

Fábio David Martins Almeida

Visão artificial no controlo da Célula Flexível de  
Fabrico da ESTGV





Fábio David Martins Almeida

Visão artificial no controlo da Célula Flexível de  
Fabrico da ESTGV

**Dissertação de Mestrado**

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Automação e Energia

Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho

Professor Doutor Daniel Filipe Albuquerque





*“O êxito da vida não se mede pelo caminho que conquistou,  
mas sim pelas dificuldades que superou pelo caminho.”*

**Gandhi**



## RESUMO

Na atualidade cada vez mais os processos repetitivos requerem menos intervenção humana, isto devido aos mesmos se tornarem cansativos fisicamente e psicologicamente ao longo do tempo. Atualmente a maioria das empresas têm implementado nas suas linhas de montagem sistemas robotizados, de forma a melhorar a gestão dos recursos humanos, deslocando-os para outras áreas de produção, onde a sua presença é mais benéfica para eles mesmos e para a entidade empregadora e de difícil substituição humana.

Nos dias de hoje para que as empresas possam ser competitivas no mercado, têm de ser criativas e inovadoras, recorrendo a processos de fabrico flexíveis de forma a acompanhar as exigências do mercado, independentemente de qual produto seja requisitado pelo consumidor. Hoje em dia as Células Flexíveis de Fabrico (CFF) estão bastante desenvolvidas no que compete às exigências do mercado, sendo que fabricam uma gama diversificada e vasta de produtos. A flexibilidade das CFF resulta da utilização de equipamentos programáveis, como por exemplo: robôs, PLC, entre outros.

O projeto que foi elaborado requereu o estudo e investigação da CFF que se encontra implementada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV) no laboratório de robótica. O Setor de Fabrico (SF) da CFF possui duas máquinas CNC, um robô e uma câmara de visão. Foi elaborado um sistema de carga e descarga para as máquinas CNC e para as respetivas paletes que transportam Matéria-Prima (MP) e Produtos Acabados (PA) do transportador. O Setor de Armazém (SA) da CFF possui apenas um robô uma câmara de visão e armazém, e a função do mesmo é lidar com as paletes do transportador, as de MP e as de PA, de forma que o SF seja mais eficiente.

O mesmo também permite deteção de anomalias, de forma que, a CFF seja mais autónoma, tenha um maior desempenho, assegure a segurança dos operadores e também de todos os equipamentos. O sistema de visão incorporado em ambos os robôs efetua inspeções relativas à presença ou ausência de peças nos *buffers*/paletes, do tipo de palete presente no setor, do posicionamento da peça no *vice*/mandril, e da quantidade de peças presentes em ambos os armazéns de MP.

Para a interface homem-máquina (HMI) foi elaborada uma página *web* que possibilita ao operador o controlo e monitorização de praticamente toda em célula em tempo real. Para além de permitir a análise e desempenho de ambos os setores, também é possível, em tempo-real, consultar os alarmes em ambos os setores. Por último, para amplificar a flexibilidade da CFF, foi utilizada uma função do PLC para envio de e-mails, sempre que ocorram alarmes na CFF.



## ABSTRACT

Repetitive processes require less human intervention since they become physically and psychologically tiring over time. Nowadays, most companies have implemented robotic systems in their assembly lines, improving human resources management. That way, it is possible to move them to other areas of production, where it is challenging to replace humans. In the end, this move could be beneficial for themselves and the employer.

Today, companies have to be creative and innovative to compete in the market. Thus, having flexible manufacturing processes keep up with the market demands, regardless of the product requested by the consumer. Today, Flexible Manufacturing Cells (CFF) are well developed in terms of existing modifications on the market, as they manufacture a diverse and wide range of products. The CFF flexibility results from the use of programmable equipment, such as robots, PLCs, among others.

The elaborated project required the study and investigation of the CFF implemented in the robotics laboratory of the Department of Electrotechnical Engineering (DEE) of the Superior School of Technology and Management of Viseu (ESTGV). The SF in the CFF has two CNC machines, a robot, and a vision camera. The loading and unloading system was designed for the CNC machines and their respective pallets that transport Raw Material (MP) and Finished Products (PA) from the conveyor. The CFF SA has only one robot, a vision camera, and a warehouse, and its function is to handle the conveyor, MP, and PA pallets so that the SF is more efficient.

It also allows anomalies detection, which turns the CFF more autonomous, with better performance, ensuring the safety of the operator and all of the equipment. The vision system incorporated in both robots performs inspections regarding the presence or absence of parts in the buffers/pallets. These inspections provide the pallet type present in the sector, the part position in the vice/mandril, and the number of parts present in both MP warehouses.

A web page was created for the human-machine interface (HMI), allowing the operator to control and monitor everything in the cell in real-time. In addition, the web page allows, on the one hand, the analysis and performance of both sectors and, on the other hand, the alarms consult in both sectors in real-time. Finally, to increase the flexibility of the CFF, a PLC function was used to send e-mails whenever alarms occurred in the CFF.



## **PALAVRAS-CHAVE**

Automação Industrial  
Arquitetura CIM  
Células Flexíveis de Fabrico  
Máquinas CNC  
Robôs Industriais  
PLC  
OPC UA  
Sistemas de Visão Computacional  
HMI  
Node.js



## KEY WORDS

Industrial Automation  
CIM Architecture  
Flexible Manufacturing Cells  
CNC Machines  
Industrial Robot  
PLC  
OPC UA  
Computer Vision Systems  
HMI  
Node.js



## **AGRADECIMENTOS**

O alcançar desta etapa não teria sido possível sem a colaboração, auxílio, carinho e dedicação por parte de várias pessoas ao longo de todo o percurso da minha formação. Por esta mesma razão, não quero deixar passar esta oportunidade para agradecer a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para o meu sucesso e a minha chegada até este patamar.

Ao orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pela atenção incansável e apoio prestado durante a elaboração desta dissertação. Eternamente grato por todo o apoio não só durante a elaboração da dissertação, mas por todo o apoio durante toda a minha formação.

Ao coorientador, Professor Doutor Daniel Filipe Albuquerque, uma pessoa sempre prestável e atenciosa não só durante a dissertação, mas durante toda a minha formação.

Ao Mestre, João Vítor Ôlas, pelo apoio incansável, atenção e conselhos durante a realização desta dissertação.

A todos os professores com quem tive um gosto enorme de conhecer durante a minha formação e para o qual essa amizade e companheirismo levarei para a vida toda.

A todos vós um sincero **MUITO OBRIGADO!**



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xx
ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxiii
1. Introdução .....	1
1.1 Contextualização e Relevância do Tema .....	1
1.2 Projeto Proposto.....	2
1.2.1 Motivo da Escolha do Projeto para Dissertação .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Estrutura da Dissertação .....	3
2. Revisão Histórica.....	5
2.1 Automação Industrial.....	5
2.1.1 1ª Revolução Industrial.....	6
2.1.2 2ª Revolução Industrial.....	6
2.1.3 3ª Revolução Industrial.....	7
2.1.4 4ª Revolução Industrial.....	9
2.1.5 Objetivos, Benefícios e Inconvenientes da Automação .....	10
2.1.6 Tipos de Automação .....	11
2.2 Robótica Industrial.....	12
2.2.1 Início da Robótica Industrial (1954 - 1979) .....	12
2.2.2 Robôs Industriais Modernos (1980 – dias atuais) .....	14
2.2.3 Popularidade na Indústria .....	15
2.2.4 Anatomia dos robôs .....	16
2.2.5 Diferentes Tecnologias e Características de um Robô .....	17
2.3 Controlo Numérico .....	20
2.3.1 Surgimento do Controlo Numérico .....	20
2.3.2 Tipos de Máquinas CNC .....	21
2.3.3 Vantagens das Máquinas CNC.....	22
2.3.4 Desvantagens das Máquinas CNC.....	23
2.4 Visão Computacional.....	24

2.4.1	Breve História da Visão Computacional.....	24
2.4.2	Introdução à Visão Computacional.....	24
2.4.3	Desafios da Visão Computacional .....	25
2.4.4	Evolução da Visão Computacional .....	26
2.4.5	Aplicação na Indústria .....	26
2.4.6	Linha de montagem com interação direta com o sistema de produção (MES)..	28
2.4.7	Robô Industrial combinado com visão artificial e <i>deep learning</i> .....	28
2.4.8	Célula flexível de fabrico no conceito de fábrica de aprendizagem da geração 4.0	29
2.4.9	Célula de fabrico implementada com <i>Digital Twin</i> e <i>Virtual Reality</i> .....	30
2.5	Introdução às Células Flexíveis de Fabrico.....	32
2.5.1	História Resumida de um SFF .....	32
2.5.2	Definição de uma CFF e de um SFF.....	32
2.5.3	Componentes de um SFF .....	33
2.5.4	Diferentes Configurações de um SFF .....	33
2.5.5	Razão da Implementação de um SFF.....	36
2.5.6	Desvantagens na implementação de um SFF.....	37
2.5.7	Modelo do Sistema de Produção – Arquitetura CIM.....	37
3.	Elementos da Célula Flexível de Fabrico .....	41
3.1	Visão geral da CFF.....	41
3.2	Setor de fabrico .....	42
3.2.1	Robô ABB IRB140 .....	43
3.2.2	Fresadora CNC.....	45
3.2.3	<i>Buffer</i> .....	46
3.2.4	Torno CNC.....	47
3.3	Setor de Transporte .....	48
3.4	Setor de Armazenamento .....	51
3.4.1	Robô IRB1400 .....	52
3.5	Controlo, Sinalização e Segurança.....	53
3.6	Gestor da CFF .....	56
3.7	Sistema de Visão .....	58
3.7.1	Aplicação no robô .....	59

---

3.7.2	Parametrização da câmara .....	60
3.7.3	Comunicação entre a câmara e o PLC.....	62
4.	Trabalho Desenvolvido.....	65
4.1	Introdução .....	65
4.2	Rede local da CFF.....	67
4.3	Setor de Fabrico .....	68
4.3.1	Inspeção ao <i>buffers</i> .....	69
4.3.2	Inspeção à palete do SF .....	70
4.3.3	Descarregamento da palete de MP do SF.....	71
4.3.4	Falha de peça no <i>gripper</i> do robô do SF .....	73
4.3.5	Carregamento das Máquinas CNC .....	75
4.3.6	Inspeção ao <i>vice</i> da fresadora .....	75
4.3.7	Inspeção à posição da peça do <i>vice</i> da fresadora.....	76
4.3.8	Mensagem de erro na consola do robô .....	77
4.3.9	Rotina <i>trap</i> de fim de maquinação .....	78
4.3.10	Descarregamento da máquina CNC .....	78
4.4	Setor de Armazenamento .....	79
4.4.1	Contabilização das peças do armazém de MP e PA.....	80
4.4.2	Carregamento da palete de MP do SA .....	81
4.4.3	Descarregamento da palete de PA do SA.....	84
4.4.4	Gestão de peças dos armazéns de MP e PA .....	85
4.5	Interface de Controlo e Monitorização .....	86
4.5.1	Servidor OPC UA.....	86
4.5.2	Node.js.....	87
4.5.3	Socket.IO .....	87
4.5.4	Leitura/Escrita de dados .....	87
4.5.5	Estrutura da Página <i>Web</i> .....	88
4.6	Envio de E-mail .....	99
5.	Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros .....	103
5.1	Conclusões .....	103
5.2	Conclusão Geral.....	105
5.3	Trabalhos Futuros .....	106

## ÍNDICE GERAL

---

REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A – ESQUEMA DE LIGAÇÕES DA CÂMARA FQ2-S45100N .....	119
APÊNDICE B – CABO I/O DA CÂMARA FQ2-S45100N .....	120
APÊNDICE C – MEDIDAS DA CÂMARA FQ2-S45100N .....	121
APÊNDICE D – MODELO 3D DO SUPORTE DA CÂMARA FQ2-S45100N .....	122
APÊNDICE E – SAÍDAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB140 .....	123
APÊNDICE F – ENTRADAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB140 .....	124
APÊNDICE G – SAÍDAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB1400 .....	125
APÊNDICE H – ENTRADAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB1400 .....	126
APÊNDICE I – INTERFACE ROBÓTICA COM AS MÁQUINAS CNC.....	127
APÊNDICE J – INTERFACE DA CÂMARA DO SF COM O PLC .....	128
APÊNDICE K – INTERFACE DA CÂMARA DO SA COM O PLC.....	129
APÊNDICE L – INTERFACE DO TRANSPORTADOR COM O PLC.....	130
APÊNDICE M – FLUXOGRAMA DA INSPEÇÃO DOS <i>BUFFERS</i> DO SF .....	131
APÊNDICE N – RELAÇÃO ENTRE A ZONA DE INSPEÇÃO E A CENA DA CÂMARA DE VISÃO	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Revoluções Industriais: anos 1700 – dias atuais [3].	5
Figura 2-2: A equipa de desenvolvimento do transistor, da esquerda para a direita: O transistor, William Shockley, Jonh Bardeen, e Walter Brattain [8], [9].	7
Figura 2-3: A equipa de desenvolvimento do Modicon 084, da esquerda para a direita: Dick Morley, Tom Boissevain, o Modicon 084, George Schwenk e Jonas Landau [12].	8
Figura 2-4: Modicon 184 [13].	8
Figura 2-5: Aplicações da IoT [24].	9
Figura 2-6: Tipos de automação relativos ao volume de produção e variedade do produto [19].	11
Figura 2-7: Primeiros robôs industriais: (a) Unimate série 1900, (b) Stanford Arm e (c) Robô IRB6 [23].	13
Figura 2-8: Primeiros robôs industriais: (a) Robô Puma e (b) Robô SCARA [22], [23].	13
Figura 2-9: Diversos fabricantes de robôs [26]–[31].	14
Figura 2-10 – Anatomia de um robô [34].	16
Figura 2-11: Forma, volume de trabalho e forma real do robô articulado [39], [40].	17
Figura 2-12: Forma, volume de trabalho e forma real do robô cartesiano [39], [40].	17
Figura 2-13: Forma, volume de trabalho e forma real do robô cilíndrico [39], [40].	18
Figura 2-14: Forma, volume de trabalho e forma real do robô polar/esférico [39], [44].	18
Figura 2-15: Forma, volume de trabalho e forma real do robô SCARA [39], [45].	19
Figura 2-16: Forma, volume de trabalho e forma real do robô delta [46].	20
Figura 2-17: Sistema de fita perfurado que contém informação para controlar a máquina-ferramenta [47].	21
Figura 2-18: Torno CNC [49].	22
Figura 2-19: Fresadora CNC [50].	22
Figura 2-20: Marvin Minsky: um dos pioneiros da inteligência artificial [52].	24
Figura 2-21: Exemplo do funcionamento de um programa de reconhecimento de imagens [57].	25
Figura 2-22: Sistema de Visão Artificial implementado num processo Industrial [60].	27
Figura 2-23: Processo <i>BinPicking</i> usando uma câmara de visão artificial 3D [62].	27
Figura 2-24: Linha de montagem de controlo de qualidade [63].	28
Figura 2-25: Célula flexível de fabrico no conceito de fábrica de aprendizagem da geração 4.0 [65].	29
Figura 2-26: Arquitetura de uma célula de fabrico utilizando DT e VR [66].	30
Figura 2-27: Desde o ambiente real para o virtual: (a) ambiente real, (b) <i>Scan 3D</i> e (c) ambiente virtual [66].	31
Figura 2-28: Vista geral da célula virtual [66].	31
Figura 2-29: Célula virtual: (a) contentores com peças e o robô de montagem, e (b) robô de entrega [66].	31
Figura 2-30: <i>Single machine cell</i> [85].	34

