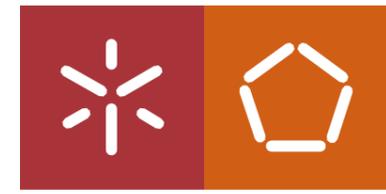




**Sistematização de informação técnica de um sistema MES de apoio à montagem robôizada de componentes mecânicos**

Mafalda Barreto Alves de Araújo

UMINHO | 2022



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Mafalda Barreto Alves de Araújo

Sistematização de informação técnica de um sistema MES de apoio à montagem robôizada de componentes mecânicos





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Mafalda Barreto Alves de Araújo

**Sistematização de informação  
técnica de um sistema MES de apoio à  
montagem robôizada de componentes  
mecânicos**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor João Pedro Mendonça Assunção Silva**

**Engenheiro Maurício de Sousa**

outubro de 2022

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial  
CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Com certeza que a realização desta dissertação me seria impossível sem a contribuição de todos os intervenientes e assim fica o meu fundamental agradecimento a todos eles.

Em primeiro lugar, ao meu orientador académico, Professor Doutor João Pedro Mendonça, por me fornecer todo o apoio necessário para a realização desta dissertação, mostrando-se sempre disponível para as minhas dúvidas e necessidades assim como a condicionar o seu *input* à minha dissertação e tornar este projeto muito mais enriquecedor do que tinha imaginado. Agradeço a orientação prestada, mas sobretudo o entusiasmo e interesse contagiante pelas matérias estudadas. A sua atitude exemplar, domínio de conhecimentos e profissionalismo unidos à sua boa disposição são para mim um modelo a seguir;

Ao Professor Doutor João Sousa, que embora a terminar um doutoramento nunca me negou ajuda necessária para a realização deste projeto tornando-se crucial nas etapas chave do mesmo;

Ao meu orientador na empresa, o Engenheiro Maurício Sousa, agradeço a experiência proporcionada, o conhecimento transmitido e a paciência e disponibilidade para todas as minhas questões ajudando-me a dar um passo que considero de bastante relevância naquilo que é a primeira caminhada de uma futura engenheira pelo chão de fábrica;

Na Bysteel, mais especialmente ao Departamento de Produção Industrial onde me encontrei mais presente, um especial agradecimento ao Engenheiro Ricardo Portela pela oportunidade de realizar a dissertação em ambiente empresarial e a todos os meus colegas: Francisco, Joaquim, Marcos, Miguel, Manuel, Liliana, Thomas e Afonso pela boa disposição que proporcionam ao departamento, facilitando a minha passagem por este assim como pela atenção e tempo que dispensaram comigo;

Aos operários e encarregados da Bysteel, especialmente do centro de armação, que mostraram paciência com a estagiária e me direcionaram da melhor forma possível facilitando a minha passagem por cá;

Aos meus pais, Paulo Araújo e Rute Alves, pelo amor, apoio e conselhos indispensáveis para a realização desta dissertação e por me darem sempre a força necessária para nunca desistir, nem disto nem de nada. Quero também agradecer-vos pela incansável luta para me oferecerem a possibilidade de obter um curso superior e assim valorizar o meu futuro;

Aos meus amigos queridos, que levo da Universidade do Minho, que me proporcionaram algumas das melhores experiências da minha vida e me mostraram o valor da amizade incondicional,

com especial agradecimento à Ana Margarida Barroso e Marta Rodrigues por serem o meu maior apoio desde o primeiro dia e por me ampararem sempre em todas as dificuldades que fui encontrando;

A todos os professores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho cujo caminho se cruzou com o meu e me proporcionaram os alicerces mais importantes para o meu futuro profissional;

Por fim, ao meu melhor amigo e namorado João Mendes pelo apoio e paciência incansáveis não só ao longo da minha dissertação como também ao longo do meu trajeto de 5 anos pela Universidade do Minho, sem o teu amparo nas horas apertadas não seria capaz.

A todos que fizeram e fazem parte da minha vida e do meu percurso deixo as minhas palavras de apreço, esta dissertação é vossa.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 30 de outubro de 2022

## RESUMO

Atualmente, a Indústria tal como a conhecemos enfrenta uma cada vez mais crescente série de desafios que a responsabiliza a dar resposta aos sempre progressivos e complexos requisitos do mercado e dos seus consumidores. Assim, de modo a que estas permaneçam competitivas, têm de aplicar esforços redobrados no que toca à contínua e constante revisão das suas práticas. Para tal, a promoção de práticas de gestão informacional, como a adoção de sistemas PLM (*Product Lifecycle Management*), para uma gestão integrada da informação do produto e dos seus procedimentos apresentam-se como soluções diferenciadoras e inovadoras que visam, por sua vez, aumentar a eficiência da cadeia produtiva.

No que confere ao exigente controlo de qualidade subordinado pelos erros advindos da inspeção humana como é o exemplo da subjetividade, cansaço e repetibilidade, surge atratividade em sistemas que permitem inspeções automatizadas, dada a capacidade de não só fortalecer a presença na Indústria 4.0 como também libertar o Homem de tarefas rotineiras e realocar a mão de obra. No entanto, um dos grandes desafios enfrentados por esta nova revolução industrial é a falta de interoperabilidade entre os equipamentos e as bases de dados das empresas uma vez que cada equipamento tem a si inerente uma linguagem própria que impossibilita a comunicação. Assim, no que concerne ao *cluster* da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), o principal objetivo passa por perceber como integrar a informação retirada dos modelos BIM (*Building Information Modelling*) e redirecioná-las aos sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) do ambiente colaborativo de chão de fábrica.

Nesta dissertação é abordada a gestão informacional numa empresa do setor da construção assim como o respetivo fluxo de dados ao longo do ciclo produtivo no caso específico de um elemento genérico. Por fim, considerando o problema da heterogeneidade de dados no setor e fundamentado pela adoção de técnicas de interoperabilidade no que diz respeito à semântica e sintática dos dados, é idealizada uma arquitetura de associação entre os modelos BIM e os instrumentos de controlo de qualidade através do uso da linguagem IFC (*Industry Foundation Classes*) validado através do paralelismo com um modelo previamente validado num projeto europeu o ZDMP (*Zero Defects Manufacturing Platform*).

## PALAVRAS-CHAVE

Gestão de informação do produto, inspeção automatizada, sistematização de informação, interoperabilidade, IFC

## **ABSTRACT**

Currently, the Industry as we know faces an ever-increasing series of challenges that making it responsible for responding to the ever-progressive and complex requirements of the market and its consumers. Thus, in order for industries to remain competitive, they must apply redoubled efforts in terms of the continuous and constant review of their practices, reducing costs and increasing efficiency. To this end, the promotion of information management practices, such as the adoption of PLM (Product Lifecycle Management), for an integrated management of product information and its procedures, are presented as differentiating and innovative solutions that aim to increase the efficiency of the productive chain.

In terms of demanding quality control subordinated to errors arising from human inspection, such as subjectivity, fatigue and repeatability, there is an appeal in systems that allow automated inspections, given the ability to not only strengthen the presence in Industry 4.0 as well as freeing Man from routine tasks and relocating the necessary manpower to other ones. However, one of the great challenges faced by this new industrial revolution is the lack of interoperability between the equipment and the companies' databases, since each equipment has its own language that makes communication impossible. Thus, with regard to the Architecture, Engineering and Construction (AEC) cluster, the main objective is to understand how to integrate the information taken from the BIM (Building Information Modelling) models and redirect them to a MES (Manufacturing Execution System), a collaborative environment on the shop floor.

In this dissertation, information management in a company in the construction sector is addressed, as well as the respective flow of data throughout the production cycle in the specific case of a generic element. Finally, considering the problem of data heterogeneity in the sector and based on the adoption of interoperability techniques with regard to the semantics and syntactics of the data, an architecture of association between BIM models and quality control instruments is idealized through the use of the IFC (Industry Foundation Classes) language validated through parallelism with a previously validated model, the ZDMP (*Zero Defects Manufacturing Platform*)

## **KEYWORDS**

Product information management, automated inspection, information systematization, interoperability, IFC

## ÍNDICE

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	vi
Abstract .....	vii
Índice .....	viii
Índice de Figuras .....	x
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento da dissertação e motivação.....	1
1.2 Objetivos da dissertação .....	2
1.3 A Empresa.....	3
1.4 Estrutura da dissertação .....	3
2. Paradigma industrial 4.0.....	5
2.1 Indústria 4.0.....	5
2.1.1 Componentes da Indústria 4.0.....	6
2.1.2 <i>Internet of Things (IoT)</i> .....	7
2.1.3 <i>Cyber-Physical Systems (CPS)</i> .....	7
2.2 Modelos de Referência para a Internet das Coisas.....	8
2.2.1 <i>Reference Architecture Model of Industry 4.0 (RAMI 4.0)</i> .....	9
2.2.2 <i>Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)</i> .....	11
2.3 <i>OPC Unified Architecture (OPC UA)</i> .....	13
2.4 <i>Enterprise Resource Planning (ERP)</i> .....	15
2.5 <i>Manufacturing Execution System (MES)</i> .....	16
2.6 <i>Building Information Model (BIM)</i> .....	18
2.7 Caracterização de interoperabilidade.....	19
2.7.1 <i>Industry Foundation Classes – IFC</i> .....	20
2.7.2 Compatibilidade de formatos .....	20
2.8 Controlo de qualidade na Indústria.....	21

2.9	Sistema de Visão Artificial .....	22
3.	A informação técnica no sector do fabrico da empresa .....	24
3.1	Caracterização do Processo de Fabrico e Fluxo de informação.....	24
3.2	Caracterização da sequência de fabrico atual .....	27
3.3	Integração do sistema MES em chão de fábrica .....	30
4.	A informação técnica requerida pela inspeção visual .....	33
4.1	Referências e Rastreabilidade .....	33
4.2	Armazenamento e Partilha de Dados.....	35
4.2.1	Armazém de Receção.....	36
4.2.2	Departamento de Projeto.....	36
4.2.3	Departamento de Preparação .....	37
4.2.4	Departamento de Produção Industrial .....	39
4.3	Seleção de um Elemento Genérico .....	42
4.3.1	Seleção de Obra-tipo .....	42
4.3.2	Peça Simples .....	43
4.3.3	Sistematização da informação técnica .....	45
5.	Metodologia para implementação de uma estrutura de dados .....	50
5.1	Requisitos Funcionais .....	50
5.2	Conceitos Fundamentais.....	51
5.3	Esquematização da estrutura proposta.....	51
5.4	Validação da estrutura de recurso à arquitetura ZDMP.....	53
6.	Conclusões.....	55
	Referências Bibliográficas.....	57
	Anexos.....	60
	Anexo 1 – Desenho Técnico da Peça Simples C.10202 .....	61
	Anexo 2 – Limitações do robô Zeman – Laser Scanning and Sorting.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Physical-to-Digital-to-Physical.....	5
Figura 2 - 9 Pilares da Indústria 4.0 .....	6
Figura 3 - RAMI4.0.....	9
Figura 4 – IIRA.....	12
Figura 5 - AddressSpace de um servidor OPC UA .....	14
Figura 6 - Campos de integração do ERP[14] .....	16
Figura 7 - Diagrama de blocos padrão de um SVA .....	22
Figura 8 - Layout da Bysteel SA .....	27
Figura 9 - Fluxograma do cenário industrial .....	29
Figura 10 - Áreas envolvidas ao MES .....	30
Figura 11 - À esquerda etiqueta tipo gerada para semi-acabado (Peça simples), à direita etiqueta tipo gerada para acabado (Conjunto) .....	32
Figura 12 - Prefixos de codificação .....	34
Figura 13 - Ficheiro NC em formato .txt.....	39
Figura 14 - Tabela de Tolerâncias para comprimento e largura .....	40
Figura 15 - Mapeamento de Atributos.....	41
Figura 16 - Centro de Operação e Manutenção do Grand Paris Express em Aulnay .....	43
Figura 17 - Modelo Tridimensional do Elemento Genérico .....	44
Figura 18 - Variáveis em Excel do Armazém de Receção .....	45
Figura 19 - Variáveis Excel do Departamento de Projeto.....	46
Figura 20 - Variáveis Excel Departamento de Preparação .....	46
Figura 21 - Variáveis Excel Departamento de Produção Industrial.....	48
Figura 22 - Fluxograma reduzido de sistematização de variáveis técnicas .....	49
Figura 23 - Estrutura proposta pelo autor.....	52
Figura 24 - Paralelismo entre arquiteturas .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
IoT	<i>Internet of Things</i>
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
ZDMP	<i>Zero Defect Manufacturing Platform</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
PDP	<i>Physical-to-Digital-to-Physical</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
RAMI4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
IIRA	<i>Industrial Internet Reference Architecture</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communication Unified Architecture</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MESA	<i>Manufacturing Enterprise Solutions Association</i>
SVA	Sistema de Visão Artificial
RQA	Listas de Requisição ao Armazém
EPS	Especificação do Procedimentos de Soldadura
PIE	Plano de Inspeção e Ensaio
CTC	Centro de Transformação de Chapa
CTP	Centro de Transformação de Perfis
CA	Centro de Armação

CS	Centro de Soldadura
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
DCE	<i>Dossier Consultation Enterprise</i>
PMM	Plano de Monitorização e Medição
BoC	<i>Bill of Characteristics</i>

## **1. INTRODUÇÃO**

Com a realização desta dissertação pretende-se elaborar o levantamento de atributos e propriedades afetos a um componente mecânico existente numa unidade fabril, assumido como elemento genérico representativo e sobre o qual se elencou e procedeu a uma análise exaustiva da informação técnica envolvida no seu “percurso” de manufactura. Do mesmo modo, de forma a viabilizar a implementação de um robô de controlo dimensional, foi criada e desenhada a proposta de uma *estrutura* de gestão informacional baseada na linguagem IFC que sustente a troca e comunicação de dados técnicos de manufactura, considerando o atual problema da heterogeneidade dos dados computacionais em ambiente fabril.

### **1.1 Enquadramento da dissertação e motivação**

O seguinte projeto foi realizado no âmbito da dissertação de mestrado do curso de Engenharia Mecânica na Universidade do Minho, efetuado na empresa Bysteel S.A., mais especificamente no Departamento de Produção Industrial, através de um estágio curricular cuja duração foi de 6 meses.

A empresa tem atuação no sector da construção civil, sobretudo especializando-se na construção metálica. No cluster AEC, de forma análoga a outros setores, a competitividade do mercado tem marcado cada vez mais a diferença exigindo produtos e serviços que compilem um bom rácio entre a qualidade destes e o seu valor de aquisição.

Considerando o setor da construção civil observa-se a ineficiência do mesmo, quando comparado a outros, uma vez que uma fração relevante do desperdício decorrente é originado pela inadequada gestão informacional já que carece de padronização de formatos de representação para os seus produtos que visem permitir comunicação entre os intervenientes do processo produtivo. Tendo tal premissa em consideração, torna-se de relevante importância no setor a procura por metodologias e equipamentos capazes de garantir as metas que a Indústria 4.0 pretende atingir permanecendo num caminho cujo *core* se centra em potenciar soluções chave na mão, especialmente em obra, com zero defeitos. [1]

Para tal, a expressão da visão global do processo produtivo torna-se elemento chave uma vez que permite intervenção, em tempo real, na produção tornando assim a promoção de práticas de gestão informacional de meritório interesse. Ora, uma vez mais conducente ao paradigma da Indústria 4.0,

torna-se cada vez mais relevante garantir a interoperabilidade entre todos os elementos presentes numa fábrica promovendo a existência de comunicação standard entre estes e garantindo homogeneidade do fluxo produtivo.

Não obstante, e novamente com a necessidade de migrar o sistema produtivo rumo ao paradigma da Indústria 4.0, a introdução da interação homem-robô torna-se cada vez mais pertinente e altamente necessária uma vez que aumenta a eficiência sistemática e desloca a mão de obra humana para centros de trabalho que apresentem maior índice de complexidade.

Assim sendo, percebendo que o maior desafio atualmente enfrentado pela Indústria passa pela migração dos sistemas de manufatura na direção da *Internet of Things* (IoT) e *Cyber.Physical Systems* (CPS) tendo em conta as normas a estes adjacentes. Portanto, note-se que todos os elementos presentes no interior de uma fábrica, assim como as interações a que se predispõe, devem ser igualmente representados de forma virtual, através da materialização do seu *digital twin*.

Esta materialização permite a interação direta entre máquinas, sensores, objetos, processos e os seus respetivos sistemas de controlo e execução de fabrico, recorrentemente nomeados como MES ou ERP – *Enterprise Resource Planning*. De forma a promover esta interação direta deve igualmente perceber-se que todos os sistemas devem apresentar a mesma semântica o que proporcionalmente resulta na coexistência de várias interfaces de comunicação. Para tal, e considerando a grande diversidade de linguagens e tipologia de ficheiros, torna-se importante traduzir os dados resultantes numa linguagem neutra e comum a todos os elementos integrantes. Atualmente, visando este problema, existem no mercado diversas soluções passando as mesmas por soluções genéricas ou personalizadas ao ambiente em questão. Considerando as diferentes soluções, é de fácil perceção que o ambiente encontrado requer grande conhecimento e esforço de forma a corretamente integrar um modelo de dados em empresa pelo que a concretização de uma arquitetura de dados comum se torna de extrema relevância.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

A realização desta dissertação pretende melhor estudar um sistema de gestão informacional assim como o seu impacto ao longo de uma cadeia produtiva. Igualmente, pretende fomentar a interoperabilidade de dados definidos *à priori* em departamento, de forma a alimentar a informação inerente ao chão de fábrica através da criação de um modelo de informação neutro capaz de suprir os dados relevantes ao controlo dimensional a desempenhar por um robô a implementar. Considerando a

premissa anterior, surgem em consistência com a concretização da presente dissertação questões relevantes como sistematizar a informação técnica necessária intrínseca ao projeto em questão e melhor prever o modelo de dados e a sua referente arquitetura de forma a melhor contemplar a dinâmica informacional existente na Bysteel SA e permitindo uma transição sem descontinuidades entre as tecnologias existentes e o robô.

