



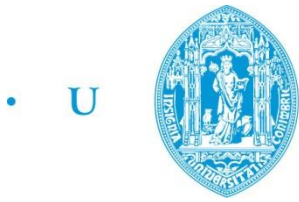
UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Beatriz Menezes de Sousa

**DIGITALIZAÇÃO DE INSTRUÇÕES DE
TRABALHO NUMA INDÚSTRIA
ALTAMENTE CUSTOMIZADA DE
EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE ALTA E
MÉDIA TENSÃO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão
Industrial orientada pela Professora Doutora Vanessa Sofia
Melo Magalhães e apresentada ao Departamento De
Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra.**

Setembro de 2022



• U C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Digitalização de Instruções de Trabalho numa Indústria Altamente Customizada de Equipamentos Elétricos de Alta e Média Tensão

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Digitalization of Work Instructions on a Mass Customization Industry of High and Medium Voltage Switchgear

Autor

Beatriz Menezes de Sousa

Orientadora

Professora Doutora Vanessa Sofia Melo Magalhães

Júri

Presidente

Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais

Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto

Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientadora

Professora Doutora Vanessa Sofia Melo Magalhães

Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra



**Aparelhos de Alta e Média
Tensão de Efacec**

Coimbra, setembro, 2022

Out of clutter, find Simplicity.
From discord, find Harmony.
In the middle of difficulty lies Opportunity.

Albert Einstein

Agradecimentos

Este capítulo é o mais difícil de redigir, pois nem sempre conseguimos expressar tudo aquilo que queremos dizer.

Primeiro, agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Vanessa Magalhães, por me ter ajudado na construção deste trabalho, por me ter incentivado e por estar sempre disponível.

Em segundo, aos meus colegas da Efacec, ao Hugo, Rui e Mota por todos os momentos de aprendizagem e pelo bom humor, ao Paulo e ao Tiago pelos almoços e boa disposição e ao meu orientador Engenheiro Luís Gomes.

No entanto, não foram só 5 meses de trabalho, foram 5 anos de aprendizagem, sorrisos, lágrimas, momentos e sobretudo pessoas, às quais não posso deixar de prestar um especial agradecimento.

Aos meus pais, por serem um porto seguro.

Aos meus irmãos, por todas as vezes que compreenderam a minha ausência e por me darem sempre a força necessária.

Aos meus companheiros de grupo, Marta, Inês, Renata, Bruno, Eva, Gonçalo e Rui, por aturarem as minhas crises ao longo da concretização das cadeiras.

Ao meu grupo de Coimbra, Afonso, Sara, Pinto, Daniel, Duarte, Jorge, Joana, Coelho, Mania, Rita, Rocha e Isabel, por terem feito estes 5 anos os melhores da minha vida.

À Ana Carolina, à Machado, à Ventura, à Carreiró e à Inês, por, mesmo longe, permanecerem.

Ao Luís Lobo, por ter sido um dos maiores apoios nesta etapa e por me ter mostrado que o Porto é onde quero começar o próximo capítulo.

Aos que não referi, mas que de uma maneira ou de outra, marcaram o meu percurso académico.

Por fim, a esta cidade, Coimbra, que é um mundo de emoções e que nos transforma na melhor versão de nós mesmos.

Resumo

Atualmente, na era da Indústria 4.0, a digitalização surge para uniformizar e melhorar a eficiência dos processos produtivos das empresas.

O presente documento resulta do estágio curricular na unidade de negócio de Aparelhos de Alta e Média Tensão da Efacec, no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. O projeto surgiu da necessidade de analisar o processo produtivo da empresa e os respetivos sistemas de suporte à montagem de componentes, de forma a mitigar o elevado número de não conformidades que a unidade apresentava. Assim, através de entrevistas informais, entrevistas semi-estruturadas, observação e análise de documentos da empresa, fez-se a análise da situação atual da mesma através de diagramas de fluxo. Com base nesta análise, construiu-se um diagrama de *Ishikawa* para perceber quais as principais causas para o problema enunciado. Conclui-se que a principal causa advinha das *Standard Operating Procedures* desatualizadas e, muitas vezes, inexistentes, fruto da indefinição de processos.

Como resultado, foi criada uma plataforma *web* interna com o principal objetivo de uniformizar e digitalizar o processo produtivo. Foram ainda propostas melhorias alternativas como uma metodologia para a otimização da criação das *Standard Operating Procedures* Digitais e um sistema de monitorização e controlo digital com base na plataforma *web*. Espera-se que as soluções propostas tenham um impacto significativo na taxa de não conformidades e no *Order-To-Deliver*. Estes indicadores têm um impacto direto na qualidade dos produtos entregues aos clientes da Efacec.

Este projeto, também reporta valor para indústrias semelhantes que procurem uma solução alternativa a soluções que acarretam um maior investimento.

Palavras-chave: *Standard Operating Procedures*, Instruções de Trabalho, Montagem, Digitalização, Indústria 4.0

Abstract

Currently, in the age of Industry 4.0, digitalization arises to standardize and improve the efficiency of companies' production processes.

This document results from the curricular internship in the business unit of High and Medium Voltage Appliances of Efacec, under the Master's degree in Engineering and Industrial Management. The project arose from the need to analyze the company's production process and its component assembly support systems, to mitigate the high number of non-conformities that the unit presented.

Thus, through formal interviews, semi-structured interviews, observation and analysis of company documents, the current situation of the company was made through flowcharts. Based on this analysis, an Ishikawa diagram was constructed to understand the main causes for the problem enunciated. It is concluded that the main cause came from the outdated and non-existent Standard Operating Procedures, resulting from the lack of definition of processes.

As a result, an internal web platform was created with the main objective of standardizing and digitalizing the production process. Alternative improvements were also proposed as a methodology for optimizing the creation of Digital Standard Operating Procedures and a digital monitoring system based on the web platform.

The proposed solutions are expected to have a significant impact on the rate of non-conformities and on Order-To-Deliver. These indicators have a direct impact on the quality delivered to Efacec customers.

This project also reports value for similar industries looking for an alternative solution to solutions that provide greater investment.

Keywords Standard Operating Procedures, Work Instructions, Assembly, Digitalization, Industry 4.0

Índice

| | |
|--|------|
| Índice de Figuras | xi |
| Índice de Tabelas | xiii |
| Índice de Equações | xv |
| Siglas | xvii |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.3. Metodologia | 3 |
| 1.4. Estrutura da dissertação | 4 |
| 2. Enquadramento teórico | 7 |
| 2.1. Indústria 4.0 | 7 |
| 2.1.1. <i>Digitization</i> , Digitalização e Transformação Digital | 7 |
| 2.1.2. Tecnologias na Indústria 4.0 | 9 |
| 2.2. Processo de Montagem | 11 |
| 2.2.1. <i>Standard Operating Procedures (SOP)</i> | 12 |
| 2.2.2. <i>Bill of Materials (BOM)</i> | 14 |
| 2.2.3. Operador 4.0 | 15 |
| 2.3. Ferramentas de Gestão da Qualidade | 18 |
| 3. A Efacec | 19 |
| 4. Situação Atual Da Empresa | 23 |
| 4.1. Processo Transversal | 23 |
| 4.2. Sistemas de Suporte e Operações da Produção | 27 |
| 4.3. Controlo e Monitorização da Produção | 30 |
| 4.4. Problemas Identificados na Análise da Situação Atual | 31 |
| 5. Proposta de Melhoria | 35 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.1. | <i>SwitchIT</i> – Plataforma de instruções de trabalho digitais..... | 35 |
| 5.2. | Sistemas de Controlo e Monitorização da Produção | 43 |
| 5.3. | Plano de Implementação..... | 46 |
| 5.4. | Limitações e Propostas Futuras | 48 |
| 6. | Conclusão | 51 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| | ANEXO A – Exemplo de uma possível imagem de instrução com MBD | 56 |
| | ANEXO B – Exemplo de uma ficha de não conformidades..... | 57 |
| | ANEXO C – Exemplo de uma folha de registo de tempos | 58 |
| | APÊNDICE A – Processo produtivo adaptado da unidade AMT com o uso de MBD | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Metodologia Utilizada | 4 |
| Figura 2 - Exemplo genérico EBOM e MBOM. <i>Adaptado de Stekolschik (2017)</i> | 15 |
| Figura 3 – Layout AMT | 21 |
| Figura 4 - Visão Geral do Processo Atual | 24 |
| Figura 5 - Esquema dos diferentes tipos de produto | 25 |
| Figura 6 - Esquema dos tipos de artigos existentes no BOM..... | 26 |
| Figura 7 - Sistemas de Suporte em cada divisão do AMT | 28 |
| Figura 8 - Exemplo SOP em papel | 29 |
| Figura 9 - Processo de Recolha de Tempos Atual..... | 31 |
| Figura 10 - Esquema customização de produtos | 32 |
| Figura 11 - Diagrama de <i>Ishikawa</i> | 33 |
| Figura 12 – Consequências adjacentes do Problema de Não Qualidade na cadeia de valor | 34 |
| Figura 13 - Esquema Visão das diferentes SOP | 37 |
| Figura 14 - Propostas de Sistemas de Suporte Digitais | 37 |
| Figura 15 - Processo de Criação de Operações de Montagem | 38 |
| Figura 16 - Exemplo Operações com Porca Quadrada..... | 39 |
| Figura 17 - Processo Geral de Criação de SOPs de Montagem | 41 |
| Figura 18 - Processo de Criação SOPs Ensaios..... | 42 |
| Figura 19 - Exemplo Painéis Controlo Produção - SwitchIT | 44 |
| Figura 20 - Processo Geral Esperado | 45 |
| Figura 21 - Exemplo Registo Tempos ToT..... | 47 |

Figura 22 - Esquema Proposta Medição de Tempos..... 48

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Tecnologias 4.0. Adaptado de Dornelles et al. (2022). | 10 |
| Tabela 2 - Caraterísticas dos diferentes casos de estudo. <i>Adaptado de Li et al. (2022)</i> | 17 |
| Tabela 3 - Sumarização do Estudo <i>Fonte: Adaptado Li et al. (2022)</i> | 17 |

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------------|----|
| Equação 1 | 49 |
| Equação 2 | 49 |

SIGLAS

AMT – Alta e Média Tensão
BOM – *Bill of Materials*
CAD - *Computer aided design*
EBOM – *Engineering Bill of Materials*
EPI – Equipamentos de Proteção Individual
EPS – Efacec Power Solutions
ERP – *Enterprise Resource Planning*
GOP – *Global Operating Procedures*
ICT – *Information and communications technology*
IoT – *Internet of Things*
MBOM – *Manufacturing Bill of Materials*
MRP – *Material Requirements Planning*
MTO – *Make-to-Order*
MBD – *Model-Based Definition*
MBE – *Model-Based Enterprise*
NC – Não Conformidade
QMT - *Quality Management Tools*
OF – Ordem de Fabrico
OTD – *Order-to-deliver*
RFID – *Radio frequency identification*
SEE – Sistema Elétrico de Energia
SOP – *Standard Operating Procedures*
ToT – *Time on Time*
ZDM – *Zero Defects Manufacturing*

1. INTRODUÇÃO

O Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial na Universidade de Coimbra tem duas opções no último semestre, estágio curricular ou dissertação. Assim, foi escolhido estágio curricular de 5 meses na Efacec, na unidade de negócio de Aparelhos de Alta e Média Tensão, com o objetivo de concluir o percurso académico com uma experiência no mundo empresarial.

1.1. Enquadramento

Atualmente, no mundo empresarial, sente-se cada vez mais a força que as plataformas e equipamentos digitais podem ter na performance. “Embracing digital is inevitable as that is now part of the business venture”, citação de Pearl Zhu, sumariza este mesmo facto. Para as empresas se manterem competitivas devem ter, cada vez mais, em consideração a melhoria através de soluções digitais capazes de transmitir e armazenar toda a informação de forma rápida e de fácil acesso. Encontramo-nos na era da Indústria 4.0, uma era digital onde o principal objetivo das empresas é aumentar o valor não só para o cliente, mas para a organização, através de sistemas de produção e de processos produtivos ágeis, flexíveis e eficazes (Khan & Turowski, 2016). Neste contexto, surgem três grandes conceitos, *digitization*, digitalização e transformação digital. Embora correlacionados, estes termos podem ser equiparados a pequenos degraus distintos na evolução digital de uma empresa, sendo que cada empresa deve garantir que está preparada para cada uma destas etapas. A *digitization* é a passagem de informação de forma analógica para digital, já a digitalização deve anteceder a transformação digital, uma vez que é sobretudo sobre implementação de tecnologias digitais, enquanto a transformação digital é sobre a mudança da estratégia e do negócio em si focada no cliente (Bloomberg, 2018).

Numa indústria altamente customizada e caracterizada pela montagem de componentes, as tarefas de montagem ocupam parte integral de muitos processos produtivos e apresentam um importante passo para garantir a qualidade da produção. Assim, com a

perceção da importância dos suportes de informação na produção, e com o crescimento da indústria 4.0, surge o conceito de operador 4.0, que permite entender de que forma é que as diferentes tecnologias podem dar suporte individual ao colaborador em três dimensões – física, cognitiva e sensorial (Li et al., 2022). Para garantir a qualidade, é importante conhecer ainda as ferramentas de gestão da qualidade existentes de forma a avaliar e encontrar soluções para problemas encontrados.

A Efacec, nomeadamente a unidade de negócio de Aparelhagem de Alta e Média Tensão (AMT), lidera o mercado português e é uma referência a nível mundial no desenvolvimento de soluções para produção, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica em alta e média tensão, destacando-se das demais empresas do setor pela possibilidade de customização do portefólio de produtos *standard*. Este estudo surgiu no contexto complexo do processo produtivo resultante da customização massiva característica do negócio e da baixa uniformização e informação referente ao processo produtivo que se repercutia num número considerável de não conformidades. Assim, foi proposto o estudo do estado atual da empresa, com foco no processo produtivo e nos diferentes meios de suporte na produção, nomeadamente em termos de *Standard Operating Procedures* (SOP), de forma a perceber, com base num sistema informático da própria empresa, como poderíamos mitigar os problemas encontrados. Em paralelo, foi também proposto o estudo do processo de criação de SOP digitais. Com base nos objetivos propostos, houve um passo para a digitalização da unidade, não só com a mudança das SOP de papel para o digital, como também uma mudança na gestão interna da produção através do controlo e monitorização digital da produção.

1.2. Objetivos

O atual projeto, levado a cabo numa indústria altamente customizada de equipamentos de alta e média tensão, procurou encontrar uma solução para a taxa elevada de não conformidades e ainda promover a digitalização de instruções de trabalho.

Assim, foram definidos os dois principais objetivos:

- Obj 1: Análise do processo produtivo da situação atual da empresa;
- Obj 2: Uniformização e Digitalização de Processos de Montagem;

E, em paralelo, dois objetivos secundários:

- Elaboração de *Standard Operating Procedures* Digitais;
- Definição de um método de criação e manutenção das *Standard Operating Procedures*;

1.3. Metodologia

Este trabalho encontra-se subdividido em quatro fases, conforme mostra a Figura 1, sendo que a primeira iniciou-se com a recolha de informação junto dos diferentes membros da Efacec AMT, no sentido de perceber e descrever a situação atual.

