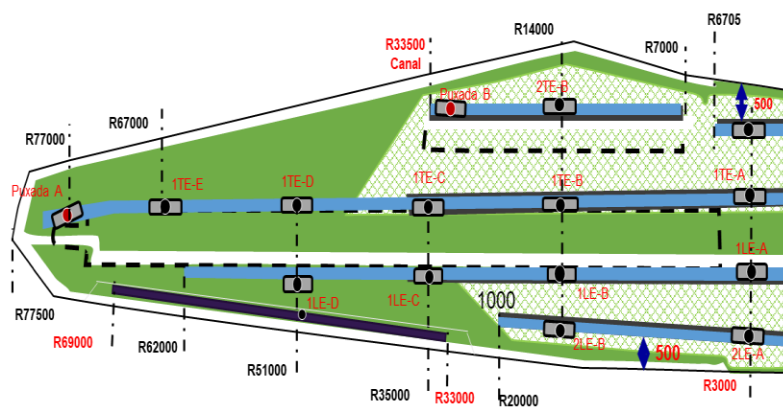


Figura 30: Estratégia de Infusão proposta



A aplicação da medida evidenciou desde logo resultados positivos, conseguindo-se uma maior rapidez na impregnação da peça. De uma forma resumida, foi conseguido um ganho de 2h30 (redução aproximada de 55 %) no tempo de infusão. Para além disso, também se verificou uma redução em 40% das áreas por impregnar, o que representa um ganho em tempo de ciclo no que diz respeito à redução das reparações necessárias.

### **F - Preparação de Molde**

A equipa de Desmoldagem, tal como o próprio nome indica, é responsável pela realização da desmoldagem da pá e pela preparação do molde para a equipa de *layup*. A preparação compreende a limpeza, colocação de membranas e o *veil* para proteção do molde e auxílio de desmoldagem, tal como representado na Figura 31. Foram percebidas falhas inerentes ao processo, pelo que foram estabelecidas algumas ações, de forma a colmatá-las.

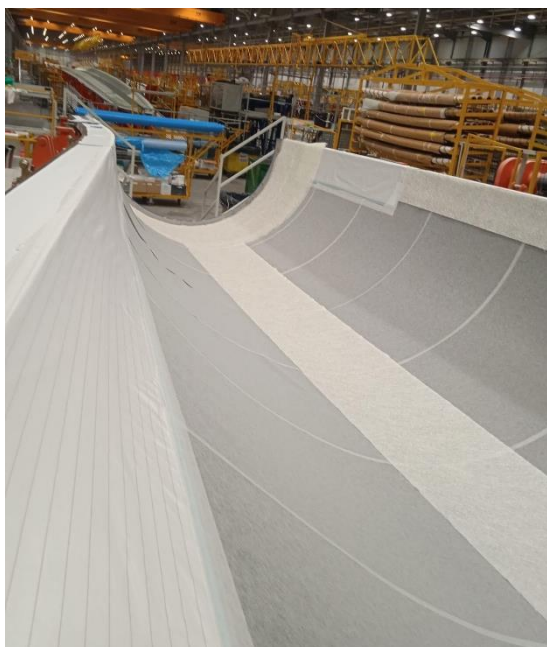


Figura 31: Preparação de molde

### **9. Descentralização de tarefas, criação de equipamento para armazenamento de material e ajudas visuais para execução de tarefas**

Após um acompanhamento das tarefas desta equipa, constatou-se uma oportunidade de descentralização de algumas tarefas da equipa de *layup* para a equipa de desmoldagem. Assim sendo, ficou definido que a preparação de amostras – para avaliação do valor de Tg, a preparação de termopares – para leitura de temperatura à superfície da peça e preparação do kit de “pontes” ficaria a cargo da equipa de desmoldagem que apresentava uma maior margem para realização desse tipo de tarefas. Assim, garante-se sempre uma preparação prévia de materiais necessários ao processo, não sendo preciso parar elementos da equipa com maior carga de trabalho no molde principal. Para sustentar esta avaliação, foi realizado o acompanhamento de todas as atividades e feita uma definição dos recursos mínimos para cada operação.

Foi estudado o *layout* para um equipamento de armazenamento do material elaborado. Assim sendo, foi criado um armário onde este material deve ser armazenado, ao qual só têm acesso as equipas de preparação do material e as equipas que necessitam do mesmo. Este armário contém um compartimento para *stock* da matéria-prima necessária, assim como para armazenamento do produto acabado (Figura 32). Encontra-se devidamente identificado e delimitado por um *zoning* identificativo.



Figura 32: Armário de Desmoldagem

Adicionalmente, foram desenvolvidas ajudas visuais para garantir um correto cumprimento do *standard* e para que todos os colaboradores saibam o que devem produzir e como produzir. No Anexo C encontra-se o exemplo da ajuda visual criada para a preparação de termopares.

Esta descentralização de tarefas permitiu um melhor aproveitamento de recursos e tempos mortos durante o processo. Desta forma, garantiu-se sempre a ocupação dos colaboradores com o aproveitamento dos mesmos para realização de atividades de valor acrescentado, tendo-se evidenciado um maior aproveitamento das equipas de *layup*. Ou seja, deixou de ser necessário desviar três elementos durante 3h para levar a cabo pequenos trabalhos que condicionavam o avanço para etapas subsequentes.

## 10. Sugestão de implementação de um sistema *Kanban*

Foi também estudado um sistema *Kanban* de forma a controlar as entradas e saídas do material e garantir o cumprimento do objetivo quando o ritmo de produção aumentar. Através desta ferramenta, será possível controlar as necessidades de preparação e garantir sempre a existência de um kit previamente preparado de acordo com o plano de produção vigente.

A proposta apresentada tem em vista a criação de um quadro, representado na Figura 33, com etiquetas representativas para cada tipo de material necessário e respetivas quantidades requeridas.

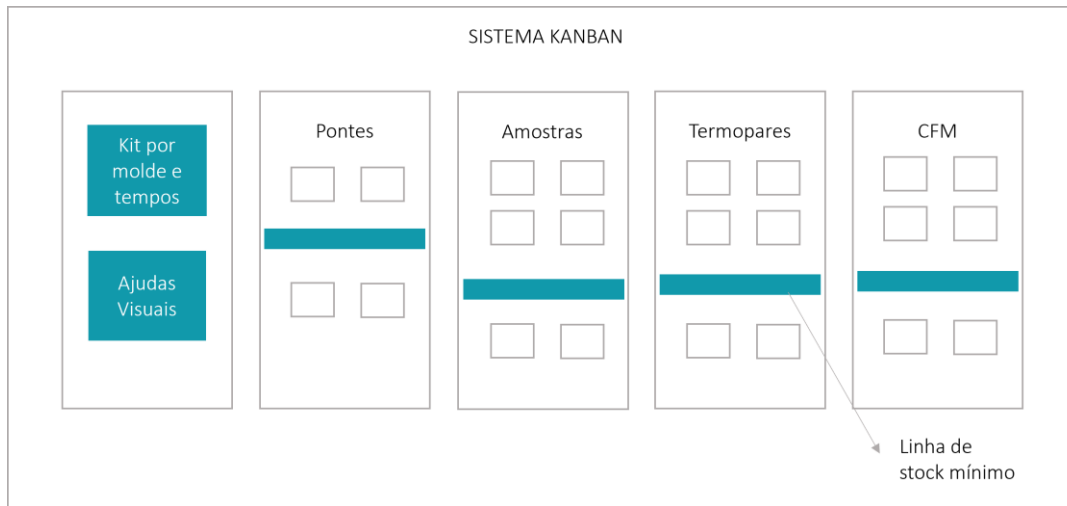


Figura 33: Proposta *Layout* de Quadro Kanban

Neste quadro deve constar uma folha exemplificativa com o Kit de material necessário para cada preparação e cada molde, e na qual devem ser apontados os tempos de execução do Kit respetivo (Figura 34). Da mesma forma, deve existir uma secção para as ajudas visuais já formuladas, de forma a garantir que se encontram posicionadas no sítio correto e disponíveis quando necessário.

KIT PREPARATIVOS MOLDE SG 170

	Material	PS	SS	Total	Execução				
					Hora Início	Hora Fim	Tempo Total	Horas-Homem	Turno
CFM	Rolo CFM 1200	1 KIT (2 Camadas)	1 KIT (2 Camadas)	2 KITS (4 Camada)					
Termopares	Fichas de ligação	15	16	31					
	Fio Termopar								
Pontes	Felpo								
	Pell Ply 150 mm	LEC 50 TE 70	LE 100 TE 100	320					
	Membrana								
	Guitter								
Amostras	Guitter (1)								
	Pell Ply 150 mm	22	22	44					
	Fibras								

Figura 34: Kit preparativos por molde e tempos de execução

De forma resumida, este sistema deverá funcionar da seguinte forma:

1. As preparações com etiquetas acima da linha azul de *stock* são executadas em primeiro lugar;
2. Se todos os preparativos acima da linha estiverem concluídos, podem ser executados os preparativos abaixo da linha de *stock* de segurança;
3. Quando todos os preparativos estiverem concluídos, o painel estará sem etiquetas;
4. A preparação é realizada conforme marcado no painel. Os tempos são anotados na folha do molde correspondente;
5. As preparações acabadas devem ser deixadas junto ao molde onde vão ser utilizadas;
6. A etiqueta da preparação acabada é removida do painel e deixada no local onde a preparação foi deixada;
7. Quando um kit for usado, devem ser colocadas novamente as etiquetas de volta no painel.

O sistema apresentado, ainda não foi implementado, mas encontra-se validado para aplicação quando o ritmo de produção assim o justificar.

## G - Colagem Web e Rear Web

A equipa de colagem, para além da colagem propriamente dita da *Web*, *Rear Web* e fecho de pá, tem um conjunto alargado de outras tarefas até à conclusão do trabalho final, nomeadamente a preparação dos pré-fabricados. A preparação das *Webs* inclui processos de furação, cravação e laminação. Tipicamente esta tarefa era realizada pela equipa de colagem, e apresentava uma duração média de aproximadamente 3 horas e 20 minutos para dois colaboradores. No entanto, pela análise da operação, perceberam-se várias ineficiências, pelo que foi realizado um estudo numa tentativa de a melhorar e facilitar o trabalho dos colaboradores.

Assim sendo, numa primeira fase, foi feita uma discretização de todas as tarefas, movimentações e transportes que foram devidamente cronometrados; ao mesmo tempo foram identificados os operadores envolvidos em cada ação, descrevendo-se desta forma o estado atual do processo “*as-is*” (Anexo D). Os tempos apresentados no documento resultam da média de três observações.

Desta análise, perceberam-se diversos desperdícios, nomeadamente de transporte e movimentações, tal como se pode observar pela análise do Diagrama *Spaghetti* (Figura 35). Adicionalmente, verificou-se que não existia um método de trabalho para a tarefa e os colaboradores não se sentiam confiantes na sua execução.

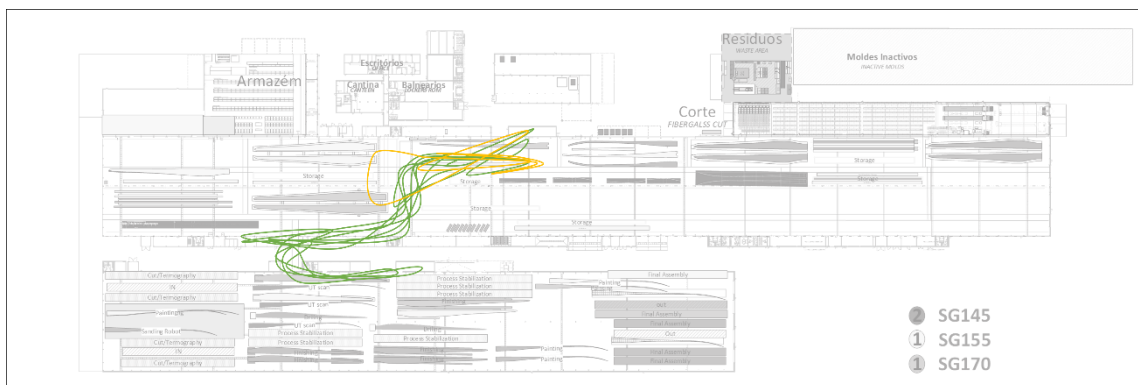


Figura 35: Diagrama *Spaghetti* “*as-is*”

Tendo em conta o cenário explicitado, posteriormente, foi definido um conjunto de ações com vista a atingir um estado “*to-be*” mais favorável.

### **11. Alteração do local e posição para realização da tarefa**

Inicialmente redefiniu-se estrategicamente o local de preparação da *Web*, de forma a reduzir as distâncias percorridas durante o processo e facilitar ergonomicamente o trabalho dos colaboradores. Ao invés da preparação acontecer enquanto a *Web* aguarda arrumação em *stock/station*, esta é feita justamente com a *Web* já posicionada na vertical. Nesta posição, os equipamentos necessários têm local de ligação adequado, não sendo necessário recorrer a equipamentos extra. Para além disso, os colaboradores executam o trabalho de forma mais fácil e em maior segurança. Da mesma forma, os movimentadores podem posicionar a *Web* independentemente da realização da tarefa, o que possibilita áreas desimpedidas durante um maior período de tempo.

## 12. Elaboração de um roteiro de levantamento de material

Posteriormente, elaborou-se um roteiro, representado na Figura 36, com o intuito de diminuir as distâncias percorridas pelos colaboradores e reduzir o tempo gasto em movimentações durante o processo. Através desta ferramenta, pretende-se que, de uma só vez, os colaboradores recolham o material que necessitam, evitem gastar tempo com movimentos em vazio e deslocações por mais do que uma vez ao mesmo sítio.

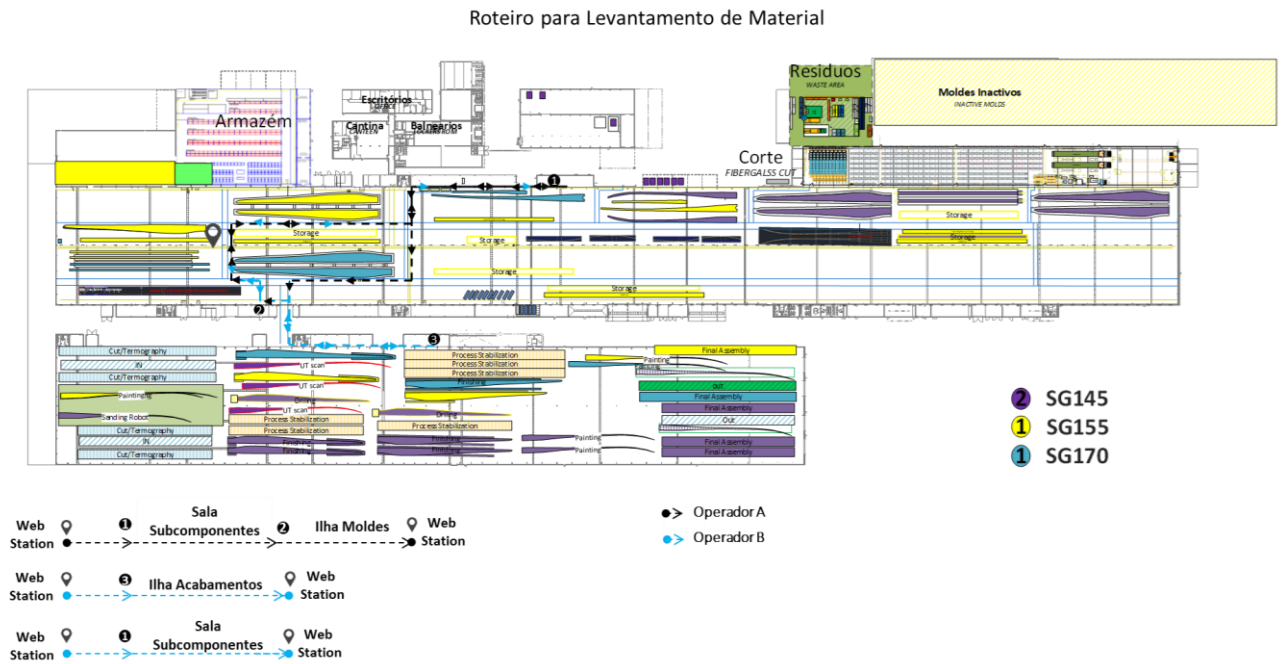


Figura 36: Roteiro para levantamento de material

Paralelamente, foram criadas umas ajudas visuais com uma espécie de lista, onde constam todos os materiais que devem ser levantados para evitar possíveis esquecimentos (Figura 37).

Material Sala de Subcomponentes	Material Ilha Acabamentos	Material Ilha Moldes
Material de Cravação Máquina de Cravação Cola Verde Fibra e Grampos	Resina Endurecedor Rolo de Laminar Espátula de Madeira Berbequim Elétrico para furação EPIs (luvas de proteção química azuis)	Secador Pistola de Cola Plexos Alicate 1 tubo de cola plexos

Figura 37: Ajudas visuais para identificação do material necessário em cada local

Com a utilização do roteiro, verificou-se um ganho substancial ao nível de transportes e movimentação, como pode ser conferido através da análise do Diagrama *Spaghetti "to-be"*, representado na Figura 38.