Posto isto, são objetivos específicos desta dissertação identificar e sistematizar a informação técnica considerada mais relevante. Entendendo a incapacidade de identificar e perseguir todos os atributos ao longo do fluxo produtivo, mas formalizando um modelo padrão para os mesmos, a formulação de um modelo de dados comum e transparente tendo em conta as informações obtidas em chão de fábrica e agregação das mesmas a um elemento genérico escolhido pelo autor torna-se um dos objetivos a concretizar.

### **1.3 A Empresa**

A Bysteel é uma empresa especializada na conceção/projeto, produção e montagem de soluções integradas de estruturas metálicas cujo principal objetivo é criar, de uma forma sustentada, valor acrescentado e produzir soluções de elevada qualidade com prazos de entrega curtos a preços competitivos, assegurando sempre a satisfação dos acionistas, colaboradores, clientes e fornecedores.

A sede e unidade industrial da Bysteel localizam-se em Braga, no parque industrial de Pitancinhos, no norte de Portugal, integrada no complexo industrial sede do grupo dst, do qual faz parte. Está implantada numa área de 60 000 m<sup>2</sup>, dos quais 20 000 m<sup>2</sup> são cobertos por superfície industrial, onde a modernidade da edificação e o imenso parque de máquinas, saltam à vista, o que permite produzir as estruturas com que constroem o futuro. [2]

### **1.4 Estrutura da dissertação**

O presente documento encontra-se estruturado em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é feito um pequeno enquadramento na temática assim como são definidos os objetivos a explorar ao longo da realização desta dissertação. De forma análoga, é também descrita a empresa, de cujos dados técnicos e *know-how* se tornaram elementos imperativos na obtenção de resultados. É ainda abordada a forma como a dissertação se encontra estruturada.

No segundo capítulo, inicia-se o enquadramento teórico da temática em causa, expondo a atual bibliografia existente no tema permitindo contextualizar o leitor.

No terceiro capítulo, aborda-se a metodologia utilizada para a sistematização da informação e formalização da mesma considerando a estrutura organizacional da empresa em causa.

No quarto capítulo, procede-se à análise dos pontos referidos no capítulo anterior validando os mesmos através da exposição de um caso prático referente a um elemento genérico escolhido pelo autor.

No quinto capítulo, é formalizada uma arquitetura modelo entre o BIM e um instrumento de medição automatizado através do uso da linguagem IFC, considerando a validação do mesmo através do seu paralelismo com o modelo abordado no projeto ZDMP.

No sexto capítulo e último capítulo é realizada uma discussão dos resultados obtidos expondo as premissas destas resultantes, retirando as principais conclusões deste trabalho assim como expondo os trabalhos futuros a realizar.

## 2. PARADIGMA INDUSTRIAL 4.0

Antes de iniciar a parte prática da dissertação a realizar, torna-se de extrema importância, melhor entender os conceitos a serem implementados. Assim, neste capítulo, elabora-se a conjugação da literatura necessária para o correto desenvolvimento do tema. Nesta serão abordados conceitos como a recente revolução industrial, os *softwares* PLM e a sua importância em ambiente fabril (sistemas MES), os modelos de referência de dados existentes, o conceito de interoperabilidade, a normativa BIM da vertente da precedente etapa da arquitetura e da importância da homogeneização de formatos de dados. Por fim, remete-se o conceito industrial de qualidade e uma breve explicação sobre sistemas de visão industrial que potenciam o controlo de qualidade em ambiente fabril e com os quais se pretende a integração numa futura linha de montagem automatizada.

### 2.1 Indústria 4.0

A quarta revolução industrial ou, como correntemente denominada, Indústria 4.0, pretende revolucionar a forma como a indústria tal como a conhecemos opera. Agora, o novo desafio empresarial passa por perceber como, quando e em que tecnologias investir de forma a satisfazer as necessidades individuais de cada empresa. A visão holística sobre sistemas ciber-físicos e cadeias de valor proporcionou uma nova visão sobre o conceito de manufatura progredindo na direção de digitalização da mesma.

O conceito da Indústria 4.0 baseia-se na proliferação constante da informação entre o mundo físico e o digital de forma cíclica, numa série iterativa de três passos, correntemente reconhecida de *Physical-to-Digital-to-Physical* (PDP), revisto na Figura 1[3]

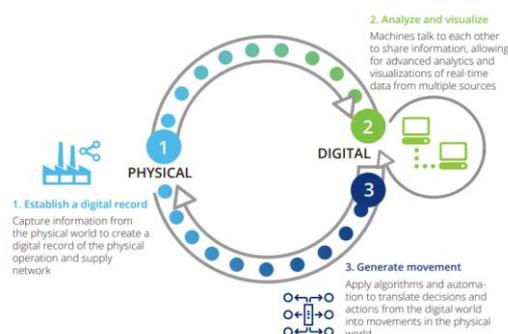


Figura 1 - *Physical-to-Digital-to-Physical*

[3]

Para tal, pode classificar-se o fluxo do movimento como:

- *Physical to Digital*: Recolha de informação do mundo físico e criação de um registo digital destes mesmos dados;
- *Digital to Digital*: Partilha de informação a partir da analítica avançada, análise de cenários e inteligência artificial;
- *Digital to Physical*: Aplica algoritmos que traduzem as decisões do mundo digital em dados efetivos que podem ser processados pelo mundo físico.

### 2.1.1 Componentes da Indústria 4.0

Existem 9 pilares que se apresentam como fundação base daquilo que representa a Indústria 4.0 que embora já existam, juntas visam potenciar e transformar a manufatura da forma como a entendemos, otimizando o fluxo de produção, potenciando a eficiência e alterando a relação tradicional entre fornecedores, produtores e clientes assim como transforma a relação homem-máquina como a conhecemos. [4]



Figura 2 - 9 Pilares da Indústria 4.0

[4]

Posto isto, as principais tecnologias que se tornam pilares importantes da quarta revolução industrial foram apresentadas pela primeira vez numa publicação pioneira de 2015 “*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*” pela *Boston Consulting Group* onde são abordadas as seguintes tecnologias: [4]

- *Big Data* e Análise;

- Robôs Autônomos;
- Simulação;
- Integração de sistemas;
- *Internet of Things* (IoT);
- *Cloud*;
- Cibersegurança;
- Manufatura aditiva;
- Realidade aumentada

### 2.1.2 *Internet of Things (IoT)*

Considerando uma nova mudança na Indústria 4.0 no seu paradigma cada vez mais conceitos e tecnologias se tornam influência direta nestes. Embora, ainda não exista definição consensual na comunidade acerca da temática, *IoT – Internet of Things* ou, a Internet das Coisas, sabe-se que a definição da mesma, partilha entre os diversos autores, a noção que a primeira versão da internet se baseou em dados adquiridos e gerados por pessoas e, numa próxima fase desta, estes dados serão então gerados por coisas. No entanto, de forma a normalizar o conteúdo explícito ao longo da presente dissertação, a definição usada será a proposta pela *Internet Society* que cita *IoT* como “Uma extensão da conectividade da rede e capacidade de computação para objetos, dispositivos, sensores e outros que não computadores”, ou seja, todos os aparelhos e objetos habilitados a estarem permanentemente ligados à rede sendo capazes de se identificar e comunicar entre si. [5]

### 2.1.3 *Cyber-Physical Systems (CPS)*

Embora os sistemas ciber-físicos possam ainda não existir na literatura com uma definição unânime reconhecida pelos autores, ao longo desta dissertação este será abordado como a integração dos processos físico e computacionais onde as redes e computadores integrados controlam e monitorizam os processos físicos gerando retroalimentação que afeta a informação informatizada e vice-versa. [6]

Quando observamos a evolução dos sistemas ciber-físicos conseguimos facilmente distinguir três distintas gerações destes. Assim, surge uma primeira geração caracterizada pela introdução das tecnologias de tag RFID – *Radio Frequency Identification*, que são etiquetas únicas cuja informação fica armazenada num banco de dados e pode ser lida por meio de ondas de radio frequência, numa segunda

geração os sistemas ciber-físicos são equipados com sensores e atuadores, por fim, a terceira geração torna-se compatível com a rede e é capaz de armazenar e analisar dados uma vez que começa a abrigar outros grandes conceitos como os *digital twins* referentes às representações virtuais de um sistema físico como é o exemplo de uma máquina; a computação em nuvem que expressa comunicação entre o *digital twin* e a realidade e, por fim, o *IloT – Industrial Internet of Things* que se retrata como o conceito de *IoT* aplicado à Indústria que descreve os dados, obtido através de instrumentos e sensores conectando-os à rede.

## 2.2 Modelos de Referência para a Internet das Coisas

A crescente evolução da complexidade e competitividade dos mercados subsequente da progressividade contemplada pelos avanços da Internet, sugerem uma cada vez mais recorrente necessidade de digitalização do contexto físico de uma empresa. Para tal, de forma a ir de encontro aos requisitos pré-determinados pelas diretrizes da Indústria 4.0, interligando os mundos físico e virtual e desenvolvendo um conjunto de ferramentas interoperáveis, surge a necessidade de elaboração de um modelo de referência de identidade genérica que ilustre abstração das necessidades e tecnologias específicas num processo digital de manufatura. Não obstante, entenda-se que a aplicação de um modelo de referência está sempre dependente do seu *Use Case* permitindo que exista um seguimento não muito minucioso da metodologia em questão. [7]

Por sua vez, os modelos de referência descrevem-se com base em características genéricas como:

- Conhecimento padrão por parte dos intervenientes;
- Padronização da linguagem;
- Interoperabilidade semântica;
- Protocolos de comunicação necessários para garantir a conectividade, o armazenamento e a transmissão de informação na mesma rede ou entre parceiros;
- Soluções de gestão de dispositivos;
- Armazenamento;
- Escalabilidade, já que deve garantir capacidade de adaptabilidade face ao crescimento;
- Segurança uma vez que deve conferir privacidade e confiabilidade de dados.

Assim, com base nas características referidas, entenda-se a necessidade de um modelo de referência abordar todos estes requisitos de funcionalidade e estruturação de informação uma vez que, aquando da integração deste com os utilizadores humanos, dispositivos e, na sua generalidade, elementos físicos, contempla-se uma visão holística da configuração do sistema permitindo o mapeamento das tecnologias retirando destas um maior aproveitamento.

Atualmente os modelos de referência de implementação da Indústria 4.0 tem vindo a convergir, conquanto, serão relatadas nesta secção os dois de maior impacto e de maior adoção.

### 2.2.1 Reference Architecture Model of Industry 4.0 (RAMI 4.0)

Estruturalmente, o modelo RAMI4.0 consiste num sistema de organização da troca de informação capaz de descrever os aspetos cruciais adjacentes ao conceito de Indústria 4.0 permitindo a ligação entre todas as variáveis e os valores reconhecidos nesse domínio. Desenvolvido pela BITKOM, VDMA e ZWEI, este modelo caracteriza-se por ser a convergência das visões dos diferentes *stakeholders* em relação ao conceito de Indústria 4.0. Tendo por base Figura 3, abaixo representada, identifique-se e interpretem-se os respetivos eixos que este propõe como diferentes dimensões de aplicação representados em três diferentes eixos: *Layers* (Camadas), *Life Cycle & Value Stream* (Ciclo de Vida e Cadeia de Valor) e *Hierarchy Levels* (Níveis Hierárquicos).

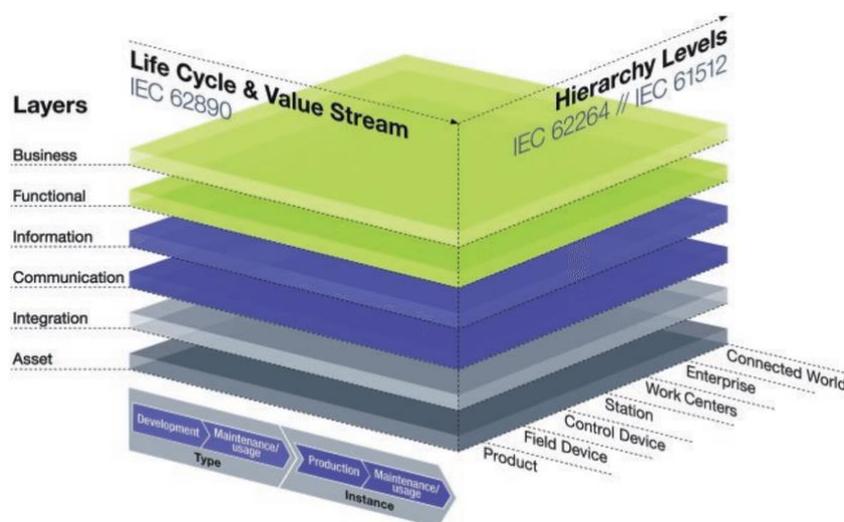


Figura 3 - RAMI4.0

No que diz respeito ao eixo das Camadas, representado verticalmente, este tem o principal intuito de simplificar uma representação complexa, limitando o *design* a unidades mais pequenas e facilmente interpretáveis. Neste, podem encontrar-se 6 diferentes camadas cuja abordagem passa pelas implicações de aplicações de negócio até aos ativos sendo estas: (1) *Asset* (Ativos); (2) *Integration* (Integração), (3) *Communication* (Comunicação), (4) *Information* (Informação), (5) *Functional* (Funcionalidade) e (6) *Business* (Negócio). Tendo em consideração esta subdivisão saiba-se que a camada **Assets** se refere aos ativos de uma empresa, no caso os equipamentos, assegurando a parte física de um sistema ciber-físico. Quanto à camada de **Integration**, esta é ponte entre o espaço físico e digital permitindo a digitalização – *digital twin* – de ativos reais como é o caso dos operários. A camada de **Communication** é responsável pela comunicação das tecnologias e protocolos, já a camada de **Information**, descreve a informação utilizada entre funcionalidades, serviços e componentes, sem nunca descorar a necessidade de manter uma semântica comum entre estes objetos informacionais. Quanto à camada **Functional**, esta é referente às tarefas administrativas e correlação de semântica assim como realizar a gestão como são exemplos os sistemas ERP. Finalmente, no que diz respeito à camada de **Business**, o principal objetivo desta passa exatamente por alinhar o modelo de negócios da empresa, de corretamente caracterizar e auditar os processos internos e externos assim como definir as regras genéricas para o correto funcionamento do sistema.

Quanto ao eixo do Ciclo de Vida e Cadeia de Valor este representa, tal como o seu nome indica o ciclo de vida de uma unidade ou produto, tendo por base a norma IEC 62890 referente à gestão do ciclo de vida de sistemas ou produtos utilizados na medição, controlo e automação do processo industrial. No que diz respeito a este eixo, este subdivide-se em dois macro segmentos sendo o (1) *Type* (Tipo) referente ao período de tempo entre a criação da ideia ao desenvolvimento do protótipo e (2) *Instance* (Instanciação) referente à fase em que se inicia a produção.

Quanto ao eixo dos Níveis Hierárquicos, este representa as várias funções organizacionais e de controlo de sistema tendo por base as normas IEC 62264 e IEC 61512 relativas à integração de um sistema de controlo de equipamento numa organização e o controlo de lote, respetivamente. Este encontra-se representado em 7 camadas hierárquicas diferentes apelidadas de: (1) *Product* (Produto), (2) *Field Device* (Campo de Operações), (3) *Control Device* (Dispositivo de Controlo), (4) *Station* (Centro), (5) *Work Centre* (Centro de Trabalho), (6) *Enterprise* (Empresa) e (7) *Connected World* (Mundo Conectado). Assim, o primeiro nível hierárquico, Produto (**Product**), é referente aos dispositivos eletrónicos como são o caso dos *tablets*, máquinas e outros equipamentos presentes em ambiente fabril.

Seguidamente, o Dispositivo de Máquina (**Field Device**) é referente aos dispositivos eletrónicos que detetam e identificam componentes, ou seja, serve para efetuar a captura e controlo de dados através de sensores. O seguinte nível, o Dispositivo de Controlo (**Control Device**) é representado pelos equipamentos referentes à gestão de *inputs/outputs* como é o caso dos PLC's. Quanto ao patamar de Estação (**Station**), este reflete a execução das atividades administrativas de avaliação de operações ou processos e monitorizam-se resultados em tempo real. A nível da Unidades de Trabalho (**Work Centre**) estes definem o estado da produção e preveem as necessidades de material reorganizando e determinando os objetivos produtivos. No penúltimo patamar, referente à Organização ou Empresa (**Enterprise**), englobam-se os sistemas ERP, visando a gestão do negócio através do planeamento de produção e cartas de controlo estatístico. Por fim, no último nível encontra-se os Mundos Conectados (**Connected World**) que diz respeito à importância da comunicação entre todos os órgãos envolventes à organização partilhando entre si informação. [8]

Assim, considerando que os três eixos contemplados representam os aspetos fundamentais da Indústria 4.0, saiba-se que qualquer componente pode ser classificado de acordo com esta estrutura arquitetónica potenciando a implementação do paradigma da Indústria 4.0 de acordo com a sugestão de modelo do RAMI4.0.

### 2.2.2 Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)

De forma paralela ao existente modelo alemão (RAMI), surge também um modelo de referência americano criado pelo AT&T, Cisco, GE, IBM e Intel, o modelo IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture*). Este visa ser igualmente uma norma orientadora na construção de sistemas cujo objetivo passa por maximizar o seu valor através da fomentação de uma maior aplicabilidade na indústria impulsionando a interoperabilidade entre sistemas e mapeando os processos tecnológicos enquanto desenvolve normas padronizadas. Torna-se resultado de vários *use cases* definidos pelo IIC e a aplicação destes em sistemas *IIoT* e da constante resposta de forma a refinar e aprimorar cada vez mais o modelo. Ora, este modelo proporciona uma assistência no desenvolvimento, documentação e comunicação do sistema, focando-se na perspetiva de *software* e do seu princípio de negócio.

A origem deste modelo dá-se considerando a ISO/IEC/IEEE 42010:2011 de forma a identificar princípios e práticas concisas para a arquitetura de sistemas *IIoT*. Uma vez que o refinamento deste modelo esta intrinsecamente ligado com o parecer dos seus intervenientes, diga-se os utilizadores do sistema, os operadores, os proprietários, os vendedores, os desenvolvedores ou os técnicos que prestam

manutenção ao sistema, é natural que se caracterize com um alto nível de abstração e que não exista um modelo chave de estruturação da sua arquitetura, mas sim o de adoção de análise e desenvolvimento.