Figura 2-31: <i>Flexible manufacturing cell</i> [86].....	34
Figura 2-32: Layout de um <i>flexible manufacturing system</i> [87].....	35
Figura 2-33: Arquitetura CIM ( <i>Computer Integrated Manufacturing</i> ) [34], [57].....	37
Figura 3-1: Disposição dos elementos da CFF. ....	42
Figura 3-2: Setor de fabrico da CFF da ESTGV.....	42
Figura 3-3: Robô instalado no setor de fabrico [96], [97]. ....	43
Figura 3-4: <i>Gripper</i> pneumático do robô IRB140. ....	44
Figura 3-5: Fresadora CNC do setor de fabrico. ....	45
Figura 3-6: <i>Buffer</i> das MP e dos PA do setor de fabrico. ....	46
Figura 3-7: Torno CNC do setor de fabrico.....	47
Figura 3-8: Setor de transporte da CFF.....	48
Figura 3-9: Tipos de paletes do setor de transporte. ....	48
Figura 3-10: Disposição dos <i>stoppers</i> no transportador: a) <i>stopper</i> SF, b) <i>stopper</i> PSF, c) <i>stopper</i> PSA e d) <i>stopper</i> SA. ....	49
Figura 3-11: <i>Stopper</i> paragem de paleta do SA. ....	49
Figura 3-12: Sensor indutivo presente no SF.....	50
Figura 3-13: Setor de armazém da CFF da ESTGV. ....	51
Figura 3-14: Rampa de PA do setor de armazém. ....	51
Figura 3-15: Robô implementado no setor de armazenamento [145], [146].....	52
Figura 3-16: <i>Gripper</i> pneumático do robô IRB1400. ....	52
Figura 3-17: Botoneira do setor de fabrico. ....	53
Figura 3-18: Botoneira do setor de armazenamento. ....	53
Figura 3-19: Sistema de segurança de intrusão da CFF.....	54
Figura 3-20: Barreira de Segurança ótica [100].....	54
Figura 3-21: Baliza de sinalização implementada no SF.....	55
Figura 3-22: Interface de comunicação do S71200. ....	56
Figura 3-23: Gestor da CFF. ....	57
Figura 3-24: <i>Smart</i> câmara FQ2-S45100N OMRON [103].....	58
Figura 3-25: Representação da falha de inspeção devido à variação de luminosidade. ....	59
Figura 3-26: Aplicação da <i>smart</i> câmara em ambos os setores. ....	60
Figura 3-27: Ajuste da correlação no <i>software</i> da câmara.....	61
Figura 3-28: Parametrização das <i>outputs</i> da câmara.....	61
Figura 3-29: Bloco de função “GRAFCET_FQ2_IRB140”.....	62
Figura 3-30: Fluxograma do funcionamento da câmara de visão. ....	63
Figura 4-1: Rede local da CFF [96], [98], [106]–[108]. ....	67
Figura 4-2: Fluxograma do funcionamento do programa principal do robô do SF. ....	68
Figura 4-3: Inspeção ao <i>buffer</i> MPF. ....	69
Figura 4-4: Inspeção ao tipo de paleta do SF.....	70
Figura 4-5: Inspeção à paleta de MPF no SF. ....	71
Figura 4-6: Descarregamento da paleta de MP da fresadora no SF.....	71
Figura 4-7: Rotina do robô do SF de atribuição do ponto na descarga da paleta de MPF.....	72

Figura 4-8: Falha de inspeção da câmara do SF. ....	73
Figura 4-9: Falha de peça no fecho do <i>gripper</i> do robô do SF. ....	73
Figura 4-10: Continuação do processo tendo ocorrido falha de peça. ....	74
Figura 4-11: Processo de carregamento das MP das máquinas CNC. ....	75
Figura 4-12: Inspeção efetuada ao <i>vice</i> da fresadora. ....	76
Figura 4-13: Inspeção efetuada à peça posicionada no <i>vice</i> da fresadora. ....	76
Figura 4-14: Mensagem apresentada na consola do robô quando ocorre um erro. ....	77
Figura 4-15: Processo de descarregamento dos PA das máquinas CNC. ....	78
Figura 4-16: Fluxograma do funcionamento do programa principal do robô do SA. ....	79
Figura 4-17: Secção de armazéns de matéria-prima utilizados da CFF. ....	80
Figura 4-18: Inspeção ao armazém de MP do torno. ....	80
Figura 4-19: Inspeção ao Armazém de MP da fresadora. ....	81
Figura 4-20: Inspeção ao tipo de palete do SA. ....	82
Figura 4-21: Inspeção à palete de MPF no SA. ....	82
Figura 4-22: Processo de carregamento da palete de MP do torno no SA. ....	83
Figura 4-23: Processo de carregamento da palete de MP da fresadora no SA. ....	83
Figura 4-24: Processo de descarregamento da palete de PA do torno no SA. ....	84
Figura 4-25: Processo de descarregamento da palete de PA da fresadora no SA. ....	84
Figura 4-26: Fluxograma do funcionamento da gestão de peças do AMP. ....	85
Figura 4-27: Visualização das variáveis do OPC UA no <i>software</i> UaExpert. ....	86
Figura 4-28: Página <i>web</i> – Secção “Menu” ....	88
Figura 4-29: Página <i>web</i> – Secção Autor do Projeto. ....	89
Figura 4-30: Página <i>web</i> – Secção “Resumo” ....	89
Figura 4-31: Fluxograma de funcionamento do estado da máquina CNC. ....	90
Figura 4-32: Fluxograma da contagem de tempo de maquinação. ....	91
Figura 4-33: Página <i>web</i> – Secção “Tempo de maquinação torno”. ....	92
Figura 4-34: Página <i>web</i> – Secção “Tempo de maquinação fresadora”. ....	93
Figura 4-35: Página <i>web</i> – Secção “Gestão do Armazém” ....	94
Figura 4-36: Página <i>web</i> – Secção “Monitorização” ....	96
Figura 4-37: Página <i>web</i> – Armazém de MP de torno: (a) MP dentro do limite, (b) MP inferior ao limite, (c) MP dentro do limite e (d) AMPT vazio. ....	96
Figura 4-38: Página <i>web</i> – Secção “Comandos CFF” ....	97
Figura 4-39: Fluxograma de funcionamento da escrita de dados no OPC UA. ....	98
Figura 4-40: <i>Data Block</i> da instrução “TMAIL” ....	100
Figura 4-41: Bloco do “TMAIL_C” no TIA Portal. ....	100
Figura 4-42: Envio de email da fresadora CNC em alarme. ....	101
Figura A-1: Esquema de ligações da câmara FQ2-S45100N. ....	119
Figura B-1: Cabo I/O da câmara FQ2-S45100N. ....	120
Figura C-1: Medidas da câmara FQ2-S45100N. ....	121
Figura D-1: Modelo 3D do suporte da câmara FQ2-S45100N. ....	122
Figura M-1: Fluxograma do funcionamento da inspeção aos <i>buffers</i> do SF. ....	131



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela E-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> IRB140 – <i>Inputs</i> PLC).....	123
Tabela F-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC – <i>Inputs</i> IRB140). .....	124
Tabela G-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> IRB1400 – <i>Inputs</i> PLC).....	125
Tabela H-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC – <i>Inputs</i> IRB1400).....	126
Tabela I-1: Interface robótica com o torno CNC.....	127
Tabela I-2: Interface robótica com a fresadora CNC. ....	127
Tabela J-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> câmara de visão do SF – <i>Inputs</i> PLC). .....	128
Tabela J-2: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC– <i>Inputs</i> câmara de visão do SF). .....	128
Tabela K-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> câmara de visão do SA – <i>Inputs</i> PLC). .....	129
Tabela K-2: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC– <i>Inputs</i> câmara de visão do SA). .....	129
Tabela L-1: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC– <i>Inputs</i> Transportador).....	130
Tabela L-2: Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> Transportador – <i>Inputs</i> PLC).....	130
Tabela N-1: Relação da cena com a zona de inspeção da câmara de visão do SF.....	132
Tabela N-2: Relação da cena com a zona de inspeção da câmara de visão do SA. ....	132



## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
AC	Corrente Alternada ( <i>Alternating Current</i> )
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i> (Veículos Guiado Automaticamente)
AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)
AMP	Armazém de Matéria-Prima
AMPF	Armazém de Matéria-Prima do Fresadora
AMPT	Armazém de Matéria-Prima da Torno
ANN	<i>Artificial Neural Networks</i> (Rede Neuronal Artificial)
APA	Armazém de Produtos Acabados
ATC	<i>Automatic Tool Changer</i> (Trocador de Ferramenta Automática)
ASEA	<i>Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget</i>
BTR	<i>Behind the Tape Reader</i>
BMPF	<i>Buffer</i> Matéria-Prima Fresadora
BMPT	<i>Buffer</i> Matéria-Prima Torno
BPAF	<i>Buffer</i> Produto Acabados Fresadora
BPAT	<i>Buffer</i> Produto Acabados Torno
CA	Controlo Adaptativo ( <i>Adaptive Control</i> )
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Assistida por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Machining</i> (Produção Assistida por Computador)
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i> (Planeamento do Processo Assistido por Computador)
CAQ	<i>Computer Aided Quality</i> (Qualidade Assistida por Computador)
CFF	Célula Flexível de Fabrico
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i> (Produção Integrada por Computador)
CM	<i>Cellular Manufacturing</i> (Célula de Produção)
CMU	Célula de Máquina Única
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> (Controlo Numérico Computadorizado)
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DB	<i>Data Block</i> (Bloco de Dados)
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Continua)
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DEC	<i>Digital Equipment Corporation</i>
DI	<i>Digital Input</i> (Entrada Digital)
DNS	<i>Domain Name System</i>
DO	<i>Digital Output</i> (Saída Digital)
DoF	<i>Degree of Freedom</i> (Graus de Liberdade)
	<i>Digital Twin</i> (Gêmeo Digital)

## ABREVIATURAS E SIGLAS

---

ES	<i>Expert Systems</i> (Sistemas Especializados)
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
FB	<i>Function Block</i> (Bloco de Função)
FDM	<i>Fuses Deposition Modeling</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
FMC	<i>Flexible Manufacturing Cells</i> (Células Flexíveis de Fabrico)
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i> (Sistemas Flexíveis de Fabrico)
GL	Graus de Liberdade ( <i>Degree of Freedom</i> )
GM	<i>General Motors</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i> (Unidades de Processamento Gráfico)
GRAF CET	<i>Functional Graph of Control by Steps and Transitions</i>
GT	<i>Group technology</i> (Tecnologia de Grupo)
HMI	<i>Human Machine Interface</i> (Interface Homem Máquina)
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IA	Inteligência artificial ( <i>Artificial Intelligence</i> )
I/O	<i>Input/Output</i> (Entrada/Saída)
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> (Internet das Coisas Industrial)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo da Internet)
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
IMAP	<i>Internet Message Access Protocol</i>
IRB	<i>Industrial Robot</i> (Robô Industrial)
JG	<i>Judgment</i> (Julgamento)
JIT	<i>Just-In-Time</i>
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede de Área Local)
LVDT	<i>Linear Variable Displacement Transducers</i>
M2M	<i>Machine-2-Machine</i> (Máquina a máquina)
MBB	<i>Minimum Bounding Box</i> (Caixa delimitadora mínima)
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> (Sistema de Execução de Produção)
MHS	<i>Material Handling System</i> (Movimentação ou Transporte de material)
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
ML	<i>Machine Learning</i> (Aprendizagem da Máquina)
MP	Matéria-Prima
MPF	Matéria-Prima Fresadora
MPT	Matéria-Prima Torno
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Espacial e Aeronáutica Nacional)

---

NC	<i>Numerical Control</i> (Controlo Numérico)
NC	<i>Normally Closed</i> (Normalmente Fechado)
NMC	<i>Non Manufacturing Cell</i>
NO	<i>Normaly Open</i> (Normalmente Aberto)
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
OR	<i>Overall judgment</i> (Julgamento global)
PA	Produto Acabado
PAF	Produto Acabado Fresadora
PAT	Produto Acabado Torno
PC	<i>Personal Computer</i> (Computador Pessoal)
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programável)
PMPF	Paleta Matéria-Prima Fresadora
PMPT	Paleta Matéria-Prima Torno
POP	<i>Post Office Protocol</i>
PPAF	Paleta Produto Acabados Fresadora
PPAT	Paleta Produto Acabados Torno
PPC	<i>Production Planning and Control</i> (Controlo e Planeamento de Produção)
PROFINET	<i>Process Field Net</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
RAPID	Linguagem de Programação de Robôs ABB
RGV	Robótica Guiada pela Visão ( <i>Vision Guided Robotics</i> )
SA	Setor de Armazenamento
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i> (Braço Robótico para Montagem de Conformidade Seletiva)
SF	Setor de Fabrico
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
SFF	Sistema Flexível de Fabrico
SISA	Sensor Indutivo do Setor de Armazenamento
SISF	Sensor Indutivo do Setor de Fabrico
SMC	<i>Single Machine Cell</i> (Célula de Máquina Única)
SNMP	<i>Single Network Management Protocol</i>
STL	<i>STereoLithography</i>
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
UA	<i>Unified Architecture</i> (Arquitetura Unificada)
EUA	Estados Unidos da América ( <i>United States of America</i> )
VGR	<i>Vision Guided Robotics</i> (Robótica Guiada pela Visão)
VGT	Veículos Guiados por Trilhos ( <i>Rail Guided Vehicles</i> )
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade Virtual)

## ABREVIATURAS E SIGLAS

---

Wi-Fi      *Wireless Fidelity* (Rede sem Fios)

# **1. Introdução**

## **1.1 Contextualização e Relevância do Tema**

Atualmente e cada vez mais na indústria, o uso da tecnologia aumenta a um nível exponencial, permitindo de forma que o processo de produção seja flexível, adaptativo, entre outros requisitos. Nos dias de hoje, a maioria das empresas utilizam sistemas robotizados nas suas linhas de montagem. Deste modo, existe uma melhor gestão de recursos humanos, deslocando-os para outras áreas de produção, onde serão bastante mais úteis e de difícil substituição. Os mercados procuram cada vez mais produtos diversificados, originais e com uma boa qualidade, onde a questão da flexibilidade e adaptabilidade do processo podem ser a chave para a resposta a estas exigências do mercado. Para uma resposta rápida às necessidades do mercado, é necessário ter sistemas de fabrico altamente flexíveis compostos por sistemas de automação e robótica industriais. Para tal é necessário que estes sistemas estejam perfeitamente interligados e sintonizados, de forma a permitir um tempo de resposta curto para os vários tipos de exigências que são requeridas pelos clientes/consumidores.