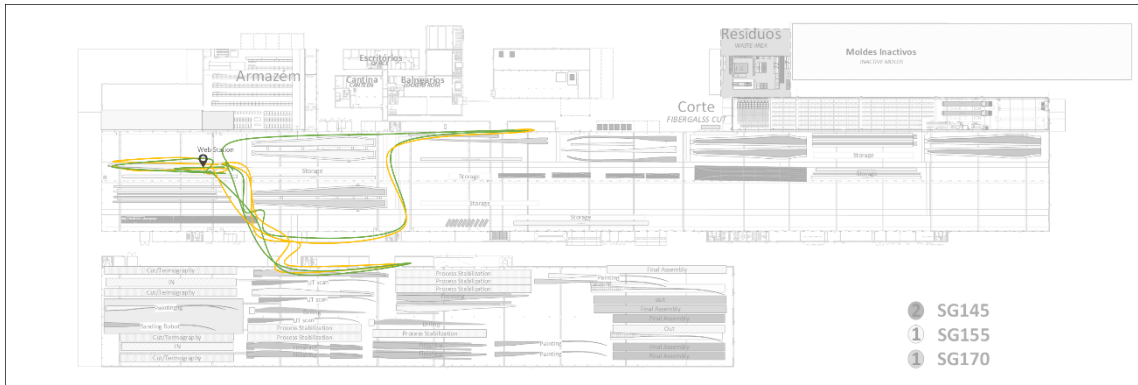


Figura 38: Diagrama Spaghetti "to-be"

De uma forma geral, as alterações ao processo podem ser constatadas através da análise do modelo BPMN 2.0 "as-is" e "to-be" para a tarefa de preparação das Webs, no qual a principal diferença passa pela criação de uma etapa inicial de recolha de material, que segue o roteiro apresentado.

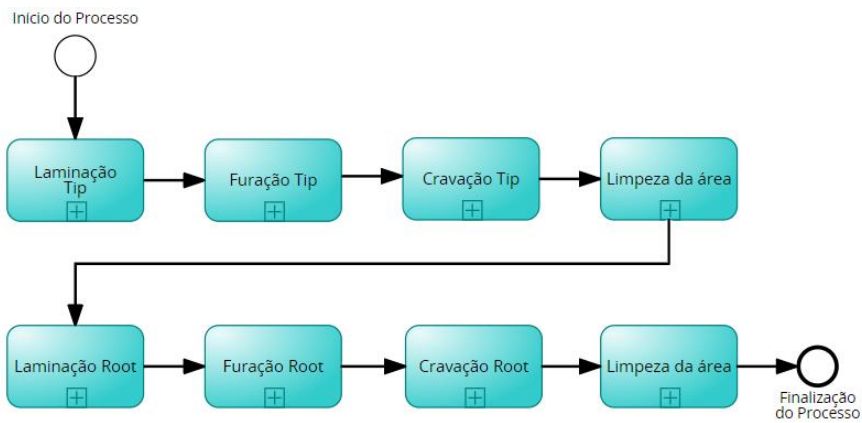


Figura 39: Modelo "as-is" Preparação de Webs

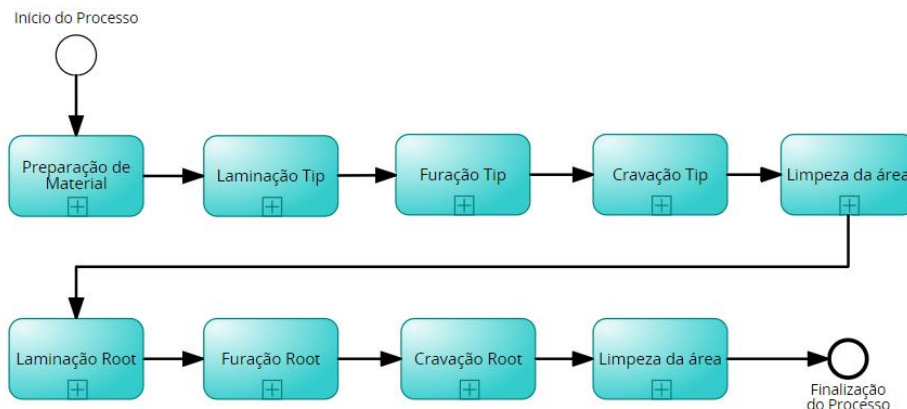


Figura 40: Modelo "to-be" Preparação de Webs

A inclusão inicial da recolha de material tem repercussões na execução das outras tarefas, essencialmente ao nível da redução de movimentações e transportes. A título exemplificativo, é apresentado o subprocesso de Cravação da *Root* onde é clara a simplificação da tarefa através de uma análise comparativa entre o estado “*as-is*” e “*to-be*” (Figura 41 e 42).

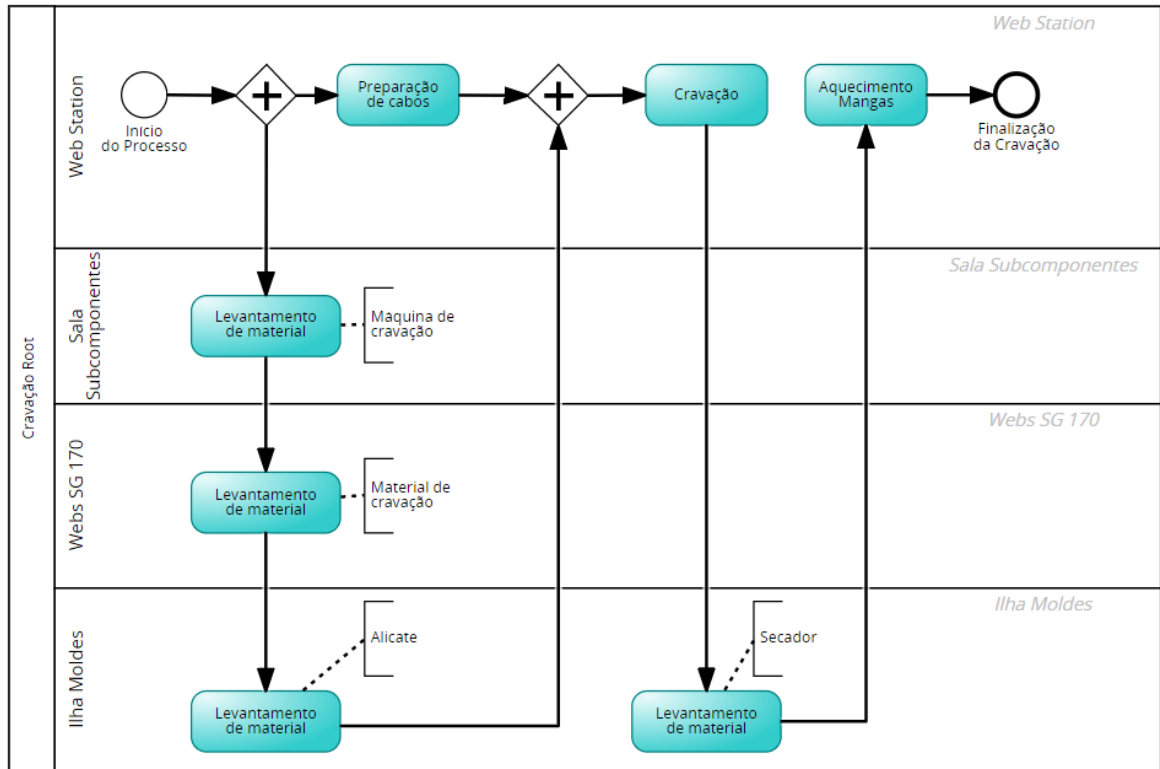


Figura 42: Modelo “*as-is*” subprocesso Cravação

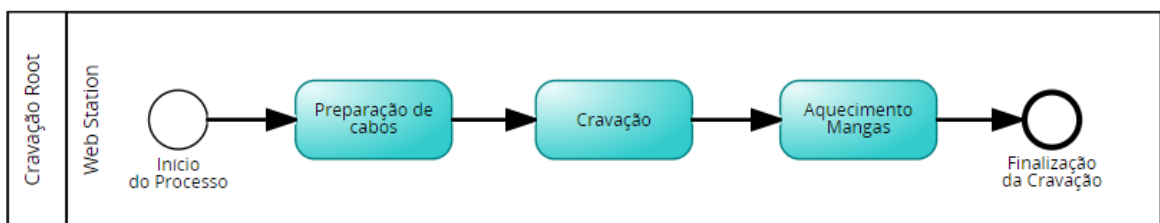


Figura 41: Modelo “*to-be*” subprocesso Cravação

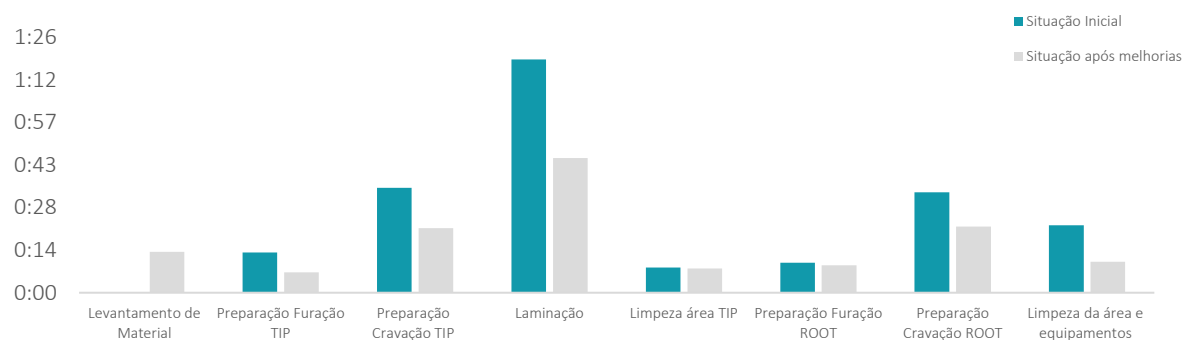
### 13. Elaboração de *Standard Work* e Formação aos Colaboradores para execução da Tarefa

Uma vez que esta operação não apresentava um *standard* de trabalho definido, foi elaborado um documento, Anexo E, com o intuito de não só facilitar o trabalho dos colaboradores como também promover uma maior uniformização da tarefa.

Dada a impossibilidade de reduzir um colaborador pelas especificações das tarefas, optou-se por promover o máximo de simultaneidade de funções e foi dada formação aos colaboradores sobre as regras de execução e distribuição de tarefas.

Para fazer uma avaliação dos resultados conseguidos, foram novamente registados os tempos para cada tarefa (Anexo F), tendo-se evidenciado um ganho na realização da operação de cerca de 65 minutos (média de três observações), tal como representado no Gráfico 4.

De ressaltar que na situação inicial foi obtido um desvio padrão de 2,73 para as observações efetuadas; por sua vez, no cenário pós melhoria, o desvio padrão refletiu uma menor variância traduzindo-se num valor de 0,91. Assim, para além da melhoria evidente ao nível de tempo, percebem-se, também, melhorias ao nível da uniformização e normalização do método de execução e procedimentos a adotar.



Tarefa	Levantamento de Material	Preparação Furação TIP	Preparação Cravação TIP	Laminação	Limpeza área TIP	Preparação Furação ROOT	Preparação Cravação ROOT	Limpeza da área e equipamentos	Total
Situação Inicial	00:00:00	00:13:36	00:35:28	01:18:55	00:08:30	00:10:09	00:34:00	00:22:50	03:23:28
Situação após melhorias	00:13:50	00:06:55	00:21:47	00:45:35	00:08:09	00:09:15	00:22:20	00:10:30	02:18:21
								<b>Ganhos</b>	01:05:07

Gráfico 4: Tempos de execução situação inicial e após melhorias

Para além das melhorias no processo, foi proposto que esta operação passasse a ser previamente preparada para a equipa de colagem. Com esta alteração, tornou-se possível colar *Web* e *Rear Web* no mesmo turno, algo que até ao momento não tinha sido conseguido.

## H - Organização da Área

A limpeza e organização da área é uma questão de elevada relevância para qualquer empresa, pelo que foram feitas algumas propostas, com o objetivo de melhorar a organização do espaço fabril.

Durante o processo, verificava-se uma grande desorganização da área produtiva, com materiais no chão, lixo espalhado pelos passadiços de trabalho, material fora do sítio, caminhos impedidos por material arrumado indevidamente, entre outros.

Este tipo de problemas origina desperdícios ao nível das movimentações, perturbações ao normal funcionamento do processo, pode implicar danificação dos materiais e, ainda, ter implicações ao nível da segurança dos colaboradores.

Tendo por base a metodologia 5S, numa primeira fase foi feito um pequeno *Gemba Walk* com alguns elementos da equipa ao terreno e foram classificados todos os objetos e materiais de trabalho de acordo com a sua frequência de utilização, de forma a alocá-los à área mais conveniente e facilitar a sua utilização. Nesta fase, o objetivo passava por criar um ambiente de trabalho organizado e estruturado, alinhado com as principais necessidades do processo. Posteriormente, no seguimento da



segregação previamente realizada, prevalece o conceito de organização, no qual se procurou etiquetar, definir *zoonings* de localização para agilizar o processo, economizar tempo e tornar visuais as ferramentas disponíveis. Findas estas etapas, procedeu-se e instaurou-se um senso de limpeza de forma a eliminar elementos desnecessários, causadores de entropia. De ressaltar a importância da padronização dos três conceitos já enunciados. Para tal, procurou-se criar sistemas facilitadores para a manutenção da mudança. Adicionalmente, o Líder GAT ficou com a responsabilidade de garantir ao final de cada turno o cumprimento dos *standards* definidos.

O cumprimento ou não dos métodos está passível de uma avaliação por auditoria da equipa de HSA (Higiene, Segurança e Ambiente), podendo o incumprimento ser punível com perda do prémio de higiene e segurança laboral para as equipas em falha.

Posto isto, no seguimento dos problemas enunciados e dos objetivos a alcançar, de seguida enumeram-se as ações implementadas.

#### 14. Criação de suportes para distanciadores, cristos de infusão e calhas para *layup*

Com a necessidade de criar equipamentos de suporte ao processo, evidenciou-se também a necessidade de criar suportes para os mesmos, de forma a promover uma maior organização da área. Estes suportes foram desenvolvidos para os distanciadores de colocação da *Cap* e *Rear Cap* e para os cristos de infusão que suportam as mangueiras. Para além disso, foi realizada uma intervenção no suporte das calhas que são colocadas no *layup* interno. Estas calhas dão forma à linha de colagem do LE e TE. Para o lado TE são necessárias 8 calhas e do lado LE 28 calhas, que eram armazenadas em amontoado, sem qualquer ordenação como se constata na Figura 43.

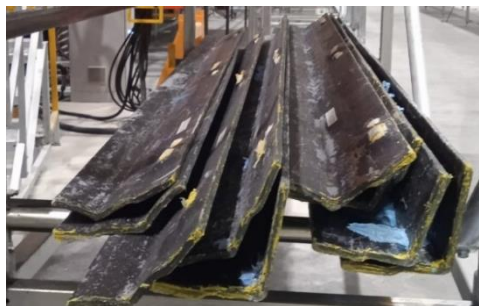


Figura 43: Disposição desordenada de calhas

A sugestão passou por criar pequenos suportes para o armazenamento em lotes de 5 calhas, acondicionadas de acordo com a ordem de uso (Figura 44).



Figura 44: Divisão de calhas por suportes

Para além da melhoria a nível da organização do espaço de trabalho, verificou-se também uma redução em cerca de 60% no tempo de procura e colocação das calhas, tornando o processo mais simples e menos esforçoso.

### 15. Aprisionamento no molde dos grampos de fecho do molde

Os grampos são utilizados para garantir o fecho de molde, no entanto estes não tinham nenhum suporte definido, estando constantemente espalhados ao longo dos passadiços. Para além disso, verificou-se que existiam unidades a mais e que constantemente estas peças eram trocadas entre moldes. Assim sendo, foi proposto o aprisionamento dos grampos diretamente ao molde (Figura 45). Desta forma, consegue-se uma maior arrumação da área e as quantidades certas para cada molde, eliminando-se qualquer tipo de excesso e prevenindo uma eventual falta de material.



Figura 45: Aprisionamento de grampos no molde

### 16. Roldana para armazenamento do comandos do molde

Junto ao molde no lado da *Tip* e *Root* existem dois comandos cujos botões têm de ser acionados durante fecho e abertura de molde. Os fios destes comandos não tinham nenhum sistema de arrumação, pelo que foi proposta a criação de uma espécie de roldana onde é possível enrolar os fios e garantir uma área mais limpa, organizada e com maior segurança, tal como é possível constatar na Figura 46.



Figura 46: Roldana para arrumação de fios

## 17. Utilização de caixotes de lixo ao longo do molde

Durante as operações de *layup* é gerada uma grande quantidade de lixo, principalmente papel que envolve a fibra e os tubos onde a mesma vem enrolada, tal como se pode observar na Figura 47.

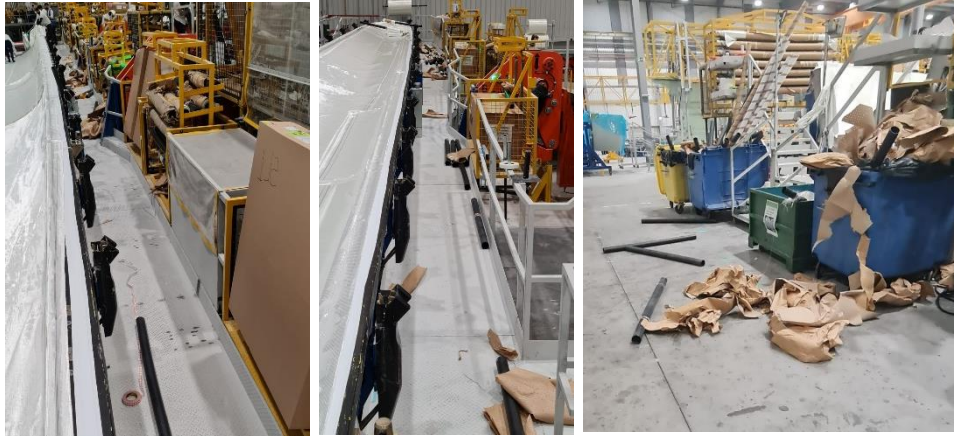


Figura 47: Evidência de desorganização da área

No final do turno, as equipas têm disponíveis 20 minutos para garantir que a área fica limpa. No entanto, tendo em vista uma maior organização da área e um melhor aproveitamento do tempo, foram colocados vários baldes ao longo do passadiço, tal como representado na Figura 48.