Esta recolha de dados foi feita com base em entrevistas informais e semi-estruturadas com os chefes de equipa, os chefes da produção, alguns colaboradores do chão de fábrica e os engenheiros da equipa de Engenharia Industrial, e ainda através de observação e documentos da empresa.

Numa segunda fase, fez-se uma análise da situação atual com base num digrama de *Ishikawa*. Este diagrama foi contruído no sentido de perceber quais as principais causas para o principal problema encontrado que despoletou a necessidade deste trabalho.

Ao longo de toda a dissertação foram elaborados diagramas de processos recorrendo à ferramenta BIGAZI, um software usado pela EFACEC.

De seguida, foram propostas melhorias para mitigar o problema, atuando nas principais causas encontradas. Por fim, foram apresentadas as limitações e recomendações sobre os passos seguintes.



Figura 1 - Metodologia Utilizada

1.4. Estrutura da dissertação

O presente documento encontra-se dividido em 6 grandes capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução e um enquadramento do tema da tese, declarando os principais objetivos, a metodologia seguida e a estrutura da tese.

No segundo capítulo, apresenta-se um enquadramento teórico, que se foca em três temas principais: (1) descrição da indústria 4.0, ligação com a digitalização e tecnologias que surgiram neste contexto; (2) processos de montagem, com a apresentação de alguns conceitos importantes e a sua relação com indústria 4.0 através do operador 4.0; e (3) ferramentas de gestão da qualidade

No terceiro capítulo, é apresentada a empresa onde foi desenvolvido o projeto – a Efacec, mais concretamente a unidade de negócio onde o estágio foi efetuado, AMT – Unidade de Aparelhos de Alta e Média Tensão.

No core deste trabalho surgem os capítulos 4 e 5. O quarto capítulo, com a descrição da situação atual e a caracterização da unidade AMT, bem como a análise dos principais problemas encontrados (respondendo ao Obj. 1), e o quinto, com as propostas de melhoria encontradas para colmatar estes problemas, nomeadamente com a uniformização e digitalização de processos (dando resposta ao Obj. 2 e, conseqüentemente, aos objetivos

secundários) e apresentando ainda algumas limitações e dificuldades esperadas na futura implementação destas soluções.

Por fim, no sexto capítulo, é apresentada a conclusão, resumindo os principais resultados e algumas recomendações para trabalhos futuros, de acordo com as limitações e dificuldades encontradas.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Tendo como guia os objetivos definidos no capítulo 1, foi estudado um conjunto de temas que permitiram a concretização dos mesmos. Assim, pretende-se criar um suporte teórico capaz de corroborar as soluções sugeridas para os principais problemas identificados ao longo deste projeto.

2.1. Indústria 4.0

Nos anos 2000, surgiu o conceito de Indústria 4.0, também conhecida como a 4ª Revolução Industrial. A Indústria 4.0 pode ser definida como a revolução que permitiu, através da aplicação de tecnologias avançadas, aumentar o valor para o cliente e para a organização, aumentando a flexibilidade e qualidade dos sistemas de produção (Khan & Turowski, 2016). Neste sentido, Nazarenko et al. (2021) defende que a Indústria 4.0 potencia o aumento da qualidade dos produtos e processos, surgindo um novo conceito: *Zero Defects Manufacturing* (ZDM). ZDM defende o conceito de prevenção do erro, substituindo a ideia de deteção de defeitos e erros. Um dos principais desafios da Indústria 4.0 e do ZDM é a falta de interoperabilidade, ou seja, falta da “capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes trocarem informação numa rede heterogénea” (Nazarenko et al., 2021). Nazarenko et al. (2021) acredita que este problema pode ser reduzido com a uniformização do trabalho. Para uma uniformização do trabalho, no contexto da indústria 4.0, surge a digitalização.

2.1.1. *Digitization*, Digitalização e Transformação Digital

Na literatura, decorrente do tema da Indústria 4.0, existem três termos que muitas vezes são confundidos: *Digitization*, Digitalização e Transformação Digital. Embora estes termos estejam relacionados, não significam a mesma coisa.

Digitization é a transformação de informação analógica e não codificada em codificada (0 e 1), de forma que o computador possa processar, armazenar e transmitir essa

informação. No contexto empresarial, é importante pois permite transformar informação em papel em informação digital. É importante perceber que este conceito apenas se foca na alteração da informação para executar/auxiliar o processo e não no processo em si.

A Digitalização assenta na mudança do paradigma das operações, por exemplo, ao implementar tecnologias digitais, o trabalho de um operador muda e essa mudança é o centro da digitalização. Associado a este termo surge a automação capaz de transformar o papel das pessoas e os processos no geral. A digitalização tem com principal objetivo o aumento da eficiência dos processos e melhoramento da transparência dos dados (Bloomberg, 2018). Segundo Alsufyani & Gill (2022) este termo é uma tendência emergente que influencia as empresas a adaptarem-se para sobreviver e prosperar.

Por fim, a transformação digital, ao contrário da digitalização, que pode ser implementada como projetos, não pode. Este termo é mais amplo e refere-se à transformação da estratégia de negócio com foco no cliente e requer uma mudança organizacional para além da implementação de tecnologias digitais (Bloomberg, 2018). Assim, a transformação digital pode exigir vários projetos de digitalização, mas não pode passar apenas por isso. No entanto, esta transformação digital não deve ser imposta pois esta diretamente ligada à estratégia do negócio, deve sim, ser “ativada” pelo reconhecimento da dependência dos processos internos do mercado onde a organização está inserida. É necessário a empresa estar preparada para recorrer à transformação digital. Segundo Kagermann (2013), existem quatro grandes questões que devem ser respondidas para uma transformação digital eficaz:

- Porquê? Porque que as tecnologias digitais podem ajudar a empresa a resolver problemas e promover valor para a empresa e clientes?
- Onde? Onde é que os esforços digitais devem ser aplicados, onde criam mais valor? Onde são mais urgentes? Onde são passíveis de serem feitos?
- Quais? Quais capacidades são necessárias?
- Como? Como é que a empresa aborda a identificação do modelo operativo, incluindo a cultura organizacional e a gestão de processos, para guiar a transformação?

A resposta a estas perguntas não é a mesma para todas as empresas uma vez que, cada empresa, tem as suas características e as suas próprias necessidades.

Em suma, percebemos que a Transformação Digital pode englobar digitalização e a Digitalização pode englobar *Digitization*, sendo que a Digitalização é sobretudo sobre a

implementação de tecnologias digitais enquanto a transformação digital é sobre a mudança da estratégia e do negócio em si focada no cliente.

2.1.2. Tecnologias na Indústria 4.0

De acordo com Frank et al. (2019), existem dois tipos de tecnologias na Indústria 4.0: as bases e as *front-end*. Tecnologias base têm como objetivo a conectividade e ligação das tecnologias *front-end*. São exemplos as tecnologias *Internet of things (IoT)*, *information and communications technology (ICT)*, *Big Data*, etc. Por outro lado, temos as tecnologias *front-end*, suportadas pelas tecnologias base, e descritas em quatro grandes dimensões: *Smart Manufacturing*, *Smart Products and Services*, *Smart Supply Chain*, e *Smart Working*. A última dimensão suporta todas as outras, uma vez que o trabalho realizado afeta toda a cadeia. Na sua base estão os trabalhadores e a capacidade que as tecnologias têm em aumentar a produtividade e flexibilidade dos operadores, de forma a alcançar um melhor desempenho dos sistemas de manufatura (Dornelles, 2022). Cada vez mais as empresas procuram oferecer uma maior oferta na customização e, conseqüentemente, optam por uma produção mais manual, onde os trabalhadores apresentam mais flexibilidade produtiva.

Smart Working

Na Tabela 1, é apresentada uma síntese com base num estudo realizado por Dornelles et al. (2022), com o objetivo de perceber como é que as tecnologias da Indústria 4.0 podem contribuir para as atividades dos trabalhadores num sistema inteligente de trabalho. Como se pode verificar, existem diversas tecnologias que satisfazem diferentes necessidades e com graus de complexidade e investimento disparem. Muitas vezes, é a convergência das várias tecnologias que cria sinergias capazes de promover novas oportunidades, como sistemas integrados. Por exemplo, o *radio frequency identification (RFID)* é uma tecnologia atual e acessível que permite a recolha, processamento e armazenamento de uma gama variada de dados que pode ser usada para agir sobre a produção. Embora seja uma tecnologia relativamente simples, combinada com tecnologias base e *front-end* pode proporcionar grandes vantagens, como por exemplo, o *tracking* em tempo real de peças ou encomendas.

Tabela 1 - Tecnologias 4.0. Adaptado de Dornelles et al. (2022).

| Tecnologias 4.0 | Descrição | Vantagens | Desvantagens |
|---|--|---|--|
| Wearable Devices (Longo et al., 2020; Romero et al., 2016) | Descrito como algo como uma bracelete, <i>smartwatch</i> . Desenhado para recolher informações do operador, como localização, movimentos, saúde, etc. | Controlo em tempo real da localização do trabalhador; Melhora segurança e saúde do trabalhador; Possibilita a medição de tempos e qualidade em tempo real; Alerta para a ergonomia do trabalhador | Questões de privacidade; Aplicação Limitada; Medo ou Insatisfação dos trabalhadores; Psicologicamente invasivo |
| Sensores, Máquinas e Ambientes (Boyes et al., 2018; Romero et al., 2016) | Sensores captam informação e comunicam a atuadores (pessoas, máquinas, equipamentos). Combinados com IoT permitem visualizar informação e tomar decisões em tempo real | Deteção rápida de fadiga ou lesão do trabalhador; Melhora segurança do trabalhador; Capacidade de reconhecer movimentos; Precisão nas localizações de pessoas e materiais; redução da percentagem de defeitos; | Dependência da conectividade; Investimento Inicial elevado |
| Computer Vision (Posada et al., 2015; Segura et al., 2020) | Tecnologia que adquire, analisa e sintetiza visualmente informação através de computadores a analisar conteúdos. | Redução das Incertezas; Baixo custo na configuração de tarefas; Melhora eficiência operacional; Elimina/Diminui a necessidade de treino especializado e exaustivo | - |
| Digital Twin (Horvathová et al., 2019; Tao et al., 2019) | Modelos computacionais que transmitem cópias virtuais precisas de sistemas através de sensores em tempo real, refletindo a maior parte dos processos, produtos ou serviços.. | Ajuda a planear operações; Facilita a visualização da informação; Minimiza o impacto das perturbações inesperadas; Redução de custos de manutenção; Redução de Execuções de tarefa; <i>setups</i> e tempos de ciclo; | Investimento inicial elevado; Dificuldade na análise e gestão de informação; ataques cibernéticos; Problemas de calibração e Interferência |
| Inteligência Artificial (Russell & Norvig, 2016; Zolotov´ a et al., 2020) | Definida como tecnologia capaz de desenvolver por processos de aprendizagem e raciocínio similar ao humano para auxiliar as capacidades dos trabalhadores. | Redução da probabilidade de falha e custos de aprendizagem; Aumenta produtividade; Redução custos de atividade | Questões Éticas; Falta de confiança no sistema |
| Sistemas de Suporte Inteligente à Decisão (Margherita & Braccini, 2020; Russell & Norvig, 2016) | Usam a aprendizagem e técnicas de resolução de problemas para resolver problemas complexos em contextos reais. Exemplos: <i>Machine Learning, Neural Networks</i> ,.. | Produção mais eficiente; Melhora coordenação entre unidades; Diminuição de defeitos; Aumento da velocidade de ajustamento do planeamento e controlo da produção; Melhoria controlo e tomada de decisão; Gera processo de melhoria e otimização; | Resistência dos trabalhadores nas mudanças do processo de produção; Complexidade; Tempo gasto no desenvolvimento; Segurança |

| Tecnologias 4.0 | Descrição | Vantagens | Desvantagens |
|---|--|---|--|
| Realidade Aumentada (Abidi et al., 2019; Segura et al., 2020) | O local de trabalho é melhorado através da visualização de informação relevante para executar as atividades dos trabalhadores. | Mais eficiência na aprendizagem; Melhora a aprendizagem e a supervisão dos trabalhadores; Redução do tempo de execução e do número de não conformidades; Maior facilidade na execução de tarefas; Simplificação das competências necessárias; Facilita troca de informação e diagnóstico de erros | Fadiga visual; Distrações na utilização; Falta de familiaridade com a tecnologia; Aumento stress e pressão; Segurança; Resistência do utilizador |

A Tabela 1 resume as tecnologias 4.0 mais utilizadas, bem como as suas desvantagens e vantagens. Conclui-se que as tecnologias têm diferentes formas de atuar e devem ser analisadas para cada indústria em específico. No caso de processos de montagem, que são o foco do capítulo seguinte, as tecnologias de *Computer Vision*, *Digital Twin* e Realidade Aumentada parecem ser as mais interessantes devido às vantagens descritas. *Computer Vision* não apresenta nenhuma desvantagem significativa e apresenta diversas vantagens como eliminação de treino exaustivo e aumento da qualidade operacional. De forma semelhante, a Realidade Aumentada apresenta também estas duas vantagens com o acréscimo de também reduzir não conformidades, no entanto, apresenta algumas desvantagens. Por fim, o *Digital Twin* é uma ferramenta que se foca essencialmente no controlo e resposta a eventuais perturbações inesperadas, algo muito comum em indústrias com forte customização.

2.2. Processo de Montagem

À medida que a indústria se foca na customização e no aumento da variedade de produtos, a complexidade dos sistemas de produção aumenta, especialmente quando falamos de linhas de montagem. Esta complexidade é gerada pela customização que por mínima que seja acarreta mudanças na execução das operações de montagem. Com complexidade surge a flexibilidade, necessária para equilibrar a complexidade gerada pela customização. Neste sentido, surgem duas grandes perspetivas. A primeira relaciona-se com o paradigma da Indústria 4.0 (Yao & Lin, 2016) e o aumento da digitalização, automação e comunicação (Oesterreich & Teuteberg, 2016). A segunda relaciona-se com o valor das pessoas nos futuros sistemas de produção, uma vez que continuam a ser um ativo importante devido à capacidade de coordenar e resolver problemas, especialmente em ambientes complexos.

Segundo Li et al. (2019), à medida que estas duas visões convergem, surge o momento de gerar oportunidades de suporte cognitivo para os colaboradores através das tecnologias da Indústria 4.0. Este suporte pode ser conseguido por documentos visuais e auditivos que auxiliem os trabalhadores, nomeadamente *Standard Operating Procedures* (SOP).

2.2.1. Standard Operating Procedures (SOP)

As tarefas de montagem ocupam parte integral de muitos processos produtivos e apresentam um importante passo para garantir a qualidade da produção. De forma, utilizam-se instruções de trabalho, nas mais variadas indústrias, para auxiliar os colaboradores responsáveis por estas tarefas e para prevenir erros. As instruções de trabalho podem ser disponibilizadas de variadas formas e modalidades, desde instruções em papel até soluções interativas, como a realidade aumentada (Pimminger et al., 2020). Uma organização deve criar uma cultura de criação de instruções de trabalho com desenhos para as atividades repetitivas, de modo a documentar as instruções, atividades e responsabilidades de forma a uniformizar a performance da produção. Neste sentido, surgem as SOP, um documento formal que explica de que forma os indivíduos ou equipas devem executar um processo e detalhem as instruções passo-a-passo para que as tarefas sejam executadas de forma consistente (Lubis et al., 2020).