## 1.2 Projeto Proposto

O projeto proposto envolve a implementação da visão artificial e controlo de toda a Célula Flexível de Fabrico (CFF) do laboratório de robótica da ESTGV. O projeto está enquadrado na área de automação, robótica industrial e visão artificial. O trabalho tem como propósito a interligação de vários equipamentos, tais como: dois robôs industriais, duas máquinas CNC, um PLC, duas câmaras de visão artificial, entre outros equipamentos.

### 1.2.1 Motivo da Escolha do Projeto para Dissertação

Quando foram lançadas as propostas de Dissertações para o ano letivo 2020/2021, o que mais se destacou pela sua complexidade e conhecimento que pode ser adquirido durante a elaboração da mesma foi a Dissertação com o tema “Visão artificial no controlo da Célula Flexível de Fabrico da ESTGV”.

Um dos grandes motivos da escolha desta Dissertação foi, a mesma envolver a aplicação da visão artificial num Sistema Flexível de Fabrico (SFF), onde hoje em dia cada vez mais é implementado este tipo de tecnologia. Outra mais valia é o envolvimento da programação utilizando o PLC S7-1200 e o *software* TIA, com o qual já tive contacto, mas gostaria de ganhar mais conhecimento acerca do seu funcionamento. O que também chamou a atenção foi o facto da possível elaboração de uma HMI (*Human Machine Interface*) para a CFF. Como desenvolvi um projeto autodidata de uma impressora 3D de extrusão de plástico (FDM) durante o ano letivo de 2018/2019, tive também o interesse de criar uma aproximação mais profunda dentro da tecnologia CNC no manuseamento e operação de uma fresadora CNC, e de um torno CNC. Sendo que a nível do desenvolvimento do design de um produto é totalmente igual, mas o que se destaca é a operação da máquina que é muito distinta da usada para impressão 3D.

## 1.3 Objetivos

Para este projeto foram estabelecidos vários objetivos de forma a tornar o mesmo exequível, tais como:

- Programação do robô do setor de fabrico para o mesmo efetuar o carregamento e descarregamento das máquinas CNC;
- Programação do robô do setor do armazém de forma que as paletes de matéria-prima sejam carregadas e as de produtos acabados descarregadas;
- Desenvolvimento de uma página *web* de controlo e monitorização, usando o *Raspberry Pi* como servidor;
- Utilização de duas câmaras de visão artificial nos robôs de ambos os setores.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta por 5 capítulos, onde é descrito todo o trabalho prático desenvolvido e conclusões.

O primeiro capítulo, “Introdução”, engloba uma breve contextualização e relevância do tema, o projeto proposto, o interesse e motivação que levou à escolha do projeto e os objetivos propostos.

No capítulo dois, “Revisão Histórica”, são apresentadas várias tecnologias utilizadas neste projeto:

- Automação industrial;
- Robótica industrial;
- Controlo numérico;
- Células flexíveis de fabrico;
- Visão computacional.

Em cada subcapítulo mencionado anteriormente irão ser abordados temas como: o resumo histórico, a razão do seu aparecimento, tipos de tecnologias, aplicações, benefícios e inconvenientes da utilização na indústria.

No caso do capítulo 3, “Elementos da Célula Flexível de Fabrico”, descreve-se de forma breve à CFF e todos os elementos que a constituem.

No capítulo 4, denominado “Trabalho Desenvolvido”, encontra-se todo o trabalho desenvolvido na Célula Flexível de Fabrico (CFF), bem como a uma breve explicação de partes da programação que foi desenvolvida e os pontos fortes deste projeto que tornaram o funcionamento da CFF mais eficiente.

No quinto capítulo “Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros”, é apresentada uma conclusão do trabalho desenvolvido, uma conclusão geral sobre o trabalho e conhecimentos adquiridos acompanhada com uma lista de sugestões para futuros projetos, de forma a melhorar o funcionamento da CFF.



## 2. Revisão Histórica

### 2.1 Automação Industrial

Até aos dias de hoje as quatro revoluções industriais apresentadas na Figura 2-1 tiveram impacto em como as tecnologias são atualmente. A 1ª Revolução Industrial foi a que deu origem ao aparecimento das máquinas a vapor, dos sistemas hidráulicos, entre outros. No caso da 2ª Revolução Industrial, a mesma deu origem à produção em massa, implementação de linhas de montagem na indústria, surgimento de eletricidade, entre outros. A história afirma que a chegada da 3ª Revolução Industrial originou a chegada de diversas tecnologias, nomeadamente: computadores, automação, robótica, eletrônica, entre outras. Por fim, a 4ª Revolução Industrial ocasionou eventos como a chegada da produção inteligente, internet das coisas (IoT), inteligência artificial (IA), redes, impressão 3D, entre outros. [1], [2]:

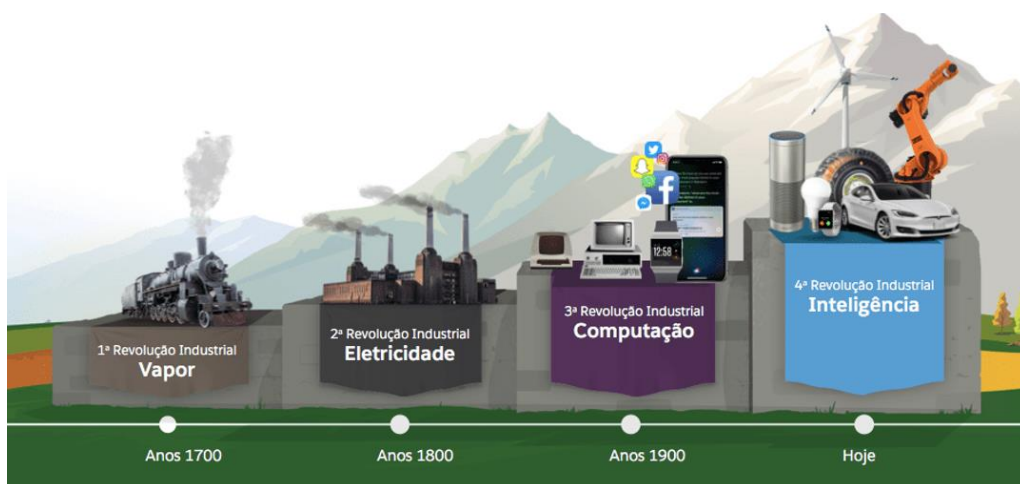


Figura 2-1: Revoluções Industriais: anos 1700 – dias atuais [3].

### 2.1.1 1ª Revolução Industrial

A palavra automação provém de *Automatus*, do latim “mover-se por si”. O ser humano ao longo do tempo tentou que os esforços necessários impostos em cada tarefa fossem menores. Desde a pré-história que o ser humano tem vindo a criar mecanismos que facilitem as tarefas, desde a roda, moinhos movidos por animais ou pelo vento. A automação industrial teve o seu início no século XVIII na Inglaterra tornando a sociedade mais modernizada com a invenção da máquina a vapor inglesa. A mesma era utilizada para realizar tarefas que outrora eram manuais, por exemplo automatização de um processo artesanal, nascendo assim a 1ª Revolução Industrial. James Watt, aproximadamente no ano de 1788 na Inglaterra, inventou um dos primeiros sistemas de controlo com realimentação, tratando-se de um dispositivo que regulava o fluxo de vapor em máquinas. [4]–[6].

### 2.1.2 2ª Revolução Industrial

No século XIX surgiram novas fontes de energia que impulsionaram o crescimento e desenvolvimento das indústrias nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa. Nos anos seguintes, com o aparecimento da eletricidade, foram inventados dispositivos mecânicos designados como relés que revolucionaram a indústria, a este evento e aos que se sucederam nos anos seguintes foi denominada como a 2ª Revolução Industrial. Na GM (General Motors) nos EUA, Henry Ford em 1909, teve a brilhante ideia que mudou totalmente o conceito da indústria, tendo pensado em algo que ele denominou como linha de montagem. Este fenómeno provocou um grande desenvolvimento industrial, tendo sido um marco importante no início da pré-existência da automação industrial. Com a aplicação da ideia de Henry Ford, surgiram na indústria novos conceitos, como: produção em massa, locais de montagem, entre outros. Em meados do século XIX a GM já produzia automóveis em grande escala e bateu recordes de produção de carros em menos tempo, e nos anos que se seguiram a mesma já possuía máquinas automatizadas compostas por relés. Mas, no entanto, existiam alguns inconvenientes na utilização desse equipamento tais como [4]:

- Sendo dispositivos mecânicos, portanto estão mais suscetíveis ao desgaste;
- Inflexibilidade na utilização e mudança para novas funções ou sequências;
- Capacidade de trabalho com variáveis analógicas era muito limitada;
- Necessário um tempo longo para diagnóstico, resolução e reparação de problemas, especialmente dispendioso numa linha de produção ativa;
- Necessário a implementação de painéis e salas de controlo com milhares de relés e outros dispositivos mecânicos, e quando por exemplo era necessário alterar o processo (devido à mudança do modelo do veículo, por exemplo), era necessário alterar todo o sistema e refazer tudo do zero, o que custava meses de trabalho;
- Falta de fiabilidade, devido ao sistema automatizado por vezes possuir milhares de peças móveis (relés), ligações, conexões e contactos associados;
- Não era dada importância à eficiência do equipamento e do processo em si, portanto muita energia era necessária, sem mencionar também que a vida útil dos relés era reduzida.

### 2.1.3 3ª Revolução Industrial

Willian Shockley, Jonh Bardeen e Walter Brattain, em 1947, inventaram, o que é ainda hoje denominado como transístor, onde mais tarde em 1956, lhes daria a conquista do Prémio Nobel da Física. A partir desta data o transístor revolucionou o mundo da eletrónica. Tendo em conta os avanços na eletrónica de estado sólido, os engenheiros da GM, chegaram à conclusão que teria de haver uma melhor forma de retirar partido da lógica implementada pelo transístor, apresentado na Figura 2-2 [4], [7].



Figura 2-2: A equipa de desenvolvimento do transístor, da esquerda para a direita: O transístor, William Shockley, Jonh Bardeen, e Walter Brattain [8], [9].

Devido a esse debate entre os engenheiros da GM, a mesma emitiu um pedido de resposta detalhado a várias entidades para uma nova abordagem ao fabrico de um controlador, que deveria conter as seguintes características [4]:

- Sem partes móveis;
- Capaz de suportar diferenciais de temperatura, vibrações, sujidade e abuso;
- Ser programado utilizando a mesma lógica *ladder* usada nos relés;
- Possível alteração ou modificação da lógica *ladder* a partir de um módulo de programação separado, sem necessidade de mover fios ou aceder ao interior do equipamento;
- Por fim, pretendiam que desenvolvessem um equipamento fiável, duradouro, flexível, de fácil acesso e que permitisse facilmente a alteração do programa.

Quatro empresas se propuseram a desenvolver tal solução: Morle's Bedford Associates, DEC (*Digital Equipment Corporation*), Allen-Bradley e Century Detroit. Mas, no entanto, foi a empresa Morle's Bedford Association, em 1968, que ganhou o contrato para desenvolver uma alternativa viável que substituísse os dispositivos mecânicos intitulados como relés. Tal efeito aconteceu e surgiu o projeto 084, que posteriormente intitularam como Modicon (***Modular Digital Controller***) apresentado na Figura 2-3, sendo o primeiro controlador lógico programável (PLC) que possibilitou que o sistema se tornasse muito mais flexível, fiável, económico e eficiente. O Modicon 084 continha cartas de entradas e saídas, um processador, memória e uma placa *logic solver*, que analisava os algoritmos associados à lógica *ladder* [4], [10], [11].



Figura 2-3: A equipa de desenvolvimento do Modicon 084, da esquerda para a direita: Dick Morley, Tom Boissevain, o Modicon 084, George Schwenk e Jonas Landau [12].

Depois do desenvolvimento do Modicon 084, outras empresas entraram no mercado no desenvolvimento de PLC. A Modicon mais tarde foi comprada pela Gould Electronics, e depois pela Schneider Electric, grande fabricante de equipamentos para automação industrial e uma marca conhecida a nível mundial atualmente [10], [11].

Inicialmente o Modicon 084 não foi inteiramente um sucesso, era lento e faltava-lhe algumas características úteis. Foi então em 1973, que introduziram no mercado o Modicon 184, apresentado na Figura 2-4, que é reconhecido como o primeiro PLC produzido em massa para o mercado de forma a alcançar o sucesso na área de automação industrial [10], [11].



Figura 2-4: Modicon 184 [13].