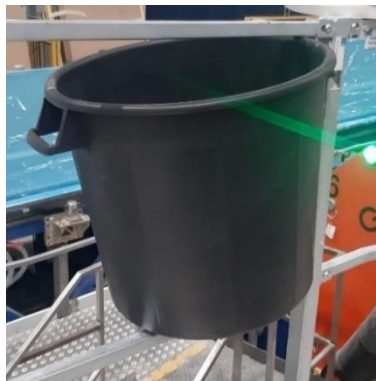


Figura 48: Balde aprisionado ao passadiço

Assim, no final do turno, cada operador levanta um caixote, despeja no contentor correspondente e volta a arrumar o balde no sítio correto. Com aplicação desta medida tornou-se visível uma maior organização e limpeza da área durante as operações de produção e uma maior coordenação de pessoas e movimentos.

### I - Pontos de Controlo Qualidade

Devido à complexidade da estrutura interna das pás eólicas, do processo e da variabilidade associada ao método de fabrico – mão de obra, existe uma multiplicidade de defeitos que estão associados à fabricação destes componentes.

Ao longo do processo, as pás são sujeitas a vários tipos de inspeção que se regem segundo critérios específicos evidenciados em catálogos de defeito. Parte das inspeções são baseadas numa avaliação visual dos inspetores de qualidade e outras por tecnologia mais sofisticada como, por exemplo, NDT (*Non Destructive Test*) através de ultrassom. Este tipo de método permite encontrar defeitos internos na pá com uma elevada precisão e sensibilidade, sem afetar a sua estrutura interna.

A avaliação dos defeitos é da responsabilidade do Departamento de Qualidade da empresa que regista a anomalia e faz o seu seguimento. Essas anomalias são sujeitas a um processo de reparação, tendo esta de ser posteriormente reavaliada e validada pelos inspetores/supervisores de qualidade. O retrabalho associado a estas não conformidades implica aumentos significativos no *lead time* da peça, variando de acordo com a gravidade do problema. No entanto, de salientar que em todas as peças se verificavam anomalias de diferentes tipos que exigem reparações mais ou menos extensas. Assim sendo, o foco passa por reduzir e, se possível, eliminar o tempo de retrabalho através da mitigação de problemas de não qualidade, que implicam gastos de tempo, recursos materiais e humanos na sua resolução.

Durante o projeto de estágio, verificou-se uma necessidade constante de avaliar quais os defeitos com maior impacto para a empresa. Para tal, houve uma participação semanal nas reuniões de qualidade, onde eram apresentados em quantidade os diferentes tipos de defeitos para cada projeto e a sua criticidade para a empresa. Esta criticidade era definida pela produção, tendo por base a complexidade da reparação que estava associada ao defeito e, conseqüentemente, o aumento do *lead time* justificado pela impossibilidade de avançar para tarefas produtivas subsequentes.

De forma a estudar estatisticamente os dados internos de não conformidades, foi feita uma avaliação através de um diagrama de Pareto dos defeitos proeminentes. Esta avaliação foi realizada tendo por base uma média semanal.

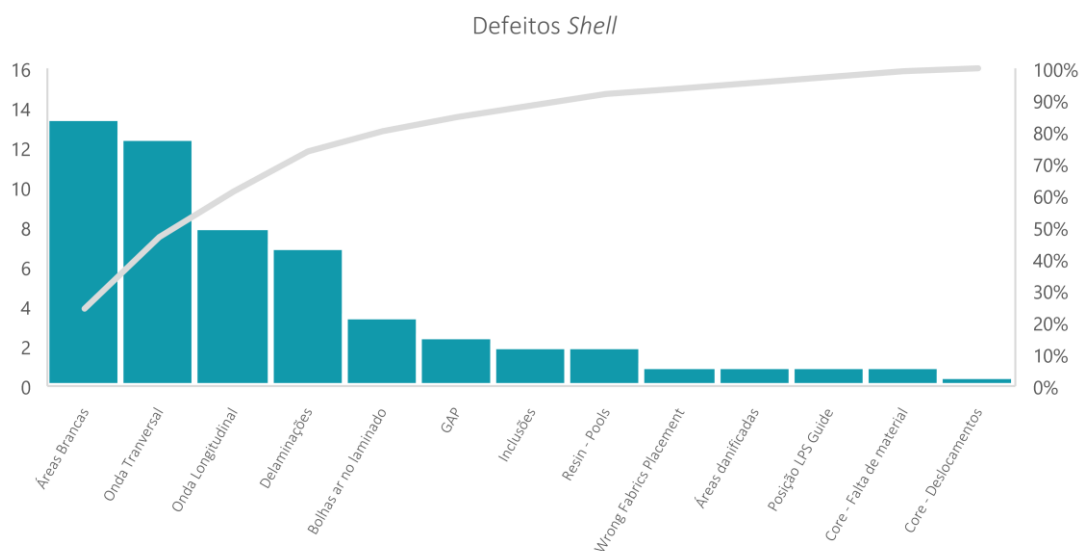


Gráfico 5: Defeitos proeminentes com influência na qualidade da peça

Neste caso, de destacar:

**1 Áreas Brancas** – Geradas por ar que entra na peça e influencia o fluxo de resina impedindo uma correta impregnação, ou por uma correta indefinição de RIM que origina falhas de impregnação;

**2 Ondas** – Geradas pela mau acondicionamento da fibra ao molde com conseqüente formação de ondulação que se acentua com a sobreposição de mais camadas de fibra;

**3 Delaminação** – Áreas de pouca ou nenhuma adesão entre camadas de material adjacente. Este defeito pode ser causado devido a fugas durante a infusão.

Findo este levantamento, foi elaborado uma compilação de defeitos, onde para além da designação do defeito, consta também um conjunto de ações que têm em vista a sua redução e, se possível, eliminação permanente. Como resultado da elaboração deste documento (Anexo G) foi, posteriormente, dada uma formação às equipas, constantemente atualizada sempre que alguma alteração entrava em vigor. O principal objetivo passou por manter todos os colaboradores consciencializados para a problemática das anomalias, os seus potenciais impactos e a urgência da aplicação correta das medidas de contenção para suprimi-las.

Adicionalmente, devido às variáveis supracitadas no primeiro parágrafo, como também à vigência do projeto e à introdução de muita mão de obra não qualificada, foram desenvolvidas folhas de verificação associadas a cada etapa produtiva para garantir que pontos críticos do processo eram controlados e validados pelos operadores de produção.

O principal objetivo foi criar uma ferramenta de controlo, com um conjunto de regras, tarefas e/ou atividades que têm de ser seguidas para alcançar os resultados esperados de forma sistemática. A utilização deste utensílio pretende criar uma rotina de verificação do cumprimento de todas as etapas do processo, fazer o registo de anomalias e garantir que todos os pontos críticos são revistos antes de avançar para a fase seguinte do processo.

Assim, para a equipa de *layup* e colagem foi criada uma folha de controlo com parâmetros específicos para análise e/ou execução, de forma a evitar ao máximo o erro (Anexos H, I). Este documento, aquando da desmoldagem da peça, tem de constar na pasta de identificação da pá e estar assinado pelo responsável de controlo, previamente designado em cada equipa. Esta ferramenta demonstrou ser um suporte importantíssimo para auxiliar as equipas de trabalho na execução das suas tarefas, reduzir a probabilidade de erro e, conseqüentemente, potenciar a produtividade. De uma forma geral, introduziu ganhos ao nível da:

- **Organização:** Através da sistematização e especificação dos itens a cumprir, evitando falhas ou esquecimentos.
- **Automatização de Etapas:** Ao longo do tempo e com a frequência de uso destas ferramentas, o controlo exigente passou a ser prática por parte dos colaboradores. Efetivamente, notou-se uma maior agilidade e eficiência na execução das tarefas e no próprio autocontrolo.
- **Redução de Falhas:** Verificou-se uma redução de erros e esquecimentos nos trabalhos mais complexos.

Ambos os documentos, catálogo de defeitos e folhas de verificação, foram sendo sistematicamente atualizados mediante necessidades de alteração ao processo. Destacar a realização de 8D's - reuniões onde são discutidos problemas mediante a exploração de ferramentas como a análise de 5 porquês ou o diagrama de *Ishikawa*.

### III.2.4.2 Main Cap SS e PS

No início do projeto SG 170, o problema mais crítico a nível de qualidade prendia-se exatamente com as *Caps* SS e PS. Face à falta de experiência com uma matéria-prima muito específica utilizada nestes componentes, nomeadamente as placas de carbono pultrudado (PCP), evidenciaram-se vários problemas de falhas de impregnação que, dada a aparência do carbono, só eram visíveis recorrendo a técnicas de ultrassom. Estes testes permitem saber com alguma exatidão qual a dimensão da falha e em que profundidade se encontra. No entanto, de destacar que este tipo de inspeção numa peça com aproximadamente 74 metros tem uma duração de cerca de 6h e implica o direcionamento de recursos especializados para a sua execução, nomeadamente um técnico de ultrassom, um auxiliar de limpeza durante a tarefa, e uma preparação de lixamento cuidadosa para permitir a leitura do equipamento, que é uma tarefa com duração aproximada de 7h para um colaborador.

Não obstante, a reparação desta anomalia é bastante longa e minuciosa, implicando o desbaste de todo o material até ao local do defeito e posterior reconstrução do *layup*, seguida de infusão, cura e ripagem. Após este processo, é necessária nova inspeção, sendo que em algumas situações o problema reincide. Noutras, face à dimensão do defeito e o custo associado, é decidido sucatar a peça. De realçar, que se trata de um componente com um valor extremamente elevado devido às placas e fibra de carbono que se encontram na sua constituição.

Percebida a dimensão do problema, foi envolvida uma equipa multidisciplinar para tentar solucioná-lo e atuar rapidamente na sua resolução. Numa fase inicial, foi elaborado um Diagrama de *Ishikawa*, de forma a evidenciar quais as principais causas associadas ao problema (Figura 49).

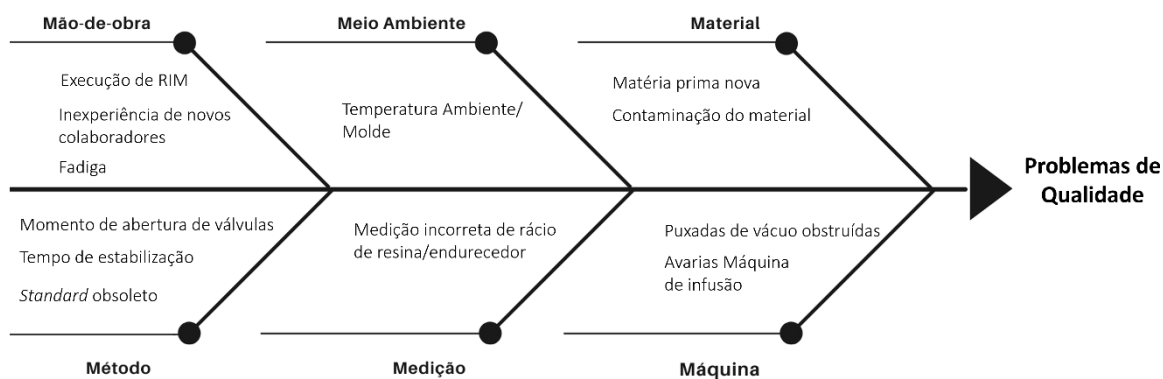


Figura 49: Diagrama de *Ishikawa* Problemas de Qualidade *Caps* SG 170

Dentre causas, é de destacar que a maioria se refere a nível processual, resultado da inexperiência da equipa, assim como do desconhecimento do produto.

Para contextualização do processo de fabrico da *Cap*, de referir que numa etapa inicial ocorre a preparação do molde, seguida do *layup* externo e colocação do *stack* de carbono. O *stack* é produzido numa outra linha e corresponde ao empilhamento de várias camadas de placas e fibra de carbono com medidas e posições muito bem definidas. Após a colocação do *stack*, faz-se a disposição do *core* ao longo da peça e, depois o *layup* superior. Posteriormente, tem de ser feito o RIM e a colocação de sacos para realização de infusão, seguida de cura e ripagem da peça.

## A – Layup Interno

### 1. Passagem de *layup* superior para a *Shell*

Como resultado duma análise inicial, e tendo em conta que o principal problema de qualidade se refletia nas fibras superiores ao *stack*, foi sugerida uma divisão do processo, ou seja, a realização do processo de produção em duas etapas distintas. Numa primeira fase, dar-se-ia toda a preparação de molde e *layup* até à colocação do *stack* de carbono seguida da infusão, cura e ripagem. Numa fase posterior, dar-se-ia, então, a realização do *layup* superior tendo novamente de ser realizada a infusão e processos de cura.

Apesar de viável a nível de qualidade, esta alteração incrementou de forma insustentável o tempo de ciclo das *Caps*, que atingiu as 35h totais. O novo processo encontra-se representado em BPMN 2.0 no Anexo J.

Numa fase posterior, foi proposto pelo Departamento de Tecnologia uma redução das fibras UD's por cima do *stack* de carbono. Com esta alteração, percebeu-se uma oportunidade de melhoria imediata. A proposta passou pela inclusão dessas fibras diretamente na *Shell*, após colocação da *Cap* já impregnada. Ou seja, com esta alteração, eliminou-se uma etapa de *layup*, infusão, cura e ripagem na obtenção do pré-fabricado.

A medida implica uma redução do tempo de ciclo em 12h, uma maior disponibilidade da equipa para a realização de outras tarefas e redução do consumo de materiais, nomeadamente materiais para execução do segundo RIM, sacos de vácuo e todo o material que está inerente à sua colocação. O modelo “*to-be*” do processo está representado no Anexo K e as fibras UD na *Shell* representada na Figura 50.

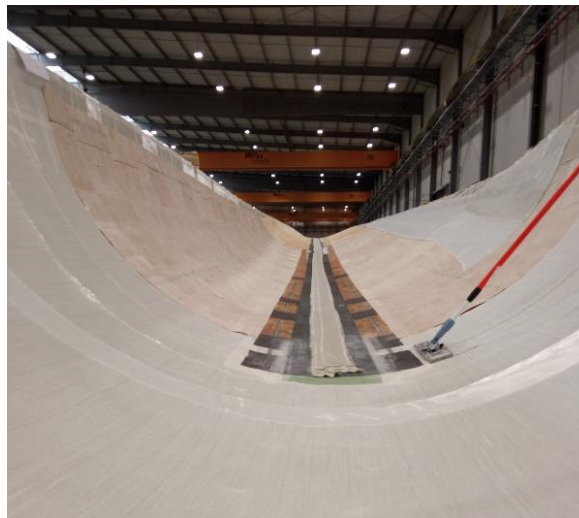


Figura 50: Fibras UD na *Shell*

Por sua vez, na *Shell*, a introdução desta alteração não se refletiu num aumento do tempo de ciclo, na medida em que as pessoas foram dispostas e formadas para a colocação das novas fibras, enquanto, simultaneamente, se realizam outras tarefas. Assim sendo, o tempo necessário para execução da tarefa compensou largamente o tempo de produção nas *Caps*. Da mesma forma, ao nível de infusão, não se verificou um aumento de tempo final, nem consumo extra de resina.

Relativamente à qualidade da peça, verificaram-se ganhos substanciais, não se tendo verificado através da inspeção UT falhas de impregnação consideráveis para abertura de defeito, ou seja, fora de especificação. Dada esta melhoria, foi ainda sugerido um estudo de controlo para avaliar de quanto em quanto tempo se deveriam realizar as inspeções UT. Pelo que, foi definido pelo departamento de qualidade uma inspeção periódica a cada 10 peças, medida esta que elimina a necessidade de recursos e tempos para preparação da peça para inspeção, evitando também atrasos na validação da mesma, o que pode potencialmente implicar paragem de processo.

## **B – Standard Work**

### **2. Atualização de *Standard Work* obsoleto**

Face ao cenário exposto, verificou-se também a necessidade de atualizar os *Standard Works* na *Shell* e nas *Caps*, assim como os Quadros de Seguimento na linha de processo.

## **C- Estudo para inclusão da *Cap* na *Shell***

### **3. *Trial*: Produção da *Cap* na *Shell***

Após a implementação descrita nos pontos anteriores, foi percebida uma outra oportunidade de melhoria. Efetivamente, com a experiência reconhecida dos colegas da *Siemens Offshore* foi realizado um estudo de introdução não só das fibras UD (*layup* superior) na *Shell*, mas também todo o processo de obtenção da *Cap*.

Dada a inovação processual e o risco associado à mesma, inicialmente, antes da aplicação prática, foram desenvolvidos *Trials* em pequena escala para avaliar essencialmente a estratégia de infusão a adotar na *Shell*. De destacar que estes testes envolveram muitas reuniões de análise, levantamento e preparação de materiais necessários, assim como formação para acompanhamento das equipas.