No entanto, o referencial que atualmente existe não tem de ser análogo ao que se visa criar, porém, os seus *viewpoints* podem ser usados como pontos de partida para uma determinada arquitetura podendo esta ser estendida e enriquecida considerando o sistema *IIoT*.

Não obstante, a arquitetura definida no IIRA teve em conta alguns conceitos principais, sendo eles *concern*, *stakeholders*, *viewpoints* e *models*.

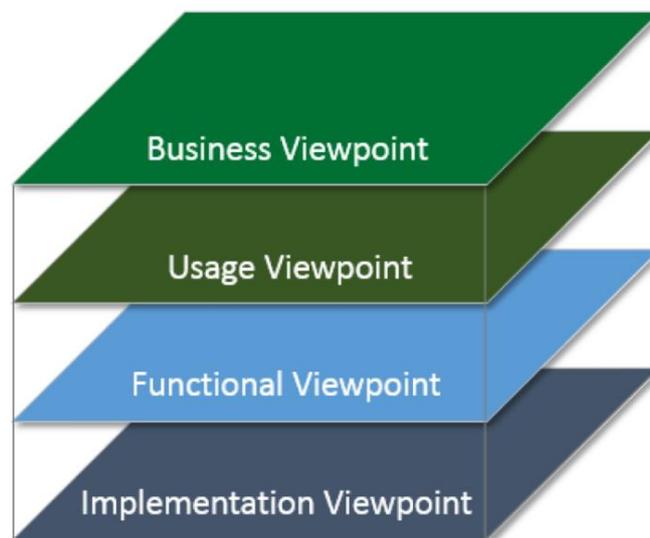


Figura 4 – IIRA

Na Figura 4, pode ver-se a relação causa-efeito entre *viewpoints*. De forma a poder esclarecer-se todas as camadas é de relevante importância definir alguns conceitos importantes como **concern** que define qualquer tópico de interesse pertencente ao sistema, **stakeholder** que representa uma pessoa individual, uma equipa ou uma organização que tenha interesse num *concern*, os **viewpoints** que englobam a análise de *concerns* específicos e os **models** que são a forma de representação dos *viewpoints*. O objetivo da representação arquitetural é analisar e resolver os *concerns* de cada *viewpoint* sob a forma de uma visão arquitetural para cada nível de *viewpoints*.

No que diz respeito às camadas que compõe este modelo a primeira é a **Business Viewpoint** que atenta a qualquer *concern* identificada pelos *stakeholders* considerando a sua visão, valores e objetivos no que diz respeito ao projeto, identificando também através do mapeamento da capacidade do sistema de que modo o sistema *IIoT* alcançará os mesmos.

A segunda camada, a **Usage Viewpoint**, é referente aos meios utilizados para atingir as capacidades fundamentais estabelecidas no *viewpoint* anterior. Este nível, é tipicamente representado pela sequência de atividades que envolvem humanos ou sistemas lógicos, responsáveis pela execução das funcionalidades já delineadas.

Seguidamente, há a **Functional Viewpoint** que se foca nos componentes funcionais, a estrutura e a sua relação num sistema *IIoT*, focando-se nas suas vinculações a entidades externas, considerando sustentação às camadas *à priori* definidas. Assim, estes *concerns* são de particular interesse para os responsáveis pela arquitetura do sistema e seus componentes.

Por fim, existe a camada **Implementation Viewpoint**, que descreve a arquitetura geral dos componentes tecnológicos, entenda-se como sensores, atuadores, controladores, plataformas, bases de dados, *data analytics*, gestão de serviços, *metadata* etc, relevantes assim como as suas interfaces e protocolos. Nesta camada, dá-se uma representação técnica do sistema onde são ilustradas as atividades e funções usadas nas camadas *Usage* e *Functional*. [9]

### 2.3 OPC Unified Architecture (OPC UA)

O principal objetivo de um modelo de informação passa por modelar objetos a um nível conceptual independentemente de qualquer implementação ou protocolo específico.

Considerando o modelo RAMI 4.0, a arquitetura OPC UA é, atualmente, a única reconhecida para implementação das suas funcionalidades na camada de comunicação.

O OPC UA ou *Open Platform Communications Unified Architecture*, criada em 2008, trata-se de uma norma internacional IEC 62541 baseada num modelo de comunicação entre cliente e servidor. A mesma foi criada com o intuito de possibilitar conectividade entre diferentes objetos, entenda-se objetos como todos os sistemas do chão de fábrica e de controlo, criando uma interface comum não relacionada com os protocolos de comunicação utilizados por estes. [10]

Considerando a premissa anterior entenda-se que este se torna um forte candidato para a comunicação dos sistemas CPS, representando um papel importante na digitalização da indústria.

Além de ser um protocolo de transporte de informação a nível industrial, o OPC UA também define a forma como a informação é codificada assim como a semântica necessária à sua interpretação. Adicionalmente, o OPC UA é dotado de mecanismos capazes de expor semântica específica em relação a determinados dados, por exemplo, aquando da obtenção de valores de medição através de um sensor é também possível adquirir informação acerca do tipo de sensor entre outros.

A interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fornecedores requer uma representação de dados uniforme. Ora, considerando os diferentes domínios de representação de dados, o OPC UA pode ser implementado em diferentes campos de aplicação.

No servidor OPC UA, o conjunto de objetos disponibilizados ao cliente em tempo real é apelidado de **AddressSpace** - Espaço de Endereço. Ora, neste as informações são modeladas como **Nós** descritos por **Atributos** e interconectados por **Referências**.

Na figura abaixo, Figura 5, pode ver-se a forma geral como o *AddressSpace* de um servidor OPC UA pode ser.



Figura 5 - AddressSpace de um servidor OPC UA

[11]

Cada Nó pertence a um tipo de Nó predefinido – **Node Class** – que especifica o tipo de informação que o modelo representa. Muito resumidamente, de forma a contemplar as tipologias de Nós, estes podem subdividir-se em duas categorias diferentes sendo estas a descrição de modelos ou de instâncias.

As classes de Nós do *AddressSpace* que descrevem modelos de tipo são todas colocadas numa hierarquia de específica definida pelas variáveis:

- **ObjectType** que representa o tipo de um nó *Object*, ou seja, define a classe suportando definições abstratas;
- **VariableType** que representa o tipo de um nó *Variable*, e especifica um valor padrão para a variável em questão;
- **DataType** exhibe o tipo de dados usado para variáveis. Existem tipos de dados de carácter simples (inteiro) ou complexo (e.g. data e hora, estruturas).
- **ReferenceType** representa o tipo de referências entre dois nós;
- **Object** representa um nó que é uma instânciação de um *ObjectType*;
- **Variable** representa um nó que é uma instânciação da *VariableType* e possibilita o armazenamento de variáveis de diferentes dimensões;
- **Method** que representa um nó que provê uma função ao servidor possibilitando a invocação de argumentos por parte do cliente. Podendo ter *InputArguments* e *OutputArguments*;
- **View** que possibilita a divisão e organização do *namespace* do servidor. [12]

Considerado ainda o *AddressSpace* já referido, os Atributos definem-se como elementos capazes de descrever os Nós, permitindo aos clientes OPC UA acederem a serviços como a leitura, escrita e assinatura de itens. Quando às Referências, responsáveis pela interligação de Nós, estas são construções simplificadas e descrevem a relação entre dois Nós. [11], [12]

## 2.4 Enterprise Resource Planning (ERP)

Junto da necessidade de fornecer respostas mais rápidas num ambiente industrial cada vez mais competitivo surgem, desta necessidade acrescida, os softwares ERP – *Enterprise Resource Systems*.

Este género de *softwares* é responsável pelo planeamento dos recursos empresariais, ou seja, por integrar e organizar todas as operações de *front* e *back office* permitindo então, a obtenção de uma visão estratégica sobre toda a atividade e permitindo aumentar a eficiência das várias áreas.

Posto isto, o ERP é responsável por suportar a atividade empresarial integrando as diferentes vertentes: marketing, produção, logística, recurso humanos e contabilidade. Assim, espera-se que os

negócios possam ser geridos com maior eficiência quando comparados aqueles cujo ERP não consta na sua integração. [13]

Quando se permite a automação e armazenamento dos setores envolventes, pode utilizar-se o ERP como uma base de dados centralizada que visa a obtenção, em tempo real, das variáveis de processo, permitindo tomar decisões em tempo real e de forma mais ágil promovendo, como falado, a obtenção de melhores resultados.



Figura 6 - Campos de integração do ERP[14]

## 2.5 Manufacturing Execution System (MES)

Devido a fatores impulsionadores para a excelência da manufatura como é o caso do tempo de entrega, qualidade, preço e rapidez do mercado, aliado às pressões de regulamentação externa e certificações, as empresas tem de encontrar soluções para aumentar o seu rendimento produtivo mantendo sempre o tão importante equilíbrio custo-benefício. Nasce assim a necessidade de melhor entender, de forma atualizada e contínua, o estado da integridade da linha produtiva – ordem de produção – e controlar a mesma de forma a conseguir prover informações *on time*, seja para o cliente seja por demanda interna. Assim sendo, torna-se possível, através do uso desta ferramenta, alcançar a máxima eficiência na cadeia produtiva reduzindo os custos da mesma.

Tendo em conta a informação de definição proposta pela MESA – *Manufacturing Enterprise Solutions Association* – um *software* MES “remete informação que permite a otimização do sistema produtivo desde o pedido até ao produto acabado”. [15]

Sempre com a preocupação de gerar valor para o consumidor, note-se que umas das principais abordagens passa, efetivamente, por melhorar a qualidade. Assim, reforça-se que os índices inerentes à qualificação da qualidade são a quantificação de defeitos, perdas, erros, falhas, paragens, atrasos, excesso de horas extra, quebras, ineficiência e retrabalho. [16]

Normalmente, o uso de *softwares* MES encontra-se sempre associado a outros sistemas de forma a concretizar informações/recolher dados com maior completude. Assim estes interagem com sistemas ERP – *Enterprise Resource Planning* – que fornecem uma informação macro da empresa e, por isso, que se apoiam nos *softwares* MES para efetivamente recolher dados reais de custos, ciclos de produção e outros dados de *performance* produtiva relevantes e, assim, garantir uma maior completude à informação disponível. [17]

Não obstante, alguns dos objetivos que se pretendem atingir aquando da implementação de um *software* MES em chão de fábrica passam por: [18]

- Otimização da total da produção através do controlo da mesma, como são caso os tempos efetivos de produção especialmente tendo em conta a documentação associada;
- Melhoria na qualidade dos dados, não só a nível empresarial como também para fornecimento ao cliente;
- Maior visibilidade e transparência de todo o processo produtivo;
- Redução dos custos de armazenamento de material devido à redução do *lead time*;
- Redução do papel em ambiente fabril promovendo o fator sustentabilidade ambiental;
- Redução de perdas de lotes/peças;
- Redução de custos de operação através da prevenção isolada de soluções;
- Melhoria na tomada de decisão

Um *software* MES deve igualmente garantir algumas funcionalidades consideradas relevantes para o seu bom funcionamento como: [19]

- Alocação e estado dos recursos: Gere recursos incluindo equipamentos, ferramentas, materiais, entre outros assim como a documentação necessária para iniciar o trabalho invocando um histórico detalhado de recursos e garantindo o *set-up* correto do equipamento;
- Planeamento de operações e detalhes: Realiza uma sequência baseada nas prioridades, atributos, características associadas a uma unidade de produção;

- Expedição de unidades produzidas: Gere o fluxo de produção como encomendas, lotes, planos de fabrico organizando a sequência de trabalho e atualizando-a com os tempos reais de chão de fábrica;
- Controlo de documentação: Guarda e devolve instruções de trabalho, desenhos, operações padronizadas etc. Também retoma regulamentação e normas associadas assim como informação de ação corretiva;
- Recolha de dados: Provêm uma interface de obtenção de dados relacionados com a produção – dados paramétricos – que vão ser agregados aos formulários da unidade de produção. Note-se que a obtenção dos mesmos pode ser feita de forma manual ou automática;
- Gestão de desempenho: Invoca o tempo de trabalho, assiduidade, certificações, operações realizadas e associa-as aos diferentes operários;
- Gestão de qualidade: Analisa em tempo real dados do processo produtivo de forma a assegurar controlo de qualidade identificar possíveis problemas que possam solicitar maior atenção. Adicionalmente, pode também realizar sugestões corretivas;
- Gestão de manutenção: Orienta e identifica as diferentes operações realizadas de forma a rastrear as mesmas assim como proporciona o agendamento de manutenções periódicas ou preventivas conferindo um histórico de eventos associado ao equipamento em questão;
- Rastreabilidade: Invoca visibilidade e transparência sobre todo o processo produtivo identificando na hora o *status* da mesma. Além disso, incluem informações relevantes como o fornecedor, lote, número de série, operários/equipamentos inerentes ao processo produtivo do componente em questão entre outros;
- Análise de desempenho: Fornece relatórios atualizados dos resultados obtidos no processo produtivo, comparando-os com os anteriores e medindo o desempenho das diferentes características destes. Esta avaliação pode adicionalmente, e de forma seletiva, ser disponibilizada ao cliente.

## **2.6 Building Information Model (BIM)**

Os *Building Information Model* ou, sistemas BIM, consideram-se como uma evolução dos sistemas CAD já conhecidos, uma vez que gerem a informação relativa ao ciclo de vida de um projeto

tendo em conta os dados a si inerentes integrando, adicionalmente, tal como nas ferramentas CAD, a modelação em três dimensões. Assim, os sistemas BIM adotam modelos paramétricos e permitem a existência de alterações dinâmicas nos modelos gráficos traduzindo-se numa melhoria daquilo que são as ferramentas CAD conhecidas. [20].

Assentando numa abordagem de criação, gestão e utilização de informação geométrica e não geométrica, o BIM traduz-se na representação digital da generalidade de informação útil afeta a um projeto permitindo a interoperabilidade de informação útil, em formato necessário, para as diferentes fases constituintes do projeto em questão.

Considerando o seu papel cada vez mais proeminente nas aplicações desenvolvidas na indústria AEC, sabe-se que esta tecnologia visa desempenhar um papel cada vez mais central na indústria com o decorrer dos anos.

Atualmente no mercado existem diversas soluções de aplicações BIM que permitem relacionar os componentes desta tecnologia com uma base de dados onde os seus formatos sejam acessíveis – *exchange formats*. Ora, a introdução deste paradigma promove a utilidade de modelos de informação, reforçado pelo conceito de interoperabilidade, uma vez que se pretende realizar associação de interfaces padrão com bases de dados acessíveis a qualquer entidade, formando um fluxo transparente e interrupto de informação. No entanto, considerando a heterogeneidade do setor e o seu universo de processo produtivo vasto e diferenciado assim como as exigências da comunidade técnica, considera-se que as metas de um modelo deste tipo se relevam bastante ambiciosas. [21]

## **2.7 Caracterização de interoperabilidade**

A representação da necessidade da permuta de dados entre diferentes aplicações dá origem ao termo central de toda esta dissertação, a interoperabilidade.

No caso de *software*, pode descrever-se interoperabilidade como a capacidade de diferentes programas comutarem dados entre si de forma homogénea e sem interrupções. No entanto, problemas como a falta de compatibilização de formatos, as diferenças entre protocolos e rotinas ou até mesmo da própria linguagem de programação podem resultar na falta de interoperabilidade. Aliás, a maior barreira técnica é a necessidade de ferramentas de interoperabilidade. [21]

De forma a promover a interoperabilidade entre vários *softwares* esta pode ser obtida de diversas formas. No entanto, as três mais comumente referenciadas são através do uso de um *software* que incorpore uma API e forneça uma interface bem desenvolvida entre os diferentes *softwares*, de um

*software* que leia diretamente os arquivos contidos em BIM ou utilizando um *software* que permita a troca de dados aceites por toda a indústria como são o caso dos padrões de integração *CIMSteel* na indústria metalomecânica ou IFC quando nos referimos a uma estrutura de modelo neutro.[22]

Assim, a interoperabilidade ideal permite:

- Reduzir a difusão de erros e falhas,
- Aumentar a rapidez de criação de um projeto;
- Existência de introdução única de dados, ou seja, não existe necessidade de reintroduzir os mesmos em vários estágios do projeto;
- Permite um fluxo de trabalho coeso uma vez que todos os membros da equipa trabalham no mesmo ficheiro impedindo a duplicação deste e futuras imprecisões;
- Permite reutilizar atributos importantes ao longo do ciclo de vida de um projeto.

#### 2.7.1 *Industry Foundation Classes – IFC*

O modelo IFC é um formato de dados que visa a permuta de modelos sem perder ou distorcer a informação sendo por isso, atualmente o formato mais aceite no domínio BIM.

O formato do ficheiro .ifc permite não só a comutação de dados geométricos como vigas, paredes e colunas, mas também de outros atributos heterogéneos como são o caso das propriedades mecânicas e físicas, assim como os custos e tempos adjacentes à construção.

Sendo um formato bastante focado para os atributos suprajacentes à engenharia civil a sua enumeração e contributo tornam-se bastante relevantes no desenrolar desta dissertação. Com uma arquitetura baseada na linguagem de definição de dados EXPRESS dada em ISO 10303-11, um subconjunto de linguagem STEP, este formato tem-se desenvolvido ao longo dos anos através da *buildingSMART* beneficiando o BIM de interoperabilidade com outros *softwares*. [23]

#### 2.7.2 Compatibilidade de formatos

As atividades ligadas ao setor da construção civil, onde se engloba a concretização desta dissertação, tem como principal particularidade a existência e cooperação de uma grande quantidade de dados envolventes assim como profissionais que operam os mesmos ao longo do ciclo de vida de todo o projeto. Assim, é de grande relevância melhor entender que as aplicações comerciais distintas estabelecidas podem nem sempre munir-se de compatibilidade de dados, logo, este torna-se um tópico de relevante importância quando descrevemos modelos de dados.