O controlador lógico programável possuía diversas vantagens em comparação com dispositivos mecânicos, nomeadamente:

- Os circuitos lógicos foram substituídos por *software*, ocupando assim menos espaço;
- Integração e controlo de variáveis analógicas;
- Tempo de manutenção reduzido, facilitando o diagnóstico de problemas;
- Maior facilidade na alteração do processo, visto a programação ser feita por *software*;
- Diminuição da modificação dos comandos, das desagradáveis alterações da cablagem e do consumo de energia.

### 2.1.4 4ª Revolução Industrial

*Internet of Things*, ou IoT, é o modo como os objetos físicos estão conectados e se comunicam entre si e com o utilizador. Esta comunicação é feita através de sensores inteligentes e *softwares* que transmitem dados via Wi-Fi. Como resultado desta comunicação o planeta torna-se mais “inteligente” e responsivo. Na indústria esse termo é adaptado para *IIoT (Industrial Internet of Things)* e é uma subcategoria da *Internet of Things*, que também inclui aplicativos voltados para o cliente. Utilizado para casas inteligentes, carros autónomos, dispositivos, máquinas e infraestruturas com sensores integrados que transmitem dados via Wi-Fi que são geridos por *software*. Algumas aplicações da IoT estão apresentadas na Figura 2-5 [14], [15].

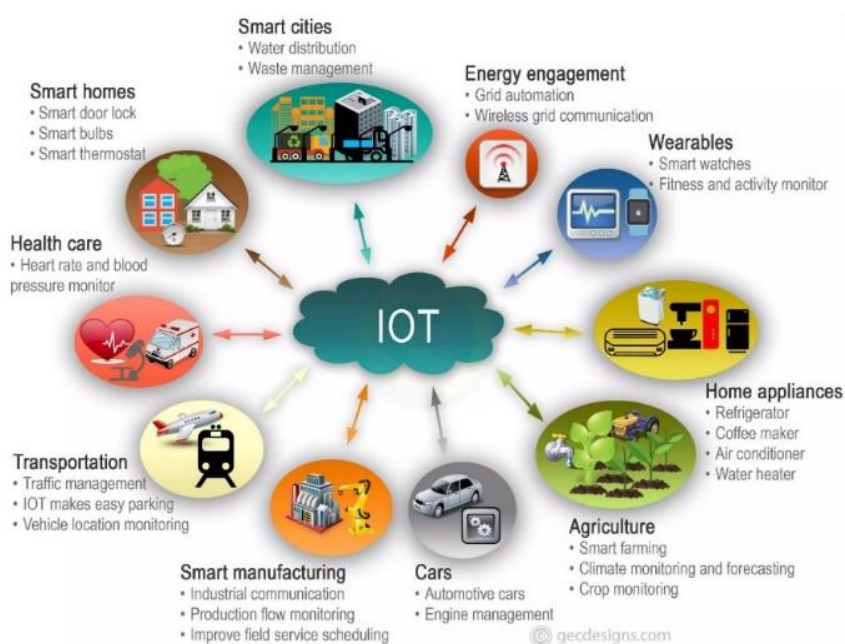


Figura 2-5: Aplicações da IoT [24].

As principais vantagens do IoT são [14], [15]:

- Acesso a informação a partir de qualquer lugar, a qualquer momento e em qualquer dispositivo;
- Melhoramento da comunicação entre dispositivos eletrónicos;
- Automatização de tarefas que ajudam a melhorar a qualidade dos serviços de uma empresa;
- Redução da intervenção humana.

As desvantagens mais significativas do IoT são [14], [15]:

- À medida que os dispositivos conectados aumentam e as informações partilhadas entre si também aumentam, a probabilidade de um *hacker* apoderar-se das mesmas também aumenta;
- Como não existe um padrão internacional de compatibilidade para a IoT, é difícil para dispositivos de diferentes fabricantes comunicarem entre si.

### 2.1.5 Objetivos, Benefícios e Inconvenientes da Automação

A automação foi implementada na indústria com o principal objetivo de tornar os processos mais flexíveis, autónomos e produtos com maior qualidade. Os seguintes tópicos apresentam uma breve explicação dos objetivos referidos anteriormente, sendo eles [17], [18]:

- **Qualidade:** com um processo automatizado, procura-se um controlo de qualidade eficiente e a compensação automática de deficiências que possam surgir no processo;
- **Flexibilidade:** o processo é capaz de se adaptar a alterações provenientes dos parâmetros do processo;
- **Produtividade:** utilização de equipamentos “inteligentes” que proporcionam uma supervisão do processo e um melhor aproveitamento da matéria-prima;
- **Viabilidade técnica:** rápida alteração do processo de produção.

A entidade ao automatizar processos industriais fez com que surgissem certos benefícios, nomeadamente: o aumento da eficiência, redução de custos e de tempos de produção. Alguns dos benefícios da aplicação da automação na indústria são [17], [18]:

- Aumento da eficiência do processo, da qualidade e do volume de produção;
- Redução de custos de manutenção, tempo de produção, entre outros;
- Melhor qualidade do produto e da segurança do operador e dos equipamentos;
- Redução da exposição do ser humano à realização de trabalhos monótonos, repetitivos e por vezes perigosos;

A implementação da automação trouxe consigo algumas desvantagens, sendo a maior delas a remoção dos trabalhadores dos seus postos de trabalho. Outros inconvenientes do uso da automação, são [17], [18]:

- Trabalhadores deslocados para outros postos de trabalho, em quase todos os casos o trabalhador cujo trabalho foi assumido por uma máquina sofre um período de stress emocional;
- Para além da deslocação do trabalhador para outro posto, o mesmo pode ser deslocado geograficamente, e ter de se realojar, o que é uma fonte de stress e também economicamente mais dispendioso para a entidade ou para o operador;
- Grau de flexibilidade geralmente mais baixo em termos de produtos possíveis em comparação com um sistema manual (mesmo a automatização flexível é menos flexível do que o ser humano, a máquina mais versátil de todas).

### 2.1.6 Tipos de Automação

Na Figura 2-6 estão apresentados os diferentes tipos de automação relacionando o volume do produto em função da variedade do produto.

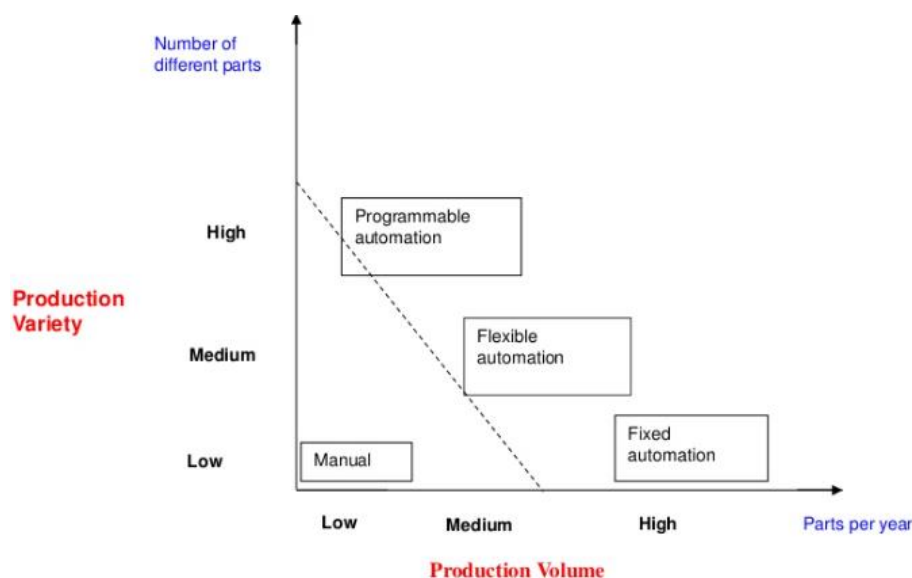


Figura 2-6: Tipos de automação relativos ao volume de produção e variedade do produto [19].

**Automação Programável:** para cada tipo de produto, o equipamento de produção deve ser reprogramado e alterado para inserir no processo o novo tipo de produto. A desvantagem é que a reprogramação do processo demora um certo tempo a realizar, existindo um período de tempo em que não se produz, provocando assim uma descida no volume de produção. Uma máquina de controlo numérico computadorizado (CNC) é um bom exemplo de automação programável. Para cada tipo de produto, o operador gerará um ficheiro *g-code* num *software* específico, Mastercam, onde no ficheiro *g-code* está presente o conceito de automação programável [20], [21].

**Automação Flexível:** na automação flexível, tanto a variedade de produtos bem como o volume de produção são suficientemente limitados para que a transição do tipo de produto possa ser feita de forma automática e rápida. A reprogramação do equipamento em automação flexível é elaborada fora da linha de produção, ou seja, a programação é realizada num *software* sem a necessidade de estar conectado com o equipamento de produção. Portanto diferentes tipos de produtos podem começar a ser produzidos um logo após o outro [20], [21].

**Automação Fixa:** contêm um *hardware* que não é facilmente alterado de um tipo de produto para o outro. Esta forma de automatização caracteriza-se por um elevado investimento inicial, volume de produção elevado e baixa variedade de produção. Por consequência, é adequado para produtos fabricados em grandes volumes. Exemplo do sistema de automação fixa são os processos de automação de pintura e revestimento [20], [21].

## 2.2 Robótica Industrial

### 2.2.1 Início da Robótica Industrial (1954 - 1979)

O termo “robótica” provém da palavra robô e o mesmo é o ramo da ciência que se ocupa do estudo, desenvolvimento e aplicações dos robôs. Estes surgiram de forma a facilitar tarefas árduas, repetitivas e perigosas para o ser humano.

Em 1941, o escritor de ficção científica Issac Asimov, usou pela primeira vez a palavra robótica para descrever a tecnologia dos robôs, prevendo a ascensão de uma poderosa indústria dos mesmos. No ano seguinte, 1942, Issac escreveu as que seriam as três leis da robótica, sendo elas:

- **Primeira Lei:** um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum mal;
- **Segunda Lei:** um robô deve obedecer às ordens dadas por seres humanos exceto nos casos em que tais ordens entrem em conflito com a primeira lei;
- **Terceira Lei:** um robô deve proteger sua própria existência desde que tal proteção não entre em conflito com a primeira ou a segunda lei.

O início da robótica industrial tomou início no ano de 1954 quando George Charles Devol patenteou o primeiro robô programável chamado Unimate. Mais tarde em 1956 conheceu Joseph Engelberger e ambos formaram a empresa Unimation, onde em 1960 lançaram o primeiro protótipo, o Unimate série 1000 apresentado na Figura 2-7a). O robô Unimate foi o primeiro braço robotizado a efetuar trabalhos simples na indústria, das quais seriam perigosas ou desagradáveis para os humanos. George Charles Devol e Joseph Engelberger foram denominados como os pais da robótica.

O desenvolvimento da robótica industrial continuou a evoluir rapidamente, e em 1969 Victor Scheinman desenvolveu o Stanford Arm, apresentado na Figura 2-7b), tendo sido o primeiro braço robotizado com 6 juntas controlado por computador com sucesso. Por volta do ano de 1974, este braço robotizado atingiu tal nível de precisão, que posteriormente foi implementado numa linha de montagem para introdução de uma bomba de água do veículo Ford Model T.

O legendário IRB6 do fabricante, ASEA, apresentado na Figura 2-7c), foi introduzido no mercado no ano de 1973 e revolucionou a tecnologia de automação na Europa como o primeiro robô industrial 100% elétrico controlado por um microprocessador, contendo a melhor tecnologia daquela época. Foi implementado nas primeiras fábricas de “luzes apagadas” e era utilizado em aplicações como: soldadura MIG, manuseamento de materiais, entre outras [22].

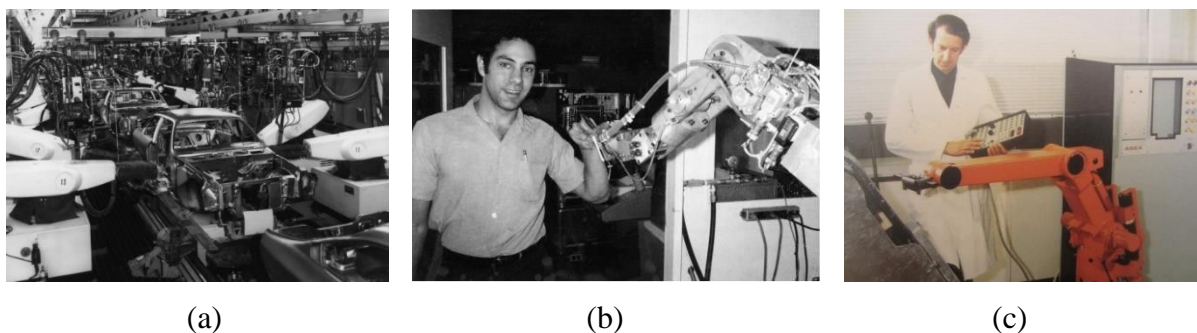


Figura 2-7: Primeiros robôs industriais: (a) Unimate série 1900, (b) Stanford Arm e (c) Robô IRB6 [23].

Em 1973, na empresa Cincinnati Milacron em Ohio, Richard Hohn desenvolveu o que seria um robô industrial automático e reprogramável denominado *The Tomorrow Tool* ou T3, que era composto por seis juntas e controlado por um minicomputador. O modelo T3 era utilizado em aplicações como: soldadura e transporte de peças na área automóvel, entre outros.

Em 1978, o robô Puma (*Programmable Universal Machine for Assembly*), apresentado na Figura 2-8a), foi introduzido para a realização de tarefas de montagem pela Unimation, com base em protótipos de Victor Scheinman e um estudo feito pela General Motors. Foram desenvolvidas três versões deste robô, a série 200, 500 e 700. O conceito básico multiarticulado deste robô ainda hoje é uma base para a maioria dos robôs atuais.

O primeiro robô SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), apresentado na Figura 2-8b) foi desenvolvido em 1979 no laboratório pelo Professor Hiroshi Makino, na Universidade Yahanashi no Japão. Com menos movimento conseguia executar a tarefa rapidamente com alta velocidade, precisão e num movimento suave. É vantajoso para aplicações industriais tais como: *pick and place*, montagem e embalagem [22].