Segundo Lubis et al. (2020), os maiores objetivos das SOP são:

- Garantir a qualidade *standard*, ou seja, de forma consistente;
- Estabelecer *standard* e protocolos detalhados para cada tarefa e atividade;
- Criar um fluxo de trabalho organizado e sistemático alinhado com as políticas e regras estipuladas pela organização.

E as principais vantagens na utilização de SOP são:

- Assegurar boas práticas;
- Prevenir o desperdício associado aos trabalhadores;
- Fortalecer e facilitar o treino de novos colaboradores;
- Contribuir para o controlo do processo;
- Mostrar a eficiência e organização da empresa.

Ao referir SOP é importante perceber o que é *standardization*. Este conceito pode ser definido como a atividade de criar soluções que podem ser aplicadas de forma repetitiva para resolver problemas em variadas áreas. Normalmente as atividades consistem em construir e aplicar *standards*, ou seja, uniformizações (Lubis et al., 2020).

Processo de Criação de SOPs

Atualmente, existem no mercado um conjunto considerável de plataformas comerciais que fornecem apoio para a criação e gestão de instruções de trabalho digitais. Existem diversos exemplos como: *Azumuta*, *Manual.to*, *Proceedix* e *Zaptic*, que permitem incluir ilustrações importadas nas suas instruções de trabalho. Enquanto outras plataformas como: *Dassault Systèmes*, *SAP* e *VISCOPIC*, oferecem a funcionalidade de utilizar dados *Computer aided design* (CAD) e criar ilustrações diretamente para um visualizador 3D. Além disso, plataformas que permitem a geração de instruções com base em realidade aumentada, tais como a *Vuforia Instruções de Trabalho* (PTC), começam a ganhar força no mercado (PTC, 2022). No entanto, o principal problema e entrave na criação de SOP e instruções de trabalho é a necessidade de criar manualmente o conteúdo visual de cada passo, incluindo texto e geometria 3D, e selecionar um aspeto conveniente para visualizá-lo, o que pode ser uma tarefa demorada. A realidade aumentada, por outro lado, apesar de fornecer uma interface sofisticada para a comunicação em tempo real entre o operador e os robôs/máquinas no chão de fábrica, é dispendioso, não só em tempo como financeiramente (Zogopoulos et al., 2022). Neste sentido, surgiram recentemente estudos na literatura para automatizar esta criação de SOP. Zogopoulos et al. (2022) estudou uma possível solução automatizada para gerar instruções de montagem, bem como funções que permitem a geração de instruções para operações mais complexas através da recuperação de dados de ficheiros CAD. Foi ainda criado, por Gors et al. (2020), um algoritmo para extrair automaticamente uma sequência de montagem de um modelo CAD, com base na remoção sequencial de peças sem se tocarem e outras regras heurísticas.

Outro tipo de abordagens para a criação automatizada de SOP, também referidas na literatura, prendem-se com a mudança de paradigma na estruturação dos desenhos no seu desenvolvimento. *Model-Based Definition* (MBD) é uma tecnologia que pode reduzir o uso de diferentes e variados ficheiros, nomeadamente ficheiros 2D. Esta procura mostrar através

de um desenho 3D as anotações geométricas, como tolerâncias, dimensões e, em paralelo, informações da lista de materiais (Rinos et al., 2021). Um estudo efetuado por Rinos et al. (2021) procurou perceber de que forma *softwares* MBD podiam tornar o processo de partilha de informação e colaboração entre departamentos mais eficiente e concluiu que a tecnologia MBD permite criar um formato de dados leve, que elimina a necessidade de desenhos 2D e contém toda a informação para a produção. No entanto, o fluxo de trabalho deveria ser adaptado. Aliado a esta tecnologia, surge também o *Model-Based Enterprise* (MBE) que usa o MBD para definir os requisitos e especificações do produto em alternativa aos documentos em papel disponíveis na produção (Goher & Al-Ashaab, 2021). Este modelo tem como objetivo criar todos os dados referentes ao ciclo de vida do produto e reutilizá-los em todas as atividades/departamentos. Estes modelos têm algumas dificuldades, especialmente ao nível de *software*, *standardization* e custo.

2.2.2. Bill of Materials (BOM)

A lista de materiais (*Bill of Materials* – BOM) é uma extensa lista de partes, componentes, conjuntos, matérias-primas e documentos associados requeridos para descrever um produto de diferentes perspetivas e normalmente está organizada hierarquicamente: produtos “finais” no topo e componentes ou partes individuais na base. As empresas podem optar por duas abordagens, o EBOM – *Engineering Bill of Materials*, que é a estrutura da lista de materiais que surge da criação do produto, ou o MBOM – *Manufacturing Bill of Materials*, que, de forma semelhante, é a lista de materiais estruturada com base na produção e na montagem, geralmente organizada por “montagens e sub-montagens” (Stekolschik, 2017). Estas duas estruturas são muitas vezes diferentes devido aos processos, nomeadamente o MBOM consome o EBOM e reorganiza a informação, mas também pode conter outro tipo de informações, como equipamentos e ferramentas, podemos ver um exemplo na figura 2. Esta pode ser criada manualmente pelo *Enterprise Resource Planning* (ERP) ou através de sistemas BOM.

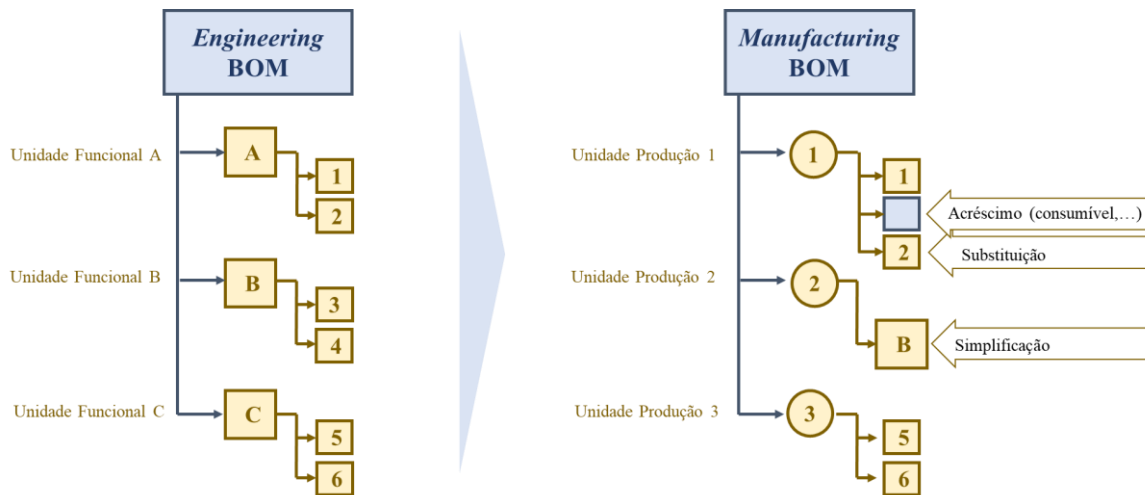


Figura 2 - Exemplo genérico EBOM e MBOM. *Adaptado de Stekolschik (2017).*

2.2.3. Operador 4.0

O conceito de Operador 4.0 surgiu no âmbito da Indústria 4.0, de forma a entender de que forma é que as diferentes tecnologias podem dar suporte individual ao colaborador em três dimensões – física, cognitiva e sensorial (Li et al., 2022).

No contexto de linhas de montagem, tipicamente as informações existentes estão registadas em suporte físico, em papel. Segundo Li et al. (2022), a digitalização possibilita a adoção de novas abordagens para disponibilizar a informação no chão de fábrica. A informação que chega ao operador é extremamente importante e deve estar bem definida para garantir a qualidade, não só dos produtos, mas também dos processos. Alguns autores defendem que as informações relativas a instruções de trabalho normalmente apresentam uma qualidade pobre e são demasiado genéricas para a tarefa que o colaborador executa, resultando num decréscimo de produtividade e qualidade (Li et al., 2022; Pimminger et al., 2020). Por exemplo, se o operador precisar de uma informação sobre como montar o componente x e não a tiver disponível, pode levar a erros na montagem, bem como ao aumento do tempo de trabalho despendido na procura dessa informação (Li et al., 2019). Letmathe et al. (2022) efetuou um estudo de modo a perceber se as empresas devem usar instruções digitais, ou seja, SOP digitais e, se sim, como devem ser implementadas. Deste estudo concluiu que as instruções digitais podem trazer um grande valor na performance na empresa, mais concretamente no número de defeitos e no tempo necessário. Da mesma

forma, *Dual Coding Theory* (Clark & Paivio, 1991) e a *Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2001) afirmam que a aprendizagem ocorre mais facilmente quando a informação é apresentada verbalmente ou visualmente.

Segundo Li et al. (2022), existem três grandes dimensões no âmbito da Indústria 4.0 que podem dar suporte aos operadores:

- Suporte de Tarefas Físicas – irá ajudar a capacidade do colaborador em executar atividades físicas;
- Suporte de Tarefas Sensoriais – irá auxiliar o colaborador na aquisição de informação do ambiente, com o objetivo de ajudar na tomada de decisão;
- Suporte de Tarefas Cognitivas – irá ajudar o operador a entender as tarefas mentais necessárias para produzir o trabalho em circunstâncias específicas.

Na dimensão cognitiva devemos ter em atenção a estratégia utilizada, ou seja, de que forma a informação apresentada pode suportar o trabalho do operador em diferentes etapas da sua aprendizagem. (Li et al., 2022)

Um estudo de Li et al. (2022), com foco nas instruções digitais e com o objetivo de comparar e avaliar diferentes soluções para apresentar a informação ao operador de forma a aumentar a qualidade do produto e do ambiente de trabalho, concluiu que as diferentes características do produto e montagem, bem como a quantidade produzida levam a optar por diferentes formas de aplicar as diferentes tecnologias. Desse estudo, resultam duas tabelas, uma semelhante à Tabela 2 onde estão representados 5 casos de estudo e respetivas características e outra equivalente à Tabela 3 na qual é representado o racional de mudança, ou seja, qual o motivo para que haja necessidade de mudança, quais os suportes utilizados antes e qual a solução encontrada.

Tabela 2 - Características dos diferentes casos de estudo. *Adaptado de Li et al. (2022)*

| Caso | Volume de Produção | Variedade de Produtos | Modo de Montagem | Nível de Habilidade Física | Nível de Suporte nas Tarefas Físicas | Nível de Habilidade Sensorial | Nível de Suporte nas Tarefas Sensoriais | Nível de Habilidade Cognitiva | Nível de Suporte de Tarefas Cognitivas |
|-----------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--|
| A | Baixa | Muito Alta | Aprendizagem | Alta | Baixo | Alta | Baixo | Média | Médio |
| B | Alta | Alta | Operacional | Média | Médio | Alta | Baixo | Baixa | Alto |
| C1 | Muito Alta | Alta | Operacional | Média | Médio | Média | Alto | Média | Médio |
| C2 | Baixa | Alta | Operacional | Alta | Baixo | Alta | Baixo | Média | Médio |
| D | Muito Baixa | Baixa | Aprendizagem | Alta | Baixo | Alta | Baixo | Baixa | Alto |

Tabela 3 - Sumarização do Estudo *Fonte: Adaptado Li et al. (2022)*

| Caso | Racional para mudança | Antes | | Depois | |
|-----------|---|-------------------------------|---|---|---|
| | | Equipamento | Conteúdo | Equipamento | Conteúdo |
| A | Diminuir o esforço cognitivo dos operadores | Computador com Dois monitores | Documentos em texto com algumas figuras | Computador com Dois monitores | Desenhos 2D e instruções textuais |
| B | Diminuir o esforço cognitivo dos operadores | Informação em papel usada | BOM e texto | Tablet (Monitor tátil) | Instruções passo a passo e fotos |
| C1 | Melhorar qualidade da montagem | Informação em papel não usada | Texto | Monitor | Símbolos a realçar pormenores importantes |
| C2 | Informação perto da montagem | - | Especificações de medidas | <i>Smartphone</i> colocado no antebraço | Especificações de medidas |
| D | Informação perto da montagem | Computador | Modelos 3D interativos | Realidade Aumentada | Modelos 3D |

Ao analisarmos as tabelas percebemos que o tipo de suporte necessário depende das características do operador e do nível de apoio que o mesmo necessita, pois estas vão fazer com que o racional de mudança seja diferente, pois, como descrito na Tabela 3, cada caso apresenta uma solução distinta.

De forma a percebermos e avaliarmos qualquer processo e produto, devemos recorrer a ferramentas específicas capazes de recolher e analisar o processo atual e identificar novas soluções, surgindo assim as ferramentas da gestão da qualidade.

2.3. Ferramentas de Gestão da Qualidade

A qualidade do produto é, sem dúvida, uma grande preocupação de todas as empresas, uma vez que é um fator que afeta diretamente o cliente, tendo um impacto na satisfação do mesmo. Desta forma, as empresas procuram formas de a melhorar. Para gerir a qualidade, uma variedade de ferramentas e técnicas de Gestão da Qualidade (em inglês: *Quality Management Tools* – QMT) podem ser usadas (Ondra et al., 2018). Estas ferramentas, têm o intuito de recolher e armazenar dados relacionados com problemas de qualidade, possibilitando e influenciando os processos produtivos. Segundo Ondra et al. (2018) e Popek et al. (2019), alguns exemplos bastante utilizados são:

- Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Causa-Efeito;
- *Control Charts*;
- Diagrama de Pareto;
- Histograma;
- Diagramas de Fluxo (em inglês: *Flowcharts*).

Popek et al. (2019) acredita ainda que todas estas têm como finalidade, não só, assegurar a qualidade dos produtos produzidos, mas também reduzir custos de fabrico (custos de produção e não produção). Um dos principais pressupostos subjacentes a um sistema de gestão da qualidade é a redução da taxa de não conformidades, através do planeamento e execução de ações corretivas e preventivas. Para conseguirmos perceber quais as ações adequadas devemos recorrer às QMT para uma melhoria bem-sucedida uma vez que, ao utilizar ferramentas de gestão da qualidade, uma organização pode investigar problemas, identificar soluções e implementá-las (Wolniak, 2019).

3. A EFACEC

O grupo Efacec surgiu em 1948 como um projeto da empresa EFME – Empresa Fabril de Máquinas Elétricas. Tal empresa que havia surgido em 1905 como “A Moderna”, Sociedade de Serração Mecânica, conferindo uma história com mais de 100 anos à Efacec. Anos mais tarde, em 2014, a empresa sentiu necessidade de um redimensionamento da estrutura internacional e da simplificação do portefólio. Além de outras mudanças em alguns ativos e negócios, a empresa passou a chamar-se EPS – Efacec Power Solutions, SA.

Atualmente, o grupo já expandiu as suas atividades e é representada nos domínios das soluções de Energia, Engenharia, Ambiente, Transportes e Mobilidade Elétrica, estando presente em mais de 65 países e em 4 continentes. De uma maneira geral, o grupo subdivide-se em 3 grandes categorias: produtos, sistemas e mobilidade elétrica.