Naturalmente, a generalidade das aplicações informáticas formata os seus dados considerando uma linguagem específica – normalmente narrada como formatos proprietários. Não obstante, revê-se um esforço constante na direção de aceitação de formatos alternativos consoante as aplicações comerciais em questão. Ao contrário daquilo que conhecemos como formatos proprietários existem igualmente os seus antónimos, os formatos de intercâmbio de dados referentes a linguagens que permitem que um determinado ficheiro possa ser lido por diferentes aplicações e tenha, portanto, um formato neutro.[24]

## **2.8 Controlo de qualidade na Indústria**

Embora qualidade seja um conceito *à priori* bem caracterizado por todos a mesma pode carecer de definição normalizada objetiva. Posto isto e segundo a NP EN ISO 9000: 2005 a definição correta da qualidade pode citar-se: “Qualidade é o grau de satisfação de requisitos (3.1.2) dado por um conjunto de características (3.5.1) intrínsecas”. [25]

Assim, tendo em consideração que atualmente em ambiente industrial, o controlo de qualidade nas linhas de produção, entenda-se desde a matéria-prima até ao produto final, é um dos aspetos mais importantes de forma a garantir a satisfação das necessidades daqueles que serão os consumidores finais de cada empresa, ou seja, cumprir os *standards* para estes previstos.

Posto isto, pode então aclamar-se que o controlo de qualidade em ambiente fabril passa por definir um conjunto de técnicas e ferramentas cujo objetivo é detetar erros na produção e permitir evitar, de forma preventiva, a formação de mais defeitos.

A correta aplicação do controlo de qualidade no processo produtivo permite aumentar a produtividade, uma vez que eliminamos os componentes com defeito antes que estes cheguem ao final da sua produção, permitindo então aumentar de forma quantitativa a produção útil final; diminuir a perda de materiais; reduzir custos, uma vez que naturalmente o aumento da produtividade e redução da perda de matéria-prima se traduz em melhorias de aproveitamento dos recursos existentes; e por fim melhorar a qualidade do produto final, uma vez que existem mais garantias a oferecer ao cliente final acerca da qualidade do produto permitindo melhor satisfazer os standards exigidos não só pela indústria como pelo cliente final. [26]

## 2.9 Sistema de Visão Artificial

Por definição, um sistema de visão artificial (SVA) ou *Vision Guided Robotics* (VGR) como presente na literatura, consiste num sistema computadorizado cuja sistemática passa pela aquisição, processamento e interpretação de imagens reais. De forma a melhor explicar as principais etapas a integrar um SVA segue o seguinte diagrama de blocos na Figura 7.

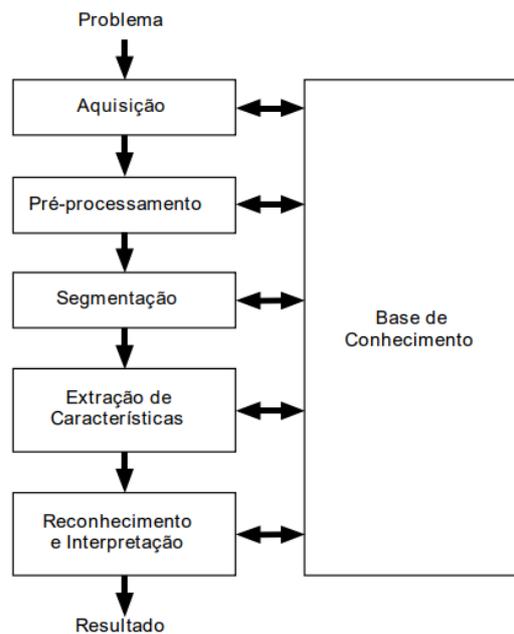


Figura 7 - Diagrama de blocos padrão de um SVA

[27]

Tendo em conta o diagrama de blocos padrão de um SVA acima apresentado, é importante conhecer as suas etapas.

Assim, a primeira etapa passa pela aquisição da imagem onde se transforma informação ótica em informação digital. Uma imagem é gerada a partir da combinação de uma fonte de iluminação e a reflexão de energia e é captada através de um sensor, o qual realiza a transformação da energia luminosa em níveis de tensão. O tipo de dispositivo mais comum na área são as câmaras digitais com sensores de imagem baseado na tecnologia CMOS, CCD ou até mesmo câmaras inteligentes.

No que diz respeito ao pré-processamento, dá-se o aprimoramento da imagem anteriormente captada através do uso de máscaras que melhoram a nitidez da imagem e reduzem o ruído desta.

De seguida, tendo em conta a segmentação, esta etapa é referente à decomposição da imagem em partes tendo em conta as regiões de interesse sendo a etapa onde se inicia o reconhecimento focalizando o objeto de estudo e analisando a superfície do mesmo. A maioria das técnicas de segmentação são baseadas na similaridade ou descontinuidade dos valores de intensidade dos pixels.

Aquando da extração das características, é nesta etapa que se extraem informações numéricas úteis a respeito da imagem e se recolhe informação útil consoante a aplicação, como é o exemplo do centro do objeto, a área, etc.[27]

Por fim, dá-se a última etapa, sendo esta o reconhecimento e interpretação, onde a etapa de reconhecimento é referente a atribuir variáveis aos objetos em questão tendo em conta as características extraídas e a interpretação atribui definições/significado aos objetos detetados.

Os sistemas de visão artificial surgem na indústria na direção de colmatar as não conformidades resultantes da incapacidade a nível fabril de 100% do controlo de qualidade e, no caso direcionado à indústria da construção, potenciar obras com zero defeitos.

Atualmente, a partir da amostragem, os fabricantes recorrem usualmente à inspeção visual onde utilizam um operador humano que, através da sua acuidade visual, permitirá detetar possíveis defeitos.

A associação de sistemas de visão artificial à robótica, permitiu proporcionar um maior grau de liberdade à mesma potenciando maior versatilidade aos robôs. Assim, e tendo em conta que um robô sem sistema de visão precisa sempre de uma posição pré-determinada o que obriga à utilização de sistemas de posicionamento de grande precisão, os sistemas de visão surgem então para colmatar este problema oferecendo uma maior flexibilidade aquando da manipulação de componentes.

### 3. A INFORMAÇÃO TÉCNICA NO SECTOR DO FABRICO DA EMPRESA

A metodologia de análise de gestão informacional utilizada ao longo desta dissertação é baseada no caso de estudo de uma empresa metalomecânica portuguesa direcionada à conceção e produção de estruturas metálicas, a Bysteel SA.

A análise realizada foi feita de acordo com as normas de funcionamento da empresa assim como através do *feedback* dos operários e membros dos diversos departamentos, realçando com maior pormenorização o Departamento de Produção Industrial, tendo em consideração adicional uma visão geral de chão de fábrica realizado pelo autor.

Numa fase inicial, o objetivo passa pela análise do fluxo produtivo atual da empresa (AS IS) em questão, desde a receção e transformação da matéria prima em peças simples até ao seu envio para obra em conjunto soldado. A análise foi feita considerando as normas, equipamentos e *guidelines* usadas de forma a melhor identificar o fluxo de dados. Para tal, e para proporcionar uma melhor compreensão do caso prático é fornecido um pouco de contexto acerca do processo de conceção, desenvolvimento e produção que a empresa realiza, através de uma descrição sucinta e resumida dos procedimentos que se realizam.

#### 3.1 Caracterização do Processo de Fabrico e Fluxo de informação

O processo de fabrico apresenta-se como o conjunto de operações interligadas de forma a promover a transformação de matéria-prima num produto acabado imputando-lhe valor acrescentado. Para tal, tendo em conta o processo evolutivo de funcionamento da Bysteel, torna-se importante expor ao leitor as diferentes fases de conceção e fabrico de um projeto típico da mesma.

De notar que, ao longo deste subcapítulo serão mencionados apenas alguns departamentos da empresa uma vez que se consideram os mais relevantes aquando da prática de caracterização do processo de fabrico e conseqüente fluxo de informação.

Assim, num estágio primordial de um projeto, apresenta-se o **Departamento de Estudos e Propostas** que é responsável por recolher e avaliar as propostas advindas dos diferentes clientes e, tendo em conta os requisitos e interesses de ambas as partes, avaliar a viabilidade do projeto.

Tendo em conta as avaliações predeterminantes, os projetos são então distribuídos pelos diferentes orçamentistas que considerando a classe de execução e valor da obra estipulam e agrupam informação pertinente para repassar ao próximo departamento.

Já no **Departamento de Projeto**, a partir da informação recolhida, são realizados os projetos de estrutura e ligações adjacentes à obra considerando as prioridades inerentes, os requisitos do cliente assim como as normativas em legislação e regulamentação em vigor. É, portanto, elaborado um estudo generalizado da estrutura a conceber através da modelação 3D, cálculo global ou parcial de validação de secções e entre outros que, por sua vez, irão dar origem às peças escritas e às peças desenhadas. Entenda-se peças desenhadas como plantas, alçados e detalhes como é o exemplo das ligações e peças escritas como notas de cálculo adaptável à natureza do projeto, notas de hipóteses (global da obra), mapas de trabalhos e quantidades e guias de envio.

Posteriormente, no **Departamento de Preparação**, redirecionando o trabalho mais especificamente para o fabrico e montagem começam a elaborar-se os Planos de Fabrico. Assim, tendo em conta a informação facultada pelo departamento anterior e de recurso ao *software Tekla Structures*, *software* 3D BIM, produzem-se desenhos de peças simples e de conjunto, listas de materiais, esquemas de pintura e desenhos de montagem – direcionados à obra – assim como os correspondentes ficheiros NC, que possibilitam os responsáveis pelos centros de transformação de chapa e perfis ou tubos criar as rotinas de corte.

De seguida, os desenhos são impressos e entregues no **Departamento de Produção Industrial** aos efetivos responsáveis (corte, montagem, soldadura, qualidade e logística) para que sejam revistos e seja realizada a rotina de corte e otimização de material a usar. No Departamento de Produção Industrial, em oposição aos outros departamentos, trabalha-se subdividido por secções de forma a permitir simultaneidade de trabalho em diferentes Planos de Fabrico e Obras e permitindo considerar o rumo do modelo lógico de fabrico. Para tal, caracteriza-se o fabrico em duas transformações. Na 1ª Transformação encontram-se as fases referentes ao corte de chapa e ao corte de perfis ou tubos e, na 2ª Transformação encontram-se a secção referente à montagem de conjuntos e sua soldadura. Quanto à 1ª Transformação, com a informação recebida, é realizado o *nesting* das chapas e perfis através dos *softwares* Lantek e Cut-IQ, respetivamente, requisitando-se à logística um cruzamento de dados de forma a saber se a matéria prima em questão existe em armazém – emissão de uma RQA – ou se é necessário comunicar ao Departamento de Compras. Seguidamente, abre-se uma Ordem de Fabrico de 1ª Transformação associada ao respetivo Plano de Fabrico. Através da consulta das listas de conjuntos e peças fornecidas são reorganizadas as respetivas prioridades de PF's. Prontamente, são enviadas as listas de requisição ao armazém com o material necessário tendo em conta as diferentes tipologias de

forma a consoante os turnos existir dentro de portas a matéria prima necessária – transportada pela logística.

Posto isto, são elaborados todos os documentos necessários a anexar à Ordem de Fabrico sendo entregues em chão de fábrica em formato físico e digital:

- Lista resumo da matéria-prima;
- Lista resumo dos componentes;
- Planeamento de Produção

Quanto à 2ª Transformação, são abertas as respetivas Ordens de Produção de 2ª Transformação. Os respetivos desenhos de conjunto de fabrico são distribuídos pelos diferentes postos de montagem como guia orientadora aos operários de forma a promover a correta montagem dos conjuntos.

Finalmente, os conjuntos já pingados são redirecionados para o Centro de Soldadura. Tendo em conta a soldadura dos conjuntos, numa fase primordial do projeto com a informação referente aos modelos BIM e tipologia de ligações – juntas – recebidos, começam a ser elaborados as Especificação do Procedimentos de Soldadura (EPS) e o Plano de Soldadura que estão sob contante atualização. As EPS's são realizadas segundo a ISO 15614, elaborada tendo em conta a especificação e qualificação de procedimentos de soldadura para materiais metálicos, não sendo, portanto, inerente à obra, mas sim à operação, e o Plano de Soldadura é elaborado considerando uma nomenclatura interna de soldadura que indica o tipo de juntas e soldadura para que os serralheiros possam, *à priori*, fazer indicação no componente das mesmas.

Transversalmente a todos os setores, já na vertente do controlo de qualidade, os desenhos de peças simples e conjuntos são entregues ao responsável de forma a serem analisados e selecionados os componentes a serem alvo de controlo de qualidade dimensional. Adicionalmente, é também realizado um controlo de qualidade associado à soldadura, onde a qualidade e controlo dimensional da mesma antes e após são avaliados e, junto dos responsáveis de soldadura é também realizado um Plano de Inspeção e Ensaio (PIE) de forma a assegurar a qualidade das juntas. Não obstante, e semanalmente, dá-se o controlo de qualidade através de ensaios não destrutivos de ultrassons e partículas magnéticas assim como se realiza a inspeção visual por parte de uma entidade externa – RINAVE – que posteriormente emite um relatório anexado ao dossiê de controlo de qualidade remetido ao cliente.

Finalmente, quando os componentes são colocados na zona de expedição, estes serão posteriormente transportados para subempreiteiros onde se procede à realização dos processos de acabamento, como é o caso da pintura ou de um tratamento superficial. Quando finalizada esta etapa o conjunto está então pronto para seguir para obra.

### 3.2 Caracterização da sequência de fabrico atual

Atualmente, a sequência de fabrico em chão de fábrica na Bysteel, encontra-se relativamente bem organizada.

Como pode ver-se o esquema da Figura 8, assinalado a vermelho, existe um pavilhão destinado à transformação de chapa (CTC) onde se despoleta a 1ª Transformação. Este funciona durante os 5 dias da semana dividido em dois turnos de trabalho, o diurno das 8h-12h e 13h-17h constituído por 9 operadores e o turno noturno das 21h-5h constituído por 2 operadores.

Neste centro existem 9 máquinas, duas guilhotinas de 3 e 6 metros, uma lixadora, uma puncionadora e uma saca bocados ambas responsáveis pelo corte e furação por arrombamento, uma quinadora de 6 metros e 3 centros de corte a plasma e oxicorte com furação (Teknos, TRC e Oxitome). Note-se que este é alimentado a partir da matéria-prima armazenada nas zonas assinaladas a amarelo.

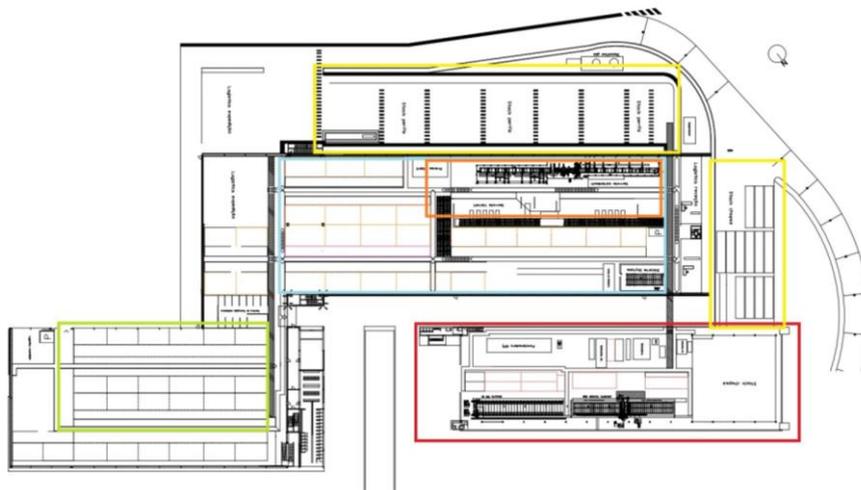


Figura 8 - Layout da Bysteel SA

Já no edifício ao lado, na zona representada a azul, existe uma zona referente à transformação de perfis e tubos (CTP) onde existem os respetivos serrotes, sinalizada a laranja.

No que diz respeito ao resto do espaço, este é ocupado pelo centro de armação (CA), representado a azul e o centro de soldadura (CS) representado a verde.

Quanto ao CA, este subdivide-se em 3 diferentes setores SL, SP e SP2 e é composto por 25 operários, 20 destes alocados ao turno diurno e 5 ao turno noturno. Também no CA podemos delimitar o mesmo em dois setores: um setor logístico responsável pela receção das chapas e perfis e distribuição por tipologias e um setor de montagem onde, através da leitura dos desenhos de conjunto são identificadas as tipologias necessárias e estas são efetivamente montadas de modo a perfazer o conjunto em questão sendo que neste setor os operários são adicionalmente responsáveis pela realização do controlo dimensional da totalidade do conjunto. Note-se que, no CA, aquando da completude de montagem é dada uma marcação laranja nos componentes de forma a referenciar visualmente a prontidão do conjunto.

Seguidamente, existe o CS, constituído por 38 soldadores, responsáveis por procedimentos de soldadura classificados segundo a norma ISO 4063 como a 131 referente ao MIG, 135 referente ao MAG, 121 referente ao processo por arco submerso, soldadura de conectores, 783, por elétrodo revestido ,111, e, em detrimento ao arco submerso pode recorrer-se também ao Cristo de Soldadura.

Quando os conjuntos são devidamente alocados ao CS estes ficam colocados numa zona demarcada a cor de rosa pelo que, após o término de todos os cordões de soldadura, estas são marcadas a verde e colocadas numa zona no chão delimitada a azul que indica que está pronta a seguir para expedição ou para os respetivos acabamentos.

Adicionalmente, existe também um centro de qualidade (CQ) onde é realizada a análise dos componentes antes e depois do processo de soldadura. Aqui escolhem-se as amostras a serem analisadas e, caso existam não conformidades, estas são destacadas e analisadas sendo posteriormente contabilizado o tempo total de operação de reparação.

Em suma, em termos de sequência de fabrico, pode relatar-se que o processo é organizado e segue uma sequência lógica, tendo como principal finalidade a obtenção de componentes sem defeitos e no menor tempo possível.

Foi paralelamente realizado um fluxograma de acordo com a sequência lógica de operações em chão de fábrica, seguindo abaixo na Figura 9.