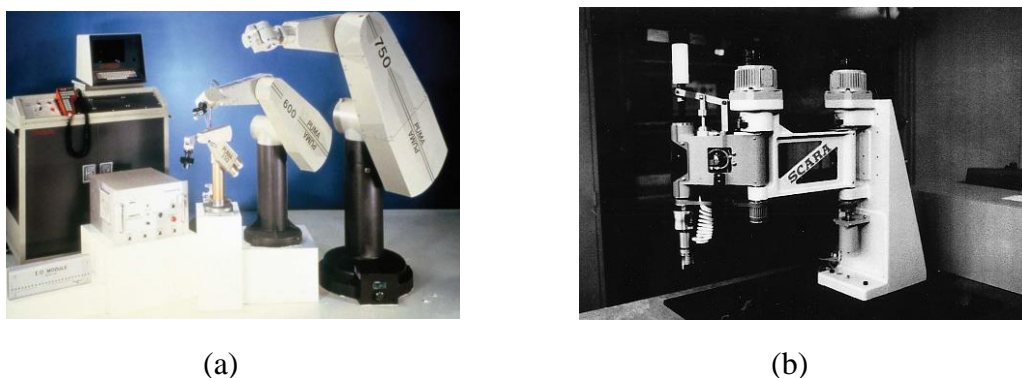


Figura 2-8: Primeiros robôs industriais: (a) Robô Puma e (b) Robô SCARA [22], [23].

### 2.2.2 Robôs Industriais Modernos (1980 – dias atuais)

Com a descoberta de novas tecnologias os robôs industriais tornaram-se cada vez mais “inteligentes” e versáteis. Diversas instituições de ensino até hoje têm vindo a introduzir e a atualizar programas e cursos de robótica em diversos departamentos como: engenharia mecânica, engenharia eletrotécnica e informática. Atualmente, as linguagens de programação são consideradas um trabalho muito presente devido à evolução da tecnologia. Sem a existência dos robôs, muitos produtos seriam mais caros do que são na atualidade [25].

A Figura 2-9 apresenta alguns dos fabricantes mais importantes de robôs manipuladores da atualidade. A empresa ABB é uma fusão da empresa Sueca Asea com a Suíça Brown Boveri [26]–[31].



Figura 2-9: Diversos fabricantes de robôs [26]–[31].

### 2.2.3 Popularidade na Indústria

A mão de obra existente muita das vezes não é suficientemente qualificada, e não está prevista uma melhoria nos anos que se aproximam. Consequentemente em certos países a produção tornar-se-á limitada e a necessidade de importação aumentará. Existem duas alternativas para tal problema, manter o sistema de produção como se encontra ou implementar sistemas para maior capacidade produtiva.

Um sistema que permita maior capacidade produtiva é a implementação da robótica na produção. Os robôs operam 24h por dia, 7 dias por semana sem necessidade de fazer uma pausa na tarefa que estão a elaborar, para realizar refeições e outros bens necessários, que o ser humano realiza regularmente. Com esta implementação aumentam as horas de trabalho na produção aquando comparado com as que o ser humano consegue executar mantendo a concentração e a sanidade mental. Com a implementação da robótica é possível que uma tarefa seja realizada durante a noite quando a luminosidade é muito reduzida, poupando à empresa energia elétrica. Tal ambiente seria impossível para o ser humano devido ao mesmo necessitar de um certo nível de luminosidade, de forma que o cansaço visual não se manifeste, nem que o conforto no local de trabalho seja posto em causa. Caso o sistema de produção possua visão artificial é necessária luz artificial para que o sistema opere corretamente. Existem diversos trabalhos na indústria, que para a saúde do ser humano não são muito convenientes, são eles: ambientes barulhentos, tóxicos, sujos ou perigosos. Por exemplo, num setor de uma fábrica onde se efetua o processo de fundição, colocar o metal líquido e retirar peças de moldes é um trabalho árduo que envolve muito calor e por vezes o mesmo é saturante. Á custa desses trabalhos a indústria sofre com a rotatividade de operadores.

A implantação da robótica contribuiria para que a produção nesse setor por exemplo, fosse mais lucrativa. Para o ser humano muita das vezes elaborar trabalhos repetitivos com um certo nível de qualidade e precisão é uma tarefa árdua. Uma das soluções seria a introdução de um robô na linha de produção para que o operador possa executar tarefas mais interessantes, tais como, resolver problemas, criando produtos e melhorar o *design* do mesmo. Não sendo este o único ponto positivo, sendo que do posto de vista da produção, o robô elaboraria a tarefa para o qual está destinado, mais rapidamente, sem se cansar e com uma qualidade superior e constante, visto que o ser humano tende a perder a precisão ao longo do tempo durante o seu dia de trabalho. Quando é solicitado ao operador que atue noutra tarefa exatamente no mesmo local, o mesmo necessitará de um certo tempo para se concentrar e ter rendimento na tarefa proposta. Isto acontece diversas vezes quando existe variedade de produtos. O robô para realizar outra tarefa apenas necessita de um tempo de troca de ferramenta que é extremamente reduzido. Cada vez mais a indústria necessita de ser mais flexibilizada nas suas linhas de produção, portanto as empresas têm vindo cada vez mais a investir monetariamente, sendo esta melhoria o melhor trajeto para tornar uma linha de produção mais flexível. Notando que o objetivo da

implementação da robótica na indústria nunca foi a substituição dos operadores, mas sim no auxílio de certas tarefas [32], [33].

### 2.2.4 Anatomia dos robôs

A anatomia de um robô lida com o estudo de diferentes articulações (*joints*), ligações (*links*) e outros aspetos da estrutura física do manipulador. Uma articulação (*joint*) robótica fornece ligação entre 2 ligações (*links*) de um robô. Cada articulação, ou eixo, proporciona um certo grau de liberdade (GL), ou da literatura inglesa (*Degree of Freedom – DoF*) no movimento. Na maioria dos casos, apenas um grau de liberdade está associado a cada articulação. Portanto a complexidade do robô pode ser classificada de acordo com o número total de graus de liberdade que o mesmo possui. Basicamente o robô pode possuir até três tipos de sistemas que fazem movimentar a articulação (*joints*), que por norma são: elétricos, pneumáticos ou hidráulicos. Os motores elétricos são os mais usuais, sendo utilizados: *servo motors* ou motores de passo. No caso dos sistemas hidráulicos e pneumáticos, são utilizados cilindros de pistão para movimentos lineares e atuadores rotativos para movimento angular. Na Figura 2-10 está representado onde estão situadas na estrutura de um robô as articulações (*joints*) e as ligações (*links*) [33], [34].

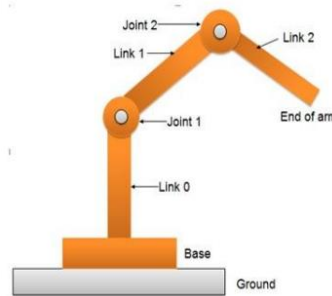


Figura 2-10 – Anatomia de um robô [34].

Um sistema robótico envolve diversos componentes [35]–[37]:

- O robô, que é constituído pelo manipulador, ferramenta e a unidade de controlo;
- Consola de programação, computador, base de dados e servidor;
- Sistema de alimentação/ remoção de produtos (*buffers, conveyors*<sup>1</sup>, entre outros);
- Sistemas de segurança (barreiras de segurança, sensores fotoelétricos, entre outros);
- Sistemas de controlo (*start, stop*, botão de emergência, entre outros);

É necessário verificar se as características do robô correspondem às tarefas que o mesmo irá realizar. Três aspetos importantes deve-se ter em conta na escolha de um robô [37], [38]:

- **Carga máxima:** capacidade de movimentar materiais sem prejudicar as suas características estáticas, dinâmicas ou de fiabilidade;
- **Volume de trabalho:** região tridimensional onde seja possível ao robô posicionar o seu punho;

---

<sup>1</sup> Um *conveyor* é por norma um tapete rolante para transporte de materiais.

- **Repetibilidade:** é importante para procesos que requerem uma precisam constante por parte do robô em realizar uma tarefa.

## 2.2.5 Diferentes Tecnologias e Características de um Robô

### 2.2.5.1 Robô Articulado

O robô articulado ou antropomórfico, apresentado na Figura 2-11, tem por norma seis graus de liberdade e é o mais implementado na indústria. Isto deve-se ao facto da sua configuração mecânica assemelhar-se ao braço de um ser humano, onde a base está interligada com a junta de rotação possuindo assim uma estrutura com mais flexibilidade em comparação com os outros tipos de robôs [37].

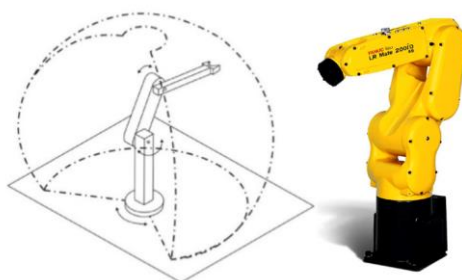


Figura 2-11: Forma, volume de trabalho e forma real do robô articulado [39], [40].

Os robôs articulados apresentam um volume de trabalho com uma geometria mais complexa do que as restantes categorias de robôs. O mesmo possui juntas de rotação em todas as suas articulações. Duas vantagens da sua utilização é a capacidade de executar movimentos a alta velocidade com uma certa facilidade, sendo também flexível para execução de tarefas que necessitem menos espaço. Utilizado para processo como: embalagem, palatização, manuseamento de materiais, alimentação de máquinas, soldadura a arco ou ponto [37], [41];

### 2.2.5.2 Robô Cartesiano

O robô de coordenada cartesiana, apresentado na Figura 2-12, também denominado como robô retilíneo ou de *gantry*, possui um volume de trabalho muito próximo a um paralelepípedo, e opera nos três eixos cartesianos ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), possuindo assim apenas juntas de translação [37], [41].

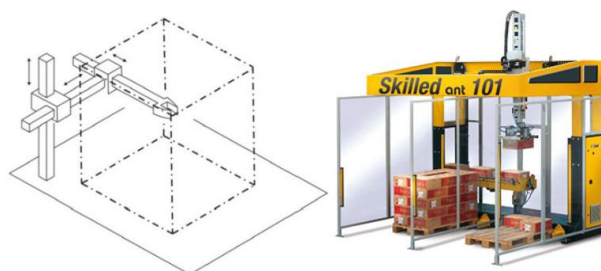


Figura 2-12: Forma, volume de trabalho e forma real do robô cartesiano [39], [40].

O robô cartesiano efetua operações como: *pick and place*, carregamento e descarregamento de produtos, manuseamento de materiais, montagem e desmontelamento [37], [41].

### 2.2.5.3 Robô Cilíndrico

O robô do tipo cilíndrico, apresentado na Figura 2-13, possui uma geometria cilíndrica e é constituído apenas por uma junta de rotação e duas de translação. Este tipo de robô é capaz de executar um movimento angular em torno do eixo na base próximo dos 360° [42], [48].

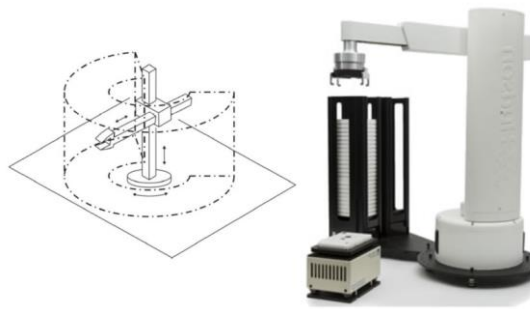


Figura 2-13: Forma, volume de trabalho e forma real do robô cilíndrico [39], [40].

Tem como vantagem, o manuseamento de grandes cargas e a sua implementação requerer um espaço mais reduzido que robôs. Atualmente este tipo de robô é pouco usual, caindo em desuso ao longo do tempo. Este tipo de robô aplicava-se em operações de carregamento e descarregamento de máquinas, montagem, revestimento, fundição, entre outros [42], [48].

### 2.2.5.4 Robô Polar

O robô polar, apresentado na Figura 2-14, possui um volume de trabalho com uma geometria aproximadamente esférica, sendo constituído por duas juntas de rotação e uma junta de translação que permite que o punho seja retrátil. Possui um volume de trabalho idêntico ao robô cilíndrico, mas com uma geometria esférica.[42], [48].

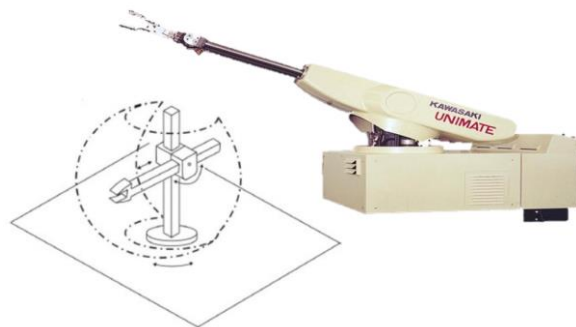


Figura 2-14: Forma, volume de trabalho e forma real do robô polar/esférico [39], [44].

Possui algumas desvantagens, nomeadamente: baixa precisão e repetibilidade na direção do movimento rotativo, e atualmente a sua utilização já não é muito comum. Era utilizado com o propósito de operar em processos de: fundição, manuseamento de materiais, empilhamento, desempilhamento, entre outros [37], [41].

### 2.2.5.5 Robô SCARA

O robô SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), apresentado na Figura 2-15, é composto por duas juntas de rotação e uma de translação. É capaz de executar movimentos de alta velocidade com uma boa repetibilidade, onde os motores não necessitam de suportar a estrutura, porém é limitado apenas para superfícies planas [42].

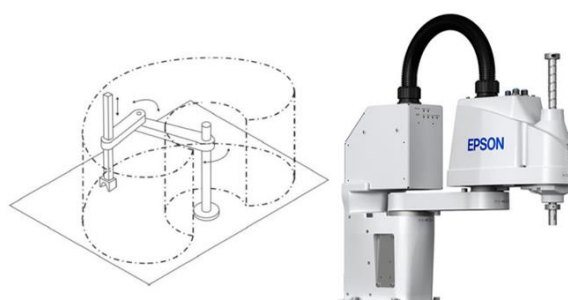


Figura 2-15: Forma, volume de trabalho e forma real do robô SCARA [39], [45].

É aplicado em operações de: montagem de circuitos, manuseio de pequenos componentes, embalagem, palatização, aplicações biomédicas e de colas, entre outras [41], [42].