No setor dos produtos, mais concretamente nos produtos de energia, a Efacec foca-se em apresentar soluções no mercado da produção, transmissão e distribuição de energia, que são as principais fases do fornecimento de eletricidade aos consumidores finais, sendo este percurso da energia elétrica designado Sistema Elétrico de Energia (SEE). Importa lembrar que todo o sistema de distribuição se encontra protegido por aparelhagens (produtos da Efacec AMT) que podem ser constituídas por diversos componentes, tais como disjuntores e fusíveis, por exemplo.

Neste momento, a empresa encontra-se numa fase de transição e com produção reduzida devido não só à pandemia, que afetou a chegada de componentes, mas também a problemas relacionados com os acionistas. A empresa foi recentemente adquirida pelo estado e agora encontra-se a ser negociada com o grupo DST, que irá integrar como sócio maioritário em setembro (Efacec, 2022).

Unidade de Negócio – AMT

O projeto de estágio descrito e exposto nesta dissertação foi realizado no departamento de Engenharia Industrial da Unidade de Negócio de Aparelhagem de Alta e Média Tensão (AMT), que se insere na área de atividade de Energia da Efacec e na categoria

dos produtos. Esta unidade lidera o mercado português e é uma referência a nível mundial no desenvolvimento de soluções para produção, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica em alta e média tensão.

A unidade apresenta um vasto e completo portefólio de produtos para alta e média tensão, sendo a sua estratégia competitiva a diferenciação. Focados no cliente, os principais nichos de mercado são aqueles que pretendam obter soluções customizadas e desenvolvidas à medida.

A Efacec AMT oferece um serviço integral e chave-na-mão, incluindo não só o fabrico dos produtos, mas também a sua instalação e um serviço pós-venda. Assim, é globalmente reconhecida pela sua flexibilidade, pela proximidade existente entre o departamento comercial e os clientes, e ainda pelas certificações de qualidade e gestão de que é detentora (Efacec, 2022a). Dedicase, maioritariamente, à montagem de componentes, e não à produção de pequenas peças. Estas são encomendadas da Efacec India ou de outros fornecedores.

A produção está dividida em dois grandes setores, distribuição primária e distribuição secundária. A diferença entre ambas, consiste na sua dimensão e conseqüente robustez, pelo que para correntes baixas (definido como corrente até 1250 A) utiliza-se uma solução em Distribuição Secundária e para correntes altas (definido como sendo superior a 1250 A) uma solução em Distribuição Primária. Deste modo, as soluções em Distribuição Secundária apresentam menores dimensões e robustez do que as soluções em Distribuição Primária. Assim, consideramos na Distribuição Secundária a produção de Fluofix, Normafix e Disjuntores (Divac e Revac) e na Distribuição Primária os restantes projetos que podem conter os equipamentos da secundária.

Neste momento, as instalações fabris da Efacec AMT, como podemos ver na Figura 3, possuem um desnível que separa os dois grandes setores, sendo o primeiro dedicado à distribuição secundária (Normafix, Fluofix e Revac) e o segundo à distribuição primária (produção de cablagens - cabos elétricos - e disjuntores - Divac). Também existe, em ambas as partes, zonas de expedição e, no setor da distribuição primária, uma zona de receção de mercadoria. Há ainda uma nave lateral anexa, dedicada a uma linha *One Piece Flow* de um produto designado por Normacel 17,5 2G.

Cada linha de produção é diferente, uma vez que dependendo do produto em questão o método de produção varia. O Fluofix apresenta uma produção em série, com 4 tarefas

distintas onde a peça é movimentada até aos diferentes postos com os respetivos operadores. Já no Normafix e na distribuição primária, o produto está fixo e o trabalhador movimentase de produto em produto para executar as tarefas que lhe foram atribuídas. Quanto à montagem de disjuntores, funciona por bancadas de trabalho, ou seja, a montagem é feita por um único operador no mesmo espaço.

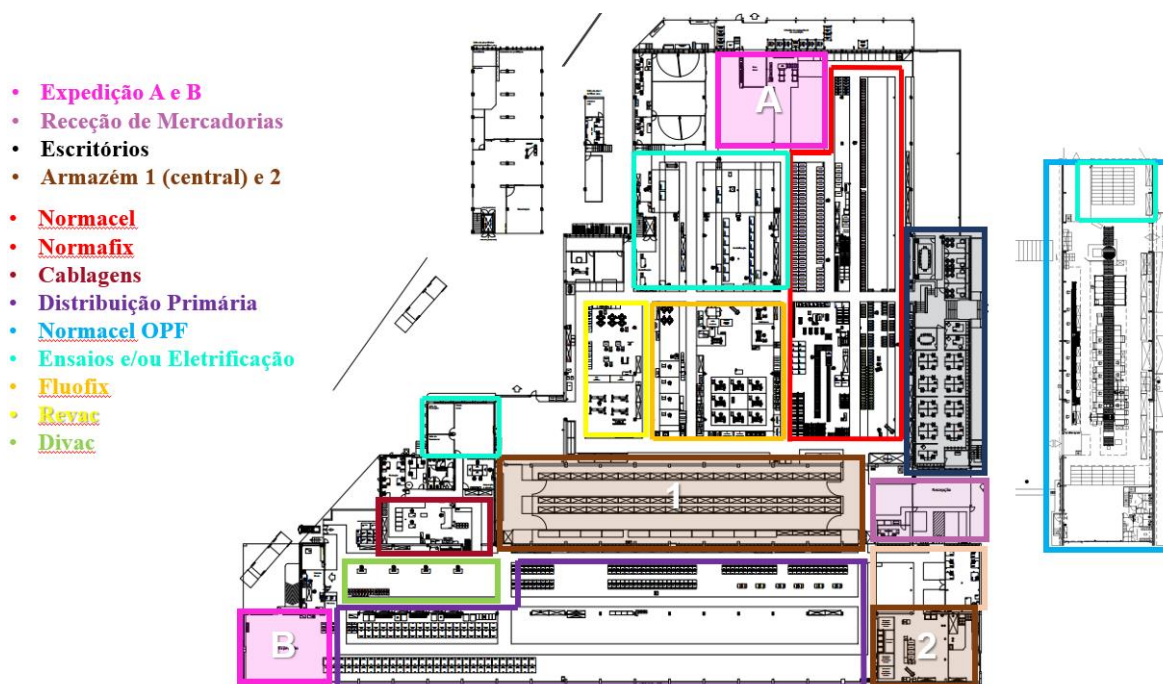


Figura 3 – Layout AMT

4. SITUAÇÃO ATUAL DA EMPRESA

4.1. Processo Transversal

Atualmente a Efacec AMT tem como estratégia o foco nos seus clientes, resultando numa procura diária por soluções à medida de cada cliente. Com esta visão, a Efacec AMT opta por uma produção MTO, ou seja, *Make-to-Order*, sendo o produto produzido apenas quando surge uma ordem de compra. Esta estratégia de produção, aliada com a alta customização e o tipo de produtos, origina numa dinâmica interna extremamente complexa. Apesar do foco ser a customização, é fundamental manter os produtos com uma qualidade elevada, não só pela excelência exigida pelo grupo, mas também porque se trata de aparelhos que lidam com grandes valores de tensão e são altamente perigosos, especialmente quando mal fabricados. É ainda fulcral manter um preço competitivo, bem como garantir que os tempos de entrega estão dentro dos prazos acordados com os clientes. Para responder a todos os padrões estipulados, a unidade está dividida em departamentos, sendo eles o Planeamento e Planeamento Global, Engenharia, Engenharia Industrial, Logística, Produção e Qualidade conforme é apresentado na figura 4.

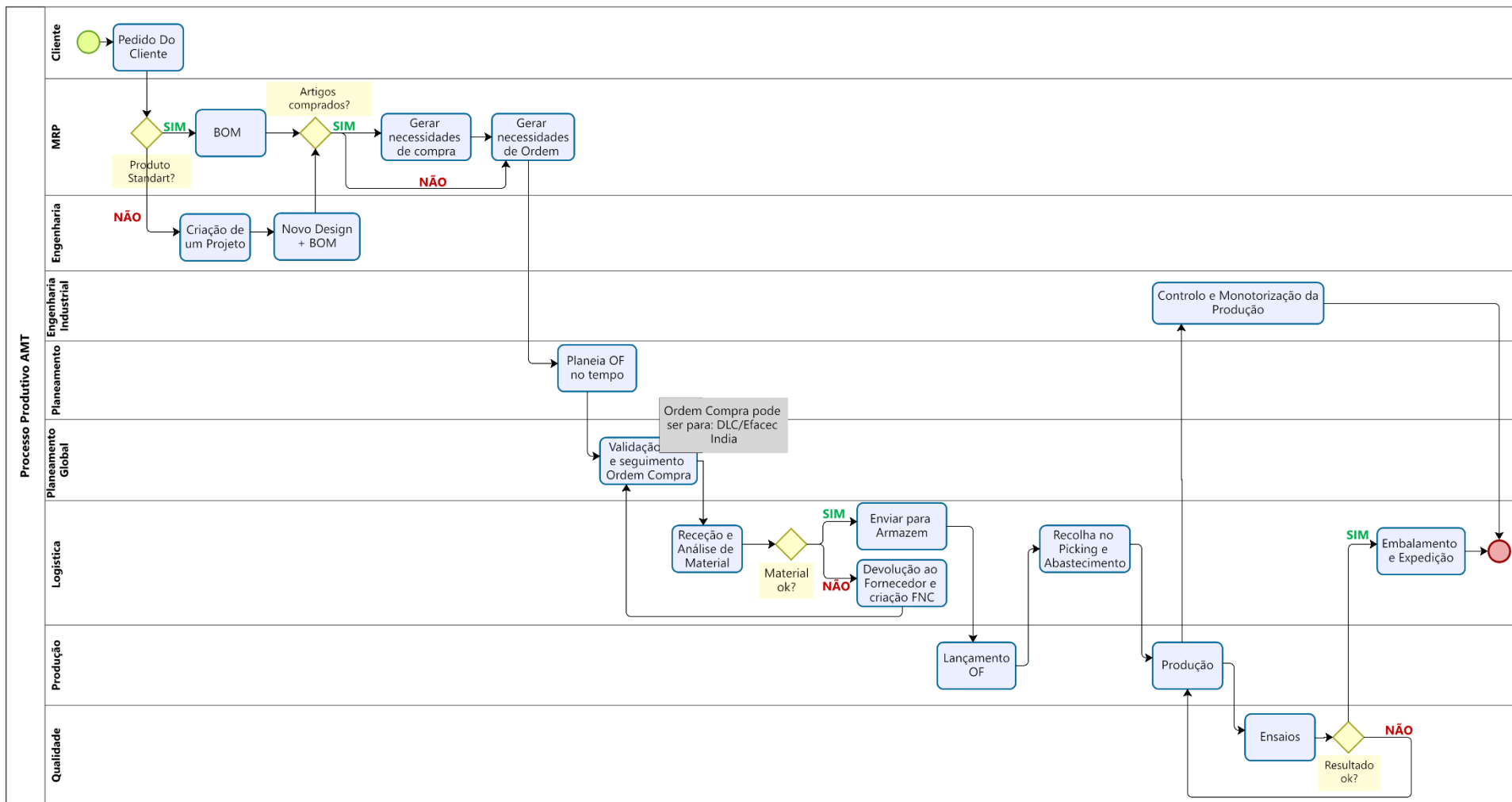


Figura 4 - Visão Geral do Processo Atual

Como podemos observar pela Figura 4, é efetuada uma ordem de compra pelo cliente, o departamento comercial (transversal  Efacec) com auxílio de um software MRP (*Material requirements planning*) cria um projeto segundo as especificaes do cliente. Esse projeto pode conter artigos inseridos nas categorias descritas abaixo:

- **Artigo Personalizado ou Standard** – Na figura 5 podemos ver os dois tipos de produtos existentes, standard e personalizado. Sendo o artigo personalizado aquele que está associado a um projeto, logo a um cliente específico e, por outro lado, o standard que não tem um projeto associado e do qual se sabe toda a informao, como a lista de materiais necessários a serem comprados ou fabricados (em inglês: *bill of materials* - BOM).

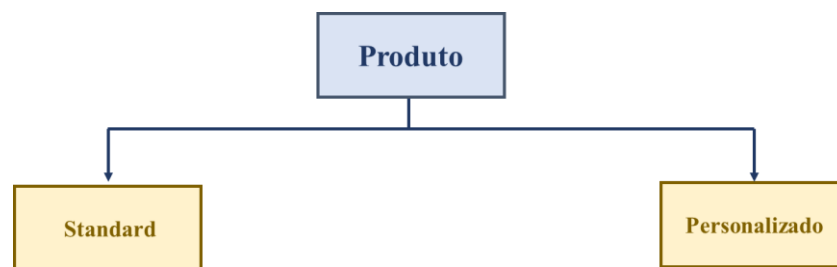


Figura 5 - Esquema dos diferentes tipos de produto

- **Artigo Comprado ou Fabricado** –O artigo comprado é aquele cujo *stock*  repostado por Ordem de Compra e o artigo fabricado é aquele cujo *stock*  repostado por Ordem de Produo.
- **Artigo Fantasma ou Não Fantasma** –Um artigo fantasma é um artigo fabricado que ao ser planeado não gera uma ordem de produo própria. Um artigo não fantasma pode ser um fabricado que ao ser planeado cria uma Ordem de Produo própria ou um artigo comprado.

Como podemos ver na Figura 6, as duas últimas categorias estão relacionadas, sendo um artigo comprado sempre fantasma. Por outro lado, um artigo fabricado poderá ser fantasma ou não fantasma.

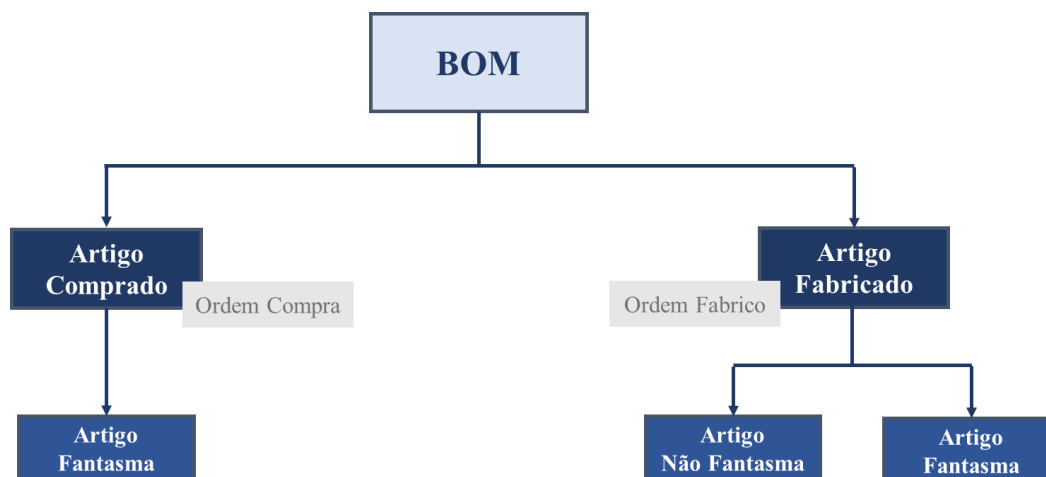


Figura 6 - Esquema dos tipos de artigos existentes no BOM

Embora esta lista de materiais seja construída na perspetiva da engenheira, logo EBOM, como vimos anteriormente, os materiais têm classificações segundo a maneira como são obtidos e tratados na produção.