De uma forma geral, foram definidas três alternativas (Figura 51), em que a única variável consistia na posição do canal de resina, nomeadamente na extremidade direita, centro e extremidade esquerda da *Cap*, tal como é possível visualizar nas imagens.

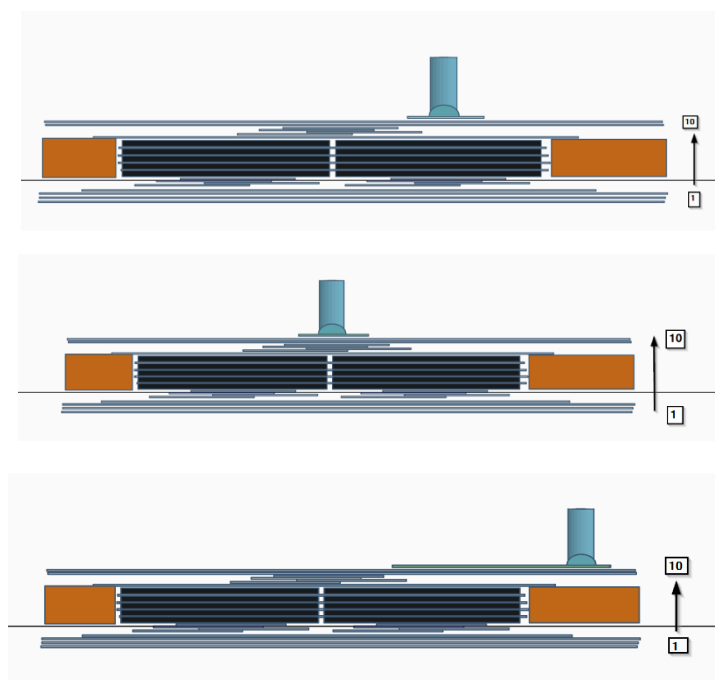


Figura 51: *Trials* PCP na *Shell*



Foi feito o acompanhamento da equipa das *Caps* de T1, e dada formação para realização da tarefa, para garantir o cumprimento das especificações. Após a realização dos testes, foi realizada inspeção UT, tendo sido selecionada a estratégia de infusão correspondente ao *Trial 1*.

Posteriormente, o método de execução foi transversalizado para a *Shell*. O teste foi executado numa *Pressure Shell*, e foram acompanhados e estudados todos os passos do processo com o intuito de avaliar a viabilidade da proposta e encontrar melhorias de aplicação futura. A proposta foi avaliada de acordo com três etapas: *Layup*, Infusão e Colagem. De seguida, serão explanados pontos críticos que serviram de controlo, assim como as principais conclusões retiradas.

O processo de *layup* pode ser equacionado em três etapas principais – *Layup* inferior, Colocação de *Stack* e *Layup* Superior, que perfizeram um total de 5h45. O tempo elevado observado para esta etapa deveu-se essencialmente à inexperiência dos colaboradores na execução da tarefa e, também, a vários ajustes que tiveram de ser efetuados, uma vez que se tratava da primeira experiência no molde. Ressaltar, no entanto, que este tempo é, em parte, camuflado pela possibilidade de realização de outras tarefas em simultâneo. No entanto, tendo em vista a redução no tempo de execução da tarefa no futuro, devem ser criados distanciadores adaptados ao molde principal para colocação do *stack* de carbono, dar formação e treinar a equipa para o processo. Para além disso, foi proposto que parte das fibras do *layup* superior sejam previamente colocadas sobre o carbono, o que terá um impacto significativo ao nível do tempo de processamento. Por outro lado, o *standard* de trabalho deve ser atualizado, para que funcione como uma importante ferramenta de auxílio. Da mesma forma, deve ser realizado um balanceamento de linha, para distribuir eficazmente a equipa e promover o máximo de simultaneidade de tarefas.

A estratégia de **infusão** utilizada revelou-se consistente com os resultados esperados. Comparativamente com as pás anteriores, o consumo de resina foi bastante similar, sem disparidades significativas a apontar. Da mesma forma, pode considerar-se que o tempo de infusão se manteve praticamente o mesmo, tendo apenas um ligeiro atraso causado por uma variável não relevante para o estudo em questão.

Foram também avaliadas as implicações ao nível da **colagem**. Para tal, foi realizado o habitual teste seco, esquematizado na Figura 52, de forma a detetar uma eventual alteração na espessura da linha de colagem devido a uma compressão diferente na área *Cap*, em comparação com a compressão conseguida numa situação habitual. Neste caso, era previsível ter uma compressão menor e, portanto, uma espessura de cola menor na *Web*. Pela análise dos dados recolhidos, verificaram-se efetivamente alguns pontos fora de especificação (plasticinas com espessura maior). Para compensar o desvio foram laminadas algumas camadas extra de fibra.



Figura 52: Teste seco para validar Colagem

Já no armazém dos **acabamentos**, a pá foi inspecionada através do *UT Scan* em toda a superfície junto à *Cap*. Da inspeção efetuada, nenhuma das indicações se revelou estruturalmente crítica.

No entanto, para validar a proposta e avaliar o seu impacto propõe-se a realização de um novo teste, contemplando as propostas de melhoria identificadas. Posteriormente, será necessária uma validação técnica e industrial por parte do grupo e realizar um *business case* completo para avaliar o impacto a nível económico e ao nível do tempo de ciclo. Se efetivamente a proposta avançar, podem-se verificar ganhos ao nível de redução de uma GAT, em três turnos, ou seja, 15 pessoas, que podem ser alocadas para satisfazer outras necessidades. A redução ao nível de consumíveis, nomeadamente RIM, resina, saco de vácuo etc., uma vez que esses materiais deixam de ser necessários nas *Caps* e não há consumo extra na *Shell*. Adicionalmente, podem incluir-se os custos energéticos de aquecimento de molde durante a cura e pré-aquecimentos, que passam a ser incluídos na *Shell*.

Em contrapartida, a etapa de *layup* da *Cap* incrementa o tempo de operação de *layup* externo em cerca de 4h; no entanto ressalvar que, perante uma redistribuição eficaz da equipa, com o processo normalizado e pessoas formadas, prevê-se uma diminuição substancial no tempo de execução da tarefa. Da mesma forma, é de notar que, embora a solução seja tecnicamente viável, os riscos são mais elevados, na medida em que os defeitos na *Cap* apenas serão detetadas com a pá fechada, sendo a correção da falha nestes casos muito mais complexa e demorada.

### **III.2.4.3 Main Web / Rear Web**

Entre todos os pré-fabricados, a *Main Web* é aquele que apresenta o tempo de ciclo mais elevado. Foi feito um acompanhamento da equipa e do processo, de forma a identificar oportunidades de melhoria. Do acompanhamento efetivado foram feitas algumas propostas de forma a facilitar o trabalho dos colaboradores, torná-lo mais fluído, reduzir o tempo das operações e padronizar métodos de trabalho.

#### **A – Processo de Colocação de Mantas**

##### **1. Numeração e ordenação de mantas**

Após a infusão de uma peça, é ligada uma receita de cura necessária para a catalisação da peça. Quando essa receita atinge os 85°C são colocadas mantas sobre a peça para evitar dissipações de energia e garantir que a peça catalisa o mais rápido possível e atinge os valores de Tg requeridos.

Durante observação do processo de colocação de mantas, percebeu-se alguma confusão e desorganização na equipa. As mantas para a *Main Web* e *Rear Web* estão armazenadas num cesto e apresentam dimensões diferentes, dada a diferença de largura das peças ao longo do seu comprimento. No entanto, não existia qualquer tipo de ordenação, o que implicava que os 3 colaboradores responsáveis pela tarefa perdessem muito tempo na tentativa de identificação das mantas correspondentes ao sítio certo. Esta situação obrigava-os, muitas vezes, a colocar a manta e voltar a retirar por não ter o tamanho suficiente para a cobrir toda a peça ou, pelo contrário, ser demasiado larga.

Assim, foi proposta uma ordenação das mantas e a sua identificação para evitar perdas de tempo. As mantas foram numeradas de 1 a 15 em direção da *Tip* para a *Root* do molde no caso da *Main Web* e de 1 a 7 no caso da *Rear Web* (Figura 53). Na altura de se retirarem as mantas, estas têm de ser guardadas no cesto correspondente com a ordem inversa à qual vão ser necessárias, ou seja, são armazenadas da *Root* para a *Tip*.

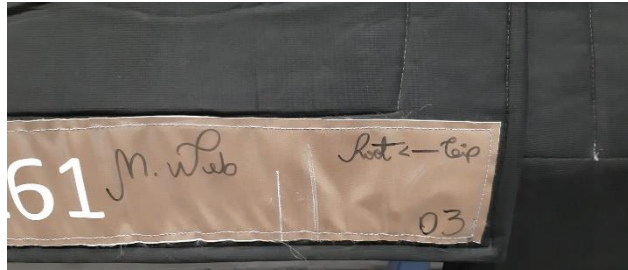


Figura 53: Numeração das mantas

Uma ação extremamente simples implicou uma melhoria significativa no tempo de execução da tarefa, tornando-a mais coordenada, simples e eficiente. Para além disso, reduziram-se movimentos em vazio e esperas.

## **B - Layup**

### **2. Atualização das etiquetas de colocação de fibra**

Durante a operação de *layup*, os colaboradores têm de respeitar inúmeras cotas de fibras. Essas cotas encontram-se discretizadas no *standard* de trabalho. No entanto, é pouco viável o colaborador, após a colocação de cada fibra, confirmar pelo desenho as medidas corretas. Assim, é prática em vários moldes a colocação de uma etiqueta identificativa, onde consta o tipo de fibra e raio inicial e final da camada.



Figura 54: Etiqueta indicativa de início de fibra

No molde da *Web* e *Rear Web*, as fibras indicativas dos raios estavam completamente obsoletas e desatualizadas face às novas versões de projeto introduzidas. Assim, foi realizado um levantamento exaustivo do *standard* com identificação dos raios iniciais e finais de todas as camadas de fibra e foram atualizadas todas as identificações no molde. A correta colocação das fibras é fundamental para garantir o dimensionamento e desempenho requerido para a peça, pelo que esta aplicação se revelou fundamental, não só para facilitar o trabalho do colaborador, que de forma rápida é capaz de identificar onde deve colocar a fibra, como também permitiu garantir a qualidade e os requisitos de produção.

Esta medida, aliada a sucessivas correções nas especificações da fibra no molde, permitiu uma redução de aproximadamente 30% na operação de *layup*.

## **C- Standard Work**

### **3. Uniformização e atualização do *Standard Work***

Com a passagem da empresa para a Siemens Gamesa, foi necessária uma adaptação da imagem da Ria Blades tendo em conta os novos padrões de imagem definidos pelo Grupo. Assim, relativamente ao *Standard Work* das *Webs*, realçar a atualização do documento tendo em conta a uniformização da imagem da empresa. Adicionalmente, em concordância com o engenheiro de processo, foram propostas algumas melhorias e correções, uma vez que determinadas situações já se encontravam obsoletas e não correspondiam à realidade.

O novo *standard* foi impresso e colocado na linha de produção numa capa A3 e também disponibilizado em formato digital nos “quiosques” disponíveis para o efeito. Desta forma, garantiu-se uma maior uniformização do método de trabalho e disponibilizou-se uma ferramenta de trabalho útil para que os colaboradores consigam perceber de forma rápida e visual o trabalho que deve ser executado e como deve ser feito.

### III.3 Resultados

Após a discussão das propostas efetivadas, nesta secção serão apresentados de forma resumida os resultados alcançados com as respetivas implementações. Para o efeito, foi realizada a Tabela 12, que sintetiza as melhorias resultantes das mesmas. De uma forma geral, ressaltar o impacto positivo no processo em resultado da aplicação conjunta das ações de melhoria, nas diferentes áreas de intervenção.

Componente	Área de Intervenção	Ação de Melhoria	Resultados
MS SS/PS	A Colocação de Core (Balsa e Espuma)	1. Ajuste do <i>core</i> na pá colada	- Redução das necessidades de retrabalho; - Processo mais fluído e com maior qualidade; - Redução de 90% no tempo de execução da tarefa.
	B <i>Layup</i> Interno e <i>Layup</i> Externo	2. Alteração do <i>Nesting</i> das fibras com medidas NOK	- Redução das necessidades de retrabalho; - Processo mais fluído e com maior qualidade; - Redução de 58% no tempo na operação de <i>layup</i> externo e 74% no <i>layup</i> interno.
		3. Redistribuição dos rolos de fibra nos carros de abastecimento	
		4. Cozedura das fibras LEBC e TEBC	
	C Colocação de <i>Cap</i> e <i>Rear Cap</i>	5. Criação e ajuste de distanciadores para colocação dos pré-fabricados	- Processo mais robusto; - A tarefa tornou-se menos penosa para os colaboradores e menos suscetível à falha humana; - Redução de 79% no tempo de colocação da <i>Cap</i> e 91% na <i>Rear Cap</i> .
	D Corte e desbaste da <i>Root</i>	6. Corte de fibras secas <i>layup</i> externo	- Tarefa ergonomicamente mais favorável; - Processo mais limpo e seguro; - Redução de 69% no tempo de execução da tarefa.
		7. Criação de calha para corte de <i>layup</i> interno	

	E Infusão	8. Alteração da estratégia de infusão	- Redução de falhas de impregnação; - Redução de 55% no tempo de infusão.
	F Preparação de Molde	9. Descentralização de tarefas; Equipamento para armazenamento de material; Ajudas visuais para execução de tarefas	- Melhor ocupação de tempos e recursos; - Normalização de tarefas.
		10. Sugestão de implementação de um sistema <i>Kanban</i>	
	G Colagem Web e Rear Web	11. Alteração do local e posição de preparação de Webs	- Redução das distância percorridas pelos colaboradores; - Tarefa ergonomicamente mais favorável; - Uniformização do método de trabalho; - Redução de 30% no tempo de execução da tarefa.
		12. Elaboração de um roteiro para levantamento de material	
		13. Elaboração de <i>Standard Work</i> e Formação aos Colaboradores para execução da tarefa	
	H Organização da área	14. Criação de suportes para distanciadores, cristos de infusão e calhas para <i>layup</i>	- Definição apropriada da localização para todos os meios de trabalho; - Melhorias ao nível da limpeza e organização do posto de trabalho; - Operações mais seguras; - Processo menos suscetível a falhas e, conseqüentemente, mais eficiente.
		15. Aprisionamento no molde dos grampos de fecho do molde	
		16. Roldana para armazenamento dos comandos do molde	
		17. Utilização de caixotes de lixo ao longo do molde	
I Incremento da Qualidade da Peça	18. Criação de <i>hold points</i> de verificação	- Maior controlo de processo; - Garantia de execução de todas as operações; - Incremento da qualidade da peça.	

CAP SS/PS	A <i>Layup</i> interno	1. Passagem do <i>layup</i> superior para a <i>Shell</i>	- Redução do tempo de ciclo na obtenção da <i>Cap</i> em 30%.
	B <i>Standard Work</i>	2. Atualização de <i>Standard Work</i> obsoleto	- Definição correta de procedimentos de trabalho; - Normalização do processo; - Redução da variabilidade e incerteza na execução do trabalho.
	C Estudo para inclusão da <i>Cap</i> na <i>Shell</i>	3. <i>Trials</i> PCP na <i>Shell</i> , acompanhamento de processo e levantamento de conclusões	- Redução de uma equipa de trabalho em 3 turnos; - Redução de material consumível e custos energéticos.
Main Web/Rear Web	A Processo de Colocação de Mantas	1. Numeração e ordenação das mantas	- Processo mais fluído e eficiente; - Tarefa mais coordenada; - Redução de movimentos em vazio e esperas; - Redução de 20% no tempo de execução da tarefa.
	B <i>Layup</i>	2. Atualização das etiquetas de colocação de fibras	- Visualização rápida das cotas de colocação do material; - Processo mais rápido, fluído e eficiente; - Redução de 30% no tempo de execução do <i>layup</i> interno e externo.
	C <i>Standard Work</i>	3. Uniformização e atualização do <i>Standard Work</i>	- Definição correta de procedimentos de trabalho; - Normalização do processo; - Uniformização da imagem.

Tabela 12: Tabela Resumo Resultados

De forma abrangente destacar os benefícios, segundo diferentes vertentes, das várias ações implementadas. Os resultados apresentados influenciaram de forma direta o desempenho dos processos, permitiram melhorias ao nível da eficiência, produtividade, redução de desperdícios, redução de atividades sem valor acrescentado, assim como ganhos ao nível da qualidade do produto final. Destacar a importância da definição de normas de trabalho padronizadas para correta execução das tarefas, dando primazia à segurança e promovendo o mínimo de variabilidade associada. Da mesma forma, espaços de trabalho mais limpos e organizados são fundamentais para facilitar e garantir as condições de trabalho necessárias.

Para entender, efetivamente, o impacto das várias propostas na redução do tempo de ciclo global do projeto foi realizada a média do tempo de ciclo de três pás produzidas, tal como na análise da situação inicial. Neste caso, foram consideradas as três pás produzidas na última semana do mês de

maio, tendo em conta que por esta altura as ações de melhoria já estavam todas implementadas e relativamente normalizadas. Realçar, por outro lado, que paralelamente ao projeto de estágio foram sendo desenvolvidas outras ações, nomeadamente ao nível dos tempos de cura e execução do RIM da peça, que tiveram um impacto positivo no tempo de tarefa e que, serão contabilizados, para o cálculo do novo tempo de ciclo associado ao projeto SG 170.