### 2.2.5.6 Robô Delta

O robô delta, apresentado na Figura 2-16, é comparado a uma aranha, e a sua estrutura é composta por ligações paralelas conectadas a uma base e apresenta uma geometria volumétrica inferior à metade de uma esfera. A vantagem em relação aos outros tipos de robôs é que devido ao controlo direto que cada junta tem sobre a ferramenta do robô, a mesma é controlada facilmente com os braços, resultando com que a tarefa se realize mais rapidamente. Este género de robôs é usado principalmente em tarefas que é necessário executar movimentos com uma velocidade elevada e precisão, como é no caso de tarefas como: *pick and place* [42].

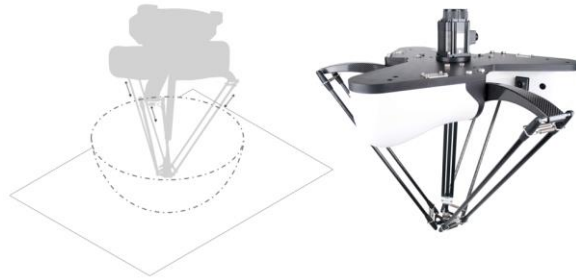


Figura 2-16: Forma, volume de trabalho e forma real do robô delta [46].

É aplicado na indústria alimentícia, farmacêutica, eletrônica, sendo que também é utilizado em simuladores de voo e automóveis, entre outras aplicações [37].

## 2.3 Controlo Numérico

### 2.3.1 Surgimento do Controlo Numérico

Jonh Thoren Parsons, no ano de 1949, desenvolveu como parte de um projeto de investigação da Força Aérea realizado no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) nos Estados Unidos, a que seria a primeira fresadora com controlo numérico (NC), também denominada como máquina-ferramenta para o desenvolvimento de peças para a indústria aeroespacial.

O controlo numérico é uma forma de automatização programável na qual a máquina-ferramenta é controlada por números (e outra simbologia), que porventura estariam codificados em fita de papel perfurada, como mostra a Figura 2-17, ou num meio de armazenamento alternativo, onde a leitura da mesma era efetuada por um BTR (*Behind the Tape Reader*). A sua aplicação era controlar a posição de uma ferramenta perpendicular à peça a ser maquinada, para efetuar trabalhos de desbaste, furação, entre outros. Os números codificados no programa especificavam as coordenadas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) em um sistema de eixos cartesianos, definindo a movimentação e operação da ferramenta em relação à peça a ser maquinada. Possuía um sistema de controlo de *feedback* de posição utilizado na maioria das máquinas com NC para verificar se as instruções codificadas eram executadas corretamente.

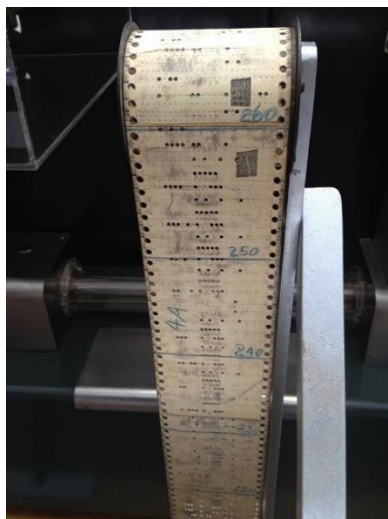


Figura 2-17: Sistema de fita perfurado que contém informação para controlar a máquina-ferramenta [47].

As fresadoras com controlo numérico foram mais aceites no final da década de 1950, mas ainda não existia um código universal para máquinas com NC, portanto cada fabricante trabalhava a sua própria linguagem para programar as máquinas com NC. Consequentemente no laboratório de servos mecanismos no MIT no final da década de 50 nasceu a primeira linguagem de programação de controlo numérico, o *g-code*, tornando assim a criação destas novas máquinas de uma forma mais padronizada.

### 2.3.2 Tipos de Máquinas CNC

As máquinas CNC tiveram grande impacto na indústria, devido à sua capacidade de maquinar diferentes tipos de materiais com elevada precisão. Ao contrário de outras máquinas, as máquinas CNC provaram a sua eficiência na maquinação de pequenos detalhes e a facilidade no desbaste do material. Estas máquinas possuem muitas vantagens e lidam com diversos tipos de materiais, como: aço inox, alumínio, ferro, entre outros. Esta versatilidade posteriormente conduziu à existência de mais de um tipo de máquinas CNC. Atualmente existem diferentes tipos de máquinas CNC que maquinam e que lidam com diferentes tipos de materiais [48].

#### a) Torno CNC

O torno CNC possui 2 eixos e foi desenvolvido para maquinar peças com uma estrutura cilíndrica, estando a peça fixa e rodando em torno de si própria através de um motor trifásico. Esta máquina CNC efetua a maquinação movendo a ferramenta nos eixos imaginários ( $x$ ,  $z$ ). Na Figura 2-18 está apresentada uma peça a ser maquinada usando esta tecnologia [48].



Figura 2-18: Torno CNC [49].

### b) Fresadora CNC

A fresadora CNC pode possuir entre 3 e 6 eixos. Tem a possibilidade de maquinar diferentes tipos de materiais, como: alumínio, aço inox, aço, madeira, ferro, acrílico entre outros materiais. Na Figura 2-19, está apresentado um processo de maquinação elaborado por uma fresadora CNC de 6 eixos [48].



Figura 2-19: Fresadora CNC [50].

### 2.3.3 Vantagens das Máquinas CNC

Atualmente o nível económico de um país está por vezes dependente da indústria. A indústria está muito de pendente das máquinas e do desenvolvimento da tecnologia. Com a implementação das máquinas CNC na indústria, melhoraram alguns aspetos, nomeadamente:

- No processo de maquinação é necessário a introdução do código máquina (*g-code*) e que possua certas condições para que a mesma efetue o processo de maquinação;
- Facilidade na correção e revisão do programa;
- Traz mais segurança aos operadores;
- Número reduzido de ferramentas, visto o processamento de peças complexas não requererem ferramentas tão complexas;
- Maior controlo e possibilidade de correções acerca do desgaste das ferramentas;
- Troca de ferramentas automática;
- Ajuda a evitar erros humanos;
- Seguras para desenvolver geometrias complexas que são ao mesmo custo comparadas com as mais simples;

- Produção de curta duração e mais flexível;
- Proporciona uma elevada precisão na produção de peças e alta repetibilidade;
- Redução do custo de produção;
- Capaz de controlar as condições para desgaste adequadas [51].

#### **2.3.4 Desvantagens das Máquinas CNC**

Não existe nenhuma criação de algo que seja perfeito, ou seja, as máquinas CNC não possuem apenas vantagens, mas neste caso as vantagens têm mais peso que as suas desvantagens. Nos seguintes tópicos estão descritas algumas das desvantagens mais significativas, sendo elas:

- A máquina possui um elevado custo monetário;
- Necessidade de operadores terem o mais alto nível de formação para lidar com este tipo de máquinas;
- Os erros humanos não são eliminados na totalidade;
- Manutenção mais difícil e escassez de especialistas para a realizar [51].

## 2.4 Visão Computacional

### 2.4.1 Breve História da Visão Computacional

Em 1966, Seymour Papert e Marvin Minsky, dois pioneiros no desenvolvimento da inteligência artificial, lançaram o *Summer Vision Project*, onde dez homens, durante dois meses se dedicaram a criar um sistema de visão computacional que fosse capaz de identificar objetos em imagens. Marvin Minsky trabalhava como professor na área da ciência da computação no MIT e desenvolveu o primeiro braço robótico capaz de manipular objetos, apresentado na Figura 2-20.



Figura 2-20: Marvin Minsky: um dos pioneiros da inteligência artificial [52].

Para um computador, uma imagem é apenas uma matriz de pixels, quanto maior a resolução da imagem, mais pixels ela possui, e mais poder de processamento é necessário para a analisar.

### 2.4.2 Introdução à Visão Computacional

A visão computacional, também conhecida como visão artificial é um subcampo da inteligência artificial e *Machine Learning*<sup>2</sup> (ML) que tem como objetivo, através de linguagens de programação, que computadores em conjunto com câmaras, permitam a interpretação e o entendimento do mundo visual. Utilizando imagens, vídeos e modelos de *deep learning*, as máquinas detetam e classificam com precisão os objetos e depois reportam o que “vêm”. É uma área que tem como propósito dar “visão” às máquinas, e é principalmente aplicado desde automatização de processos até condução autónoma de veículos. São aplicados conhecimentos de diversas áreas, tais como, processamento de imagem, reconhecimento de padrões, biologia, psicologia, entre outras áreas. Extrai automaticamente informação contida em imagens e é atualmente aplicada em diversas áreas, como: militar, industrial e saúde. Uma das aplicações da visão artificial é o controlo de qualidade na indústria e um exemplo onde é utilizada esta tecnologia é em processos agrícolas para “expulsar” alimentos incómodos que não comprovem certos parâmetros de qualidade [53].

---

<sup>2</sup> *Machine learning* é o estudo de algoritmos de computação que melhoram automaticamente através da experiência e do uso de dados.

### 2.4.3 Desafios da Visão Computacional

O foco da área da visão computacional é o estudo, compreensão e replicabilidade da visão humana, sendo que o mesmo facilmente reconhece um objeto. Atualmente projetos que tiram proveito dessa tecnologia ainda enfrentam desafios, nomeadamente [54]–[56]:

- Fatores como perspectiva, iluminação e expressão;
- Normalização para permitir que dispositivos e sistemas comuniquem entre si e compartilhem dados;
- Têm de agir com a mínima intervenção humana;
- Necessitam aprender e improvisar sozinhos (*machine learning*);
- Atualizações de *software/firmware* incorporam novos conceitos de aprendizagem automática;
- Os programadores têm de ter em conta que *hackers* podem explorar novas vulnerabilidades de segurança na visão computacional e na AI (*Artificial Intelligence*);
- Para o reconhecimento de objetos em imagens é necessário um programa bem elaborado com um banco de dados fixo, que contenha diferentes exemplos de cada objeto a ser identificado.

O funcionamento de um programa de reconhecimento de imagens encontra-se apresentado na Figura 2-21.

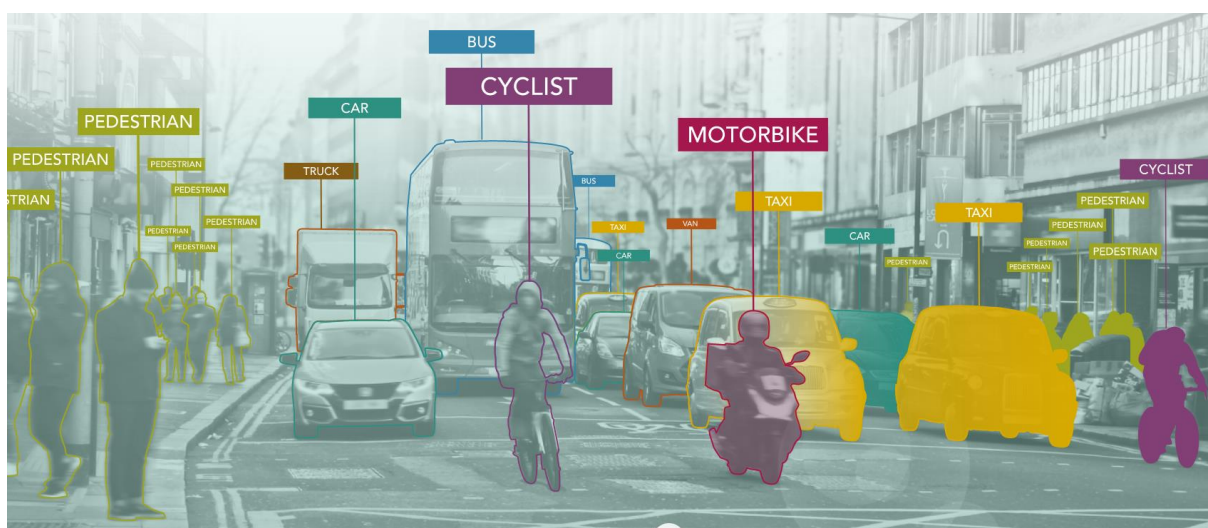


Figura 2-21: Funcionamento de um programa de reconhecimento de imagens [57].

O processo de detecção de objetos é bastante extenso, existindo diversas etapas como, determinar a região de interesse, conversão em escala de cinza, em preto e branco, detecção de contorno dos objetos, cálculo de áreas, obtenção da MBB (*Minimum Bounding Box*), seguimento do objeto, entre outras. Como já referido no subcapítulo 2.4.1, quanto maior for a análise à imagem, e mais resolução possuir, mais poder de processamento será necessário [53].

## 2.4.4 Evolução da Visão Computacional

Existe um potencial enorme na área de visão computacional, e, portanto, ainda existem muitas melhorias a serem realizadas. Uma delas é a melhoria do poder de processamento, uma vez que até simples aplicações necessitam de poder de processamento. As unidades de processamento gráficas (GPU) ajudam significativamente para que os processos sejam executados dentro da normalidade.

Dentro do desenvolvimento significativo da tecnologia, estão as câmaras modernas, que possuem capacidade de focar automaticamente em rostos, examinação de textos em imagens, áudio usando voz artificial, entre outras inovações.

A nível de efetividade, as máquinas em situações de falta de iluminação, conseguem obter informações que o ser humano não consegue, usando otimização de imagem ou uso de imagens térmicas e também para exames de imagem como os raio-X, bastante usado para diagnósticos na área da medicina [51], [53]–[55].

## 2.4.5 Aplicação na Indústria

### 2.4.5.1 Processo *Pick and Place*

Nos dias de hoje a visão artificial é um elemento essencial na indústria principalmente no controlo de qualidade dos produtos produzidos em um ambiente industrial em áreas como, eletrónica, indústria farmacêutica, aeronáutica, automobilística, entre outras. O processo passa por a captação de imagens por uma ou mais câmaras em tempo real com o intuito de posteriormente serem analisadas por uma unidade de processamento. O procedimento descrito pode ser utilizado para diferentes finalidades como, deteção de objetos, deteção de movimentos, deteção de cores, deteção de limites, reconhecimento de objetos, entre outros interesses.