A Engenharia é responsável por projetar o artigo. Caso este seja personalizado, esta projeção é gera uma lista de materiais específica. Caso o produto já exista, o BOM já se encontra disponível e o MRP gera automaticamente as necessidades de compra e as necessidades de fabrico.

O Planeamento projeta a Ordem de Fabrico (OF) no tempo. De notar que a capacidade do MRP utilizado é infinita, ou seja, o MRP não tem informação sobre os recursos disponíveis para programar de forma automática a data de entrega do projeto, o que implica a validação da data pelo planeamento global de forma manual. Os recursos, necessários a esta programação, são o tempo de cada operação, as máquinas disponíveis e os operadores disponíveis. O Planeamento global dá, também, seguimento à ordem de compra.

De seguida, a Logística faz a receção e análise de material e caso esteja tudo conforme é lançada a OF na produção. Mais uma vez, a logística recolhe e abastece os postos de trabalho e a produção é executada.

Por fim, efetuam-se os ensaios de qualidade para confirmar que não existem não conformidades. Se tudo estiver conforme o produto é embalado e expedido.

A Engenharia Industrial   responsável por garantir a monitoriza o e controlo da produ o, garantindo a máxima eficiência da mesma, acompanhando a produ o de cada linha de produ o e melhorando a execu o das tarefas.

4.2. Sistemas de Suporte e Opera es da Produ o

A Efacec opera com um suporte de gestão ERP. ERP significa *Enterprise Resource Planning* e   um *software* utilizado na gestão financeira, da cadeia de abastecimento, das opera es, da produ o e das atividades de recursos humanos de forma integrada (Microsoft, 2022) Através de entrevistas informais com colaboradores do AMT, concluiu-se que devido   cria o de altera es no ERP, não existiu ao longo dos anos uma atualiza o constante do *software*, o que fez com que o mesmo ficasse desatualizado. Recriar o sistema atual seria, para já, inviável, uma vez que existe uma quantidade muito elevada de informa o no ERP e que seria necessário um elevado investimento para reconstruir um ERP transversal a todas as unidades. Assim, surgiram novas plataformas de suporte, algumas transversais   organiza o, outras específicas do AMT, sendo estas apresentadas a seguir:

- *SynergyNet* – plataforma *web* desenvolvida para dar apoio ao sistema ERP, que integra várias páginas *web* (*GlobalArt*, *GlobalTracking*, *Visualizer* e *WebBaan*)

GlobalArt – Permite a gestão global dos artigos através do código do mesmo.

GlobalTracking – Permite a rastreabilidade dos artigos através da associa o dos números de série. Pode-se verificar o destino (pais) e as associa es (filhos) que foram feitas para alcançar esse mesmo produto e ainda   possível ver de forma mais escrutina os *checkpoints* e os *checkpoints auto* (*checkpoints auto* são um conjunto vasto de verifica es que devem ser feitas e podem ser marcadas como realizadas automaticamente por uma questão de facilidade).

Visualizer – Permite a gestão de documentos associados a artigos, como ficheiros CAD 3D e 2D.

WebBaan – Plataforma *web* que representa uma versão simplificada do ERP Baan, que permite consultar:

- o Dados gerais dos artigos;

anteriormente. Os chefes da produção utilizam o desenho 2D, 3D e a lista de materiais (BOM). Os restantes operadores não têm acesso direto ao 3D, apenas ao 2D. Quando surge uma dúvida mais crítica, os chefes de equipa disponibilizam em papel o desenho 3D. A ferramenta mais utilizada é o *Visualizer*, pois permite ver a peça e o tipo de artigos a montar. Estas ferramentas, aliadas à grande experiência e ao *know-how* elevado dos colaboradores, fazem com que a produção seja muitas vezes executada com sucesso, mas não da forma mais eficiente. Além disso, quando são pequenos pormenores ou quando surge um novo produto, surgem dúvidas, por exemplo, que binários utilizar, que tipos de parafusos, quais os lubrificantes, e dúvidas sobre outras informações relevantes para a montagem dos produtos. Para além deste tipo de informação, as rotinas de produção não estão devidamente formalizadas e validadas, ou seja, cada operador executa as tarefas por instinto e pela experiência. Por exemplo, o mesmo colaborador a montar o mesmo produto, pode fazê-lo de diferentes formas, uma vez que não existem instruções claras sobre como deverá ser realizada a montagem do produto. Este facto, muitas vezes, faz com que surjam inconsistências, que poderão vir a refletir-se mais tarde na cadeia, nomeadamente nas áreas da qualidade e planeamento.

4.3. Controlo e Monitorização da Produção

Na situação atual da empresa, existe um controlo físico e verbal da produção, ou seja, para verificar o estado de uma produção, a chefia deve dirigir-se ao chefe da produção ou, se pretender informações mais pormenorizadas, ao chefe da equipa da produção em questão, uma vez que cada gama de produtos, apresenta uma produção distinta como referido anteriormente, cada uma com o respetivo chefe da equipa de produção. Para além deste controlo, existe também o controlo das tarefas executadas, através do ToT – *True Time*. Este controlo é pouco fiável e muitas vezes não executado.

O tema do controlo dos tempos da produção é de extrema importância, não só pela monitorização do estado das tarefas, mas para o planeamento da produção e definição de prazos coerentes junto dos clientes, uma vez que a produção é MTO, logo apenas iniciada quando existe uma ordem de compra. A estimativa dos prazos de entrega é feita através de tempos médios das diferentes produções introduzidos nas tarefas *Baan* e consequentemente associadas ao MRP. Os principais métodos de recolha para conferir um tempo médio são:

- Cronômetro;
- Vídeo-Equipamento que permite gravar para posterior análise dos movimentos;
- Folha de registo, para registo dos tempos e outras informações relativas a operação;
- *TrueTime*.

O processo de recolha de tempos está apresentado na Figura 9.

Desta forma, surgiu a necessidade de implementar um método de recolha e controlo de tempos mais otimizado e fiável, para que não existam, por um lado, faltas de tempo e consequentes atrasos nas entregas, e, por outro, excessos de tempo que levem ao decréscimo da produtividade e do lucro da empresa.

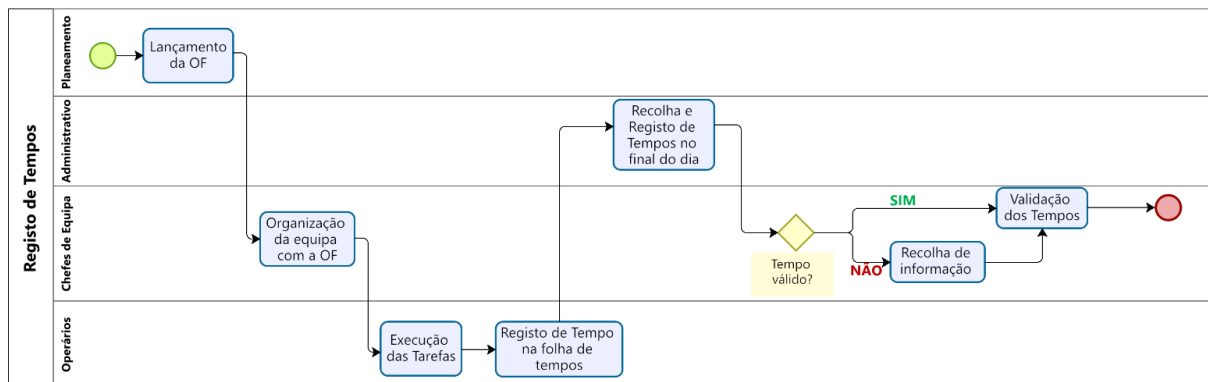


Figura 9 - Processo de Recolha de Tempos Atual

4.4. Problemas Identificados na Análise da Situação Atual

A Efacec, em especial a unidade do AMT  caraterizada pela:

- Produção geograficamente dispersa que gera problemas de não qualidade, ou seja, o facto da unidade de negócio ser essencialmente montagem de componentes provenientes de outras unidades de negócio de outros países, como Efacec India, fazia com que problemas de não qualidade vindos nesses componentes fossem detetados no AMT de Portugal, levando ao acréscimo das não conformidades.
- Natureza complexa dos produtos, resultante do elevado número de componentes;
- Natureza complexa da produção, consequente das customizações.

Estas características, aliadas à documentação de produção (SOP em papel) muito genérica e pouco detalhada, leva à dificuldade de reter o conhecimento sobre o fabrico de produtos e de o transmitir de forma que os operadores consigam executar a montagem de um novo produto, ou de um produto *standard* com especificações, de forma rápida e conforme. Nesta unidade de negócio existem os artigos *standard* e os artigos opção que, como o próprio nome indica, podem ou não fazer parte do produto pai. O mesmo produto (artigo-pai) nunca é totalmente igual, pois de acordo com a escolha do cliente pode apresentar diferentes artigos-filho. Conforme exemplificado na Figura 10 o artigo-pai vai ter os artigos comuns e a opção 1 e 3 requerida pelo cliente. Em suma, esta customização, característica do AMT resulta numa complexidade no processo produtivo uma vez que existem sempre pequenas diferenças que se traduzem em diferentes maneiras de executar a montagem.

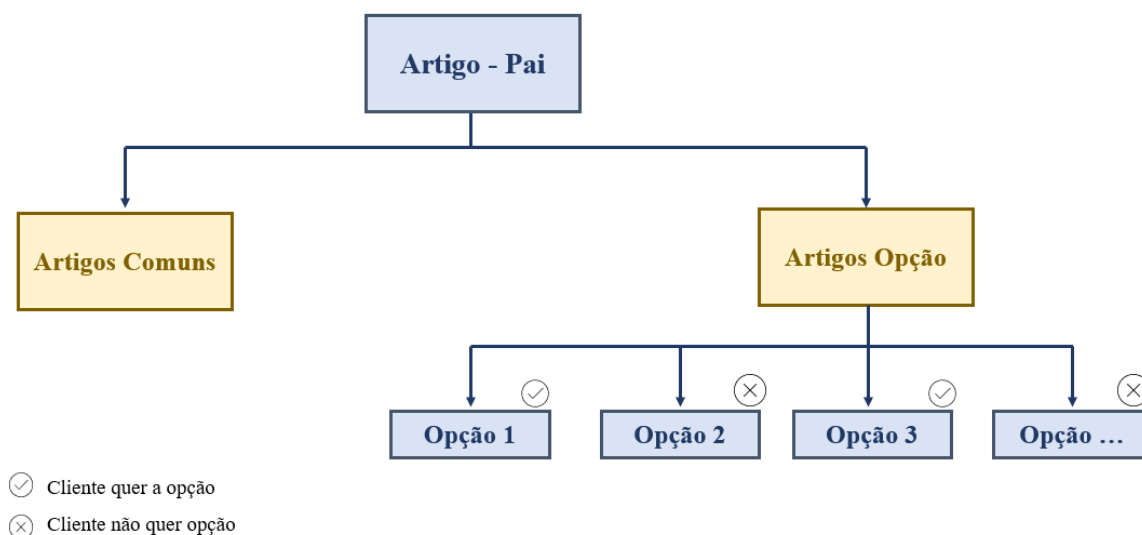
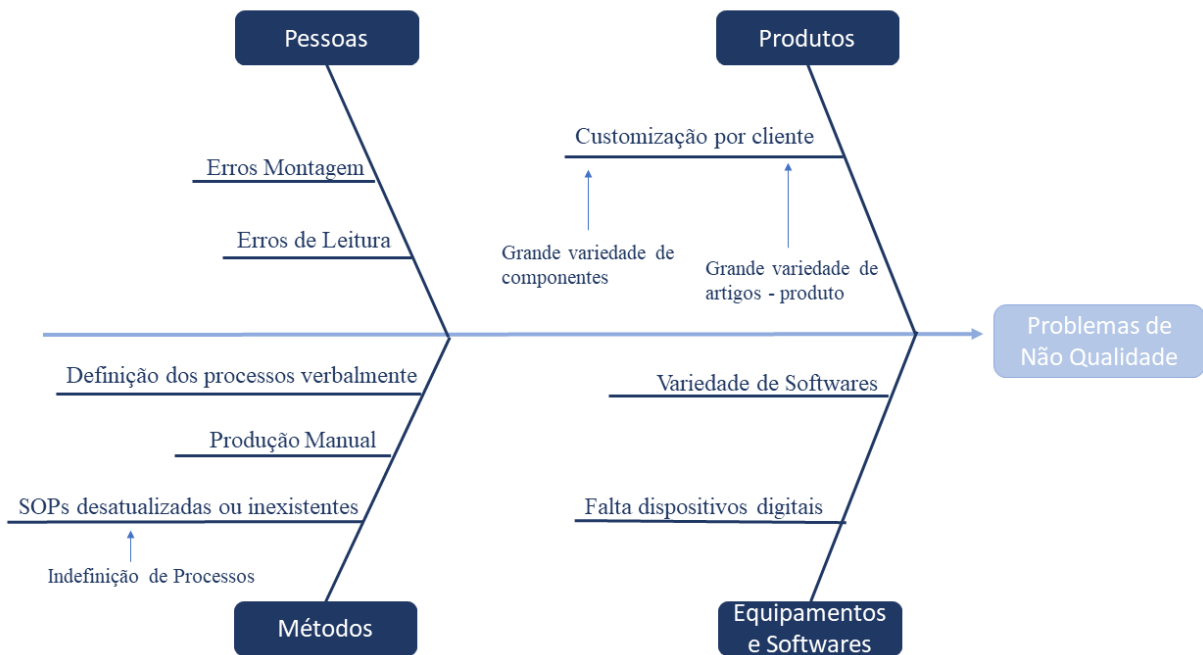


Figura 10 - Esquema customização de produtos

Com o objetivo de identificar o maior problema da situação atual, e as consequências a ele associado, foi elaborado um diagrama de *Ishikawa* (ver Figura 11). Este é um método simples e visual, usado para identificar as principais causas de um problema.

Figura 11 - Diagrama de *Ishikawa*

No AMT, o principal problema encontrado são Problemas de Não Qualidade. Pelo diagrama, verifica-se que, associado   categoria "Pessoas", temos os erros de montagem e leitura de SOP. Conforme referido anteriormente, o *know-how* existente no chão de fábrica faz com que as instru es de trabalho não sejam frequentemente necessárias, potenciando a indefini o dos processos e a existência de problemas de não qualidade. Por sua vez, nos "Produtos", a customiza o massiva e a grande variedade de peças fazem com que o processo de produ o seja complexo e que surjam problemas de não qualidade. Já nos "Equipamentos e *Softwares*", a grande variedade de *softwares* faz com que seja difícil acumular toda a informa o referente a um processo. Por fim, nos "Métodos", a defini o dos processos verbalmente e a produ o totalmente manual, ou seja totalmente dependente dos colaboradores, fazem com que os processos muitas vezes não fiquem devidamente estruturados.