De forma sucinta e, em jeito comparativo, no Gráfico 6 encontra-se evidenciada a comparação entre o tempo de ciclo inicial e tempo de ciclo ao final do projeto de estágio, para os componentes em que foram aplicadas ações de melhoria. Da mesma forma na Tabela 13, encontram-se representadas as percentagens de redução face ao cenário inicial e o desvio padrão associado às três observações efetuadas. O valor do desvio padrão reflete relativa estabilidade do processo no caso das *Main Shells*, no entanto, relativamente aos pré-fabricados destaca-se uma necessidade de continuidade de acompanhamento do processo para incrementar a estabilidade do mesmo.

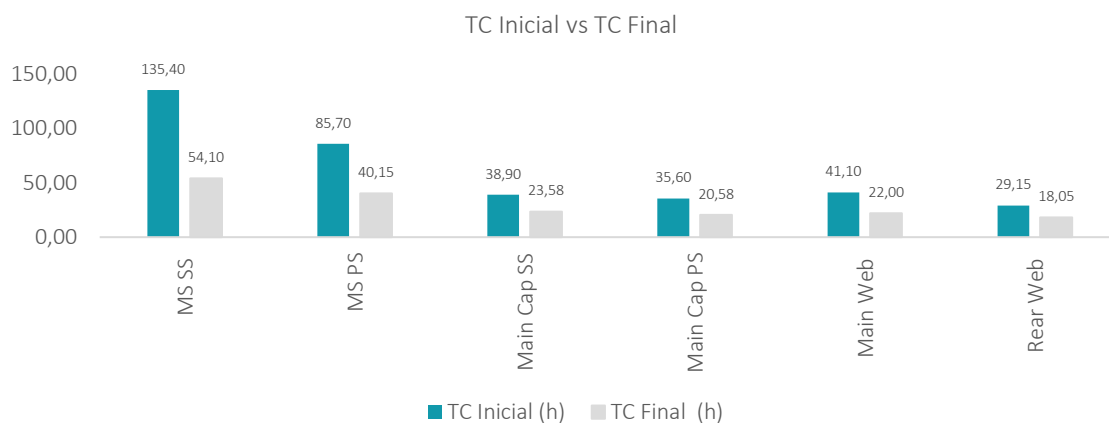


Gráfico 6: Comparação entre Tempo de Ciclo Inicial e Final

Componente	% Redução	s (h)
MS SS	60,04%	0,67
MS PS	53,15%	1,08
Main Cap SS	39,38%	1,33
Main Cap PS	42,19%	1,11
Main Web	46,47%	2,13
Rear Web	38,08%	1,60

Tabela 13: Percentagem de Redução de Tempo de Ciclo e desvio padrão associado às observações

Destacar que, para além de ações diretas relacionadas com o projeto, a curva de aprendizagem foi sem dúvida um fator de extrema importância que se refletiu nos ganhos conseguidos. A formação

constante das equipas e a aprendizagem ao longo do tempo foram fulcrais para incrementar o seu desempenho e aumentar a qualidade do produto final. Por outro lado, tendo em conta os requisitos de produção, verificou-se também uma necessidade evidente de aumentar as equipas de trabalho e constituir equipas completas em todos os turnos para dar continuidade às tarefas e evitar paragens com impacto no normal desempenho do processo.

Comparando o valor do tempo de ciclo atual com o valor do *Takt Time* calculado inicialmente (Gráfico 6), constata-se que ainda existe margem para a aplicação de melhorias de forma a atingir os valores de tempo almejados e necessários. De ressaltar, no entanto, que as percentagens de redução foram altamente significativas e que o objetivo inicial de redução do tempo de ciclo do projeto em pelo menos 50% foi atingido e superado.

Fazendo uma análise global ao projeto, verifica-se pela análise do Gráfico 7 que apenas a MS PS, Main Web, Rear Web e Bushings atingem os valores expectáveis de *Takt Time* para o mês de maio. No entanto, de ressaltar a proximidade dos restantes tempos e, como tal, a necessidade de dar continuidade à aposta na formação, proposta de melhorias e monitorização das propostas apresentadas.

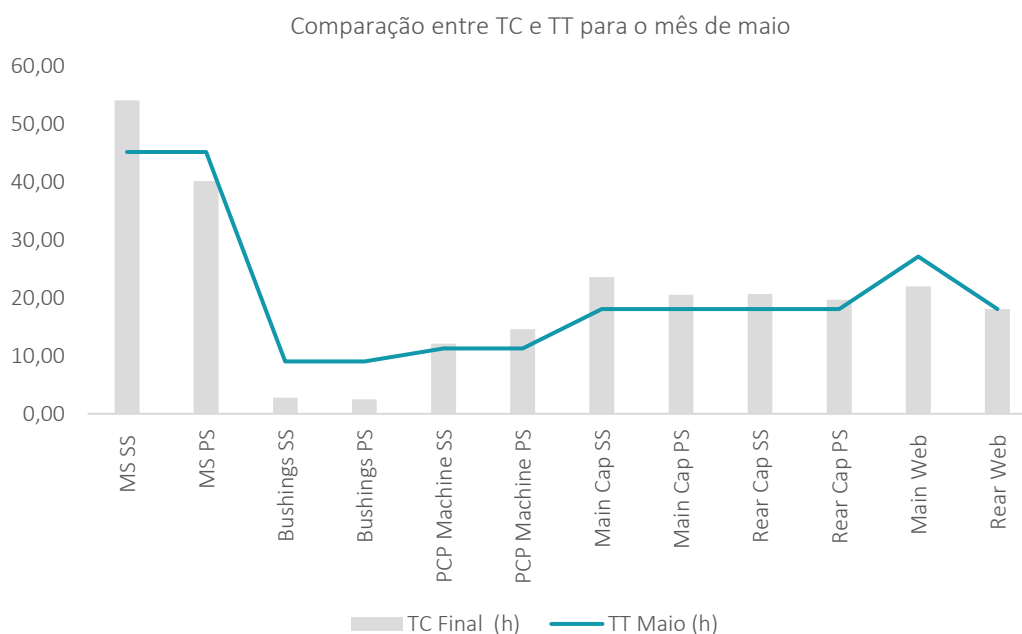


Gráfico 7: Comparação entre TC e TT para o mês de maio

Tendo em conta os resultados conseguidos foram também estudados os tempos *standard* em vigor e uma possível atualização dos mesmos, tendo em conta as melhorias de processo. Assim, foi aprovada uma alteração que se repercutiu numa atualização dos quadros de seguimento da linha. O novo tempo de ciclo estipulado passou para as 52 horas aproximadamente (Anexo L).



## **IV. Conclusão**

### **IV.1 Considerações Gerais**

A SGRE Blades assumiu desafios complexos com a introdução de projetos novos na empresa, com métodos de trabalho dispare, formas de execução e metodologias diferentes daquelas que estavam inculdas anteriormente na empresa. Assim, com o intuito de assegurar a sua vantagem competitiva e responder aos desafios do Grupo foi fulcral o estabelecimento de medidas para melhorar os seus processos. Neste caso, o foco passou pela introdução de melhorias no âmbito do Projeto SG 170, o mais recente da empresa e pioneiro de produção a nível global.

Perceberam-se inúmeras limitações para chegar ao objetivo proposto, dado que a fábrica de Vagos estava em processo de reconstrução e, portanto, todos os departamentos apresentavam falhas variadas, pela falta de estabilidade, própria da inovação processual e metodológica associada ao novo Grupo. Não obstante, realçar o balanço extremamente positivo, em resultado da colaboração de diferentes entidades e envolvimento de todos tendo como foco a melhoria contínua dos processos, da fábrica e dos projetos.

Neste sentido, o pensamento *Lean* foi adotado como estratégia primordial para garantir a vantagem competitiva almejada pela empresa e a sua sustentabilidade empresarial. A implementação das ferramentas *Lean* teve como principal objetivo reduzir o desperdício e, conseqüentemente, aumentar a qualidade, eficiência e produtividade do processo.

Para conseguir alcançar os objetivos inicialmente propostos, o processo do projeto considerado neste estudo foi inicialmente estudado através de uma recolha e análise de dados constante ao longo do tempo. O BPMN foi importante na medida em que permitiu fazer o mapeamento dos processos produtivos e compreendê-los, facilitando o processo de identificação de atividades sem valor acrescentado. Posteriormente, as informações obtidas, permitiram definir o estado inicial do processo e identificar os pontos críticos de atuação. Para tal, destacar o estudo de tempos efetuado, que dados os fatores externos com influência no desempenho da produção, permitiu através de uma análise cuidada, efetivamente, perceber quais as ineficiências do processo produtivo e determinar o tempo padrão para cada unidade elementar de trabalho. As fontes de desperdício foram identificadas e foram propostas vinte e quatro soluções para promover a sua eliminação. Dessas, vinte e duas foram totalmente implementadas, uma foi validada para posterior implementação noutra fase do projeto e outra necessita de aprovação técnica e de uma avaliação de viabilidade económica por parte do grupo. Como resultado, o tempo de ciclo total do projeto foi reduzido em cerca de 60%, tendo sido atingido o principal objetivo do trabalho.

Supletivamente, para além das melhorias que resultaram das diferentes propostas, destacar a mudança de mentalidade dos operadores envolvidos no projeto. O facto de serem constantemente envolvidos e participarem na identificação de desvios e na aprovação das ações de melhoria, fez com que sentissem parte ativa da solução e, conseqüentemente, se tornassem mais comprometidos com o seu trabalho. Esta mudança comportamental foi essencial para o sucesso das implementações e para a manutenção de uma cultura de melhoria contínua, baseada na procura constante de pontos bloqueantes e identificação de melhorias.

De forma geral, destacar os ganhos conseguidos com propostas de baixo ou nulo investimento, não só ao nível da redução do tempo de ciclo, mas também na redução de atividades sem valor acrescentado, uniformização e normalização de processos produtivos, melhorias na organização e

limpeza da área, melhor ocupação de recursos, simplificação de tarefas que implicam menor esforço para os trabalhadores e mais segurança, assim como incrementos na qualidade do produto final.

Ressalvar, que apesar dos objetivos do projeto terem sido atingidos em larga medida, para que a empresa consiga fazer face aos objetivos de produtividade organizacionais outras medidas terão de ser implementadas. Para o efeito, deve, por exemplo, repensar-se uma maior disponibilidade de recursos associados a cada processo e subprocesso. Para além disso, os resultados alcançados sugerem que a experiência dos colaboradores continuará a ser uma variável importante em direção ao estado pretendido.

## **IV.2 Limitações**

As estratégias adotadas foram fundamentais para a redução de desperdícios e aumento de produtividade no processo em estudo, no entanto, ressaltar a existência de alguns pontos bloqueantes ao longo da realização do trabalho.

Ao nível da recolha de dados, numa fase inicial, foi difícil instaurar a coerência e regularidade na forma de preenchimento dos quadros de seguimento e nas picagens efetuadas nas máquinas de registo de operação. Assim, foi obrigatória uma presença muito constante no terreno e diálogos com os colaboradores de forma a perceber efetivamente tempos de execução e as problemáticas com impacto na duração de cada tarefa.

Da mesma forma, dada a recenticidade do projeto, em cada pá existia um conjunto de variáveis externas, nomeadamente atrasos logísticos, falhas de abastecimento que acabavam por impactar o tempo de ciclo. Desta forma, o estudo de tempos foi importante para estabelecer um tempo padrão para cada atividade. No entanto, uma vez que estamos a falar de tempos de execução para cada tarefa muito longos, ressaltar que a recolha de tempos não seguiu um método criterioso como, por exemplo, a cronometragem e nem sempre foi realizada pelo mesmo colaborador, tendo, portanto, um nível de incerteza associado.

Ao nível da cultura organizacional muito orientada para a produção, houve uma dificuldade acrescida inicial em incutir aos colaboradores a necessidade de primeiro fazer “bem-feito” e com qualidade e, só posteriormente, incrementar o ritmo de produção. Como em qualquer tipo de implementação, a resistência à mudança também foi evidente, principalmente sentida pelos colaboradores mais familiarizados com o processo, que muitas vezes se sentiam frustrados com a dificuldade em atingir os objetivos esperados. Como tal, foi essencial o acompanhamento constante das equipas e o seu envolvimento nas medidas em estudo, de forma a sensibilizá-los, reconhecer a sua importância e mantê-los motivados.

Da mesma forma, a existência de defeitos de maior dimensão condicionaram o estudo, na medida em que, por vezes, provocaram paragens longas nos moldes, impedindo o acompanhamento do processo e implementação e/ou monitorização das propostas.

## **IV.3 Trabalho Futuro**

Os resultados alcançados no estudo de caso sugerem que se deve continuar a apostar na formação dos colaboradores e a incentivar práticas e implementações de melhoria para incrementar o fluxo produtivo e a qualidade do mesmo. Outras oportunidades de melhoria devem continuar a ser estudadas,

promovendo o envolvimento de vários intervenientes e departamentos da fábrica para garantir a universalidade das propostas e o reconhecimento por todos da importância das ações. Da mesma forma, tendo em conta os benefícios alcançados é importante uma monitorização constante às propostas efetivadas, de forma a garantir que são continuamente aplicadas e podem ser melhoradas.

O estabelecimento de pontos críticos foi fundamental para definir qual a prioridade de atuação, mas seria importante intervir também noutras fases do processo e noutros subprocessos para conseguir melhorias mais significativas em toda a cadeia de fluxo produtivo associada ao projeto. Dada a duração do projeto de estágio, não foi possível intervir em todos os processos, pelo que se sugere uma análise aprofundada também a outras etapas para atingir resultados mais positivos.

Sugere-se, também, a concretização de um balanceamento de linhas de forma a perceber factualmente a quantidade de operadores necessários para cada operação e promover ao máximo a simultaneidade de tarefas.

Da mesma forma, deve continuar a investir-se na padronização de todos os processos e na manutenção dos *standards* de trabalho sempre atualizados para evitar falhas de execução. A uniformização da imagem é também extremamente importante para garantir o mesmo modelo/padrão associado a todos os documentos e criar uma identidade identificativa da empresa.

Por fim, ressaltar a importância de passar a fazer um seguimento exaustivo ao nível dos tempos necessários para reparação, de forma a calcular o impacto dos defeitos nos tempos de inatividade. Deve também ser feito o seguimento de todos os NCR abertos para contabilizar dados, acompanhar o produto final e estudar estatisticamente a evolução do processo ou pontos recorrentes de defeito, para atuar incisivamente na melhoria dos mesmos.

## Referências

- Al-Zwainy, F. M. S., & Mezher, R. A. (2018). Diagnose the Causes of Cost Deviation in Highway Construction Projects by Using Root Cause Analysis Techniques. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 2001–2012. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2850-2>
- Alefari, M., Saloniitis, K., & Xu, Y. (2017). The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing. *Procedia CIRP*, 63, 756–761. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.169>
- Alkhoraif, A., Rashid, H., & McLaughlin, P. (2019). Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review. *Operations Research Perspectives*, 6(November 2018), 100089. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100089>
- Alnajem, M. (2021). Learning by doing: an undergraduate lean A3 project in a Kuwaiti bank. *TQM Journal*, 33(1), 71–94. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2020-0010>
- Andersson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *TQM Magazine*, 18(3), 282–296. <https://doi.org/10.1108/09544780610660004>
- Arevalo, C., Escalona, M. J., Ramos, I., & Domínguez-Muñoz, M. (2016). A metamodel to integrate business processes time perspective in BPMN 2.0. In *Information and Software Technology* (Vol. 77, pp. 17–33). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.05.004>
- Arromba, A. R., Teixeira, L., & Xambre, A. R. (2019). Information flows improvement in production planning using lean concepts and BPMN an exploratory study in industrial context. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 2019-June*(June), 19–22. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760699>
- Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of high impact lean production tools in automobile industries using weighted average method. *Procedia Engineering*, 97, 2072–2080. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.450>
- Azimi, V., & Menhaj, M. B. (2015). *Output Electrical Power Control of Horizontal Axis Wind Turbine Using Indirect Model Reference Adaptive Neuro Controller Output Electrical Power Control of Horizontal Axis Wind Turbine Using Indirect Model Reference Adaptive Neuro Controller*. June.
- Budianto, Surachman, Hadiwidjojo, D., & Rofiaty. (2021). The effect of manufacturing agility competencies on lean manufacturing in increasing operational performance. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(1), 195–204. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2020.10.001>
- Castro, B. K. do A., Dresch, A., & Veit, D. R. (2019). Key critical success factors of BPM implementation: a theoretical and practical view. *Business Process Management Journal*, 26(1), 239–256. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-09-2018-0272>
- Castro, S., & Teixeira, L. (2020). Bpmn and lean contributions for the iso9001 implementation: A case study within the plastics industry. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, August*.
- Charantimath, P. (2017). *Total Quality Management* (3rd ed.). Pearson India Education Services Pvt. Ltd.
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards and Interfaces*, 34(1), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002>
- Colin-Lozano, H. D., Guerra-Loji, S., Vargas-Alvarado, M. A., Valdez-de la Rosa, L. M., & Vázquez-Hernández, J. (2019). Lean manufacturing maturity model for an automotive cluster: A case study in Mexico. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 377–390.
- Cornelius, D., Dos Santos, B., & Dos Santos, C. (2021). Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study. *Gestao e Producao*, 28(1). <https://www.scielo.br/j/gp/a/gLtv5zDQkq6m65GxD5D97mh/?format=pdf&lang=en>
- Czifra, G., Szabó, P., Míkva, M., & Vaňová, J. (2019). Lean principles application in the automotive industry. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(5), 43–62. <https://doi.org/10.12700/APH.16.5.2019.5.3>
- Daniel, B., Kumar, V., & Omar, N. (2018). Postgraduate conception of research methodology:

- implications for learning and teaching. *International Journal of Research and Method in Education*, 41(2), 220–236. <https://doi.org/10.1080/1743727X.2017.1283397>
- Dumas, M., Rosa, M. La, Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). *Fundamentals of Business Process Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>
- Eaidgah Torghabehi, Y., Maki, A. A., Kurczewski, K., & Abdekhodae, A. (2016). Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 187–210. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028>
- Erro-Garcés, A., & Alfaro-Tanco, J. A. (2020). Action Research as a Meta-Methodology in the Management Field. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 1–11. <https://doi.org/10.1177/1609406920917489>
- Faccio, M., Gamberi, M., & Persona, A. (2013). Kanban number optimisation in a supermarket warehouse feeding a mixed-model assembly system. *International Journal of Production Research*, 51(10), 2997–3017. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.751516>
- Ferenhof, H. A., Da Cunha, A. H., Bonamigo, A., & Forcellini, F. A. (2018). Toyota Kata as a KM solution to the inhibitors of implementing lean service in service companies. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 48(3), 404–426. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-11-2017-0083>
- García-Domínguez, A., Marcos, M., & Medina, I. (2012). A comparison of BPMN 2.0 with other notations for manufacturing processes. *AIP Conference Proceedings*, 1431(1), 593–600. <https://doi.org/10.1063/1.4707613>
- Geiger, M., Harrer, S., Lenhard, J., & Wirtz, G. (2018). BPMN 2.0: The state of support and implementation. *Future Generation Computer Systems*, 80, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.01.006>
- Genot, E. J., & Saunders, Mark; Lewis, Philip; Thornhill, A. (2018). Research Methods for Business Students. In *Synthese* (Vol. 195, Issue 5).
- Gijo, E. V., & Sarkar, A. (2013). Application of Six Sigma to improve the quality of the road for wind turbine installation. *TQM Journal*, 25(3), 244–258. <https://doi.org/10.1108/17542731311307438>
- Haseeb, J., Ahmad, N., Malik, S. U. R., & Anjum, A. (2019). Application of formal methods to modelling and analysis aspects of business process reengineering. *Business Process Management Journal*, 26(2), 548–569. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-02-2019-0078>
- Hedvičáková, M., & Král, M. (2019). Benefits of kpis for industry sector evaluation: The case study from the Czech Republic. *E a M: Ekonomie a Management*, 22(2), 97–113. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2019-2-007>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). Human Resources, Job Design, and Work Measurement. In *Operations Management Sustainability and Supply Chain Management* (12th ed., pp. 458–475). Cengage® Publisher Services.
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001>
- Hong, M. (2015). Setting Organizational Key Performance Indicators in the Precision Machine Industry. *International Journal of Management*, 4(2), 135–161.
- Höök, M., & Stehn, L. (2008). Lean principles in industrialized housing production: The need for a cultural change. *Lean Construction Journal*, 2008, 20–33.
- Iannone, R., Miranda, S., & Riemma, S. (2009). The search for the optimal number of kanbans in unstable assembly-tree layout systems under intensive loading conditions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(4), 315–324. <https://doi.org/10.1080/09511920802206427>
- IRENA. (2021, February 2). *Wind Energy*. <https://www.irena.org/wind>
- Janasekaran, S., Vijayasree, V. P., & Chong, M. K. H. (2020). Cycle time reduction for coating process in

- manual assembly manufacturing towards economic sustainability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 834(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/834/1/012017>
- Jastia, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- Jureczko, M., Pawlak, M., & Męzyk, A. (2005). Optimisation of wind turbine blades. *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2–3), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.06.055>
- Kale, S. V., & Parikh, R. H. (2019). Lean implementation in a manufacturing industry through value stream mapping. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6 Special issue), 908–913. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F1172.0886S19>
- Kalpic, B., & Bernus, P. (2002). Business process modelling in industry - The powerful tool in enterprise management. *Computers in Industry*, 47(3), 299–318. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(01\)00151-8](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(01)00151-8)
- Karim, A., & Arif-Uz-Zaman, K. (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, 19(1), 169–196. <https://doi.org/10.1108/14637151311294912>
- Katarina, S., Albert, M., & Stefan, V. (2017). Spaghetti Diagram Application for Worker S'. *U.P.B. Sco. Bull., Series D, January 2017*.
- Khalfallah, M., & Lakhali, L. (2021). The relationships between TQM, TPM, JIT and agile manufacturing: an empirical study in industrial companies. *TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2020-0306>
- Klein, L. L., Tonetto, M. S., Avila, L. V., & Moreira, R. (2021). Management of lean waste in a public higher education institution. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125386>
- Kurpjuweit, S., Reinerth, D., Schmidt, C. G., & Wagner, S. M. (2019). Implementing visual management for continuous improvement: barriers, success factors and best practices. *International Journal of Production Research*, 57(17), 5574–5588. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1553315>
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lage Junior, M., & Godinho Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.01.009>
- Lanting, Z. (2012). Research on Structural Lay-up Optimum Design of Composite Wind Turbine Blade. *Energy Procedia*, 14, 637–642. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.988>
- Lehnert, M., Linhart, A., & Roeglinger, M. (2017). Exploring the intersection of business process improvement and BPM capability development: A research agenda. *Business Process Management Journal*, 23(2), 275–292. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2016-0095>
- Luca, B., Caterina, B., Cinzia, R., Chiara, C., Andrea, P., Massimo, F. F., Giuseppina, B., & Jacopo, G. (2021). Lean approach to improving performance and efficiency in a nuclear medicine department. *Clinical and Translational Imaging*, 9(2), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s40336-021-00418-z>
- Luthra, S., Garg, D., Agarwal, A., & Mangla, S. (2021). *Total Quality Management (TQM) Principles, Methods, and Applications* (1st ed.). Taylor & Francis Group, LLC.
- Makwana, A. D., & Patange, G. S. (2019). Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 00(00), 1–10. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1676112>
- Mello, C. H. P., Turrioni, J. B., Xavier, A. F., & Campos, D. F. (2012). Action research in production engineering: A structure proposal for its conduction. *Producao*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056>
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process

- industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Morales-Contreras, M. F., Suárez-Barraza, M. F., & Leporati, M. (2020). Identifying Muda in a fast food service process in Spain. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 12(2), 201–226. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-10-2019-0116>
- Mostafaeipour, A. (2010). Productivity and development issues of global wind turbine industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1048–1058. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.031>
- Nagy, S., Mansour, H., & Presser, M. (2018). Case study of IoT as a driver for business model innovation in the wind industry. *IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2018 - Proceedings, 2018-Janua*, 74–79. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2018.8355222>
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Oliveira, M. S., Moreira, H. D. A., Alves, A. C., & Ferreira, L. P. (2019). Using lean thinking principles to reduce wastes in reconfiguration of car radio final assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 41, 803–810. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.073>
- Ongena, G., & Ravesteyn, P. (2019). Business process management maturity and performance: A multi group analysis of sectors and organization sizes. *Business Process Management Journal*, 26(1), 132–149. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-08-2018-0224>
- Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable Standardized Work in a Lean Company - A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.019>
- Ramakrishnan, R., & Kaur, A. (2020). Performance evaluation of web service response time probability distribution models for business process cycle time simulation. *Journal of Systems and Software*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110480>
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(3), 334–361. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>
- Retamozo-Falcon, G., Silva, J., & Mauricio, D. (2019, August 1). Model for the improvement of processes using Lean techniques and BPM in SMEs. *Proceedings of the 2019 IEEE 26th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2019*. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2019.8853806>
- Rose, A. N. M., Deros, B. M., & Rahman, M. N. A. (2014). Critical success factors for implementing lean manufacturing in Malaysian automotive industry. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8(10), 1191–1200. <https://doi.org/10.19026/rjaset.8.1084>
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644–1661. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1672902>
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), 3963–3976. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03441-7>
- Roy Balinado, J. R. O., & Tri Prasetyo, Y. (2020). The Impact of 5S Lean Tool to Service Operation: A Case Study in Toyota Dasmarinas-Cavite Service Operations. *ACM International Conference Proceeding Series*, 185–190. <https://doi.org/10.1145/3429551.3429580>
- Rymaszewska, A. (2017). Lean implementation and a process approach – an exploratory study. *Benchmarking*, 24(5), 1122–1137. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2016-0018>
- Sawhney, R., & Chason, S. (2008). Human Behavior Based Exploratory Model for Successful Implementation of Lean Enterprise in Industry. *Performance Improvement Quarterly*, 18(2), 76–

96. <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.2005.tb00334.x>
- Seth, D., Seth, N., & Dhariwal, P. (2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. *Production Planning and Control*, 28(5), 398–419. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1300352>
- Shafeek, H., Bahaitham, H., & Soltan, H. (2018). Lean manufacturing implementation using standardized work. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 15(6–7), 1814–1817. <https://doi.org/10.1166/jctn.2018.7316>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021a, January 15). *History*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/about-us/company-history>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021b, January 20). *Employees: Empowering our people*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/sustainability/employees>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021c, January 23). *Wind Turbines & Services: Highly profitable*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021d, January 30). *Siemens Gamesa acquires Ria Blades plant and completes Senvion assets acquisition*. Medium. <https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2020/04/200430-siemens-gamesa-ria-blades>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021e, March 16). *SG 6.7-170: Onshore Wind Turbine*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/onshore/wind-turbine-sg-5-8-170>
- Singh, S., & Kumar, K. (2021). A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 1153–1162. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>
- Sivaraman, P., Nithyanandhan, T., Lakshminarasimhan, S., Manikandan, S., & Saifudheen, M. (2020). Productivity enhancement in engine assembly using lean tools and techniques. *Materials Today: Proceedings*, 33, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.010>
- Sousa, P., Tereso, A., Alves, A., & Gomes, L. (2018). Implementation of project management and lean production practices in a SME Portuguese innovation company. *Procedia Computer Science*, 138, 867–874. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.113>
- Srivastava, P. N. (2016). Key Performance Indicators (KPI) in Hospitality Industry: An Emphasis on Accommodation Business of 5 Star Hotels of National Capital Region. *International Journal of Research in Tourism and Hospitality*, 2(1), 34–40. <https://doi.org/10.20431/2455-0043.0201004>
- Stevenson, W. (2021). Work Design and Measurement. In *Operations Management* (14th ed., pp. 316–334). McGraw-Hill Education.
- Suárez-Barraza, M. F., & Rodríguez-González, F. G. (2019). Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram, is it possible to find them?: A first research approach. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(2), 302–316. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-12-2017-0113>
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Sutari, O. (2015). Process Improvement using Lean Principles on the Manufacturing of Wind Turbine Components - a Case Study. *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 3429–3437. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.318>
- Tchakoua, P., Wamkeue, R., Ouhrouche, M., Slaoui-Hasnaoui, F., Tameghe, T. A., & Ekemb, G. (2014). Wind turbine condition monitoring: State-of-the-art review, new trends, and future challenges. *Energies*, 7(4), 2595–2630. <https://doi.org/10.3390/en7042595>
- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017). Visual management in highways construction and maintenance in England. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(3), 486–513. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a



- product development process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>
- Ulibas, R. N. (2020). The relationship of TQM and lean production towards integrated application. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 0(March), 2363–2374.
- Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, 22, 900–905. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wang, X., Zeng, X., Li, J., Yang, X., & Wang, H. (2018). A review on recent advancements of substructures for offshore wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 158(January), 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.061>
- Willis, D. J., Niezrecki, C., Kuchma, D., Hines, E., Arwade, S. R., Barthelmie, R. J., DiPaola, M., Drane, P. J., Hansen, C. J., Inalpolat, M., Mack, J. H., Myers, A. T., & Rotea, M. (2018). Wind energy research: State-of-the-art and future research directions. *Renewable Energy*, 125, 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.049>
- WindEurope. (2021, March 14). *Wind energy in Europe 2020 Statistics and the outlook for 2021-2025*. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-in-2020-trends-and-statistics/#>
- Worley, J. M., & Doolen, T. L. (2006). The role of communication and management support in a lean manufacturing implementation. *Management Decision*, 44(2), 228–245. <https://doi.org/10.1108/00251740610650210>
- Yeen Gavin Lai, N., Hoong Wong, K., Halim, D., Lu, J., & Siang Kang, H. (2019). Industry 4.0 Enhanced Lean Manufacturing. *Proceedings of 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management, ICITM 2019*, 206–211. <https://doi.org/10.1109/ICITM.2019.8710669>
- Zhou, B. (2016). Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). *Annals of Operations Research*, 241(1–2), 457–474. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1177-3>

# ANEXOS

Anexo A – Tabela Excel de Recolha de Tempos MS SS SG 170



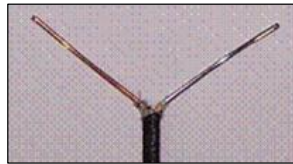

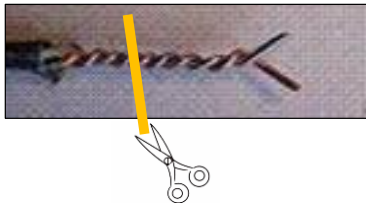


RECOLHA DE DADOS MS SS PROJETO SG 170

Time	Operação	Pá 2			Pá 3			Pá 4			Pá 5			Pá 6			Pá 7			Pá 8-2			Pá 9			Pá 10-2		
		Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	Previsão T(min)	Real	
30	Limpeza molde	50	35	35	30	45	45	30	40	40	30	35	35	30	30	30	30	40	40	30	45	45	30	40	40	30	35	35
25	Aplicação e Secagem desmoldante	75	35	70	55	37	82	25	28	68	25	30	65	25	30	60	55	25	65	25	25	70	25	25	65	25	20	55
120	Fitas e Aplicação Veil	195	420	490	175	255	337	120	120	188	120	130	195	120	125	185	175	120	185	120	60	130	120	60	125	120	40	95
330	Lay-up externo	525	800	1290	505	570	907	330	600	788	330	690	885	330	460	645	505	330	515	330	300	430	330	300	425	330	240	335
70	Colocação CFM + CAP	595	330	1620	575	120	1027	70	70	858	70	95	980	70	30	675	575	210	725	70	60	490	70	60	485	70	60	395
90	Colocação core entre CAP e Rear CAP	685	740	2360	665	210	1237	90	90	948	90	90	1070	90	30	705	665	90	815	90	90	580	90	270	755	90	60	455
40	Colocação de CFM + Rear Cap	725	650	3010	705	200	1437	40	150	1098	40	100	1170	40	40	745	705	60	875	40	50	630	40	60	815	40	40	495
30	Balsa + Espuma TE	755	1000	4010	735	900	2337	30	180	1278	30	150	1320	30	105	850	735	30	905	30	40	670	30	45	860	30	180	675
45	Colocação de Flange Bushing (Root)	800	70	4080	780	280	2617	45	45	1323	45	55	1375	45	60	910	780	50	955	45	45	715	45	50	910	45	40	715
300	Lay-up interno + Flanges (TE + LE)	1100	1000	5080	1080	890	3507	300	950	2273	300	840	2215	300	420	1330	1080	300	1255	300	315	1030	300	360	1270	300	420	1135
35	Marcações travões + Peel Ply	1135	35	5115	1115	40	3547	35	360	2633	35	35	2250	35	45	1375	1115	40	1295	35	15	1045	35	160	1430	35	160	1295
40	Colocação do sistema de leitura de vácuo	1175	45	5160	1155	40	3587	40	50	2683	40	40	2290	40	60	1435	1155	55	1350	40	50	1095	40	45	1475	40	60	1355
200	Folha desmoldante + Green Mesh + Canais de resina	1375	230	5390	1355	180	3767	200	200	2883	200	180	2470	200	415	1850	1355	420	1770	200	180	1275	200	200	1675	200	150	1505
180	Saco vácuo + Estabilização + Teste vácuo	1555	180	5570	1535	280	4047	180	180	3063	180	340	2810	180	225	2075	1535	180	1950	180	180	1455	180	180	1855	180	170	1675
250	Infusão	1805	300	5870	1785	270	4317	250	220	3283	250	310	3120	250	285	2360	1785	340	2290	250	300	1755	250	270	2125	250	195	1870
460	Cura + Colocação de mantas	2265	390	6260	2245	420	4737	460	460	3743	460	430	3550	460	460	2820	2245	390	2680	460	395	2150	460	430	2555	460	395	2265
120	Ripagem + Autocontrolo	2385	120	6380	2365	150	4887	120	120	3863	120	120	3670	120	115	2935	2365	135	2815	120	140	2290	120	110	2665	120	120	2385
90	Fazer Vácuo Shell SS	2475	90	6470	2455	90	4977	90	110	3973	90	100	3770	90	90	3025	2455	90	2905	90	100	2390	90	90	2755	90	90	2475
20	Ripar peel ply Cap SS	2495	25	6495	2475	20	4997	20	30	4003	20	27	3797	20	25	3050	2475	30	2935	20	30	2420	20	20	2775	20	30	2505
50	Teste Seco Webs SS	2545	90	6585	2525	120	5117	50	80	4083	50	90	3887	50	270	3320	2525	120	3055	50	100	2520	50	110	2885	50	90	2595
60	Marcar áreas colagem e colocar blocos posicionadores Web	2605	50	6635	2585	60	5177	60	80	4163	60	60	3947	60	80	3400	2585	80	3135	60	80	2600	60	60	2945	60	80	2675
25	Aplicação Cola SS	2630	19	6654	2610	25	5202	25	25	4188	25	20	3967	25	20	3420	2610	30	3165	25	25	2625	25	30	2975	25	35	2710
200	Rumping UP Cura Web + Aplicar guias LPS + Receptores + Calibradores	2830	200	6854	2810	210	5412	200	200	4388	200	480	4447	200	190	3610	2810	200	3365	200	210	2835	200	230	3205	200	200	2910
120	Corte e desbastes (Root, LEBC e TEBC)	2950	470	7324	2930	450	5862	120	420	4808	120	270	4717	120	90	3700	2930	100	3465	120	300	3135	120	150	3355	120	110	3020
90	Retirar galáctica + Preparação Teste Seco	3040	60	7384	3020	80	5942	90	90	4898	90	90	4807	90	80	3780	3020	85	3550	90	90	3225	90	85	3440	90	90	3110
30	Teste Seco	3070	70	7454	3050	50	5992	30	50	4948	30	130	4937	30	70	3850	3050	40	3590	30	60	3285	30	60	3500	30	60	3170
60	Ripar peel ply TE e LE	3130	90	7544	3110	80	6072	60	85	5033	60	90	5027	60	85	3935	3110	70	3660	60	85	3370	60	60	3560	60	70	3240
30	Aplicação de plásticos limpeza cola	3160	35	7579	3140	150	6222	30	40	5073	30	30	5057	30	35	3970	3140	35	3695	30	35	3405	30	30	3590	30	40	3280
60	Aplicação Cola SS + PS	3220	60	7639	3200	55	6277	60	60	5133	60	70	5127	60	60	4030	3200	60	3755	60	55	3460	60	60	3650	60	45	3325
60	Fecho molde e Limpeza (retirar plásticos/cartões e escoras)	3280	135	7774	3260	60	6337	60	60	5193	60	90	5217	60	90	4120	3260	60	3815	60	70	3530	60	60	3710	60	70	3395
350	Rumping + Cura Pá	3630	450	8224	3610	480	6817	350	400	5593	350	400	5617	350	350	4470	3610	330	4145	350	320	3850	350	340	4050	350	360	3755
30	Abertura Molde	3660	40	8264	3640	45	6862	30	35	5628	30	30	5647	30	35	4505	3640	40	4185	30	35	3885	30	30	4080	30	45	3800
90	Desmoldagem Pá	3750	100	8364	3730	100	6962	90	95	5723	90	90	5737	90	100	4605	3730	90	4275	90	90	3975	90	95	4175	90	80	3880
62,2	TOTAL (minutos)	8364,0			6962,0			5723,0			5737,0			4605,0			4275,0			3975,0			4175,0			3880,0		
	TOTAL (Horas)	139,4			116,0			95,4			95,6			76,8			71,3			662,5			69,6			64,7		