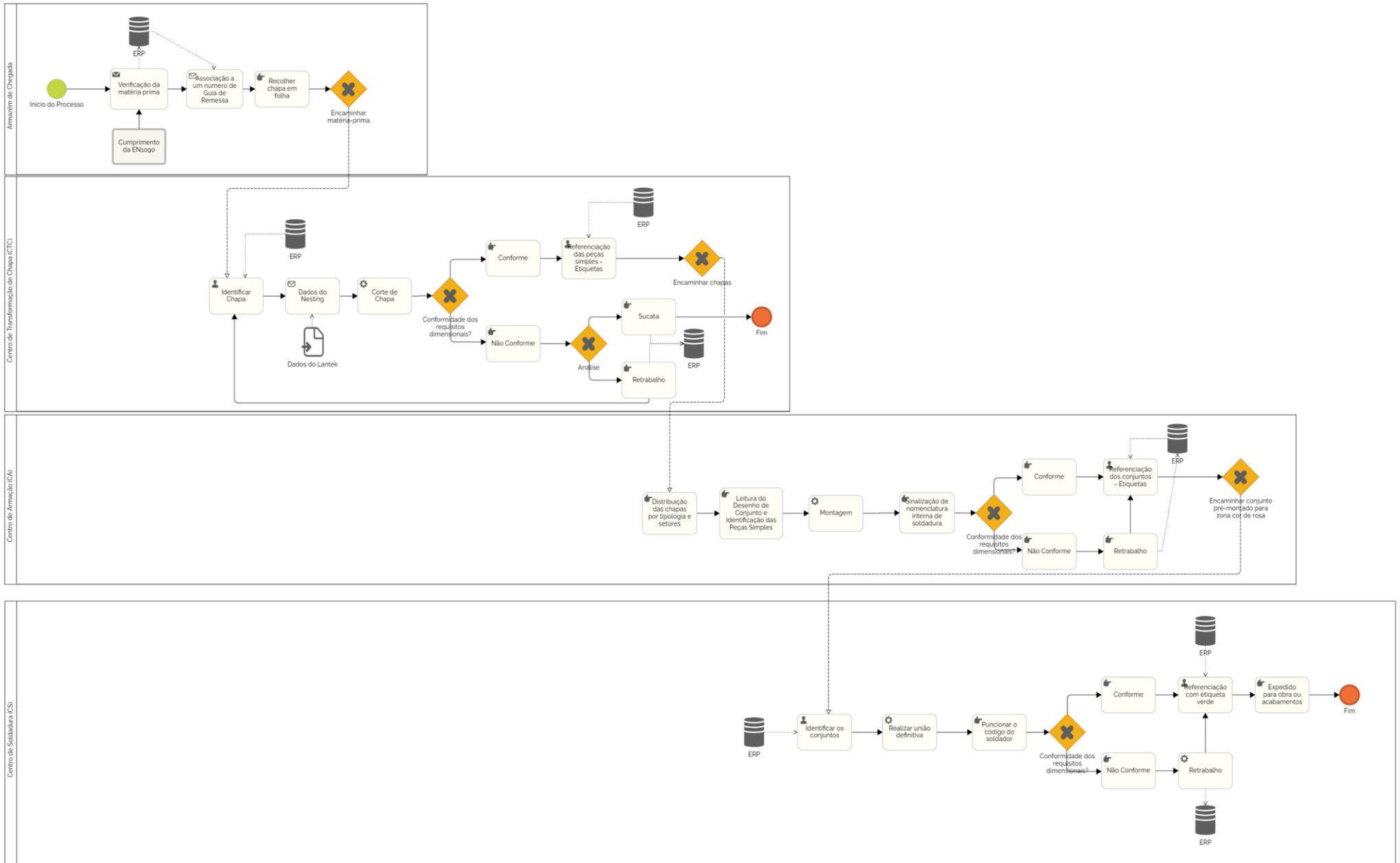


Figura 9 - Fluxograma do cenário industrial

### 3.3 Integração do sistema MES em chão de fábrica

Com a descrição do cenário industrial torna-se importante caracterizar e identificar as diferentes etapas do fluxo produtivo e assim nomear os atributos fundamentais em cada uma das atividades do ciclo produtivo. Por fim, estes atributos, no caso, associadas ao controlo dimensional das chapas, são posteriormente enviados ao sistema ERP cuja finalidade é identificar fontes de erro e permitir um rigoroso controlo de qualidade para o cliente.

Embora, o fluxo de fabrico atual em chão de fábrica, já tenha sido anteriormente referenciado, é igualmente importante formalizar a integração do sistema MES na empresa considerando os pontos fundamentais onde este se inclui.

Com consideração nas necessidades específicas à empresa e uma vez que a obtenção de dados em tempo real ajuda a eliminar os dados manualmente recolhidos pelos operários o que inerentemente se revela um processo mais moroso e impreciso assim como torna o erro humano associado um fator a eliminar, nasceu com o intuito de apoiar a produção a implementação de um *Manufacturing Execution System*, no caso, o *software* Abaco *InFactory ShopFloor*, de forma a priorizar a rastreabilidade dos componentes em chão de fábrica ao longo do seu processo produtivo. [28]

Posto isto, é importante contemplar-se as áreas a serem envolvidas com inerência do *software* MES, como descrito na Figura 10.

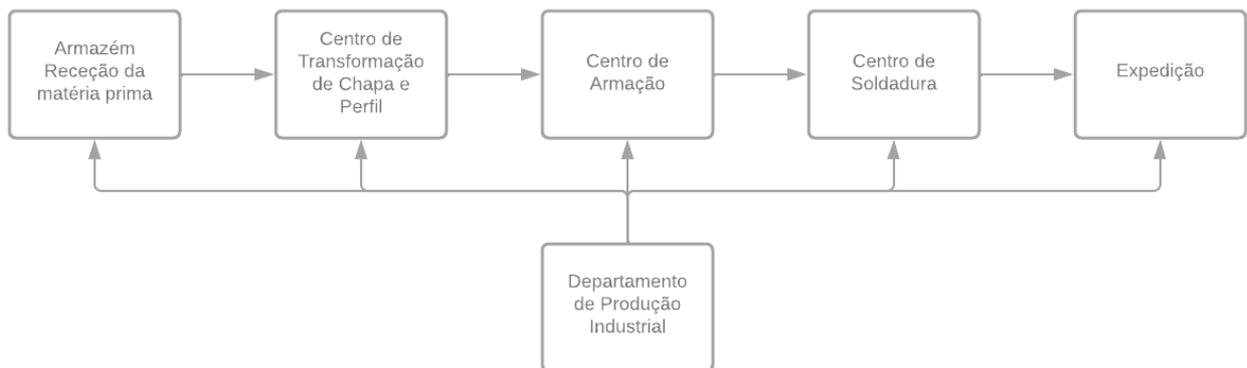


Figura 10 - Áreas envolvidas ao MES

Ora, entenda-se que todas as áreas do chão de fábrica estão inerentemente ligadas e todas elas recebem constante *input* por parte do Departamento de Produção Industrial.

De forma a colmatar alguns dos problemas existentes em chão de fábrica, especialmente devido à falta de comunicação contínua entre departamento e este, precedeu-se à instalação de um *software* MES responsável pelo controlo das várias operações existentes em ambiente fabril integrando-o com o ERP. Não obstante, este sistema disponibiliza de forma simples a informação remetida de chão de fábrica de forma a que esta possa ser acedida por qualquer tipo de dispositivo.

Com a integração desta solução espera-se que seja possível saber, com maior precisão, quais os tempos reais de produção, tendo assim acesso o tempo real de paragem por centro de trabalho e ao tempo efetivo de produção, qual a quantidade de peças não conformes e que, portanto, precisam de retrabalho, qual a quantidade efetiva de sucata por ordem de produção e quais os respetivos consumos registados. Além, disso, através da implementação deste *software* torna-se também possível criar ordens de manutenção, visualizar planos de produção, perceber quais os operários associados a que ordens de produção, gerando indicadores por área, turno, hierarquia e centro de trabalho, assim como perceber outros indicadores, igualmente importantes como o OEE – *Overall Equipment Effectiveness* – e, por fim, confirmar quantidades percebendo as percentagens de chapas aceitáveis, retificadas ou que geram sucata.

No que concerne à operacionalização do sistema, é importante destacar alguns requisitos físicos a integrar. Assim, em cada posto afeto/na área envolvente correspondente ao mesmo deve existir um quiosque, ou seja, um painel visor onde o operário iniciará sessão com o seu ID ou através da leitura do seu *badge* tendo então acesso à interface do MES que lhe compete – tendo por consideração o seu centro de trabalho.

Um segundo requisito a implementar passa pela existência de pistolas com leitura de QR Codes em todas as áreas afetas de forma a validar as ações realizadas pelo operador em questão.

Por fim, deve existir igualmente, identificação física afeta a cada chapa/perfil através de uma etiqueta com as dimensões 50x70 mm como a da Figura 11, onde está presente um QR Code assim como algumas informações importantes a constar. Por exemplo, a referência do projeto, o PEP seguido da identificação da transformação (A1 – 1ª Transformação ou A2 – 2ª Transformação), o respetivo PF, assim como tipologia do perfil em questão, quantidade, lote e peso do mesmo, e, além disso os operadores anexos à transformação. Assim, será então possível ao sistema reconhecer as chapas/perfil validados pelo operador.

No que diz respeito aos pontos de montagem do sistema estes localizar-se-ão na fase final centro de transformação de chapa (CTC) onde acontece o corte de chapa, no centro de armação onde

se dá a montagem dos componentes e no centro de soldadura (CS). Nestes existem zonas de *picking* sincronizadas com uma aplicação interna onde, através do uso de um leitor QR Code, se efetua a leitura do QR Code presente nas etiquetas das peças simples e conjuntos. As etiquetas desenvolvidas assim como a informação necessária encontra-se referida na seguinte imagem.



Figura 11 - À esquerda etiqueta tipo gerada para semi-acabado (Peça simples), à direita etiqueta tipo gerada para acabado (Conjunto)

Através da leitura destas etiquetas, assim como da integração de um *software* MES, é realizado um levantamento de valores de telemetria que são enviados para o sistema ERP, onde a informação é visualizada com principal finalidade de auxílio à tomada de decisões estratégicas assim como a de permitir uma mais realista visão geral dos processos.

## **4. A INFORMAÇÃO TÉCNICA REQUERIDA PELA INSPEÇÃO VISUAL**

De forma a melhor contemplar o trabalho de pesquisa a ser exibido, tendo em conta a expressão de informação através dos modelos de dados já referenciados como é o caso do modelo RAMI4.0 e do padrão de interoperabilidade para troca de dados no espaço industrial OPC UA, a presente dissertação têm como principal objetivo melhor explicitar um modelo de interoperabilidade da informação relevante relacionando-a com os atuais sistemas de gestão empresarial existentes na empresa em questão, ERP, e no caso, em acréscimo à implementação de um sistema de recolha de dados em chão de fábrica, um sistema MES, assim como, devidamente apoiar a implementação de um robô de inspeção visual em chão de fabrica, de apoio à fase de montagem.

Assim, para explanar o descrito, foram utilizadas regras que tornassem tangíveis a obtenção de uma interface comum entre todos os intervenientes descritos. O caso prático apresentado, que apoia o redigido pelo autor, tem por base um contexto empresarial contando com a presença integra da Bysteel SA e das informações da mesma.

*À priori* da introdução do caso prático e seleção de um elemento genérico, é de extrema relevância melhor entender como é realizada a referência e rastreabilidade de peças simples assim como melhor entender o fluxo genérico de armazenamento e partilha de dados.

### **4.1 Referências e Rastreabilidade**

Concomitantemente com a resolução do problema subsequente em chão de fábrica, existem dois conceitos que se encontram intrinsecamente ligados e, portanto, tornam-se de importante exposição: referência e rastreabilidade.

No início da cadeia produtiva, de forma a corretamente identificar uma peça simples ou um conjunto assim como rastrear os mesmos ao longo do seu fluxo produtivo são criadas e atribuídas diferentes referências aos diferentes componentes. Assim, pode identificar-se um componente de forma individualizada e descrever o mesmo pormenorizadamente do ponto de vista técnico reconhecendo todas as variáveis técnicas adjacentes a este.

Ora, esta metodologia de codificação alfanumérica baseia-se, de forma bastante intuitiva, nos elementos e conjuntos que o compõe. Embora o sufixo numérico seja definido pelo Preparador, no Departamento de Preparação, e se reflita numa numeração com incremento crescente de uma unidade,

já o prefixo é definido através de uma lista de Instruções de Trabalho do Departamento De Preparação como se pode ver na seguinte figura.

NOME	PREFIXO PEÇA	PREFIXO CONJUNTO
ACESSÓRIO	Pr/C/TB	A
CALEIRA	X	CAL
CANTONEIRA	Pr	V
CHUMBADOUROS	C	CHUMB
CONECTOR	X	CN
CONTRAVENTAMENTO	TB	CV
ESCADAS	Pr/C/TB	E
GABARIT	C	GAB
LAJE COLABORANTE	X	LC
MADRE COBERTURA	SC	MC
MADRE DE PORTA	SP	MP
MADRE FACHADA	SF	MF
MADRE TRELIÇA	Pr/C/TB	MT
NEOPRENE	C	NEO
PILAR	Pr	P
PILAR DE CONSTRUÇÃO SOLDADA	C	PRS
RUFOS GALVANIZADOS	X	RG
RUFOS LACADOS	X	RL
RUFOS ZINCADOS	X	RZ
TIRANTE	Pr/C	TR
VARÃO ROSCADO	C	A
VIGA	Pr	V
VIGA CAIXÃO	Pr/C/TB	VC
VIGA DE CONSTRUÇÃO SOLDADA	C	VRS
VIGA MADRE	Pr	VM
VIGA PADIEIRA	Pr	VP
VIGA TRELIÇA	Pr/C	VT
GUARDA	Pr/C/TB	G

Figura 12 - Prefixos de codificação

Considerando esta informação sabe-se que o exemplo de um acessório que é uma chapa cujo número aleatoriamente atribuído é o 12, o código da mesma seria então C.12.

Não obstante, aquando da realização da codificação dos elementos é igualmente importante ter em consideração a rastreabilidade dos mesmos. Note-se que este é um dos aspetos mais relevantes uma vez que é possível ter mais do que uma peça simples com as mesmas características, obra, plano de fabrico e até em conjuntos idênticos. Com relevante atenção na questão da repetibilidade, e considerando a adoção ao sistema MES, a rastreabilidade de cada componente é então única uma vez que, aquando da fase da preparação, cada preparador assume um código único e não repetível, embora que semelhante considerando a tipologia de peça simples em causa.

## 4.2 Armazenamento e Partilha de Dados

Considerando que a interoperabilidade dentro da Bysteel, se constitui como conceito central da realização de todo este projeto, é de conveniente importância dedicar especial atenção à compreensão da mesma considerando o fluxo de informação presente, melhor identificando até a distinção entre armazenamento e partilha de informação realizada,

Uma correta análise de armazenamento e partilha da informação, nomeadamente a mais relevante tendo em conta o elemento genérico em consideração, influencia diretamente a eficácia dos trabalhos tornando-se uma mais-valia uma vez que permite que esta seja identificada e armazenada de forma simples e pragmática tendo em conta os dados em questão.

Posto isto, quando considerado um elemento genérico assim como as suas variáveis adjacentes, deve começar-se por explicitar que, na Bysteel, o armazenamento de todos os dados é feito, de forma maioritária, de recurso à rede interna de partilha do Grupo DST, cujo nome é DSTnas. Aqui, encontram-se variadas pastas organizadas e subdivididas tendo em conta não só as empresas pertencentes ao grupo como também os dados dos departamentos de cada uma destas empresas, seccionando o acesso consoante a permissão mais relevante.

No que diz respeito à partilha de informação, considerando que esta pode ser realizada das mais diversas maneiras tendo em consideração os meios de quem transmite e quem recebe estes dados. A informação é então emitida considerando as plataformas de comunicação mais representativas como o caso do email, telefone, através de ferramentas como o Microsoft Teams e através de plataformas de partilha documental específicas que deem resposta as necessidades pretendidas.

Para posterior análise de um elemento genérico, consideram-se para propósito do estudo fases fulcrais na obtenção dos dados necessários ao controlo dimensional do corte de chapa, sendo estes a fase remetente à receção da matéria-prima referida como Fase 1 – Armazém de Receção, a Fase 2 – Departamento de Projeto, a Fase 3 – Departamento de Preparação e a Fase 4 – Departamento de Produção Industrial. Note-se que o culminar desta informação, ou seja a criação de várias instanciações, é posteriormente comparada com os dados obtidos em chão de fábrica pela medição efetuada pelo robô ou pelo Homem, resultando na aceitação ou rejeição da peça simples em questão. Adicionalmente, saiba-se que, uma vez que foco da seguinte dissertação passa pela sistematização de informação técnica relevante ao corte de chapa e, uma vez que a caracterização da totalidade de variáveis se tornaria um

trabalho moroso e exaustivo, são apenas referenciadas informações cuja finalidade permita a comparação exaustiva das variáveis comprimento e largura.

#### 4.2.1 Armazém de Receção

Começando a análise pela origem do fluxo informacional, torna-se de razoável compreensão iniciar a abordagem de dados pelo armazém de receção uma vez que é neste que a introdução de dados origina.

Após uma fase inicial de requisição de pedidos de matéria-prima e após aferir que esta se encontra conforme com a normativa EN1090 e consequente legislação em vigor, é necessário, associar a chapa, recebida em folha, a um número de Guia de Remessa que, mais tarde será associada a uma obra em questão assim como referentes chapas da mesma resultantes. Para tal, o modelo de criação do número do Guia de Remessa compreende um código do material e fornecedor, a qualidade do mesmo seguido da espessura da chapa em folha sendo representada pela variável **<Chapa\_Origem>** a ser armazenado em **SAP** e posteriormente associado à pasta na rede referente à obra do tipo **DSTnas>Bysteel>18.Obras> “<Obra>” – “Nome da Obra”**.

Ora, considerando as informações relevantes associadas à chapa, posteriormente necessárias para o fabrico das peças simples com origem nesta é importante definir dados como as dimensões de atravancamento da chapa de origem, sendo estas armazenadas em **SAP** como **<C\_origem>** e **<L\_origem>**.

Em sinergia com o projeto inicial de obra, realizado pelo departamento seguinte, o Departamento de Projeto, a chapa em questão já terá uma obra atribuída estando localizada numa pasta de ficheiros na rede em **DSTnas>Bysteel>18.Obras> “<Obra>” – “Nome da Obra”**.

#### 4.2.2 Departamento de Projeto

Considerando o Departamento de Projeto, a lógica de armazenamento de informação é feita consoante as diferentes obras, ou seja, aquando da fase de projeto, de forma a corretamente armazenar toda a informação recebida e criada considerando a sua natureza informacional.