Embora possa haver diferentes fatores potenciadores, a principal causa dos problemas de não conformidade   a inexistência de SOP ou existência de SOP desatualizados e genéricas, que leva   indefini o dos processos. A falta de uniformiza o dos processos afeta toda a cadeia de valor, pois se um processo não está bem definido e uniformizado não pode ser melhorado nem avaliado. Neste caso em concreto, problemas de não conformidade

são tratados atualmente da seguinte forma: é preenchida uma Ficha de Não Conformidades (FNC) (consultar o Anexo B) e o chefe de equipa é informado da situação. Caso seja um problema de fácil resolução, ou alguma situação que já tenha sido reportada no passado, é imediatamente solucionado, quer seja através da reparação ou da substituição de alguma parte. Caso seja uma nova ocorrência, ou algo mais complicado de resolver, a FNC é enviada para o departamento responsável pela parte defeituosa e este decide como e onde se irá atuar para a resolução do problema. Em seguida, e caso seja possível solucionar a não conformidade internamente, o Departamento de Engenharia Industrial, com o apoio do Departamento de Produção e do Departamento de Qualidade, decide quanto tempo se deverá despendar até se resolver o problema. Caso a resolução interna não seja possível, é enviado para as entidades externas responsáveis. Consequentemente, em qualquer um dos casos, o produto fica em espera até novas indicações, ou seja, os problemas de não conformidade irão ter um impacto no OTD (*Order-To-Deliver*). No contexto da empresa, o OTD é caracterizado como um indicador de performance, sendo avaliado como a percentagem de entregas dentro do prazo estimado. Assim, os problemas de não conformidades irão fazer com que hajam falhas no planeamento, que resultarão em atrasos e possibilidade de penalidades para a empresa por parte dos clientes, como cancelamento da encomenda ou, em casos extremos, a perda do cliente, tal como esquematizado na Figura 12. Assim, surge a necessidade de encontrar uma solução capaz de uniformizar e controlar a produção, de forma a reduzir os problemas de não qualidade e consequências associadas.



Figura 12 – Consequências adjacentes do Problema de Não Qualidade na cadeia de valor

5. PROPOSTA DE MELHORIA

5.1. *SwitchIT* – Plataforma de instruções de trabalho digitais

Numa uma era tecnológica marcada pela Indústria 4.0, é importante analisar a resolução do problema de um ponto de vista digital. Como vimos anteriormente, pela Figura 7, a área da Produção não está diretamente abrangida por nenhum suporte digital, mas sim por um suporte genérico em papel. Dado os principais problemas encontrados, encontra-se em desenvolvimento na Efacec AMT uma plataforma designada por *SwitchIT* – uma plataforma *web* com o principal objetivo de uniformizar os processos produtivos através da visualização de SOP Digitais e ainda, controlar/monitorizar a produção através do controlo de tempos. Esta plataforma tem como principais objetivos:

- Redução de papel;
- Controlo em tempo real de processo e rastreabilidade;
- Melhorar a qualidade (através da redução das não conformidades);
- Obtenção de dados em tempo real (tempos, estado da produção);
- Aumento da produtividade com a uniformização da melhor prática de produção;
- Redução do Tempo de Treino;
- Aplicabilidade Transversal a todas as fábricas.

E irá apresentar funcionalidades como:

- Descrição do processo produtivo baseado nas gamas operatórias *Baan*;
- Integração com *GlobalArt* usando valores das características dos artigos nos textos das operações;
- Integração com o *GlobalTracking* para registo de *checkpoints* e para associação de números de série;
- Suporte multilingue;
- Descrição da Operações com recurso a texto e imagens;
- Listagem de ferramentas, equipamentos de proteção individual (EPIs) e consumíveis por operação;

- Disponibilização de SOP de Montagem e Ensaio na Produção com o agrupamento de operações;
- *Checkpoint* (verificações feitas no ambiente de chão de fábrica e entrega, no SwitchIT, uma etapa de montagem);

As SOP no *SwitchIT* irão ser apresentadas por agrupamentos, ou seja, conjuntos de operações. Uma operação mostra, com algum detalhe, as etapas que o colaborador deve executar para produzir um determinado produto. As operações podem ser de vários tipos, nomeadamente:

- *Assembly Operation* – Operação de montagem de componentes.
- *Label* – Operação de impressão e colocação de etiqueta definida no *GlobalArt* do artigo em questão. Logo, a mesma operação *Label*, aplicada ao roteiro de diferentes artigos, pode significar etiquetas diferentes.
- *Fixed Label* – Operação de impressão e colocação de etiqueta pré-definida pelo operador.
- *Checkpoint* – Operação de verificação no qual o operador insere o valor medido.
- *Checkpoints Ok/NOk* – Operação de verificação ok ou não ok.
- *Automatic Checkpoint* – Operação de verificação na qual o valor é medido e registado automaticamente pelo instrumento de medida (associado ao *GlobalTracking*).
- *Associate Serial Number 1 → N* – Associar número de série de um artigo a N artigos.
- *Associate Serial Number 1 → 1* – Associar número de série de um artigo a outro artigo.

Estas operações irão ter algumas particularidades para conferir uma flexibilidade e adaptação fácil da plataforma às necessidades. Primeiro, existirão três estados distintos para uma operação: ativo, inativo e documentação. Apenas o estado ativo irá mostrar diretamente a operação na SOP quando disponibilizada na produção. O estado documentação irá ser visualizada na produção, caso o operador aceda a uma nova janela diretamente da SOP, ou seja, pode ser consultada, mas não é diretamente disponibilizada. O estado inativo não é visível à produção, serve apenas para não eliminar operações que podem ser viáveis num futuro. As operações poderão, ainda, ter produtos associados, ou seja, a operação poderá ser condicionada ou não. No caso de haver condicionamento, essa operação, apesar de estar na

SOP de um artigo, só irá aparecer na produção se na lista de materiais do artigo da SOP tiver esse artigo filho. Na Figura 13 podemos ter uma melhor perceção desta situação.



Figura 13 - Esquema Visão das diferentes SOP

Assim, espera-se obter uma nova estrutura de sistemas de suporte, na qual o *SwitchIT* passa a tomar um papel fulcral, como podemos ver na Figura 14.

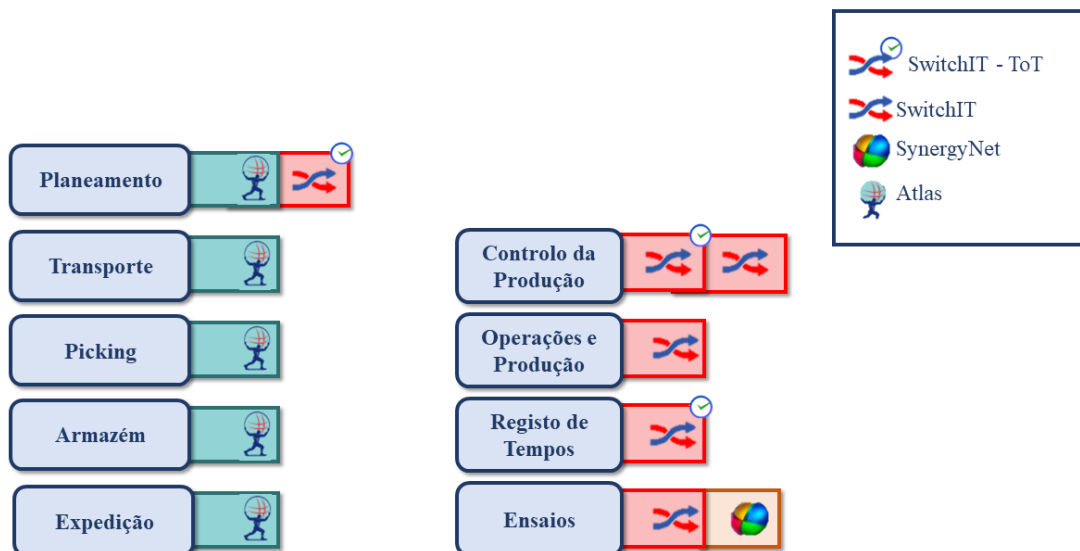


Figura 14 - Propostas de Sistemas de Suporte Digitais

Otimização do Processo de Criação de SOPs Digitais

Com a criação da plataforma *SwitchIT*, a Equipa da Engenharia Industrial ficou responsável por alimentar a plataforma com as instruções de trabalho, montagem e ensaios, para toda a gama de artigos do AMT. Foi criada uma metodologia para a criação de SOP Digitais, para que houvesse um método eficaz e eficiente para a construção automática das mesmas, uma vez que a construção das SOP ocupava um número significativo de horas de trabalho para os membros desta equipa e não seria sustentável a longo prazo. Assim, tentou-se construir um método o mais automatizado possível. A solução encontrada possibilita uma manutenção mais ágil, pois a cada novo artigo criado, irá haver apenas a necessidade de fazer verificações e, pontualmente, pequenas alterações.

A Figura 15 descreve o processo de criação de operações para uma lista de artigos da mesma gama. Podemos ver que, antes de qualquer criação, é necessária a obtenção da lista de artigos e respetivos componentes (BOM). Ao analisar a tabela resultante dos diferentes BOM, devemos primeiro verificar que montagens de componentes irão dar lugar a operações gerais e quais irão dar lugar a operações condicionadas. No caso das operações condicionadas, devemos ter em atenção, pois muitas vezes artigos com o mesmo nome podem ter processos de montagem diferente e, nesses casos, é necessário criar mais que uma operação, cada uma condicionada ao artigo em questão. Por outro lado, devemos verificar o tipo de condicionamento que estabelecemos, ou seja, devemos tentar sempre condicionar por artigos-filho de nível superior para que o processo seja mais automático. No entanto, é essencial garantir que o artigo filho condicionado é o apropriado.

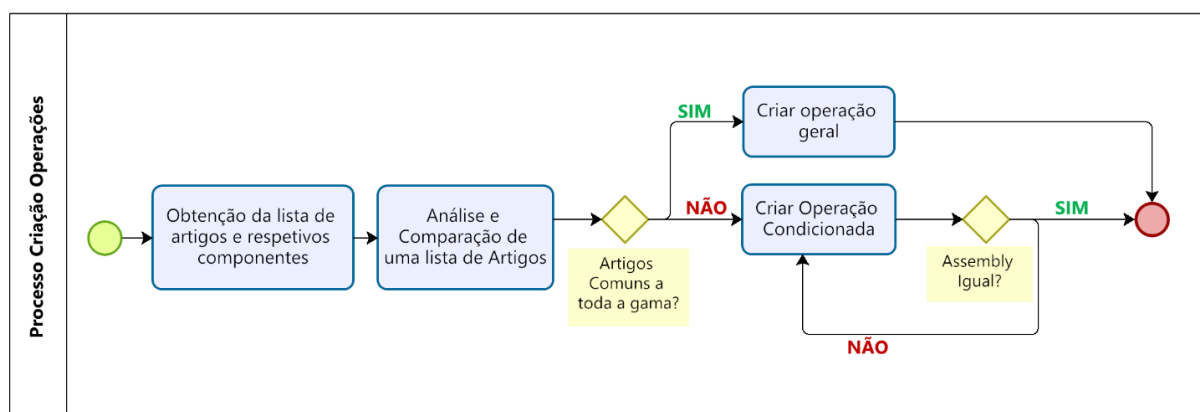


Figura 15 - Processo de Criação de Operações de Montagem

Exemplificando, na Figura 16, vemos duas operações em que o artigo filho a montar é uma porca quadrada, em ambas as operações se condicionássemos para a porca quadrada íamos estar a considerar que ambas as operações iriam aparecer, simultaneamente, na SOP, o que levaria a um erro.

Depois de compreendermos o método de criação de operações e condicionamentos, passamos para a compreensão do processo geral de criação de SOP de Montagem representado na Figura 17. Em primeira instância, devemos questionar se a gama de produtos já foi analisada, ou seja, se já foi analisado algum artigo da mesma gama. Caso não tenha sido, o trabalho passará essencialmente por uma análise dos diferentes componentes do artigo, com base na lista de materiais do *Baan*, de forma a estruturar os agrupamentos necessários e as operações que irão entrar nos respetivos agrupamentos. Por exemplo, no exemplo da Figura 16, na figura do lado esquerdo condicionar ao conjunto da tomada superior, já no caso da operação da direita teríamos de condicionar o conjunto da ampola na sua totalidade. No caso de ser um artigo que pertence a uma gama já analisada, devemos estudar os agrupamentos e operações já existentes.

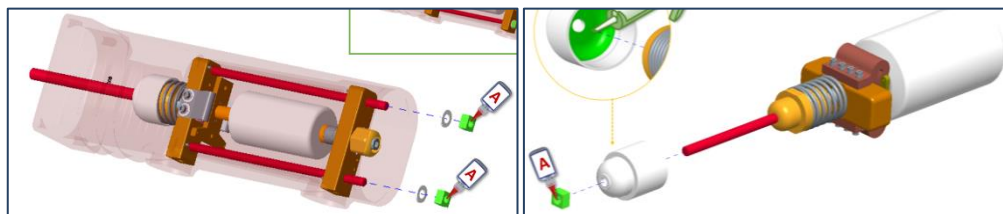


Figura 16 - Exemplo Operações com Porca Quadrada

Contrariamente às instruções de montagem, as SOP dos Ensaio vão estar divididas em duas grandes secções (ver figura 18):

- **SOP Genérica** – Criação de um agrupamento composto por operações que contêm vídeos generalizados de “como executar o ensaio x”, sem especificações. Numa primeira fase, a SOP genérica será elaborada através de filmagens na produção. No entanto, devemos analisar o valor da criação destas filmagens para o cliente final (uma vez que este exige muitas vezes o processo usado para executar os ensaios). Caso o mesmo não considere as filmagens a melhor abordagem, a equipa de

Engenharia Industrial deve rever, com a equipa de Qualidade, o melhor método a adotar.

- **SOP Personalizada** – Na linha de pensamento das SOP de Montagem, esta SOP apresenta indicações mais especializadas para cada ensaio específico de cada gama de produto. Muitas vezes, embora o mesmo produto apresente os mesmos ensaios, existem diferenças entre ensaios do mesmo produto dependendo do cliente final. Nestes casos, é recomendada a criação de operações específicas por cliente, que podem ou não estar agrupadas por cliente.

Paralelamente, foram criados dois documentos: um que espelhava a otimização descrita, para que qualquer colaborador que precisasse soubesse qual o método a seguir para a criação de SOP, e um manual de utilizador com descrição da utilização genérica do *SwitchIT*. Este manual apresenta-se dividido em 3 grandes secções. Numa primeira secção, apresenta os objetivos do *SwitchIT*, o porquê de ter sido criado e as suas vantagens. Numa segunda secção, os conceitos gerais intrínsecos à plataforma, como o conceito de operação, agrupamento, entre outros, descritos ao longo do trabalho. Por fim, numa terceira secção, explica passo a passo como aceder aos principais menus da plataforma. Esta última secção contém, ainda, subsecções para cada departamento que poderia usar a plataforma, nomeadamente, a Engenharia Industrial, o Planeamento, a Produção, a Engenharia e a Qualidade e Ensaios. Cada subsecção apresenta as diversas indicações para aceder aos diferentes menus mais utilizados em cada caso. Estes documentos, não só servem de suporte ao AMT, como foram e são utilizados para formações (que decorreram já numa fase final do estágio curricular) dadas a outras fábricas AMT fora de Portugal, com o objetivo de implementar e adaptar o *SwitchIT* às necessidades dessas fábricas.