## Anexo B – Tempo padrão por UET na obtenção MS SS após introdução de melhorias

Operação	tm (min)	Nti (min)	s (min)	n	ST (min)
Limpeza molde	35,30	30,01	3,47	4	33,31
Aplicação e Secagem desmoldante	28,11	23,89	3,48	6	26,04
Fitas e Aplicação <i>Veil</i>	102,50	87,13	15,81	9	96,71
<i>Layup</i> externo	300,00	255,00	49,50	10	295,80
Colocação CFM + CAP	76,00	64,60	9,66	6	71,71
Colocação core entre CAP e Rear CAP	82,22	69,89	13,02	10	77,58
Colocação de CFM + Rear Cap	56,67	48,17	7,50	7	53,47
Balsa + Espuma TE	48,89	41,56	9,28	14	46,13
Colocação de Flange Bushing (Root)	46,25	39,31	7,44	10	43,64
Lay-up interno + Flanges (TE + LE)	237,50	201,88	35,76	9	234,18
Marcações travões + <i>Peel Ply</i>	33,33	28,33	5,16	9	31,45
Colocação do sistema de leitura de vácuo	41,67	35,42	6,12	8	38,60
Folha desmoldante + <i>Green Mesh</i> + Canais de resina	85,00	72,25	14,14	11	82,37
Saco vácuo + Estabilização + Teste vácuo	191,88	163,09	17,72	3	181,03
Infusão	142,00	120,70	23,48	10	137,60
Cura + Colocação de mantas	285,56	242,72	32,45	5	274,28
Ripagem + Autocontrolo	122,50	104,13	12,82	4	120,79
Fazer Vácuo Shell SS	97,14	82,57	9,51	4	90,00
Ripar peel ply Cap SS	24,63	20,93	3,34	7	22,82
Teste Seco Webs SS	56,00	47,60	8,94	10	52,84
Marcar áreas colagem e colocar blocos posicionadores Web	63,33	53,83	8,66	7	58,68
Aplicação cola SS	22,22	18,89	2,64	5	20,97
Rumping UP Cura Web + Aplicar guias LPS + Recetores + Calibradores	212,22	180,39	14,81	2	200,23
Corte e desbastes (Root, LEBC e TEBC)	141,00	119,85	19,49	7	141,42
Retirar galáctica + Preparação Teste Seco	89,00	75,65	8,76	4	82,46
Teste Seco	58,89	50,06	9,28	10	55,56
Ripar <i>peel ply</i> TE e LE	67,86	57,68	10,75	10	64,02
Aplicação de plásticos limpeza cola	31,67	26,92	2,58	3	29,34
Aplicação de Cola SS + PS	58,33	49,58	7,91	7	55,04
Fecho molde e Limpeza (retirar plásticos/cartões e escoras)	61,67	52,42	4,08	2	62,38
<i>Rumping</i> + Cura Pá	336,25	285,81	32,49	4	311,54
Abertura Molde	38,89	33,06	6,97	12	36,36
Desmoldagem Pá	91,25	77,56	3,54	1	91,52
<b>TOTAL (h)</b>	<b>56,10</b>	<b>47,68</b>			<b>53,66</b>

## Anexo C – Ajuda visual para preparação de Termopares

TERMOPARES	
Preparação de Termopares	
<p>1. Descarnar o cabo aproximadamente 10 mm; Retirar o material isolante, expondo os filamentos na totalidade.</p>	
<p>2. Cruzar os fios metálicos.</p>	
<p>3. Cortar os fios com uma tesoura, deixando 2-4 mm em contato com o material.</p>	
Preparação da Ficha do Termopar	
<p>1. Descarnar o cabo cerca de 30 mm. Deixar 10 mm de proteção isolante para que os cabos não se toquem. Não há contato entre os fios.</p>	
<p>2. Ligação dos fios aos polos correspondentes</p> <p>Fio cobre (dourado)    Ligação ao polo positivo (+) Fio Niquel (Prata)    Ligação ao polo negativo (-)</p>	

## Anexo D– Matriz estudo de tempos “As-Is”

### MATRIZ DE ESTUDO DE TEMPOS

<b>Projecto :</b> SG 170	<b>Processo :</b> Main Web
<b>Área :</b> Ao lado da Main Web	<b>Piloto :</b> Rute Cunha

#### Caracterização de tempos

ACTUAL "As Is"

Tarefa / Atividade	Oper	Tempo min	Paralelo?	Comentários
<b>1 Preparação de Furação TIP</b>		<b>00:18:16</b>	<b>00:13:36</b>	
1.1 Ir buscar Berbequim Elétrico (Acabamentos)	A	00:09:56		
1.2 Marcações para furação (1 furo)	B	00:04:40		
1.3 Calçar luvas tipo chefe	A	00:01:00		
1.4 Executar furação	A	00:02:40		
<b>2 Preparação de Cravações TIP</b>		<b>00:42:53</b>	<b>00:35:28</b>	
2.1 Ir bsçar máquina de cravação ao LU 145 Webs	A	00:04:30		
2.2 Ir buscar material de cravação às Webs 155/170	A	00:02:30		
2.3 Ir buscar alicate à ilha	A	00:04:55		
2.4 Retirar proteção de cabo	B	00:01:20		
2.5 Descarnar Cabos (X-ato)	B	00:06:50		
2.6 Passar Mangas	B	00:01:10		
2.7 Fazer Cravações	A+B	00:08:40		
2.8 Sobrepor mangas na zona de cravação	B	00:00:50		
2.9 Ir buscar aspirador para fazer ligação	A	00:03:58		
2.10 Aquecer mangas	B	00:12:40		
<b>3 Laminação</b>		<b>01:26:20</b>	<b>01:18:55</b>	
3.1 Ir buscar grampos molde Shell 155	A	00:02:30		
3.2 Ir buscar pistola de cola plexos à ilha	A	00:04:55		
3.3 Colocar grampos para manter cabo junto ao molde	A+B	00:06:50		
3.4 Colocar cola plexos para fixar cabo	A	00:04:30		Pausa: 15 min. Cola Plexos precisa de 15 min para catalisar.
3.5 Ir buscar cola à sala de subcomponentes	B	00:07:40		
3.6 Colocar e alisar cola com espátula	A+B	00:12:30		
3.7 Ir buscar resina+endurecedor+luvas proteção química aos acabamentos	A	00:10:50		
3.8 Ir buscar mesa para preparação de fibra	B	00:01:25		
3.9 Ir buscar fibra	B	00:01:30		
3.10 Cortar fibras	B	00:04:30		
3.11 Fazer mistura de cola e endurecedor	B	00:02:30		Espera por material dos acabamentos (aprox 3 min)
3.12 Impregnar fibra e colocação na peça	A+B	00:26:40		
<b>4 Limpeza da área na zona da Tip</b>		<b>00:08:30</b>		
4.1 Limpar área e ferramentas	A+B	00:02:50		
4.2 Deposição de lixo em contentor próprio na sala de subcomponentes	B	00:05:40		
<b>5 Preparação de Furação ROOT</b>		<b>00:10:09</b>		
5.1 Marcações para furação	B	00:04:00		
5.2 Calçar luvas tipo chefe	B	00:00:59		
5.3 Executar furação (2 furos)	B	00:05:10		
<b>6 Preparação de Cravações ROOT</b>		<b>00:34:00</b>		
6.1 Retirar proteção de cabo	B	00:01:20		
6.2 Descarnar Cabos (X-ato)	B	00:07:20		
6.3 Passar Mangas	B	00:01:10		
6.4 Fazer Cravações	A+B	00:08:30		
6.5 Sobrepor mangas na zona de cravação	B	00:00:50		
6.6 Aquecer mangas	B	00:14:50		
<b>7 Limpeza da área e equipamentos na zona da ROOT</b>		<b>00:27:30</b>	<b>00:22:50</b>	
7.1 Arrumar aspirador na sala de subcomponentes	B	00:05:50		
7.2 Devolver alicate	A	00:04:40		
7.3 Devolver pistola de cola plex	A	00:04:40		
7.4 Entragar berbequim elétrico nos acabamentos	A	00:09:50		
7.5 Arrumar mesa de trabalho	B	00:02:30		
		03:23:28		

# Anexo E– Standard Work Preparação Webs SG 170

## Preparação de Web SG 170

### Furações

**1. Marcar furação para passagem do cabo LPS na Main Web.**

**Localização Furo TIP**  
Centro do 1º furo a R78840, 50 mm acima da aba SS.  
Marcação do 2º furo a 16 mm do centro do 1º para o lado da TIP.

**Localização Furos ROOT**  
Marcar cota A e B e centro do 1º furo em R7429.  
Marcar cota C e D e centro do 2º furo em R7585.

**2. Fazer a furação com broca de diâmetro 22 mm.**

**TIP**

→

Furação na vertical (perpendicular à sup)

**ROOT**

→

Furação deve ser feita com a broca inclinada a 30°

**3. Passar cabo LPS pela zona de furação.**

**Posição TIP**  
- PT8

**Posição ROOT**  
- Cabo da primeira cravação (a de lado PS é o PT2)  
- Cabo da segunda cravação (a do lado SS é o PT4)

### Cravações

**1. Com auxílio de um descarnador de cabos descamar cabo LPS 1 cm para cada lado do Crimp (aprox. 4 cm).**

→

**2. Colocar peça de cravação no cabo e fazer cravação com alicate e matriz BC8-9.**

→

**Pontos a cravar:**  
1º Crimp do PT2 R5.565 (ROOT)  
2º Crimp do PT4 R8.165 (ROOT)  
3º Crimp do PT5 R8.565 (ROOT)  
4º Crimp do PT3 R8.965 (ROOT)  
5º Crimp do PT5 R55.585 (TIP)  
6º Crimp do PT8 R59.015 (ROOT)  
7º Crimp do PT9 R59.950 (TIP)  
8º Crimp do PT10 R82.525 (TIP)  
a um máx de 50 mm depois do final da peça

→

**3. Passar manga termoretrátil (vinda do layup) para a zona de cravação e com a pistola de ar quente aquecê-la até ficar ajustada aos cabos.**

→

99

## LAMINAÇÕES

1. Segurar cabo com grampos e aplicar cola plexos para o fixar junto à peça.



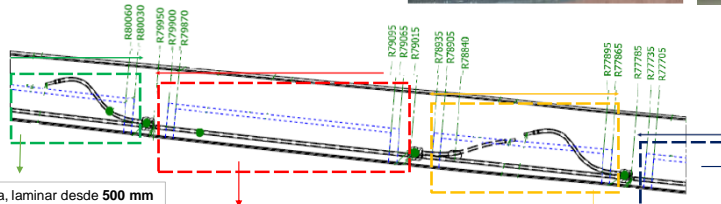
2. Deixar a cola plexos catalisar (aprox 15 min) e colocar cola verde sobre o cabo, alisando-a com espátula. Os pontos de ligação de cabos devem ficar sem cola.



**Posições:**  
**Desde 500 mm** do final da peça até **R72595**  
 Desde **R72405** até **R71995**  
 Desde **R71805** até **R70795**  
**Final** até **R70635**



3. Fazer impregnação manual das duas camadas de fibra, e colocá-las sobre as 4 zonas com cola (segundo indicações da imagem).



1ª 150 mm de largura, laminar desde 500 mm do final da peça até R80030  
 2ª 100 mm de largura, laminar desde 500 mm do final da peça até R80060

1ª 150 mm de largura, laminar desde R79065 até R79900  
 2ª 100 mm de largura, laminar desde R79095 até R79870

1ª 150 mm de largura, laminar desde R77865 até R78935  
 2ª 100 mm de largura, laminar desde R77895 até R78905

1ª 150 mm de largura, laminar até R77735  
 2ª 100 mm de largura, laminar até R77705



## Anexo F– Matriz estudo de tempos “To-Be”

Projecto : SG 170      Processo : Main Web  
 Área : Stock Webs      Piloto : Rute Cunha

### Caracterização de tempos

#### FUTURO “TO BE”

	Tarefa / Atividade	Oper	Tempo min	Paralelo?	Comentários
1	Recolha de Material		00:27:35	00:13:50	
1.1	Sala de Subcomponentes	A	00:06:45		
1.2	Ilha Acabamentos	B	00:13:50		
1.3	Ilha Moldes	A	00:07:00		
2	Preparação de Furação TIP		00:07:33	00:06:55	
2.1	Marcações para furação (1 furo)	B	00:04:35		
2.2	Calçar luvas tipo chefe	A	00:00:38		
2.3	Executar furação	A	00:02:20		
3	Preparação de Cravações TIP		00:24:12	00:21:47	
3.1	Retirar proteção de cabo	B	00:01:15		
3.2	Descarnar Cabos (X-ato)	A+B	00:05:02		
3.3	Passar Mangas	A	00:01:10		
3.4	Fazer Cravações	A+B	00:08:15		
3.5	Sobrepor mangas na zona de cravação	B	00:00:50		
3.6	Aquecer mangas	A+B	00:07:40		
4	Laminação		01:04:30	00:45:35	
4.1	Colocar grampos para manter cabo junto ao molde	A+B	00:06:40		
4.2	Colocar cola plexos para fixar cabo	A	00:04:50		Pausa: 15 min. Cola Plexos precisa de 15 min para catalisar.
4.3	Ir buscar cola à sala de subcomponentes + Mesa para preparação	B	00:06:57		
4.4	Colocar e alisar cola com espátula	A	00:12:15		
4.5	Cortar fibras	B	00:04:38		
4.6	Fazer mistura de cola e endurecedor	B	00:02:30		
4.7	Impregnar fibra e colocação na peça	A+B	00:26:40		
5	Limpeza da área na zona da Tip		00:08:09	00:08:09	
5.1	Limpar área e ferramentas	A+B	00:02:46		
5.2	Deposição de lixo em contentor próprio na sala de subcomponentes	B	00:05:23		
6	Preparação de Furação ROOT		00:09:55	00:09:15	
6.1	Marcações para furação	B	00:04:00		
6.2	Calçar luvas tipo chefe	A	00:00:40		
6.3	Executar furação (2 furos)	A	00:05:15		
7	Preparação de Cravações ROOT		00:23:40	00:22:20	
7.1	Retirar proteção de cabo	B	00:01:20		
7.2	Descarnar Cabos (X-ato)	A+B	00:05:00		
7.3	Passar Mangas	A	00:01:10		
7.4	Fazer Cravações	A+B	00:08:30		
7.5	Sobrepor mangas na zona de cravação	B	00:00:50		
7.6	Aquecer mangas	A+B	00:06:50		
8	Limpeza da área e equipamentos na zona da ROOT		00:15:10	00:10:30	
8.1	Devolução material à sala de subcomponentes	B	00:05:50		
8.2	Devolução material à ilha dos moldes	B	00:04:40		
8.3	Devolução de material à ilha dos acabamentos	A	00:04:40		