No caso, considere-se que é no referente departamento que nasce o número de obra cuja origem alfanumérica se baseia no prefixo “BY” referente à abreviatura da empresa Bysteel e o sufixo é referente ao código da obra de 4 algarismos atribuído de forma crescente, adicionalmente é referido um nome adjudicado à obra e a algo que a caracterize nascendo uma variável do tipo **<Obra> – “Nome da**

**Obra**". Assim, com o decorrer dos trabalhos, dentro do servidor geral, em **DSTnas**, selecionando-se a pasta afeta à empresa, a "Bysteel", encontrar-se-ia a pasta "18. Obras" e dentro da pasta da obra, que contem a pasta "05. Projeto" afeta às informações deste departamento considerando dados relevantes ao longo do fluxo informacional. A sua localização seria em **DSTnas > Bysteel > 18. Obras > "<Obra>" – "Nome da Obra"**

Desconsiderando outras variáveis igualmente importantes, e percebendo que, adjudicado os atributos **<C>** e **<L>** está associada a condicionante tolerância, é importante referir que é também neste departamento que se dá a origem da variável **<EXC>** referente à classe normativa que se estabelece de acordo com os mais diversos requisitos de obra, sendo estes referentes à segurança, construção e análise da mesma, a Classe de Execução. Note-se que existem 4 classes distintas de execução (1,2,3 ou 4), cujo toleranciamento varia em função destas e da gama de dimensões em causa. Resulta de uma adaptação da ISO 13920 e a sua informação será transmitida ao Departamento de Preparação onde será armazenada. A sua localização encontra-se no DCE – *Dossier Consultation Enterprise* – nas Peças Escritas mais especificamente no Livro de Classes Técnicas Particulares (**DSTnas > Bysteel > "<Obra>" > "Nome da Obra" > DCE > Peças Escritas > Livro de Cláusulas Técnicas Particulares**).

No que se refere à forma como é feita a partilha de informação deste departamento com os restantes, este alberga, como já mencionado, todos os documentos na rede e também em plataformas digitais comuns como o Outlook Mail e Microsoft Teams. Esporadicamente e dependendo da dimensão da obra e do cliente, a partilha documental entre a empresa e o cliente pode ser feita através de plataformas de partilha de documentos pré-acordadas por ambos os intervenientes de forma a contemplar todas as necessidades intrínsecas à obra.

#### 4.2.3 Departamento de Preparação

O Departamento de Preparação tem como principal objetivo, através das informações provenientes do Departamento de Projeto, consolidar as mesmas preparando a informação relevante a ser cedida do Departamento de Produção Industrial para posterior fabrico e montagem dos componentes.

De forma gradual, consoante uma ordem de prioridades previamente elaborada, fornece então os dados relevantes ao departamento seguinte. Ora, definidas as zonas de obra prioritárias e o planeamento idealizado entre a Bysteel e o cliente, é então formalizada uma ordem de trabalhos que permite a existência de uma lógica concreta de fabrico e montagem. Através desta formalização de ordem

de trabalhos e conseqüente divisão são criados diferentes Planos de Fabrico, cuja variável representativa é **<PF>**, associados às diferentes zonas da obra (**DSTnas > Bysteel > tekla > “<Obra>” > “Nome da Obra” > Listas > “<PF>”).**

Assim, aquando da realização dos diversos trabalhos afetos a cada obra, os mesmos são armazenados, novamente na rede DSTnas, na pasta à mesma destinada em “tekla” referente ao nome do *software* que dá origem aos desenhos técnicos necessários (**DSTnas > Bysteel > tekla > “<Obra>” > “Nome da Obra” > Listas > “<PF>” > NC’s**).

Inserido na pasta “tekla” encontram-se duas pastas relevantes para o desenvolver da obra “Desenhos de Projeto” e “Listas”. Em “Desenhos de Projeto” existe acesso aos desenhos de projeto base, formulados pelo departamento de projeto para auxílio à criação da estrutura e dos seus componentes e em “Listas” pode encontrar-se a maioria de informação relevante intrínseca ao departamento onde se encontram alojados os distintos Planos de Fabrico. Dentro de cada Plano de Fabrico, encontram-se 3 pastas distintas bastantes úteis nos dados informacionais a passar ao seguinte departamento uma vez que incluem os “Desenhos de Fabrico”, compreendendo os desenhos técnicos simples e de conjuntos de todos os componentes em causa, “Listas de Elementos” que incluem as listagens de fabrico e a “NC’s” que traduzem as peças simples em formato NC tornando-se úteis no Departamento de Produção Industrial aquando do fabrico.

Na localização **DSTnas > Bysteel > tekla > “<Obra>” > “Nome da Obra” > Listas > “<PF>” > NC’s** abordando-o através de um formato .txt é possível identificar os atributos **<Obra>**, **<PF>**, **<Ref>**, **<C>** e **<L>** da mesma.

Na figura seguinte, Figura 13, pode ver-se uma versão do ficheiro NC em formato .txt, onde, identificadas a vermelho, se podem ver as linhas correspondentes aos atributos mencionados.

Além destes, é também possível retomar mais informação acerca da peça simples como a qualidade do aço, a quantidade de peças simples da referência em questão, a tipologia de perfil e o seu código, a altura, a espessura, o raio, o peso por metro [kg/m] e a área pintada.

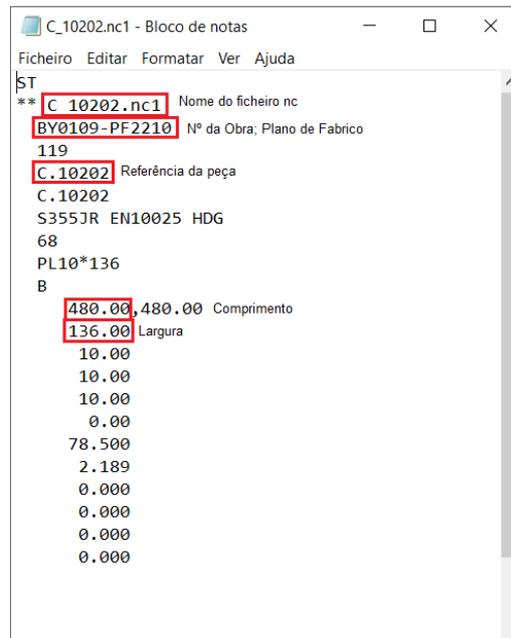


Figura 13 - Ficheiro NC em explicado em formato .txt

No que diz respeito à partilha de informação, esta é feita considerando o destino da documentação de forma a transmitir a mesma da forma mais simplificada possível. Novamente, a informação é transmitida pelos meios de cariz típico de correspondência como o caso do email, Microsoft Teams e em formato físico em papel.

#### 4.2.4 Departamento de Produção Industrial

O Departamento de Produção Industrial, considerado para análise como o último a considerar, é responsável pelo planeamento, acompanhamento e gestão de fabrico de peças simples e conjuntos considerando a totalidade das obras. Assim, define as operações a efetuar assim como estipula a ordem de prioridade das mesmas. Para tal, utiliza a informação advinda do Departamento de Preparação de forma a corretamente gerir o fabrico. Adicionalmente, indexa a sua própria informação à anterior.

Como já anteriormente referido, este departamento cuja sinergia com o chão de fábrica é constante, divide-se logicamente em duas transformações:

- 1ª Transformação: Onde se englobam as operações de início de fabrico, ou seja, que visam a transformação de matéria-prima, através de operações como o corte e furação, em peças simples. Podendo estas operações serem realizadas no Centro de

Transformação e Chapa ou no Centro de Transformação de Perfis. Para efeitos de estudo, a informação gerada no CTP foi descartada.

- 2ª Transformação: Onde se contemplam operações cuja finalidade é a montagem e união definitiva de conjuntos. Estas são realizadas nos Centros de Armação e Soldadura. Para efeitos de estudo, a informação gerada no Centro de Soldadura é descartada.

Transversal a todo o processo de fabrico, contempla-se o controlo de qualidade gerido também através da sinergia de informações advindas do departamento e recolhidas do chão de fábrica.

Assim, no que diz respeito à 1ª Transformação, especificamente no corte de chapa através da informação remetida do Departamento de Preparação, no caso, os ficheiros NC's para realizar as rotinas de corte, torna-se importante, de forma a promover uma correta otimização da chapa de origem, conhecer as dimensões de atravancamento da chapa de origem para que estas possam ser corretamente associadas ao *software* de otimização, o *Lantek*. Estas são conhecidas de auxílio à Guia de Remessa (**<Chapa\_Origem>**) emitida pela Armazém de Receção, alocado no *software* **SAP** de onde são retiradas as dimensões de comprimento e largura da chapa a ser usada.

Já na 2ª Transformação, depois da obtenção das peças simples, o setor de qualidade é então responsável por efetuar, antes da montagem, a medição das mesmas. Este controlo de qualidade não é realizado à totalidade das peças simples uma vez que seria impossível, no entanto, no Departamento, o responsável pela qualidade seleciona as peças cujo controlo dimensional é mais relevante e precede à inserção da referência das peças a controlar num *software* interno de qualidade o **PCQ**. Esta medição é realizada em chão de fábrica por um operador sendo gerada informação de controlo.

Concomitantemente com a classe de execução (**<EXC>**) definida no Departamento de Preparação (EXC1, EXC2, EXC3, EXC4), e considerando o documento PDF **PMM02 – Corte** adaptada da ISO 13920, são averiguadas as tolerâncias máximas e mínimas para as dimensões comprimento e largura.

**TABELA 1 - Tabela de Tolerância para comprimento (C) e largura (L)**

Classe de tolerância	Gama de comprimentos (C) ou larguras (L) em mm										
	2 a 30	31 a 120	121 a 400	401 a 1.000	1.001 a 2.000	2.001 a 4.000	4.001 a 8.000	8.001 a 12.000	12.001 a 16.000	16.001 a 20.000	acima de 20.000
	Tolerância (X) em mm										
<b>A – EXC4</b>	+/- 1	+/- 1	+/- 1	+/- 2	+/- 3	+/- 4	+/- 5	+/- 6	+/- 7	+/- 8	+/- 9
<b>B – EXC3</b>		+/- 2	+/- 2	+/- 3	+/- 4	+/- 6	+/- 8	+/- 10	+/- 12	+/- 14	+/- 16
<b>C – EXC2</b>		+/- 3	+/- 4	+/- 6	+/- 8	+/- 11	+/- 14	+/- 18	+/- 21	+/- 24	+/- 27
<b>D – EXC1</b>		+/- 4	+/- 7	+/- 9	+/- 12	+/- 16	+/- 21	+/- 27	+/- 32	+/- 36	+/- 40

Figura 14 - Tabela de Tolerâncias para comprimento e largura

Estas são guardadas sob a forma de **<hmaxC>**, **<hminC>**, **<hmaxL>** e **<hminL>** referentes às tolerâncias máximas e mínimas do anexas às variáveis comprimento e largura, respetivamente.

Considerando e comparando as informações de controlo advindas do Departamento de Preparação e as de génese em chão de fábrica, é então averiguando se as dimensões se encontram conformes ou não remetendo esta informação no *software* **PCQ**.

Adicionalmente, foi elaborado um fluxograma base de mapeamento dos atributos a considerar, explicito na Figura 15.

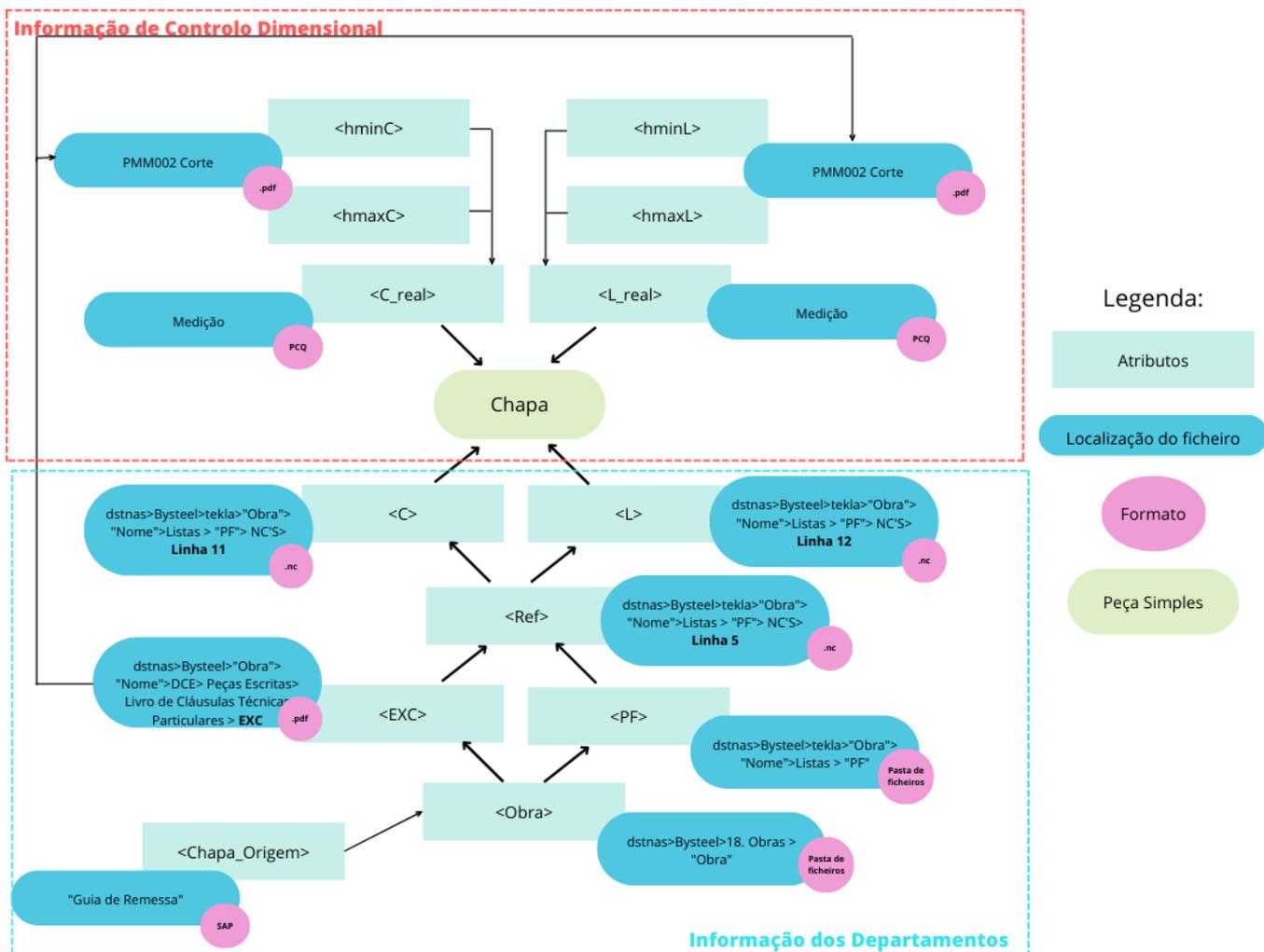


Figura 15 - Mapeamento de Atributos

### 4.3 Seleção de um Elemento Genérico

Para melhor acompanhar a informação relevante a explicar tendo em consideração os padrões a exigir e assim corretamente aferir a sistematização da informação técnica foi então selecionado um elemento genérico que irá corresponder ao principal elemento do estudo realizado.

Sabendo que, o principal objetivo que leva à implementação de um robô de inspeção visual em chão de fábrica se prende na necessidade de melhor assegurar a qualidade da totalidade ou quase totalidade das chapas remetentes às diferentes obras assim como não só melhor assegurar a rastreabilidade das mesmas e melhor redirecionar a mão de obra humana aumentando a produtividades dos centros, é de extrema importância selecionar, no caso, um elemento simples, diga-se, uma chapa, suficientemente representativa para o estudo e, simultaneamente, possível e útil de analisar.

Releve-se a necessidade industrial referente à migração do controlo de qualidade estatístico em chão de fábrica para um controlo de qualidade de grande volume. Assim, serão rastreados atributos como o comprimento **<C>**, largura **<L>** e respetivas tolerâncias de uma chapa. No entanto, reconhecendo que a informação se encontra interligada entre si, de forma a perseguir a informação técnica referente aos atributos dimensionais é igualmente importante rastrear atributos como a **<Chapa\_Origem>** referente à origem da peça simples, **<C\_origem>** e **<L\_origem>** alusivo às dimensões da mesma, **<Obra>** é o atributo que qualifica o N° de Obra em questão, o **<PF>** do plano de fabrico onde se encontra enquadrada a chapa e a **<Ref>** remetente à referência da chapa.

#### 4.3.1 Seleção de Obra-tipo

Atendendo à vasta quantidade e variedade de obras que poderiam ser escolhidas, tendo em conta dados disponibilizados foi feita a seleção de uma do ano antecedente.

Assim, a obra do qual se escolheu o elemento genérico foi o Centro de Operação e Manutenção das linhas 16 e 17 do *Grand Paris Express*, localizado em Aulnay, França, numa antiga fábrica da *PSA Peugeot Citroen*.

Este centro consiste num posto de comando centralizado que coordena e regula a circulação dos comboios das linhas 16 e 17 sendo, adicionalmente, um local de manutenção e armazenamento de comboios e equipamentos.



*Figura 16 - Centro de Operação e Manutenção do Grand Paris Express em Aulnay*

#### 4.3.2 Peça Simples

Novamente, considerando a vasta quantidade de peças simples possíveis de escolher, considerando a dimensão da obra em questão, a seleção da mesma foi completamente aleatória, de forma a provar que a sistematização de informação de qualquer chapa é plausível quando considerando o planeamento aqui elaborado.

Assim, a peça simples selecionada foi a chapa **C.10202**, representada abaixo, na Figura 17.

Remetente do Departamento de Preparação, surge o Desenho de Corte e Furação. Como evidenciado no nome deste documento, o desenho técnico neste fornecido é utilizado para explicar a peça simples em questão e, simultaneamente, evidenciar os procedimentos de manufatura a aplicar no mesmo, considerando uma configuração própria à função que desempenha.