No caso da implementação desta tecnologia nos SFF, a visão artificial opera com uma certa frequência associado com robôs, sendo esta junção denominada por RGV (Robótica Guiada pela Visão), ou da literatura inglesa (*Vision Guided Robotics - VGR*). Para além de processar informação e apoio no controlo de qualidade, posteriormente essa informação poderá ser enviada para equipamentos industriais, como apresentado na Figura 2-22. A implementação deste tipo de tecnologia é com objetivo de obter máximo desempenho do processo de produção, eficiência e um melhor volume de produção. Estando perante um ambiente industrial, por exemplo, pode apoiar em funções como: operações de palatização, soldadura, pintura, entre outras funções [54]–[56], [58], [59].

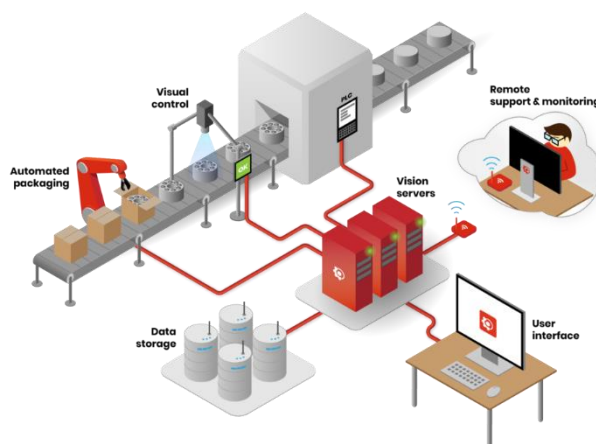


Figura 2-22: Sistema de Visão Artificial implementado num processo Industrial [60].

O processo de *Pick & Place* provém do movimento do robô até ao ponto onde o mesmo terá de executar uma tarefa. Antes da implementação deste tipo de tecnologia o objeto teria de estar estático e sempre na mesma posição, onde o robô teria de se mover sempre para o mesmo ponto para pegar o objeto. Com a introdução da visão artificial, os objetos não necessitam exatamente de estar numa posição fixa porque a câmara de visão artificial ajuda a guiar o robô. Por exemplo os objetos poderão estar num tapete em movimento de forma aleatória que o robô consegue pegá-los com o tapete em movimento, movê-los para uma caixa e colocá-los numa determinada posição independentemente do ângulo em que estavam dispostos no tapete. Neste tipo de tarefa é muito utilizado o robô Delta descrito no subcapítulo 2.2.5.6.

#### 2.4.5.2 Processo *BinPicking*

O procedimento do *BinPicking*, apresentado na Figura 2-23, é similar ao *Pick & Place*, mas bem mais complexo. Este processo permite ao robô movimentar objetos empilhados aleatoriamente numa caixa ou em outro local e colocá-los, por exemplo numa determinada posição em um tapete. Para a recolha desse objeto é imprescindível ter informação tridimensional acerca do objeto, através do uso de uma câmara de visão 3D [54]–[56], [58], [61].

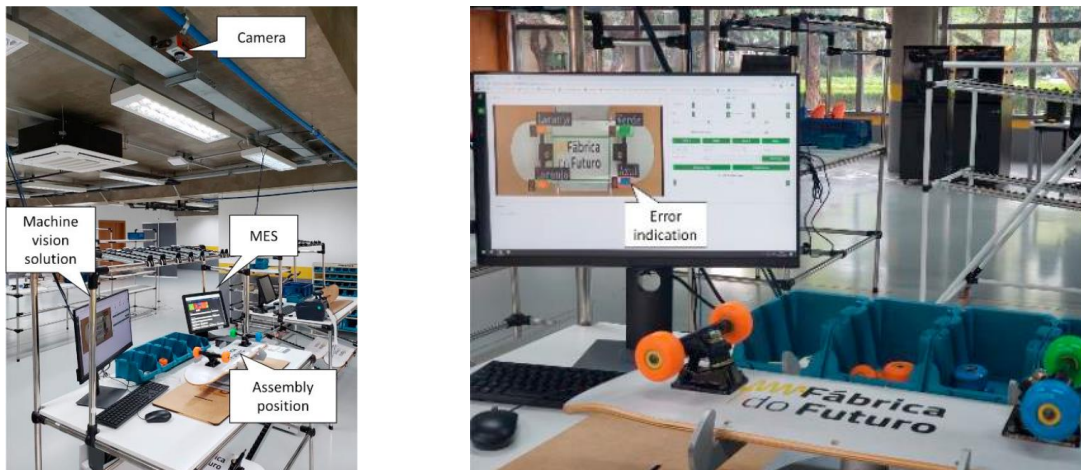


Figura 2-23: Processo *BinPicking* usando uma câmara de visão artificial 3D [62].

### 2.4.6 Linha de montagem com interação direta com o sistema de produção (MES).

Na Figura 2-24 está apresentada uma linha de montagem de controlo de qualidade implementada numa fábrica de aprendizagem, da literatura inglesa MES (*Manufacturing Execution System*) no Brasil, onde o operador possui interação direta com sistema de produção.

O operador recebe os parâmetros de ordem de produção através do sistema MES. A câmara está posicionada no topo da estação de trabalho. Após a montagem estar concluída, o operador encerra a tarefa no sistema MES e a partir desse momento o mesmo dá ordem à câmara para efetuar a inspeção. Caso o pretendido esteja de acordo com o efetuado pelo operador a tarefa é encerrada, caso contrário é informado ao operador o erro na montagem e o mesmo terá de efetuar a tarefa novamente até que esteja tudo de acordo com o pretendido [63].



a) Estação de trabalho e posição da câmara. b) Visão artificial e integração MÊS.

Figura 2-24: Linha de montagem de controlo de qualidade [63].

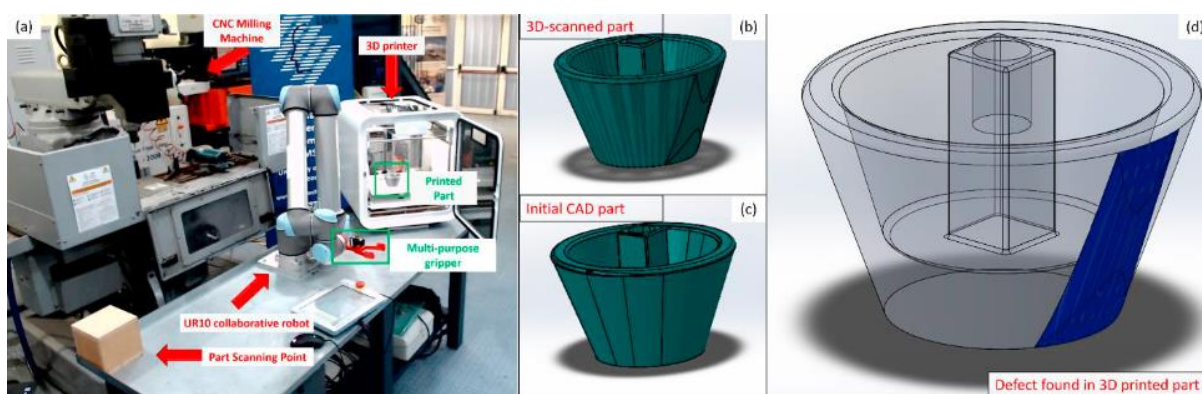
### 2.4.7 Robô Industrial combinado com visão artificial e *deep learning*

*Deep learning* é muito semelhante a uma rede neuronal humana. O conceito de *deep learning* mudou completamente a tecnologia de reconhecimento de imagem e som tradicional de um robô, onde permite ao mesmo compreender a informação acerca da imagem ou som. Visão artificial juntamente com *deep learning*, promove a “inteligência” de um robô de forma que o processo industrial possa adaptar-se melhor à variação de ambiente. Um robô industrial que dê uso dos conceitos de visão artificial e *deep learning* será cada vez mais utilizado no campo industrial devido às suas vantagens, tais como [64]:

- O robô possuir uma certa “inteligência”;
- Os robôs possam partilhar informação, recursos e uma capacidade de aprendizagem maior;
- Os robôs podem fornecer informações e conhecimentos a nível mundial, bem como *open source code*.

### 2.4.8 Célula flexível de fabrico no conceito de fábrica de aprendizagem da geração 4.0

A CFF apresentada na Figura 2-25 é composta por uma impressora 3D de extrusão (*Fuses Deposition Modeling – FMD*), um robô colaborativo, onde neste caso a vantagem da sua utilização é a sua simples programação e de ser suficiente seguro para trabalhar em torno dele durante as experiências. O propósito deste projeto passou por a elaboração de um ficheiro CAD, que posteriormente foi convertido para um ficheiro “.stl” e introduzido na impressora 3D para a mesma o imprimir. Após a impressão estar concluída o robô posiciona a peça no ponto de *scanner*, efetua um *3D scan* à geometria da peça impressa e envia essa informação via Wi-Fi ao operador. De seguida o operador importa o *scan* 3D da peça impressa para um *software* e o mesmo efetua uma comparação entre o *3D scan* e o ficheiro CAD inicial, resultando em uma comparação entre os dois modelos 3D. Caso exista uma diferença entre os modelos significa que existe um defeito e a mesma é colocada em um ponto de reciclagem, caso não possua defeitos segue para a máquina CNC e posteriormente é efetuado outro *scan* no final da sua maquinação. A presente CFF teve um bom desempenho e os resultados foram bastante promissores. Os tempos de produção são bastantes inferiores quando comparados com uma NMC (*Non Manufacturing Cell*). Mais especificamente no caso da CFF apresentada um tempo de ciclo de 49 minutos incluindo a impressão, dois *scanners* 3D, isto é, um seguido à impressão e outro após a maquinação na máquina CNC. O mesmo processo numa NMC foi contabilizado 1 hora e 24 minutos [65].



a) Layout da CFF b) Scanner 3D da peça c) Ficheiro 3D inicial d) Resultado da comparação

Figura 2-25: Célula flexível de fabrico no conceito de fábrica de aprendizagem da geração 4.0 [65].

### 2.4.9 Célula de fabrico implementada com *Digital Twin* e *Virtual Reality*

A implementação de robôs colaborativos na indústria permite vantagens através da combinação da produção automatizada e manual. Em processos específicos é necessário incorporar robôs de diferentes fabricantes, visto que o design desses robôs ser crucial para garantir a máxima qualidade e eficiência. Neste caso a célula de fabrico apresentada na Figura 2-26 é um processo automatizado e de monitorização em tempo real através da utilização de *Digital Twin* (DT) e *Virtual Reality* (VR) [66]–[71].

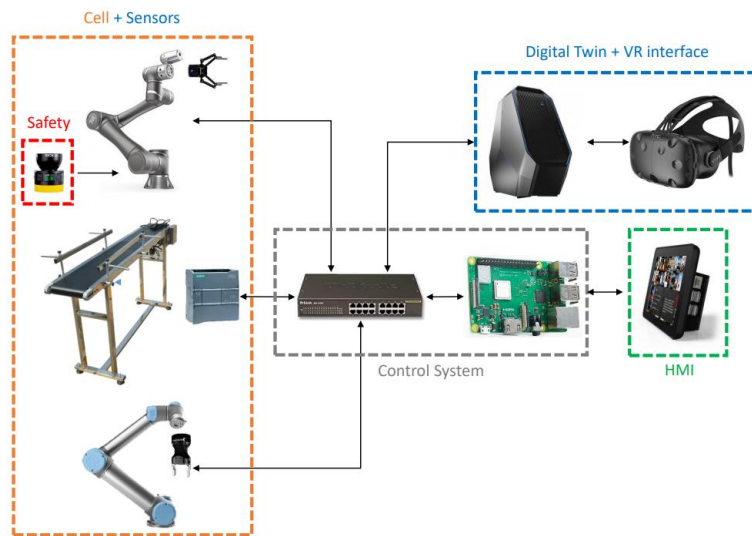
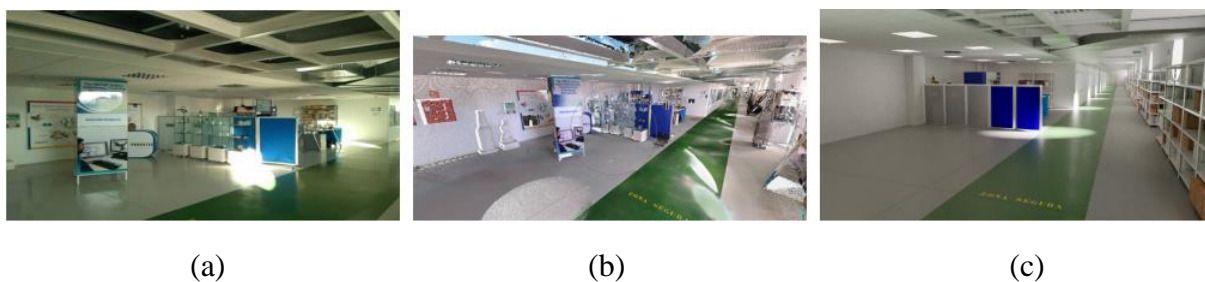


Figura 2-26: Arquitetura de uma célula de fabrico utilizando DT e VR [66].

A tecnologia denominada por *Digital Twin* (DT), foi desenvolvida pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), onde a sua função é efetuar testes a equipamentos num ambiente virtual, através do uso de *Virtual Reality* (VR). A conexão entre os dados do modelo físico e virtual é necessário para o design, a produção e serviço. O DT pode ser utilizado para prevenção de riscos, onde os robôs são candidatos perfeitos. A monitorização em tempo real é baseada na criação de um gémeo digital do processo de fabrico com uma interface de realidade virtual imersivo que é utilizado como um teste virtual antes da implementação física da célula. Além disso pode ser utilizado para a formação do operador, monitorização em tempo-real, e estudos de viabilidade de futuras otimizações.

A Figura 2-27 apresenta a criação de um ambiente em realidade virtual. Por outro lado, a Figura 2-27a) apresenta o aspeto original das instalações. A Figura 2-27b) mostra o *scan* 3D que resulta da digitalização da instalação, onde foi utilizado um *scanner* 3D que fornece resultados de digitalizações verdadeiramente realistas. A Figura 2-27c) retrata o resultado da renderização realizada no *software* Blender que está pronta a ser utilizada na realidade virtual [66]–[72].



(a)

(b)

(c)

Figura 2-27: Desde o ambiente real para o virtual: (a) ambiente real, (b) *Scan 3D* e (c) ambiente virtual [66].