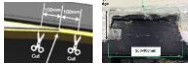
02:18:21

## Anexo G– Compilação de Defeitos e Respetivas Ações Corretivas



Defeito	Localização	Imagem	Ação	Execução	Responsável Controle
Ondas	Main Shell Root SG 170		-Fazer fecho de saco sincronizado com a retirada de grampos. -Deixar prega por fechar no 1º saco, para ajuste de saco e acondicionar fibras.	PÁ 3 SG 170	PR PP CM
Existência de vazio na linha de colagem superior da Web	Pá 2 SG 170 R 67-R70		-Alterar telha colagem (centro da telha com mais 10 mm que laterais; cobre ovalização Cap Max 5mm). -Controlo espessura da cola de R50 – TIP com recurso a régua (de acordo com medidas da telha). -Ripagem Peel Ply o mais próximo possível da hora de colagem.	PÁ 3 SG 170	PR PP CM
Má Compactação Fibras Bushings	Main Shell SG 170		-Garantir raio inicial de fibras até à face do molde. -Evitar tensão nas primeiras camadas de fibra em corda na zona da Root. -Garantir correta colocação da flange, de forma a evitar que as fibras cedam. -Garantir cumprimento de standard no corte de layup externo. -Garantir pregas na zona da flange para melhor acomodação de saco de vácuo. -Induzir resina nas puxadas auxiliares da Root.	PÁ 4 SG 170	PR PP CM
Step	Main Shell SG 170		- Alterar especificação do material; -Retrabalhar excesso de placa; -Garantir validação.	PÁ 4 SG 170	PR PP CM
Gap	Main Shell SG 170		-Aletar especificação do material; -Agrafar ou fiar com Gutter Tape para garantir que não existe espaço entre placas.	PÁ 4 SG 170	PR PP CM
Falha de impregnação	LEC SG170 (R55/R65)		-Garantir manutenção das tomas de vácuo principais. - Alteração da posição dos bidons (altura bidons). - Dupla camada de green mesh de R33- R65 . - Green Mesh até à aba (R56 - R65).	PÁ 6 SG 170	PR PP CM
Falta de adesão Cap	Main Shell PS SG170		-Proteger rolo de CFM abastecido na Shell. -Criação de hold point "Inspeção valida superfície do CAP". -Alerta à equipa do defeito e reforço dos cuidados no tempo de remoção de peel ply e respetiva limpeza superior e inferior da Cap.	PÁ 7 SG 170	PR PP CM
Áreas brancas	Main Shell SG 170 Por baixo da Root		-Aplicação 2 camadas CFM (garnagem 600gr) até R9. -Cortar canal LE R 8000 e travão aberto até à flange.	PÁ 8 SG 170	PR PP CM
Áreas brancas	Main Shell SG 170 TEC SG 170 (R30-40)		-Garantir manutenção das tomas de vácuo principais ( limpeza e desobstrução). - Formação das equipas para correta formação do canal de vácuo. - Alteração da posição dos bidons (altura bidons). - CFM R15-R26 (L10 cm gramagem 300). - Dupla camada de Green Mesh de R33- R65.	PÁ 8 SG 170	PR PP CM

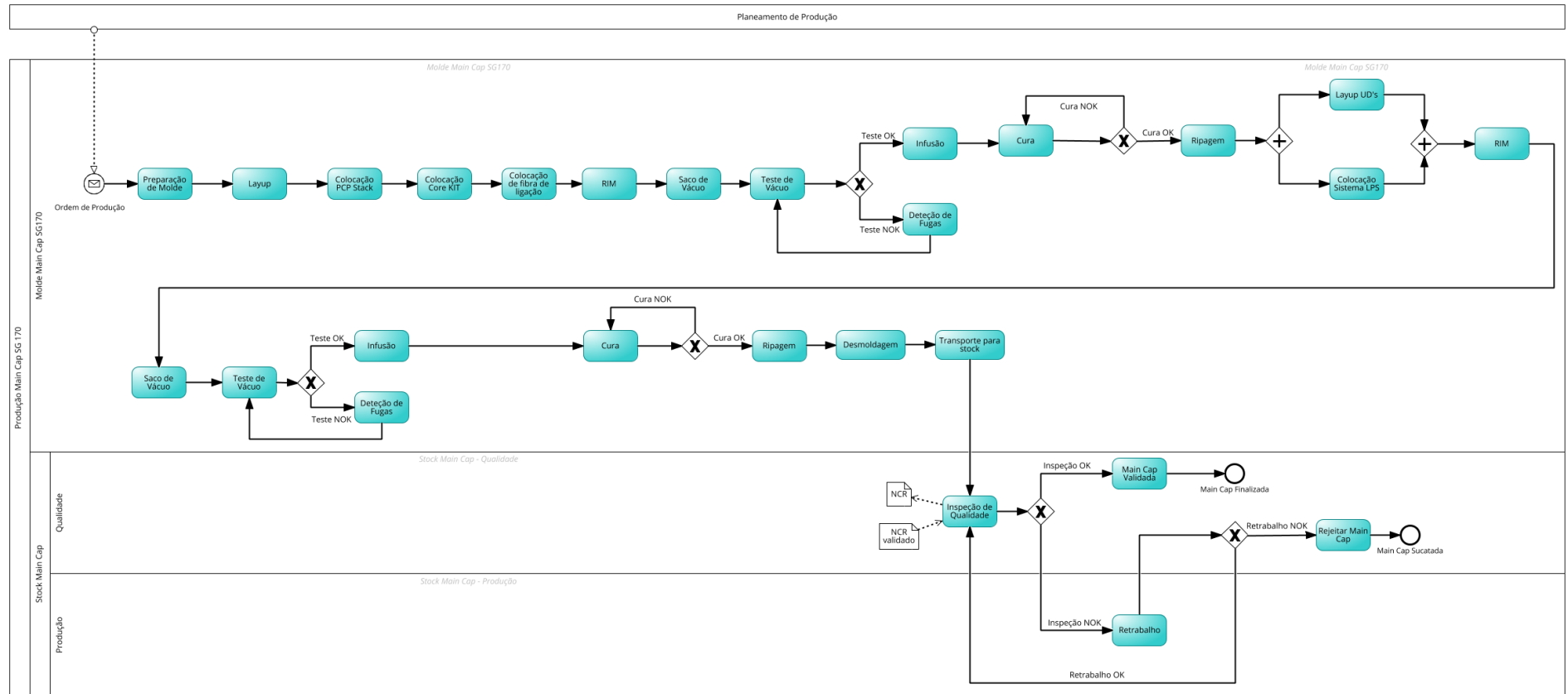
## Anexo H – Folha de Verificação *Layup*

SIEMENS Gamesa REPAIR & ENERGY		Folha de Verificação <i>Layup</i>				
Molde: Shell SS <input type="checkbox"/> Shell PS <input type="checkbox"/>		Projecto: _____ Nº Peça: _____				
Check Point	Valor	OK	NOK	Evidência	Notas	
1- <i>Layup</i>	Layout distribuição de Equipa (Root)	1 Operador no passadiço; 2 Operadores LE ABA; 2 Operadores TE ABA; 1 Operador ao centro (meio/ em frente aos Bushings).				
	Guitter	Traçar guitter no fim de fibra em corda o mais próximo do centro da peça.				
	Corte de fibras (na transição do Bushings).					
2- <i>Vácuo</i>	Green Mesh	Corte da dobra KIT Incom.				
	Canais de Resina	Verificação de sobreposição de todos os canais.				
	Pontes de condução de Vácuo	A cada 500 mm a ligar fibra ao canal de vácuo.				
	Vacómetros	Ligar todos os vacómetros em LE/TE.				
3- <i>Saco</i>	Vinco da End Web	Garantir prega horizontal no vinco da End Web Garantir que o saco fica sem tensão em todo o molde.				
	Travões	Após fecho 1º Saco fazer verificação/medir cotas de todos os travões.				
	Compactação	Acomodar vácuo de forma controlada com recurso a mopa e ajustar saco ao shape do <i>layup</i> por forma a retirar ar sem formar onda. Garantir compactação End Web. Colocação de borrachas sobre green mesh junto à aba com perímetro sobre espátulas PVC.				
	Pregas ROOT LE/TE	Garantir pregas a cada 500 mm de intervalo e 100 mm de tamanho.				
4- <i>Preparação para Infusão</i>	Temperatura Molde	Se Temperatura Hall $\geq 30^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ $35^{\circ}\text{C}$ Se Temperatura Hall $\leq 30^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ $45^{\circ}\text{C}$				
5- <i>Infusão/Peack Point</i>	Entrada Resina R51	Entrada de resina LE R51 só purga. Abrir apenas se necessário.				
	Purgas	Verificar se as purgas estão fechadas.				
	Autocontrolo	Efetuar autocontrolo após infusão.				
6- <i>Cura</i>	Mantas	Verificar estado das mantas.				
	TG TOOL	Fazer acompanhamento do TG Tool.				
Assinatura: _____						

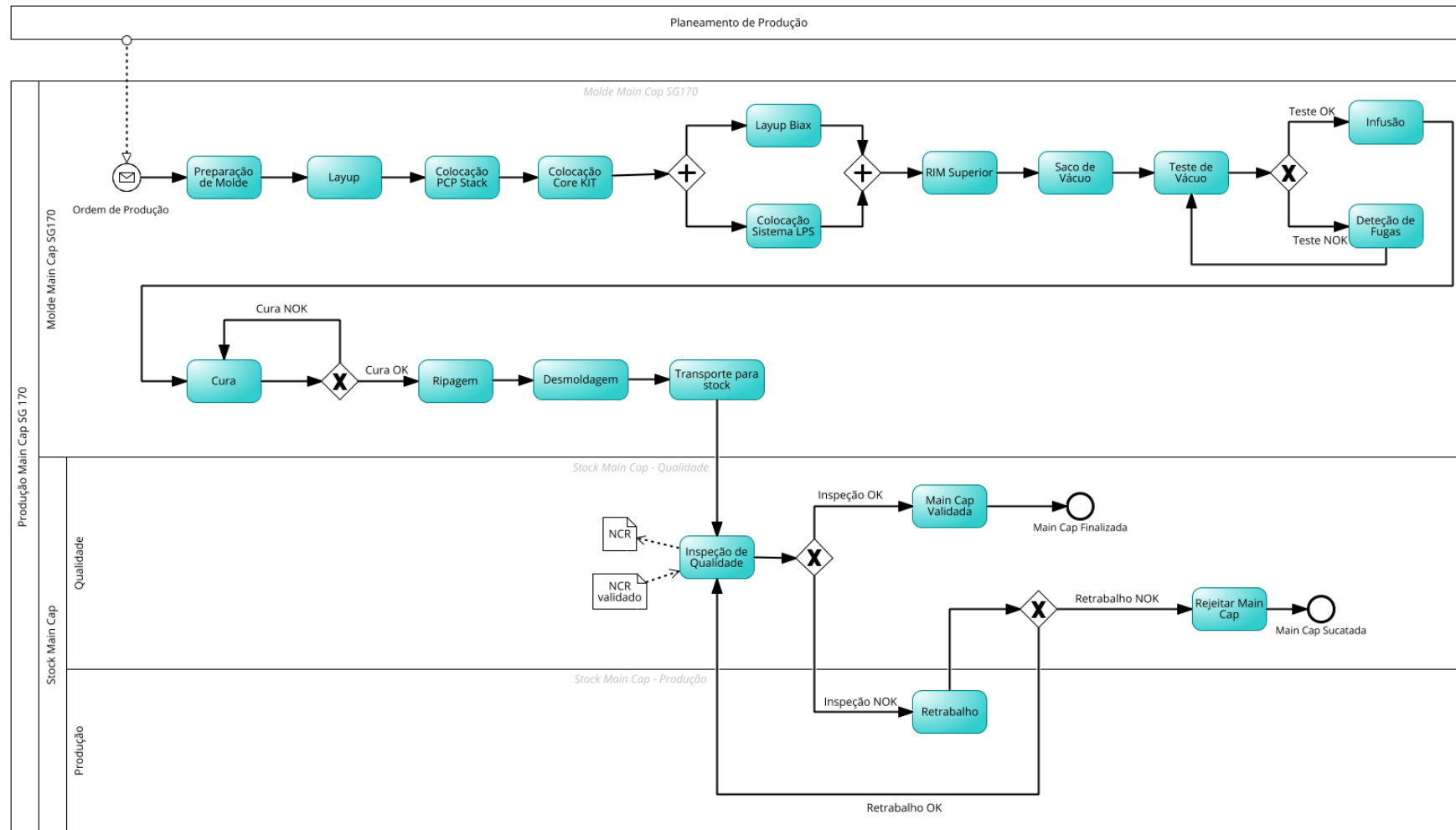
## Anexo I - Folha de Verificação Colagem

SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY		Folha de Verificação Colagem			
Molde: Shell SS <input type="checkbox"/> Shell PS <input type="checkbox"/>		Projeto: Nº Peça:			
Check Point	Valor	OK	NOK	Evidência	Notas
Temperatura e Humidade Ambiente	T=17°C - 30°C Hr=10% - 70%				
Teste seco	Garantir Vácuo SS/PS (Mínimo de 40 mbar) <b>Garantir que o saco está em tensão (esticado e sem folga).</b>				
	Temperatura Molde* (média) <40° C *Verificar na consola				
	Garantir as espessuras de cola entre 1 mm e 15 mm; Garantir o posicionamento da Main Web na Main Cap ( <b>D1 e D2</b> ); Garantir o posicionamento da Rear Web na Rear Cap ( <b>D3 e D4</b> ).				
Peel Ply	Garantir ausência de peel ply nas linhas de colagem.				
Limpeza das áreas a colar / preparação superfície	Ausência de sujidade, pó e objectos estranhos.				
	Ausência de áreas vidradas na zona colagem. <b>Caso a superfície não esteja ativada então fazer activação mecânica. Posteriormente, limpar bem toda a superfície.</b>				
Temperatura de Superfície de Molde	40 ± 5°C à superfície da peça.				
Temperatura da cola	≤30°C À saída da máquina.				
Aspeto da cola	Cor verde, <b>homogénea</b> e não raiada. A cola não está amarela nem <b>azul</b> .				
Temperatura da cola na linha colagem	Temperatura menor que 40°C. Se superior 40°C, retirar cola das linhas colagem.				
Verificação após colagens Shell SS	Verificação da linha de colagem antes de remover galática e jig (falta de cola, adesão/abas deformadas, rigidez da cola).				
Ciclo de colagem, pá completa	Se temperatura cola ≤30°C, garantir tempo de colocação de cola < 1 hora.				
Aplicação de cola	Registar Rs de avaria de Máquina e SAP Máquina.				
Activar programa de cura e TG Tool	Após colocação de cola, garantir o início do programa de cura e também do TG Tool.				
Assinatura:					
_____					

# Anexo J - Modelo "as-is" Caps



# Anexo K- Modelo "to-be" Caps











## Anexo L- Atualização tempos *target* do Projeto SG 170

DATA INÍCIO: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

PEÇA nº \_\_\_\_\_ OP NÚMERO: \_\_\_\_\_ MS-SS

DATA FIM: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

OBJ  
TOTAL

HORA	Nº MOD SW Nº MOD REAL	OPERAÇÃO	OBJ	REAL	REAL TOTAL	COMENTÁRIOS
		Limpeza molde	30	30		 Troca de Operação Preparação do molde
		Aplicação e secagem desmoldante	25	55		
		Fitas e Aplicação Veil	90	145		
		Lay-up externo	230	375		 Troca de Operação
		Colocação CFM+CAP	40	415		
		Colocação da flange bushing (Root)	45	460		
		Colocação core entre CAP e Rear CAP	50	510		
		Colocação CFM+Rear Cap	20	530		
		Balsa+Espuma TE	30	560		
		Layup interno + Flanges (TE+LE)	260	820		
		Marcações travões +Peel-Ply	10	830		
		Colocação do sistema de leitura de vácuo	15	845		
		Folha desmoldante+Green mesh+canais de resina	60	905		
		Saco vácuo + Estabilização+Teste vácuo+Termopares	165	1070		
		Infusão	150	1220		 Troca de Operação Infusão
		Peack Point Real	240	1460		
		Cura + colocação de mantas	340	1800		 Troca de Operação Ramping+Cura
		Ripagem+Autocontrolo	120	1920		
		Fazer vácuo Shell SS + Termopares Colagem SS	90	2010		 Troca de Operação Preparação para colagem
		Ripar peel ply Caps SS	20	2030		
		Teste seco webs SS + Marcação Áreas Colagem	50	2080		
		Aplicação Cola SS	25	2105		
		Cura Webs		2345		
		Receptores		2345		
		Calibradores	240	2345		
		Corte e desbastes (Root, LEBC e TEBC)		2345		
		Termopares Colagem Pá		2345		
		Retirar galáctica + Prep. Teste Seco	140	2485		
		Teste Seco	60	2545		
		Ripar peel ply TE e LE e aplicar plástico limpeza	60	2605		
		Aplicação Cola SS + PS	60	2665		 Troca de Operação Colagem
		Fecho molde e Limpeza (retirar plásticos/cartões e escoras interior)	60	2725		
		Rumping + Cura Pá	300	3025		 Troca de Operação Cura Pá
		Abertura Molde	30	3055		
		Desmoldagem Pá	60	3115		 Troca de Operação Desmoldagem
		<b>TOTAL (minutos)</b>	<b>3115</b>			

51,9