No documento em específico remetente à representação individual da chapa **C.10202**, verifica-se, após análise, que a informação neste contida é afetiva ao próprio fabrico contemplando a informação advinda do Departamento de Preparação identificando e definindo a chapa e as variáveis da mesma, realizado através do desenho 2D, contemplando adicionalmente a rastreabilidade futura da mesma considerando os conjuntos da qual a tipologia de chapa em questão fará parte, indicado por uma tabela localizada no canto superior direito do desenho técnico. De forma a suplementar a esta informação são

igualmente definidos os domínios de registo de resultados de ações ainda a desempenhar transcritos numa tabela. O Desenho de Corte e Furação em questão encontra-se representado no Anexo 1 – Desenho Técnico da Peça Simples C.10202

Relativamente ao tipo de informação recolhida através da análise deste e, começando pela representação 2D.

Cotas Dimensionais:

**Comprimento [mm]:480**

**Largura[mm]:136**

Espessura[mm]:12

ID do Elemento: C.10202

Com a observação da legenda, é possível identificar mais variáveis, como:

Obra: Aulnay

**Nº de Obra: BY0109:PF2210**

Perfil: PL10\*136

Material: S355JR EN10025

**Classe de Execução: EXC 2**

**Marca da Peça: C.10202**

Referência do Conjunto que integra: P.150

Designação: W (C.10202)

Desenhado por: Equipa\_A

Verificado por:

Aprovado por:

Revisão:0

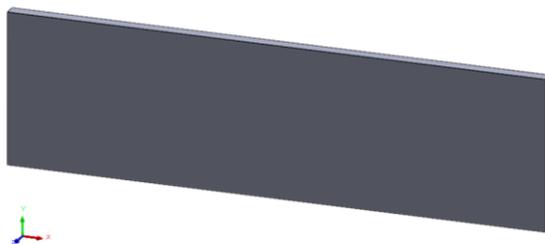


Figura 17 - Modelo Tridimensional do Elemento Genérico

#### 4.3.3 Sistematização da informação técnica

Para sistematizar a informação técnica necessária e caracterizar o elemento genérico em questão, elaborou-se como objeto de estudo central desta dissertação um ficheiro *excel*/com interligação dos atributos em causa, criado com o intuito de demonstrar o fluxo de informação a ser utilizado pelo sistema de controlo dimensional a implementar, salientando que a origem destes é subjacente ao atual *modus operandi* da empresa. Junto deste foi adicionalmente formulado um fluxograma baseado no atual modo de funcionamento da empresa em 3.2, onde são prosseguidas as variáveis.

Considerando a informação presente no subcapítulo 4.2, divide-se de forma lógica a organização da informação em quatro distintas secções remetentes ao Armazém de Receção, Departamento de Projeto, Departamento de Preparação e Departamento de Produção Industrial.

No Armazém de Receção, após requisição do material necessário para a obra, é emitida uma Guia de Remessa (<**Chapa\_Origem**>) com, no caso do elemento genérico, o número **CPJ0005S355J212**, onde se dá o início da rastreabilidade da chapa escolhida estando esta armazenada em SAP e na rede interna da DST.

Associada a esta chapa em folha e, igualmente, à Guia de Remessa em questão, encontram-se as dimensões de atravancamento da mesma que mais tarde serão úteis aquando da otimização desta chapa no *Lantek*. As dimensões em questão são referentes ao <**C\_origem**> e <**L\_origem**> sendo **12000,0** e **2500,0** mm, respetivamente. Considerando o elemento genérico e a chapa, estas informações devem estar associadas a um número de obra (<**Obra**>), no caso, **BY0109**, armazenado igualmente na rede interna, como pode ver-se na Figura 18.

Variáveis	Etapa 1_ Armazém de Receção	Formato ficheiro	tipologia	fluxo de informação	Pasta na rede
<Chapa_Origem>	CPJ0005S355J212	Guia de Remessa SAP	SAP	SAP	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<C_origem>	12000,00	Guia de Remessa SAP	SAP	SAP	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<L_origem>	2500,00	Guia de Remessa SAP	SAP	SAP	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<Obra>	BY0109				DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109

Figura 18 - Variáveis em Excel do Armazém de Receção

De seguida, no Departamento de Projeto, considerando os dados recolhidos com o cliente em questão, são emitidas as Peças Escritas que são os primeiros esboços da obra sendo seguidamente

elaborado o Livro de Cláusulas Técnicas Particulares onde se clarificam as Classes de Execução da obra. Saiba-se que a Classe de Execução (**<EXC>**) vai determinar a tolerância à qual a peça simples está sujeita e por isso, esta variável torna-se importante aquando da posterior análise de controlo de qualidade a desempenhar pelo robô. A Classe de Execução, explicita na Figura 19, é 2.

Variáveis	Etapa _ dep Projeto	Ficheiro	tipologia	fluxo de informação	Pasta na rede
<Obra>	BY0109	na rede	.pdf	DTSnas	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<EXC>	2	Peça C.10202	.pdf	Classe de Execução	DSTnas>Bysteel>18.Obras>BY0109>DCE > Peças escritas > Livro de Cláusulas técnicas particulares

Figura 19 - Variáveis Excel do Departamento de Projeto

Segue-se o Departamento de Preparação, fulcral para retirar os atributos chave, neste pode ver-se o Plano de Fabrico (**<PF>**) onde o elemento genérico se encontra, este é o **PF2210**.

A partir dos ficheiros NC gerados pode identificar-se, em formato .txt, na linha 3 o n° da obra (**BY0109**). Seguidamente, nestes mesmos ficheiros pode ver-se na linha 5 a referência da chapa em questão **C.10202**, na linha 11 o comprimento da chapa **480,0 mm** e, na linha 12, a largura de **136,0 mm**. Estes atributos encontram-se mencionados, abaixo, na Figura 20.

Variáveis	Etapa 2 _ dep Preparação	Formato do Ficheiro	Tipologia	Fluxo de Informação	Pasta na rede
<Obra>	BY0109	C.10202.nc	.nc	linha 3	DSTnas>Bysteel>tekla>BY0109>AULNAY>Listas > PF2210> NC'S
<PF>	PF2200	Pasta de ficheiros	<b>Pasta de ficheiros</b>	DSTnas	DSTnas>Bysteel>tekla>BY0109>AULNAY>Listas > PF2210
<Ref>	C.10202	C.10202.nc	.nc	linha 5	DSTnas>Bysteel>tekla>BY0109>AULNAY>Listas > PF2210> NC'S
<C>	480,00	C.10202.nc	.nc	linha 11	DSTnas>Bysteel>tekla>BY0109>AULNAY>Listas > PF2210> NC'S
<L>	136,00	C.10202.nc	.nc	linha 12	DSTnas>Bysteel>tekla>BY0109>AULNAY>Listas > PF2210> NC'S

Figura 20 - Variáveis Excel Departamento de Preparação

A partir das variáveis mencionadas assim como das respectivas linhas no ficheiro é possível extrair dados das mesmas para posteriormente serem utilizados no controlo de qualidade

Por fim, no Departamento de Produção Industrial, é necessário voltar a identificar as variáveis comprimento e largura da chapa de origem de forma a proceder a habilitar uma melhor otimização do ficheiro de *nesting*.

Antes de abordar as próximas variáveis e para efeitos de contextualização do leitor, saiba-se que atualmente o controlo de qualidade é realizado por um operador, no entanto, a concretização deste trabalho e sistematização da informação técnica propõe-se de auxílio a um robô de controlo dimensional que, considerando um determinado intervalo de dimensões, um escopo de funcionamento, será operacional, fazendo com que as peças simples que estejam fora destas limitações, fora do escopo de funcionamento, tenham de ser manipuladas pelo operador retomando o processo convencional de medição, as limitações deste robô de controlo dimensional encontram-se no Anexo 2 – Limitações do robô Zeman – Laser Scanning and Sorting

Assim, aqui são abordados novos *inputs* de comprimento e largura, **481,0** e **135,0** mm respetivamente, advindos do chão de fábrica, tendo sido recolhidos pelo operador e introduzidos no *software* de qualidade, o PCQ, onde se encontram armazenados. Aliado a esta variável, na coluna de fluxo de informação, pode ver-se a diferença entre as dimensões teóricas, recolhidas do BIM, e as dimensões reais, recolhidas pelo operador/robô. – a indicação a verde indica a conformidade das mesmas considerando o intervalo de tolerâncias em questão.

Variáveis	Etapa 3 - Dep. Produção Industrial - atributo	Formato do Ficheiro	tipologia	Fluxo de Informação	Pasta na rede
<C_origem>	12000,00	PDF	SAP	SAP	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<L_origem>	2500,00	PDF	SAP	SAP	DSTnas > Bysteel > 18. Obras > BY0109
<C>	481,00	medição	Recolhido pelo operador	-1,00	
<L>	135	medição	Recolhido pelo operador	1,00	
<EXC>	PDF PMM02-Corte	PMM02-Corte	.pdf	chão de fábrica - PCQ - Departamento de Produção Industrial	software PCQ
<hmaxC>	6	PMM02-Corte	.pdf	chão de fábrica - PCQ - Departamento de Produção Industrial	software PCQ
<hminC>	-6	PMM02-Corte	.pdf	chão de fábrica - PCQ - Departamento de Produção Industrial	software PCQ
<hmaxL>	4	PMM02-Corte	.pdf	chão de fábrica - PCQ - Departamento de Produção Industrial	software PCQ
<hminL>	-4	PMM02-Corte	.pdf	chão de fábrica - PCQ - Departamento de Produção Industrial	software PCQ

Figura 21 - Variáveis Excel Departamento de Produção Industrial

No que diz respeito às tolerâncias no qual os dados anteriormente descritos tem de estar relacionados, diga-se, **<hmaxC>**, **<hminC>**, **<haxL>** e **<hminL>** sendo estas determinadas tendo em conta o **PMM02 Corte**, um ficheiro PDF, podendo, consoante os intervalos de dimensões adjudicar diferentes tolerâncias. Os valores máximos e mínimos a cumprir encontram-se mencionados na figura acima, Figura 21.

Não obstante, foi igualmente elaborado um fluxograma da sistematização das variáveis, presente na Figura 22.

Sistematização de informação técnica de um sistema MES de apoio à montagem robotizada de componentes mecânicos

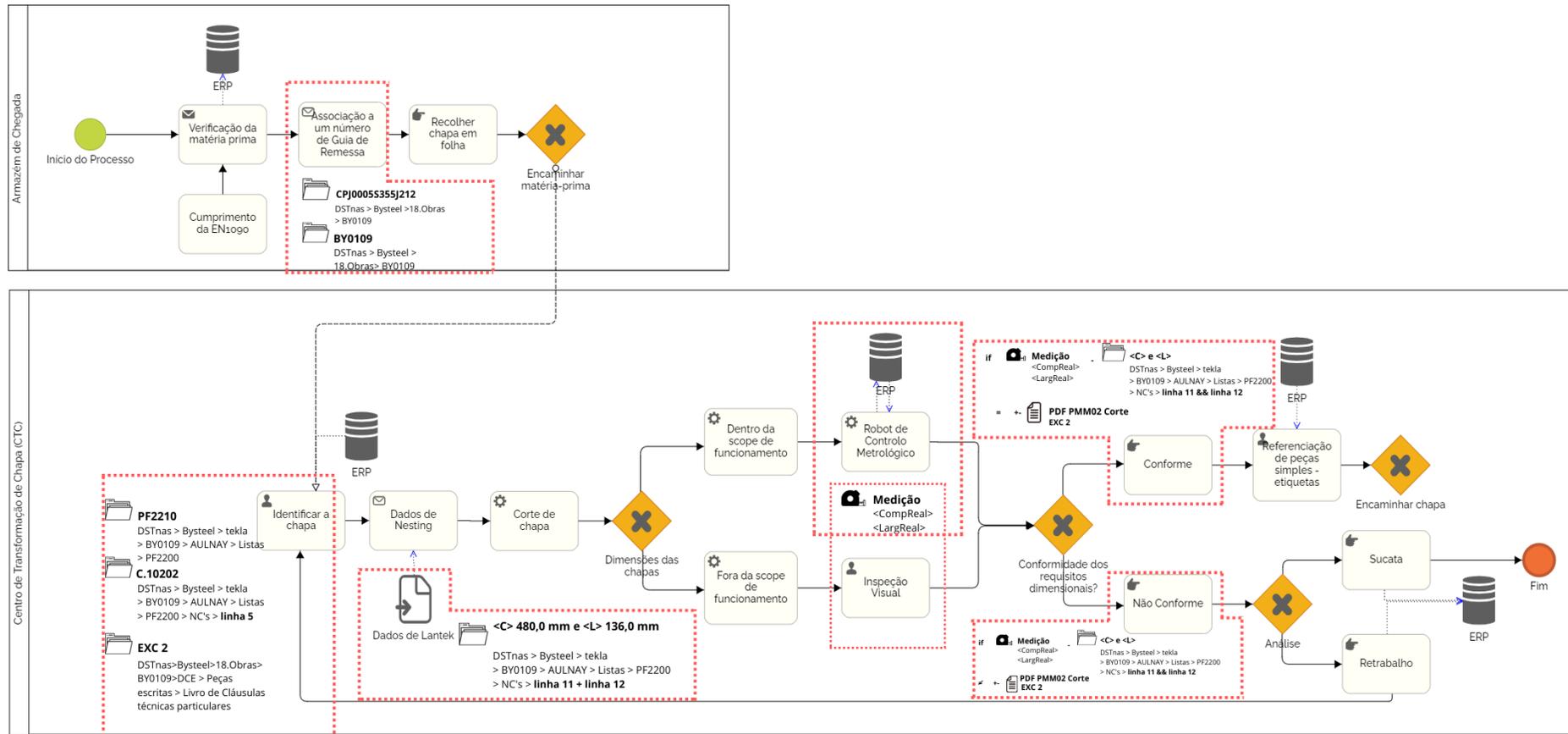


Figura 22 - Fluxograma reduzido de sistematização de variáveis técnicas

## 5. METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE DADOS

A metodologia génese para a estrutura aqui proposta, expressa um modelo de informação baseado no modelo RAMI 4.0 mais especificamente na camada de Comunicação com o objetivo de assegurar o controlo de qualidade num ambiente *IoT*. Esta foi elaborada considerando os principais requisitos e conceitos fundamentais associados ao projeto.

De forma a comprovar a estrutura proposta é feito, por fim, o paralelismo com uma arquitetura de sistema operacional, a ZDMP.

### 5.1 Requisitos Funcionais

Considerando o controlo de qualidade uma das partes mais crucias de um componente e, inerentemente de um projeto e da sua performance global, passa por um processo de controlo de qualidade rigoroso e bem definido que se torne chave para evitar erros críticos que possam vir a prejudicar o projeto em análise.

Embora exista nos últimos anos um esforço por parte da Indústria de criar instrumentos de medição automatizados, os dados resultantes não são muitas das vezes conectados com a restante informação tornando o sistema menos eficiente. Assim, a conseqüente necessidade de tornar a informação qualitativa interoperável com outros sistemas dentro de fábrica como é o caso dos sistemas MES e ERP ou mesmo dos softwares de modelagem 3D faz com que se tenha gradualmente caminhado na direção da comunicação bidirecional.

Posto isto, o principal objetivo da estrutura proposta passa por tentar melhorar a interoperabilidade entre a informação remetida de chão de fábrica, através do uso de um robô de controlo dimensional e o *software* BIM, no caso específico, o *Tekla Structures* promovendo a comparação de dados expedidos entre os dois.

Assim, algumas considerações fundamentais aquando da idealização da mesma passam por:

- Adotar uma interface par com a linguagem IFC uma vez que já é largamente aceite na comunidade, assim como cobre a maioria dos domínios do setor [29];
- Garantir o uso de *softwares open source*;
- Avalizar uma infraestrutura de intercomunicação entre o mundo físico e digital;
- Garantir controlo de qualidade dos atributos definidos, a extrair do BIM

## 5.2 Conceitos Fundamentais

Entendendo que o controlo de qualidade se inclui numa vasta lista de atividade que contemplam a atividade industrial torna-se relevante mencionar alguns dos conceitos fundamentais a reter aquando da criação da estrutura em questão.

Alguns dos conceitos fundamentais a considerar na esquematização passam pela **criação de uma lista de atributos a inspecionar** no componente em questão. Ora, este processo passa pela extração das características mencionadas a partir do modelo BIM considerando que os dados em questão devem seguir o standard IFC encontrando-se, portanto, neste formato.[30] Adicionalmente, deve considera-se também o **instrumento de medição** a utilizar, no caso, partirá através da inspeção realizada por um robô de controlo dimensional, ou de Laser 3D, capaz de mapear e processar as imagens obtidas criando uma nuvem de pontos do componente a inspecionar. De forma a garantir a acuidade da medição é igualmente importante seguir um **plano de medição** criado com base nas tolerâncias do projeto, no caso, considerando a ISO 13920. Por fim, os **resultados de medição** que devem ser adquiridos, comparados e armazenados de forma a posteriormente gerar cartas de controlo de qualidade.

## 5.3 Esquematização da estrutura proposta

Como anteriormente referido, a necessidade de avaliar a totalidade de variáveis técnicas associadas à construção de estruturas metálicas torna-se um importante passo naquilo que é o conceito de qualidade na construção civil, além disso existem múltiplos formatos de ficheiros no qual os atributos necessários a serem avaliados se podem encontrar. Posto isto, de forma a harmonizar a informação em estudo mais relevante, a mesma pode ser feita através do uso do formato IFC, como suportado no subcapítulo 2.7.1.

De forma a tornar mais explícito o caso de estudo foi esquematizado a seguinte estrutura de proposta de resolução, representado na Figura 23.