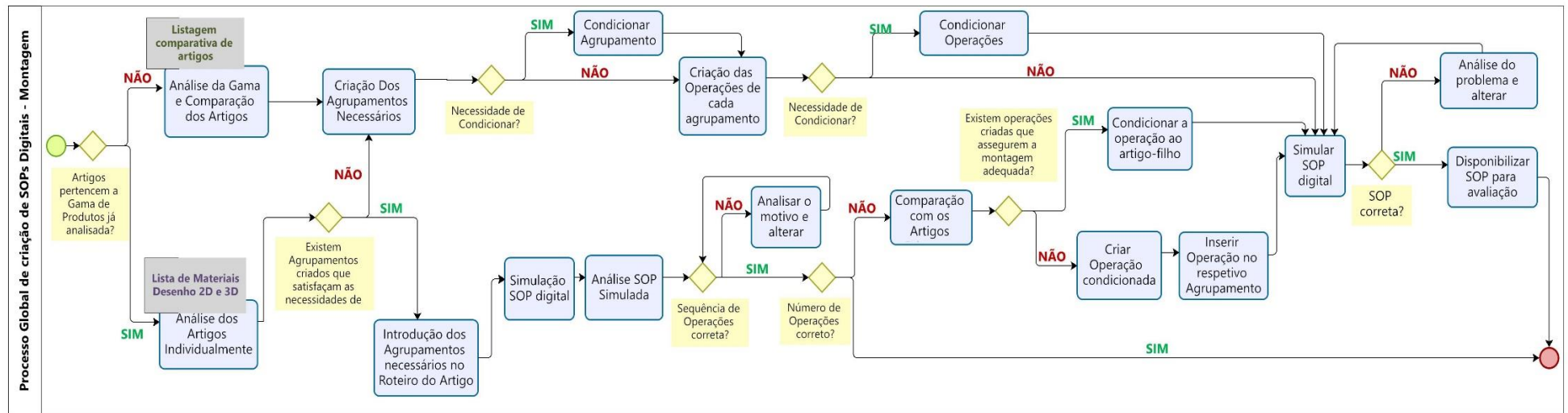


Figura 17 - Processo Geral de Criação de SOPs de Montagem

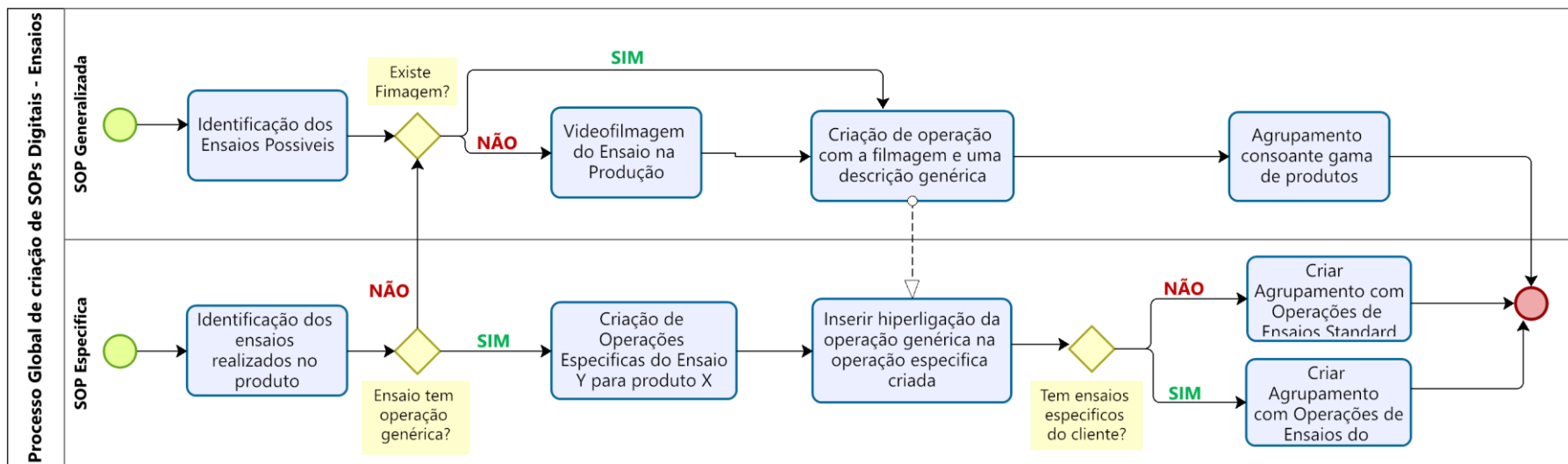


Figura 18 - Processo de Criação SOPs Ensaio

5.2. Sistemas de Controlo e Monitorização da Produção

No sentido de centralizar e permitir a monitorização da produção remotamente, o *SwitchIT* foi desenvolvido no sentido de ao transmitir as instruções de trabalho, e consequentemente, fazer o *tracking* do estado de uma produção, apresentando algo semelhante à Figura 19. O objetivo é permitir analisar remotamente o estado da produção em tempo real, controlando-se consequentemente a percentagem de tarefas executadas, quais as tarefas em falta ou em suspenso, e ainda comparar o estado das produções com o prazo de validade estimada, de forma a agir caso a produção esteja atrasada em relação ao previsto. Esta análise é importante, não só para ações reativas, mas também para ações preventivas, visto que medidas de ação poderão passar a ser tomadas com base no registo das diferentes produções, para que os problemas que resultaram em atrasos não se voltem a repetir.

Com a criação do *SwitchIT*, o *ToT* foi migrado do *TrueTime*, com o objetivo de centralizar toda a informação. No entanto, foi decidido que, para algumas produções, o processo irá permanecer manual e dependente dos operadores. Embora esta questão gere problemas de fiabilidade dos tempos analisados, pois o operador que executa a função também será responsável por medir e reportar o tempo de trabalho, decidiu-se manter apenas fortificando a necessidade da aprovação dos tempos antes de serem submetidos pelo chefe de equipa. Esta decisão baseou-se nas restrições na implementação do *SwitchIT* na produção, que serão descritas no capítulo seguinte. Assim, a Figura 20 resume o processo global após implementação do *SwitchIT*.



Figura 19 - Exemplo Painéis Controlo Produção - SwitchIT

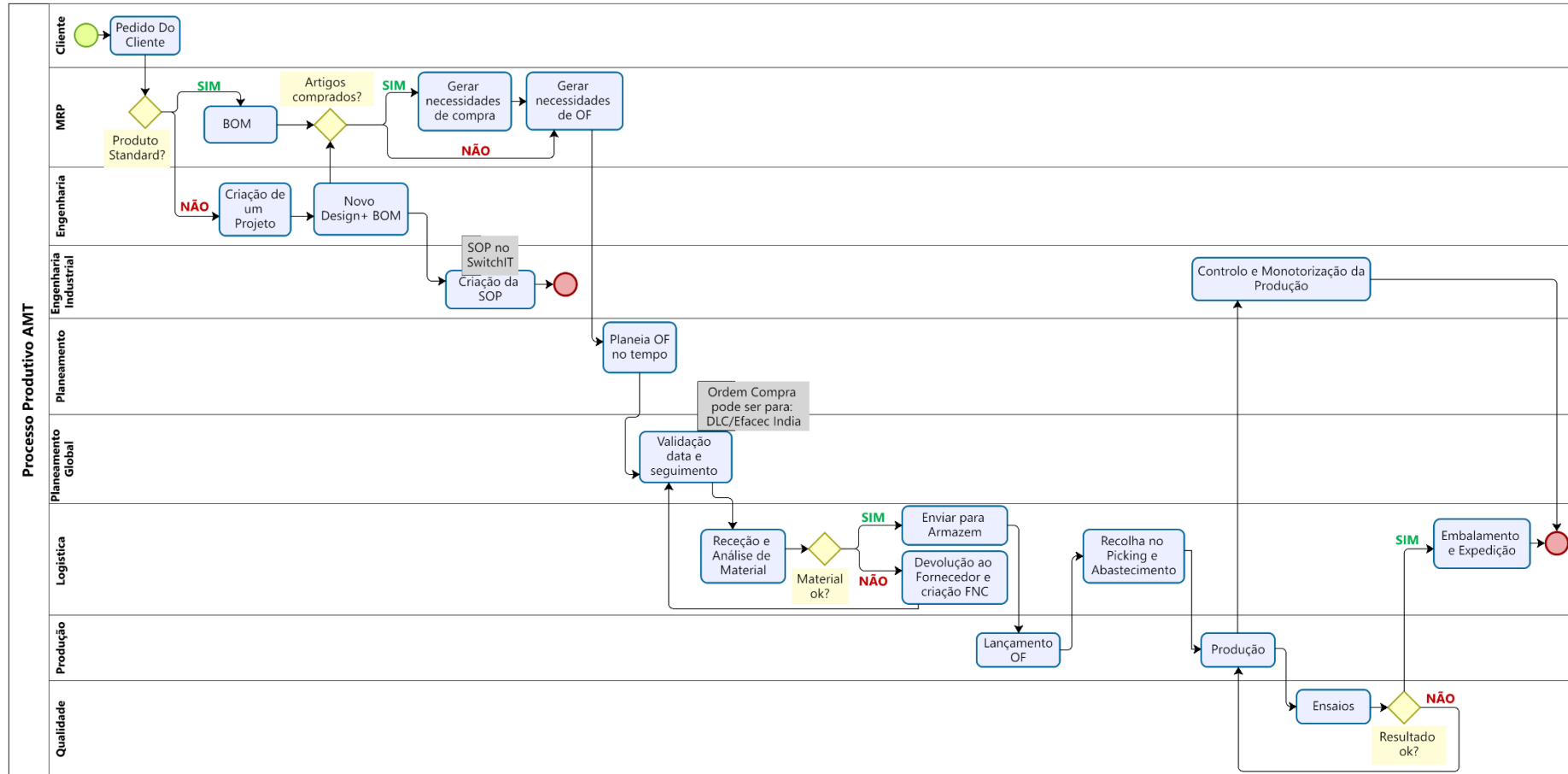


Figura 20 - Processo Geral Esperado

Análise e Indicadores de Performance da Produção

O *SwitchIT* foi criado essencialmente para melhorar a taxa de não conformidades que existia, mas também para melhorar o controlo e monitorização da produção digitalmente. Desta forma, com a implementação do *SwitchIT* na sua totalidade, haverá um registo em tempo real de Não Conformidades (NC) ou outras falhas, como falta de materiais, que decorram no curso da produção. Para além deste indicador, também será avaliada a taxa produtiva por operador e por tarefa, de forma a perceber que operador executa melhor cada tarefa e rentabilizar os recursos, será identificada, através do controlo dos tempos, a tarefa *Bottleneck* (tarefa com maior tempo), e serão comparados os tempos previstos com os registados, de forma ajustar os tempos previstos o mais possível à realidade, para se conseguir o OTD desejado.

- Taxa de paragem por motivo (NC, falta de materiais, outro);
- Taxa Produtiva por operador;
- Tempos Previstos VS Tempos Registados (adaptação dos tempos previstos).

5.3. Plano de Implementação

Com as condições que o AMT tem à sua disposição, foram elaborados 3 cenários para a utilização do *SwitchIT*, sendo que o cenário 3 é o cenário ideal que se quer atingir para toda a produção de todas as gamas dos produtos AMT.

- Cenário 1: Registo de Tempos associados às tarefas manual;
- Cenário 2: Registo de Tempos associados às tarefas manuais e visualização das tarefas de não montagem, como, por exemplo, verificações;
- Cenário 3: Controlo e Monitorização de todas as tarefas, montagem e não montagem, e aquisição de tempos, de forma automática.

Cenário 1

Atualmente, o número de produções ativas na Efacec é reduzido, no entanto, nas poucas produções que têm decorrido começou-se por testar o cenário 1. Este cenário passa apenas por uma ligeira mudança em relação à situação atual: os operadores em vez de registarem os tempos em folhas (ver anexo C), registam o tempo diretamente no *SwitchIT*,

também é adicionada a possibilidade de registar o tempo da FNC, caso exista, conforme se vê na Figura 21. Neste caso, embora seja possível seguir nos painéis de controlo o que está ou não executado, este seguimento é desfasado no tempo uma vez que os tempos não são registados automaticamente.



Figura 21 - Exemplo Registo Tempos ToT

Cenário 2

Em paralelo, foi testado o cenário 2, na linha do Fluofix, ou seja, o cenário 1 com o acréscimo das verificações e outras operações de não montagem, que permite ter o sistema de controlo e monitorização parcialmente ativo. Para isto, as operações de montagem foram passadas para o modo documentação, para que nas SOP do *SwitchIT* apareça apenas as verificações e, caso o operador queira, possa consultar a restante SOP. De realçar que esta mudança pode voltar a ser feita, dada a flexibilidade da plataforma.

Cenário 3

Contrariamente aos restantes cenários, a definição dos tempos irá ser feita de forma automática, pela recolha dos tempos associado aos painéis de monitorização das tarefas (exemplo na Figura 21) e posteriormente comparação com os tempos das tarefas definidas no *Baan*, de forma a aumentar a fiabilidade do sistema de medição de tempos (ver Figura 22). Este método deixa de depender diretamente do operador, uma vez que este não iria ter de cronometrar o seu próprio tempo e anotá-lo, apenas seguir as instruções de montagem, enquanto os tempos são gerados automaticamente.

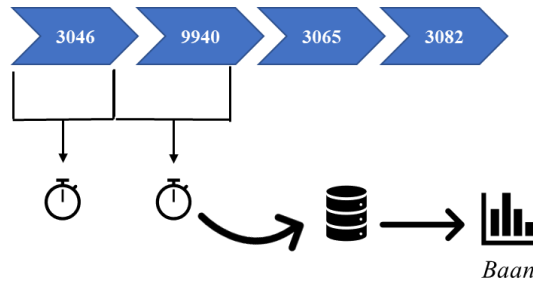


Figura 22 - Esquema Proposta Medição de Tempos

Embora o cenário 3 seja o cenário ideal, precisa de ser não só desenvolvido do lado da plataforma, como, também do lado da produção, uma vez que, como descrito anteriormente, cada produção funciona de forma distinta e necessitará de testes específicos e equipamentos tecnológicos como *tablets* e/ou telemóveis, que para já são reduzidos.

5.4. Limitações e Propostas Futuras

Ao longo deste estudo, existiram alguns entraves que dificultaram e limitaram a adoção de outras técnicas que poderiam ser consideradas, sendo que os principais entraves foram:

- Limitações financeiras devido à transição de ações na empresa;
- Baixa produtividade da fábrica no período do estágio, que impossibilitou a realização de testes no chão de fábrica e consequente implementação do *software* na sua plenitude, em ambiente real;
- Dificuldade de adaptação por parte dos colaboradores da produção na utilização do *software*.

Desta forma, surgem algumas recomendações para o futuro.

Recomendação 1

O método aconselhado para a criação de SOPs, apesar de uniformizado e funcional, continua generalista e pode levar a erros na produção, especialmente quando houver mão de obra com pouco *know-how*. Num futuro próximo, deverá ser estudada a possibilidade de todas as imagens serem 100% fiéis aos artigos a montar e ter identificação do código de

artigo, desde porcas a peças de maior dimensão, através de soluções mais sofisticadas como realidade aumentada ou soluções como MBD, ou seja, desenhos 3D com anotações do 2D (ver anexo A).