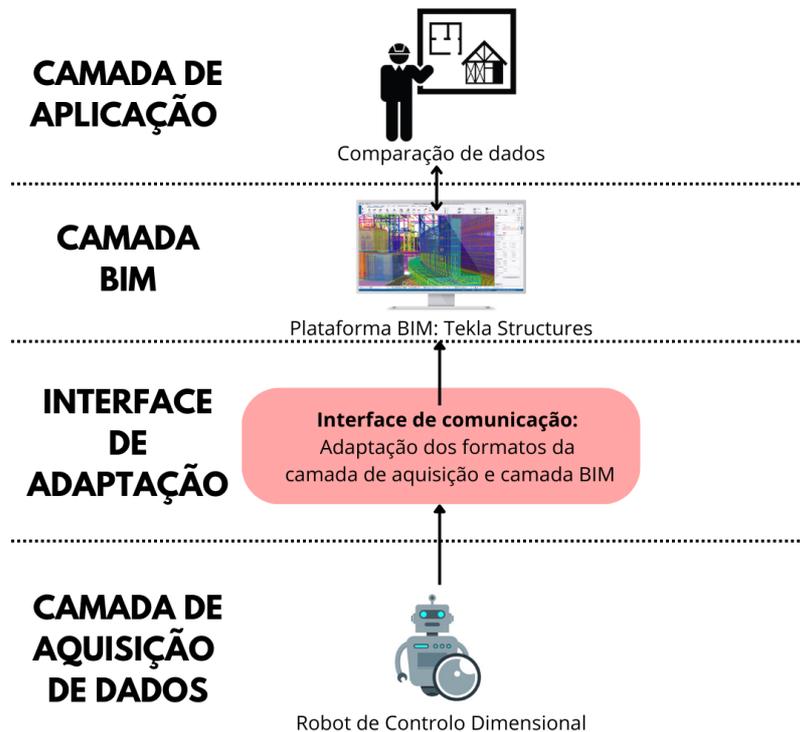


Figura 23 - Estrutura proposta pelo autor

Sucintamente, de forma a explicar o mesmo, explique-se a figura exibida de baixo para cima, uma vez que é a partir desta que entendemos como referenciar e perseguir os atributos mais importantes.

Inicialmente, os dados precisam de ser adquiridos (**Camada de Aquisição de Dados**), no caso, esta aquisição é feita através de um robô de controlo dimensional, responsável, através de uma câmara adquirir imagens e mapear a correspondente nuvem de pontos a ser processada.

Seguidamente, na camada imediata (**Interface de Adaptação**), dá-se a harmonização dos dados recolhidos de forma a homogeneizar o formato destes e tornar o sistema interoperável. Uma vez que um dos grandes desafios é efetivamente conectar os diferentes instrumentos metrológicos com BIM devido aos múltiplos formatos a serem combinados com o standard IFC, deve abordar-se o problema usando sistemas *open source* que possam processar e editar dados brutos produzidos através da digitalização 3D, como é exemplo o *MeshLab*. Os dados remetidos deste *software* são armazenados em formato. ply próprio para armazenar dados tridimensionais.

Na terceira camada (**Camada BIM**), é onde o repositório de informação se encontra. Assim, a partir deste e dos referentes modelos BIM é possível retirar a informação necessária a ser posteriormente comparada. É nesta camada que se encontram todos os dados relevantes do projeto como a sua

referência, a rastreabilidade da matéria prima utilizada, a classe de execução necessária entre outros. Torna-se importante que a informação aqui explícita possa ser explana no formato IFC.

Por fim, encontra-se a camada do topo (**Camada de Aplicação**), onde existe fusão de toda a informação, seja a retirada diretamente do BIM, seja a retirada de chão de fábrica armazenando em formato *ply* e posteriormente convertida para *.ifc* permitindo uma linguagem comum. Assim, dá-se a comparação dos dados de forma a poder aceitar ou não conformidade numa determinada peça simples (OK ou NOK)

#### 5.4 Validação da estrutura de recurso à arquitetura ZDMP

De forma a validar a estrutura anteriormente proposta, recorreu-se à realização de um paralelismo da mesma com a arquitetura genérico da plataforma ZDMP.

O ZDMP tem como principal objetivo proporcionar uma plataforma de apoio à Indústria focado no conceito de interoperabilidade, promovendo a interligação de todos os dados e serviços nestas existentes de forma a atingir os zero defeitos. A sua finalidade passa por garantir a qualidade dos processos e dos produtos resultantes dos fluxos de trabalho.

Assim, considerando a proximidade deste projeto de investigação com a Universidade do Minho, especificamente com o MEtRICs, assim como a efetiva validação do mesmo em diferentes domínios da manufatura, incluindo o domínio da construção, que é o domínio retratado ao longo desta dissertação, torna-se premissa de validação encontrar afinidades entre ambas as arquiteturas. Para tal, foi elaborado o seguinte esquema, da Figura 24 cuja correspondência de cores é feita avalizando as analogias proeminentes.

Assim, pode ver-se que a **Camada de Aquisição de Dados** pode ser comparada com a **Data Acquisition** localizada na *Edge Tier*, que diz respeito à implementação de uma arquitetura que lida com os dados dos sensores e sistemas físicos *IoT* interagindo com as diferentes bases de dados uma vez que é nesta que o robô (sistema físico *IoT*) adquire e mapeia a nuvem de pontos do componente em análise.

A **Interface de Adaptação** pode ser comparada à **Data Harmonization** localizada na *Platform Tier*, onde existe acesso aos dados em bruto possibilitando a integração e *normalização* dos mesmos nos formatos pretendidos que embora, atualmente, não permita homogeneizar os formatos pretendidos não deixa de ser um serviço genérico de harmonização de dados. Na interface de adaptação

a homogeneização de dados diz respeito à conversão da nuvem de pontos em formato .ply e posteriormente .ifc para analogia futura com os dados do BIM.

Na que diz respeito à **Camada BIM**, atualmente no ZDMP, as variáveis necessárias são armazenadas num qualquer ficheiro num formato .json e alocadas a um tópico do *Message Bus*, pelo qual a plataforma adquire informação. No que diz respeito à Camada BIM da estrutura em questão, a BoC – *bill of characteristics* é extraída em formato .ifc facilitando a interoperabilidade com o resto da arquitetura.

Por fim, na **Camada de Aplicação** esta pode assimilar-se ao **Process Assurance** ou **Monitoring & Alerting** situados na *Platform Tier* onde são considerados os dados de qualidade, efetuadas as referentes comparações e emitidos os dados estatísticos. Note-se a similaridade destas ações com as da Camada de Aplicação.[31]

Por fim, considerando as similaridades entre arquiteturas é possível validar o estrutura sugerido.

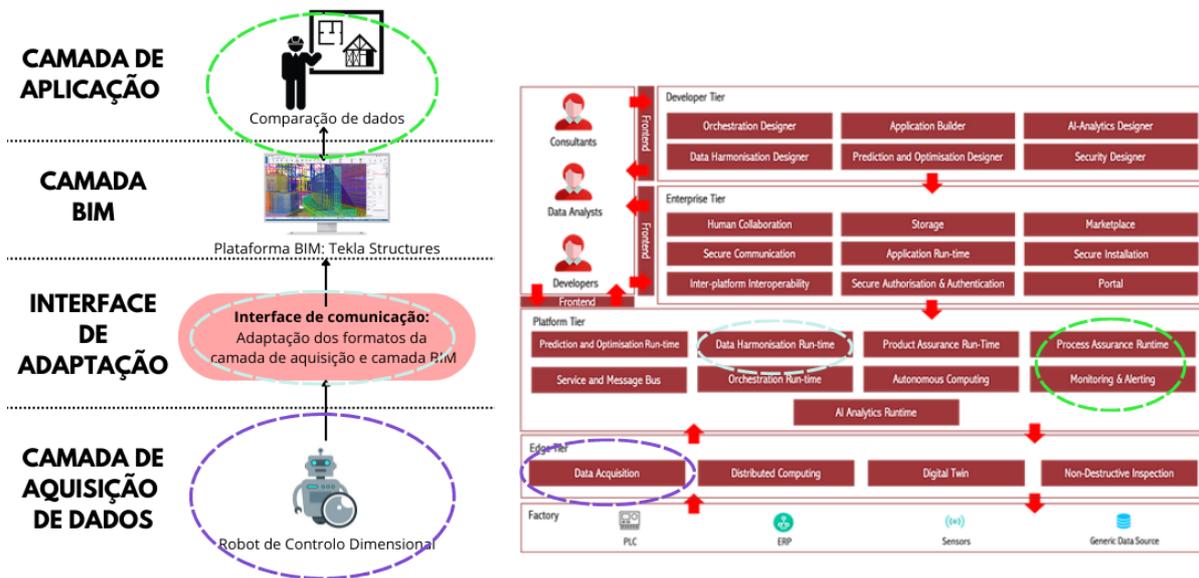


Figura 24 - Paralelismo entre arquiteturas

## 6. CONCLUSÕES

No que concerne ao cluster AEC, a metrologia industrial afeta ao controlo de qualidade tem tomado um papel cada vez mais central e relevante naquela que é a discussão base da Indústria 4.0.

Ora, considerando a natureza e complexidade inerente ao setor assim como a quantidade complexa e enorme de dados a gerir, motivado pela heterogeneidade dos projetos, o problema da existência de dados individualizados e a falta de interoperabilidade em ambiente fabril são problemas proeminentes que tem cada vez mais gerado interesse concomitantemente com a procura exaustiva da sua resolução.

Com a realização desta dissertação foi então possível abordar, em ambiente industrial, o *mapping* das variáveis comprimento e largura afeta a um elemento genérico simples, provando a efetiva criação de um plano de sistematização de informação técnica às mesmas contíguos. Com esta premissa em consideração, retrata-se como trabalho futuro a prossecução da totalidade das variáveis inerentes ao elemento.

Considerando uma arquitetura base *IoT*, foi igualmente possível formular uma estrutura onde os dados coletados através de um robô de controlo dimensional possam ser comparados com os dados obtidos do BIM através do uso de uma interface comum com linguagem IFC. A validade deste modelo foi comprovada considerando um outro já existente, o ZDMP, caracterizado pela sua base teórica com o padrão OPC UA.

Assim, a simultânea adoção de sistemas robôzados de controlo dimensional, aliados à cada vez maior necessidade de contribuição do fator qualidade no *cluster*, e a concordante criação do *plano* já referido permitiram a abordagem a uma estrutura de dados cuja implementação seja desta ou, no caso, outras cujo padrão base de comunicação se baseie no OPC UA permitiriam conceber a criação de interoperabilidade de dados no contexto do grupo DST assim como as vantagens que estes acarretam. Desta forma, infere-se que a empresa em questão possui a instância de melhorar a sua política de gestão da informação afeta ao produto e aos procedimentos de desenvolvimento a este associado, inferindo o coeficiente qualidade nos componentes que realiza, na duração do ciclo de vida existente podendo esta adversidade ser colmatada através da sistematização da sua informação e conseqüente adoção de sistemas de controlo dimensional robôzados interoperáveis com os dados já existentes.

Em suma, considerando que no clima atual de competitividade do mercado da indústria de construção, quem gere e controla de forma mais eficiente a sua informação, adquire uma vantagem significativa, podendo-se tornar numa referência no mercado, leva à veracidade de premissas como a implementação modelos como ZDMP em chão de fábrica ou até mesmo a obtenção de equipamentos cuja comunicação é realizada com base no padrão OPC UA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Miguel, A. Lázaro, J. Pedro, and P. Martins, “GESTÃO DA INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO- APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COLABORATIVAS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL-ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES.” [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [2] “Bysteel,” <https://www.bysteel.pt/empresa/qrcp/#whoweare>, 2022.
- [3] Deloitte insights, “Forces of change: Industry 4.0”, Accessed: Mar. 23, 2022. [Online]. Available: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4323\\_Forces-of-change/4323\\_Forces-of-change\\_Ind4-0.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4323_Forces-of-change/4323_Forces-of-change_Ind4-0.pdf)
- [4] M. Rübmann, M. Lorenz, P. Gerbert, and P. Engel, “ DIGITAL TRANSFORMATION, INDUSTRY 4.0, TECHNOLOGY INDUSTRY Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries,” Apr. 09, 2015. [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries) (accessed Mar. 23, 2022).
- [5] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, “OCTOBER 2015 THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World,” 2015.
- [6] E. A. Lee, “Cyber physical systems: Design challenges,” in *Proceedings - 11th IEEE Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing, ISORC 2008*, 2008, pp. 363–369. doi: 10.1109/ISORC.2008.25.
- [7] M. Weyrich and C. Ebert, “Reference architectures for the internet of things,” *IEEE Softw*, vol. 33, no. 1, pp. 112–116, Jan. 2016, doi: 10.1109/MS.2016.20.
- [8] G. Koschnick, M. Hankel, and B. Rexroth, “RAMI 4.0-Structure The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0) Contact: Reference Architectural Model Industrie 4.0,” 2015. [Online]. Available: [www.zvei.org/](http://www.zvei.org/)
- [9] “The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture,” 2019.
- [10] S. Cavalieri and S. Mulè, “Interoperability between OPC UA and oneM2M,” *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 12, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1186/s13174-021-00144-9.
- [11] M. Pfs and G. Ep, “Uma Análise do OPC UA em Face aos Requisitos do RAMI 4.0.”

- [12] Panepistēmio Kyprou, IEEE Industrial Electronics Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation : September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus*.
- [13] E. F. Monk and B. J. Wagner, *Concepts in Enterprise Resource Planning*, Fourth edition. Boston, 2009.
- [14] S. S. Martins, “Estudo e Implementação do Sistema Informático Silex na empresa Be Stitch.”
- [15] Mesa International, “MES Explained: A High Level Vision 1 MESA International Executive Summary MES Explained: A High Level Vision 2 MES Explained: A High Level Vision MESA International,” 1997.
- [16] E. P. PALADINI, *Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos*, 2ª. São Paulo: Atlas, 2009.
- [17] C. Andrei Neuhaus, M. Goncalves da Silva, D. da Fonseca Luz, and R. Dalla Vecchia, “IMPACTO SOBRE A ORGANIZAÇÃO COM A IMPLEMENTAÇÃO DO MES (MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM) SOB A ÓTICA DA GESTÃO DA QUALIDADE.”
- [18] R. Govindaraju and K. Putra, “A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Mar. 2016, vol. 114, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/114/1/012094.
- [19] S. Schmidt, “Understanding Manufacturing Execution Systems (MES).” [Online]. Available: [www.freedomcorp.com](http://www.freedomcorp.com)
- [20] “Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil Building Information Modeling (BIM) and collaboration systems for civil engineering design management Sérgio Salles COELHO.”
- [21] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.” [Online]. Available: [www.EngineeringBooksPdf.com](http://www.EngineeringBooksPdf.com)
- [22] “C-Technology-Burt-Dec091”.
- [23] S. Gerbino, L. Cieri, C. Rainieri, and G. Fabbrocino, “On bim interoperability via the ifc standard: An assessment from the structural engineering and design viewpoint,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.3390/app112311430.
- [24] “BIM: O que é? Mestrado Integrado em Engenharia Civil,” 2012.
- [25] Apq, “Norma Portuguesa.” [Online]. Available: [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

- [26] INFAIMON, “Visão artificial industrial: Aplicações e setores,” Sep. 20, 2017. <https://blog.infaimon.com/pt/visao-artificial-industrial-aplicacoes-setores/> (accessed Mar. 22, 2022).
- [27] O. Marques Filho and Hugo. Vieira Neto, *Processamento digital de imagens*. BRASPORT, 1999.
- [28] M. M. Joshi and M. R. Nagare, “Implementing Manufacturing Execution Systems through Lean Manufacturing Approach,” 2014. [Online]. Available: [www.ijssrd.com](http://www.ijssrd.com)
- [29] buildingSMART International, “Industry Foundation Classes (IFC).” <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (accessed Sep. 16, 2022).
- [30] R. K. Dhillon, M. Jethwa, and H. S. Rai, “Extracting Building Data from BIM with IFC.”
- [31] “ZDMP.” <https://www.zdmp.eu/?lang=pt> (accessed Sep. 16, 2022).

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 – DESENHO TÉCNICO DA PEÇA SIMPLES C.10202

ARQUIVO PREPARACAO

No.	In assembly
8	P.150
4	P.339
8	P.351
2	P.386
12	P.387
4	P.389
4	P.390
4	P.391
2	P.392
2	P.393
2	P.394
2	P.395
4	P.469
8	P.470
2	P.472

Rev. nº.	Revisão	Descrição	Data Rev.			
C.10202	PL10*136	S355JR EN10025 HDG 68	480	0.14	5.12	EXC2
MARCA DA PEÇA:	PERFIL:	MATERIAL:	Qt.	COMPRIMENTO	ÁREA:	PESO: CLASSE EXEC.

DATA:	OPERADOR:	Qtd.	MONT.	SOLD.	ACAB.

**bysteel**  
building the future

**PRODUÇÃO INDUSTRIAL**  
DESENHOS DE CORTE E FURAÇÃO

*Mod.168/Bs.0*

OBRA:	AULNAY	Nº OBRA:	BY0109-PF2210**
DESIGNAÇÃO	W [C.10202]	ESCALA:	1:5
DESENHADO POR:	Equipa_A	DATA:	15.10.2021
VERIFICADO POR:		DATA:	14.12.2021
APROVADO POR:		DATA:	

REVISÃO:

0

A4

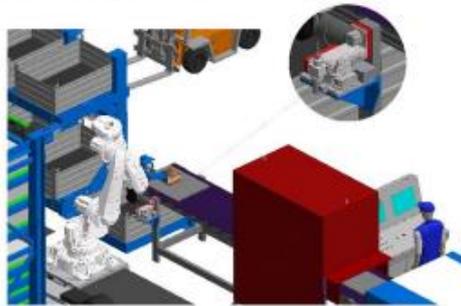
MODEL NAME: BY0109\_Aulnay\_Model A

## ANEXO 2 – LIMITAÇÕES DO ROBÔ ZEMAN – LASER SCANNING AND SORTING



**BYSTEEL**  
Quotation Nº 2010326b dated 27.10.2020

into a default bin. Also, you can choose between point punching mode or scribing mode. With this option you need additional time for marking (approximately 10 seconds per part for 5 characters). It is possible to use the full area of 50x50mm for marking.



### 6. MATERIAL SPECIFICATIONS

Material: Plasma-cut, laser-cut or oxyacetylene-cut plates  
Surface: Sand-blasted  
Plate types: Steel plates

#### Plates

Length: 100 - 500 mm  
Height: 5 - 70 mm  
Width: 50 - 300 mm  
Weight: up to 70 kg

### 7. BIN LIMITATIONS IN SIZE AND WEIGHT

Max. weight per bin: 750 kg

### 8. DELIVERY TIME

Estimated lead time: 6 to 8 months starting from technical and commercial clearance and receipt of down payment.

### 9. GUARANTEE

For guarantee and warranty provisions, the EN standards (European Standards) and the General Terms and Conditions shall apply.