Recomendação 2

Estudar a possibilidade de as instruções serem feitas juntamente com o projeto de desenvolvimento, ou seja, pela Engenharia, uma vez que existem consequentemente revisões aos artigos e criação de novas variantes e opções, e essa informação pode ficar errada nas SOP existentes se não houver comunicação da Engenharia à Engenharia Industrial destas alterações. Neste caso, as responsabilidades dos departamentos iriam alterar, a Engenharia ficaria responsável pela construção das imagens de suporte às instruções e a Engenharia Industrial apenas por verificar e organizar essas imagens (ver apêndice A).

Recomendação 3

Numa fase posterior, com o cenário 3 a ocupar a maior parte das produções e a situação da Efacec estabilizada, é recomendado avaliar a melhoria de uma forma quantitativa, de acordo com os seguintes KPIs:

$$\text{OTD} \quad OTD (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ Entregas em Tempo Previsto}}{N^{\circ} \text{ Entregas Totais}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Taxa de NC} \quad NC (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ NC registadas}}{N^{\circ} \text{ OF}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

6. CONCLUSÃO

Este projeto nasceu devido à elevada taxa de NC que decorria na produção e que tinha um impacto direto nos clientes da Efacec, não só pelo decréscimo de qualidade que a empresa exigia, mas também pelos atrasos constantes que decorriam das NC. Neste sentido, foram definidos dois grandes objetivos, a análise do processo produtivo da situação atual da empresa, onde se concluiu que a principal causa para a elevada taxa de NC advinha da baixa ou inexistente definição de SOP, e, paralelamente, um segundo objetivo de uniformizar os processos de montagem, que será feita através da digitalização. Ao longo do projeto, foram ainda definidos dois objetivos secundários, de forma a mitigar o principal problema e auxiliar na concretização dos objetivos primários, como a elaboração de SOP e a definição de um método de criação e manutenção de SOP.

O primeiro objetivo foi cumprido e proporcionou que se percebesse quais as causas para o problema identificado, ou seja, auxiliou na descoberta das propostas de melhoria capazes de reduzir o número de NC. Através desta análise, os principais processos produtivos ficaram definidos e uniformizados em diagramas de processo, garantindo que o segundo objetivo fosse parcialmente cumprido. A principal proposta de melhoria encontrada consistiu no desenvolvimento de uma plataforma web interna, o *SwitchIT*, que proporcionou a uniformização e digitalização dos processos de montagem. No seio da plataforma foram introduzidas SOP para as diferentes gamas de produtos e, no decorrer desta tarefa, foi criado um mecanismo para otimizar a criação das SOP de forma que a mesma fosse sustentável a longo prazo. A digitalização contou, não só pela passagem de SOP em papel para digital, mas também, com a mudança do processo de montagem, uma vez que os colaboradores vão passar a aceder às SOP e reportam digitalmente em que etapa se encontram, quais as concluídas e por concluir, possibilitando e facilitando a gestão remota do chão de fábrica. Não só este projeto contribui para a melhoria da gestão interna, uniformização de processos e, espera-se, para a redução das não conformidades da unidade AMT da Efacec mas também, para a literatura, pois promove uma solução alternativa às comuns da Indústria 4.0, que acarreta uma disponibilidade de recursos mais reduzida, no contexto de uma indústria altamente customizada.

Na concretização deste projeto surgiram algumas dificuldades, especialmente ligadas à situação financeiramente instável que a empresa vivia que impossibilitou testes em ambiente real de produção e, por conseguinte, impossibilitou que se medisse de forma fiável a taxa de não conformidades e o *Order-To-Deliver*, e, também, que considerasse desenvolver outro tipo soluções. Assim, sugere-se, primeiramente, a implementação do cenário 3 em toda a gama de produtos. Numa segunda fase, a medição dos dois KPIs identificados, a Taxa de NC e o OTD. Por fim, aconselha-se o estudo da possibilidade dos desenhos das SOP serem elaborados juntamente com o desenvolvimento do produto, e ainda, a análise de expandir a solução encontrada para soluções de Realidade Aumentada ou MBD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsufyani, N., & Gill, A. Q. (2022). Digitalisation performance assessment: A systematic review. *Technology in Society*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101894>
- Bloomberg, J. (2018). *Digitization, Digitalization, And Digital Transformation: Confuse Them At Your Peril I write and consult on digital transformation in the enterprise*. <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2018/04/29/digitization-digitalization-and-digital-transformation-confuse-them-at-your-peril/#78e677fd2f2c>
- Clark, J., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 149–210
- Dornelles, J. de A., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2022). Smart Working in Industry 4.0: How digital technologies enhance manufacturing workers' activities. *Computers and Industrial Engineering*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107804>
- Efacec. (2022). *Quem Somos*. <https://www.efacec.pt/quem-somos/>
- Efacec. (2022a). *Aparelhagem*. <http://www.efacec.pt/aparelhagem-de-media-e-alta-tensao/>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Kagermann, H., Wahsler, W., & Helbing, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group (Issue April). Acatech, Forschungsunion.
- Khan, A., & Turowski, K. (2016). A perspective on industry 4.0: From challenges to opportunities in production systems. *IoTBD 2016 - Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Big Data*, 441–448. <https://doi.org/10.5220/0005929704410448>
- Letmathe, P., & Rößler, M. (2022). Should firms use digital work instructions?—Individual learning in an agile manufacturing setting. *Journal of Operations Management*, 68(1), 94–109. <https://doi.org/10.1002/joom.1159>

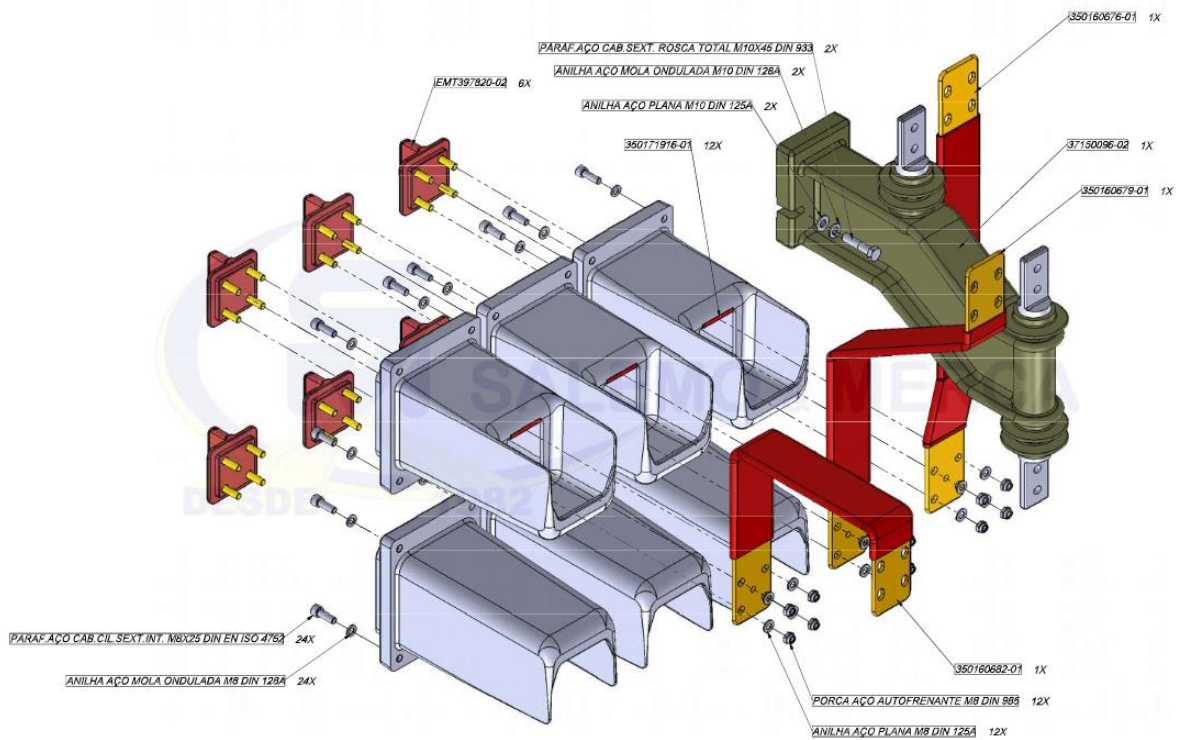
- Li, D., Fast-Berglund, Å., Paulin, D., & Thorvald, P. (2022). Exploration of digitalized presentation of information for Operator 4.0: Five industrial cases. *Computers and Industrial Engineering*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108048>
- Li, D., Landström, A., Fast-Berglund, Å., & Almström, P. (2019). Human-centred dissemination of data, information and knowledge in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 84, 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.261>
- Lubis, M., Ananza, H. H. R., & Suryoputro, F. D. (2020). Analysis and Design of Policy and Standard Operating Procedure (SOP) for Information Technology in the Communication and Information Services Department. *6th International Conference on Interactive Digital Media, ICIDM 2020*. <https://doi.org/10.1109/ICIDM51048.2020.9339659>
- Goher, K., Shehab, E., & Al-Ashaab, A. (2021). Model-Based Definition and Enterprise: State-of-the-art and future trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 235(14), 2288–2299. <https://doi.org/10.1177/0954405420971087>
- Gors, D., Put, J., Vanherle, B., Witters, M., & Luyten, K. (2020). Semi-automatic extraction of digital work instructions from CAD models. *Procedia CIRP*, 97, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.202>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press
- Microsoft. (2022). *What is ERP?*. <https://dynamics.microsoft.com/en-us/erp/what-is-erp/>
- Nazarenko, A. A., Sarraipa, J., Camarinha-Matos, L. M., Grunewald, C., Dorchain, M., & Jardim-Goncalves, R. (2021). Analysis of relevant standards for industrial systems to support zero defects manufacturing process. In *Journal of Industrial Information Integration* (Vol. 23). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100214>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. In *Computers in Industry* (Vol. 83, pp. 121–139). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Ondra, P., Tuček, D., & Rajnoha, R. (2018). The empirical quality management practices study of industrial companies in the Czech Republic. *Polish Journal of Management Studies*, 17(2), 180–196. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.2.16>
- Pimminger, S., Neumayr, T., Panholzer, L., Augstein, M., & Kurschl, W. (2020). Reflections on Work Instructions of Assembly Tasks. *Proceedings of the 2020*

- IEEE International Conference on Human-Machine Systems, ICHMS 2020*.
<https://doi.org/10.1109/ICHMS49158.2020.9209331>
- Popek, S., & Popek, A. (2019). Applying Selected Quality Management Tools to Creation the Ecological Quality of Manufacturing Processes and Products. *MATEC Web of Conferences*, 297, 07001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929707001>
- Rácz-Szabó, A., Ruppert, T., Bántay, L., Löcklin, A., Jakab, L., & Abonyi, J. (2020). Real-time locating system in production management. *Sensors (Switzerland)*, 20(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s20236766>
- Rinos, K., Kostis, N., Varitis, E., & Vekis, V. (2021). Implementation of model-based definition and product data management for the optimization of industrial collaboration and productivity. *Procedia CIRP*, 100, 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.082>
- Stekolschik, A. (2017). Methods for automated semantic definition of manufacturing structures (mBOM) in mechanical engineering companies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 241(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/241/1/012032>
- Yao, X., & Lin, Y. (2016). Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5–8), 1665–1676. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8076-0>
- Zogopoulos, V., Geurts, E., Gors, D., & Kauffmann, S. (2022). Authoring Tool for Automatic Generation of Augmented Reality Instruction Sequence for Manual Operations. *Procedia CIRP*, 106, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.159>


ANEXO A – Exemplo de uma possível imagem de instrução com MBD

Montagem SAK, Cella L=600 350160219-01 Qatar


2ª – Montagem de cloches, isoladores e respectivos barramentos.



ANEXO B – Exemplo de uma ficha de não conformidades

| FNC | |
|---|--|
| Identificação da Ficha | |
| N.º de Ficha: 43020080162 | Estado: Emitida |
| Emissor: Paulo Reis | Data Emissão: 2008-02-08 |
| Aparelho N.º: | Designação: Normafix 7,2 cela DC |
| Artigo: | Desenho: 32203290 |
| Cliente: Arcelor | Encomenda: V07701301 |
| Fornecedor: | Projecto: E70302162 CMV0702018A1 |
| Quantidade: 1 | Não Conforme: 1 |
| G. Remessa: | Reclamações: |
| FAC: | Prazo de Fecho: 2008-02-11 |
| Códigos do defeito | |
| Produto: Divac | Características: 25 kA |
| Componente: Comando Mecânico | Defeito: Ordem Manual de Abertura |
| Est. Inspeção: Após Venda - Entrada em Serviço | |
| Descrição da Não Conformidade | |
| <p>Nos ensaios preliminares que o cliente está a efectuar à cela DC e ao disjuntor nº 36509743 com o esquema de princípio nº 32203290, o disjuntor foi colocado em manobras consecutivas através de automatismo e verificou que por vezes o disjuntor não segurava a ligação. Como a ordem de ligar estava sempre em premanência, este ficava a tentar ligar e desligar consecutivamente. Na nossa deslocação ao local (Fabrica da Arcelor em França) verificamos que o problema surgia devido a atrito entre a alavanca de accionamento e o eixo da bobine AFT (não tinha folga alguma). Por vezes quando o disjuntor desligava pela bobine de abertura como a alavanca tocava no veio da bobine AFT, o eixo de retenção da ordem de fecho não ficava na sua posição de repouso. Quando a ordem de fecho era dada, o disjuntor falhava a ligação, rearmava molas e tentava ligar novamente.... Para corrigir este problema só foi necessário aumentar a folga entre o veio e a alavanca da Bobine AFT e no acoplamento entre e este e o veio de retenção também. Após esta correcção o disjuntor foi novamente colocado a funcionar com o automatismo tendo iniciado este ensaio com 186 manobras e terminado com 248 sem qualquer falha (o intervalo entre as ordens foi de 7s entre o fecho e abertura). No final destes ensaios foi colocado o capot e novamente foi feito mais uma série de 5 manobras com o automatismo, tendo tudo funcionado bem. O disjuntor ficou com 252 manobras.</p> | |
| Análise / Acção a tomar | |
| Origem: | Severidade: |
| Departamento:  PosVenda | Nome: |
| Análise: | Prazo Execução: |
| Reparação: | Data Análise: |
| ACPs: | |
| Execução | |
| Departamento: | Nome: |
| Descrição: | Data Execução: |
| Controlo Final | |
| http://intraamt.efacec.pt/intra/AMT.php?PAG=FNC&FNC=43020080162&Modo=80... 08-02-2008 | |

ANEXO C – Exemplo de uma folha de registo de tempos

| Inspeção Divac | | E18101052 QBN7-Extension Poste Zagtouli2 |  |
|---|------------|---|---|
| Descrição | Registos | | |
| Sequência Horas | | | |
| Ensaio aspeto geral DIVAC 3075GE 00h19 | Concluído: | <input type="checkbox"/> | |
| Ensaio func. mecânico DIVAC 3075ME 00h39 | Concluído: | <input type="checkbox"/> | |
| Ensaio func. eléctrico DIVAC 3075EL 01h02 | Concluído: | <input type="checkbox"/> | |
| Ensaio Dieléctricos DIVAC 3075DI 00h15 | Concluído: | <input type="checkbox"/> | |

APÊNDICE A – PROCESSO PRODUTIVO ADAPTADO DA UNIDADE AMT COM O USO DE MBD