De forma ao modelo de realidade virtual ficar completo é necessária a adição dos componentes da célula (robôs, transportador, mesas, peças, entre outros.). Por fim, o comportamento físico dos elementos e a interação do ser humano é implementada usando o *software* Unity3D. O resultado final está apresentado na Figura 2-28 e na Figura 2-29 [66]–[71].



Figura 2-28: Vista geral da célula virtual [66].

Na Figura 2-29 está representada a célula virtual, onde contém o robô colaborativo, o *conveyor* e os contentores com diferentes peças.



(a)

(b)

Figura 2-29: Célula virtual: (a) contentores com peças e o robô de montagem, e (b) robô de entrega [66].

## **2.5 Introdução às Células Flexíveis de Fabrico**

### **2.5.1 História Resumida de um SFF**

Por volta do século XX, o Sistema Flexível de Fabrico (SFF), da literatura inglesa (*Flexible Manufacturing Systems - FMS*) ainda não existia. Isto devido, a não existir na altura necessidade premente de eficiência e a não competitividade no mercado como atualmente existe. Os consumidores basicamente compravam o que os fabricantes queriam, e durante esse período, Henry Ford citou “as pessoas podem encomendar qualquer cor de carro desde que seja preto”. Portanto todo o poder estava presente nas mãos do fabricante e praticamente os consumidores não tinham escolha. No entanto, após a segunda Guerra Mundial, em 1945, uma nova era na indústria aconteceu com a descoberta de novos materiais e técnicas de produção que aumentaram a qualidade e produtividade. A Segunda Guerra Mundial proporcionou a existência de mercados externos e nova concorrência. O foco da produção passou do fabricante para o consumidor e não o contrário. O primeiro Sistema Flexível de Fabrico (SFF) foi patenteado em 1965 por Theo Williamson. Durante a década de 1970, com os desenvolvimentos cada vez maiores no desenvolvimento tecnológico, os fabricantes começaram a enfrentar dificuldades e, por isso, os sistemas flexíveis de fabrico tornaram-se cada vez mais presentes na indústria. Durante a década de 1980, pela primeira vez na história, os fabricantes tinham de ter em conta a eficiência, qualidade e flexibilidade para se manterem competitivos no mercado.

As alterações dos processos de produção trouxeram diversas mudanças, nomeadamente [73]–[82]:

- Aumento da concorrência do mercado a nível internacional;
- A necessidade de redução do tempo de produção;
- Pressão para redução do custo de produção.

### **2.5.2 Definição de uma CFF e de um SFF**

Um sistema flexível de fabrico (SFF) e uma célula flexível de fabrico (CFF), são sistemas automatizados constituídos por um grupo de estações de produção, sistema de armazenamento, transporte e de manuseamento de materiais, que estão interligados entre si através de uma rede local (LAN). Três características que um sistema de fabrico tem de possuir para ser flexível [127], [128]:

1. A capacidade de identificar e distinguir os diferentes tipos de produtos processados pelo sistema.
2. Rapidez na transição de instruções operacionais.
3. Mudança rápida das instruções operacionais.

### 2.5.3 Componentes de um SFF

Os SFF são compostos por duas grandes componentes: *hardware* e *software* de controlo. Geralmente é composto pelos seguintes componentes de *hardware*, sendo que nem todos os SFF os possuem:

- Robôs Manipuladores;
- Veículo Guiado Automaticamente (AGV);
- Veículo Guiado por Trilhos (VGT);
- Autómatos programáveis;
- Sistemas de visão artificiais;
- Máquinas CNC;
- Transportadores;
- *Buffers*;
- Armazéns;
- Entre outros.

Na atualidade, o *software* é desenvolvido de acordo com a arquitetura do sistema, tornando-se dispendioso e de difícil alteração. Inúmeros SFF e CFF que estão implementados nas empresas atualmente, foram desenvolvidos e vendidos por empresas de integração de sistemas. Obviamente que o conhecimento relativo ao *software* de controlo não fica na posse da entidade que o obteve, ou seja, a entidade estaria dependente da empresa que o desenvolveu para futuras alterações, reparações e melhorias no *software* [34], [36], [73]–[81].

### 2.5.4 Diferentes Configurações de um SFF

Sistemas flexíveis de fabrico podem ser caracterizados diferentemente mediante o número de estações de produção do sistema. Seguem-se três categorias típicas:

- Célula de máquina única (CMU);
- Célula flexível de fabrico (CFF);
- Sistema flexível de fabrico (SFF).

*Single Machine Cell* (SMC), nome proveniente da literatura inglesa, ou célula de máquina única proveniente da literatura portuguesa. Esta célula, apresentada na Figura 2-30, contém única e exclusivamente uma estação de trabalho, ou seja, uma máquina CNC com um sistema de armazenamento e de transporte. Uma CNC não efetua maquinações em simultâneo, sendo realizada uma maquinação de cada vez. Estando as peças concluídas, as mesmas são descarregadas periodicamente da unidade de maquinação e introduzidas na unidade de armazenamento, mas sendo necessária a maquinação de outro tipo de peça, é necessário indicar à CNC o ficheiro *g-code* [36], [73]–[83].

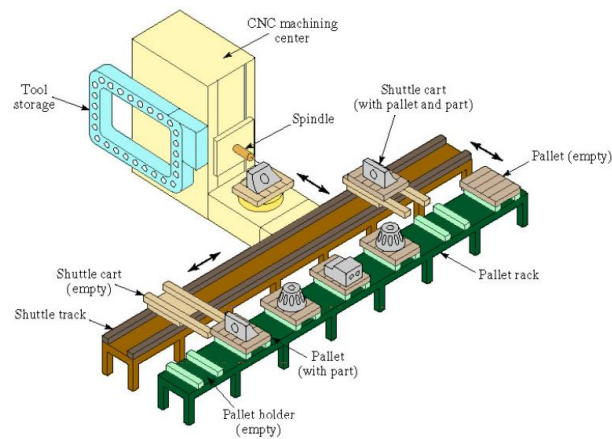


Figura 2-30: *Single machine cell* [85].

**Flexible Manufacturing Cell (FMC)**, na literatura portuguesa Célula Flexível de Fabrico (CFF), apresentada na Figura 2-31, é composta por diferentes tipos de equipamentos de diferentes fabricantes, onde muitas das vezes cada um deles possui a sua própria linguagem de programação. Portanto, a integração e coordenação de equipamentos de diferentes fabricantes, é uma tarefa complexa. Possui duas ou três estações de produção (tipicamente centros de maquinação CNC) e é projetada de forma a produzir simultaneamente três peças iguais ou diferentes mediante a necessidade, possuindo um sistema de controlo com um grau de complexidade superior comparado com a célula de máquina única. O sistema de manuseamento de peças está ligado a uma estação de carga/descarga [36], [73]–[83].

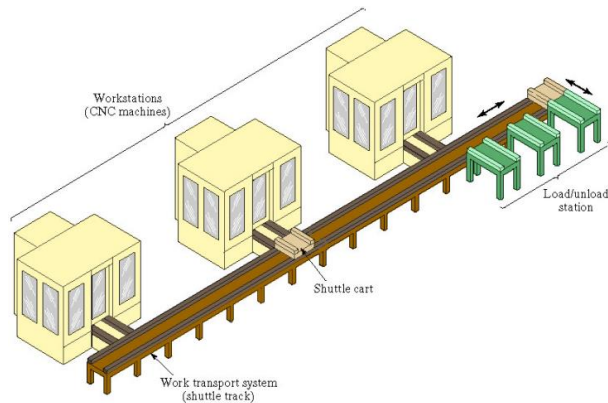


Figura 2-31: *Flexible manufacturing cell* [86].

**Flexible manufacturing system (FMS)**, da literatura portuguesa, denominado como sistema flexível de fabrico (SFF), apresentado na Figura 2-32, é definido como um conjunto de quatro ou mais estações de trabalho, em que as peças são automaticamente transportadas de uma máquina para um novo processo. A palavra tão referenciada atualmente na indústria, flexibilidade, refere-se também à capacidade de resposta eficaz às diferentes circunstâncias, ou seja, um sistema flexível é aquele que é capaz de responder à mudança. Geralmente um SFF

possui estações de produção, transportador, armazém e sistemas de monitorização, inspeção e controlo [34], [36], [82], [83].

Os sistemas flexíveis de fabrico (SFF) possuem inúmeras definições não existindo até à atualidade nenhuma definição *standard* única aceite pela comunidade científica. As definições são baseadas muitas das vezes no hardware que o sistema possui. Por exemplo, Byrckett define SFF na literatura inglesa, como sendo [36], [38]:

- “A *flexible manufacturing system (FMS)* is a manufacturing system in which groups of numerical controlled machines (*machine centers*) and a material handling system work together under computer control.”

Keef e Kasirajan, definem SFF como [36], [38]:

- “A *group of workstations connected together by a material handling system (MHS)* producing or assembling a number of different part types under the central control of a computer.”

Demais definições são assentes na capacidade ou performance do sistema. Por exemplo, em 1986, Kalwasser definiu um SFF da seguinte forma [36], [38]:

- “*Flexible Manufacturing Systems (FMS)* are highly automated production systems, able to produce a great variety of different parts by using the same equipment and the same control system.”

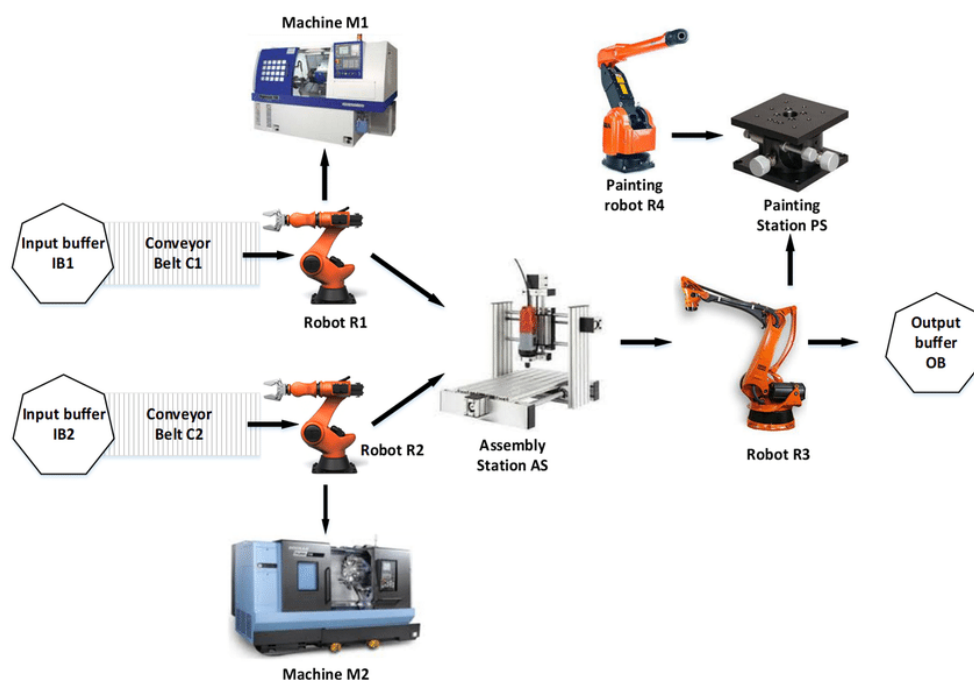


Figura 2-32: Layout de um *flexible manufacturing system* [87].

### 2.5.5 Razão da Implementação de um SFF

Hoje em dia, as empresas implementam sistemas flexíveis de fabrico (SFF) que proporcionam certos benefícios. A grande vantagem da utilização neste tipo de sistemas é a sua flexibilidade e adaptabilidade a novas alterações na produção que facilmente se executam, sendo pequenas modificações ou um produto totalmente novo. No entanto, existem outros benefícios como [34], [57], [73]–[83]:

- Melhor gestão e controlo de matérias-primas e produtos;
- Tempo de inatividade das máquinas reduzido;
- Redução dos stocks, número de operadores, custos e de tempo de ciclos;
- Aumento da eficiência, fiabilidade, versatilidade, produtividade e qualidade;
- Capacidade de adaptação às operações CAD/CAM;
- Redução da área necessária para cada unidade de produção.

Será espectável que num futuro próximo serão incorporadas diversas novas tecnologias no SFF, nomeadamente [34], [57], [73]–[83]:

- Verificação a laser da localização da peça;
- Informações da vida útil da ferramenta;
- Informações de ferramentas, como comprimentos de ferramentas, compensações, etc. através de LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*);
- Otimização de *software*;
- Sistema de compensação de ferramentas e controlo adaptativo;
- Tecnologia de laser e fibra ótica para verificar os diâmetros dos furos e a localização da superfície parcial;
- *Spindle probes* para verificar características da peça, como diâmetro do furo, localização do padrão do furo, entre outras;
- Análise de falhas (sistema de visão artificial para controlo de qualidade).

Um dos casos que teve grande impacto na implementação de SFF foi um grande produtor japonês, Yamazaki Machinery que referiu “*by installing a flexible manufacturing system, has reduced the number of machines in one facility from 68 to 18, the number of employees from 215 to 12, space requirements from 103000 square feet to 30000 and processing time from 35 days to a 1.5 days*” [82].

Os sistemas flexíveis de fabrico são praticamente utilizados em conjunto com sistemas de encomendas *just-in-time* (JIT). Esta combinação faz com que a produção aumente, que haja redução de tempo de produção e tempo necessário para transformar a matéria-prima num produto acabado (PA) [36], [58], [74]–[84].

### 2.5.6 Desvantagens na implementação de um SFF

Conhecendo as múltiplas vantagens de um SFF, sendo sistemas tão bons e tão úteis por que razão ainda não são omnipresentes, isto porque, a implementação dos mesmos também acarreta diversos custos e mudanças dentro da estrutura de uma empresa. Seguem-se as grandes desvantagens observadas atualmente [74]–[82]:

- **Complexidade do sistema:** os sistemas de fabrico são sofisticados e extremamente complexos sendo necessária formação para tal;
- **Custo dos equipamentos:** os equipamentos para um SFF são geralmente mais caros que os equipamentos tradicionais;
- **Custos de manutenção mais elevados:** são mais elevados que equipamentos tradicionais devido a SFF utilizar intensivamente a manutenção preventiva, o que por si só é muito dispendioso de implementar;
- **Custos de formação elevados:** custos de empregar pessoas com formação e formar operadores podem relevar-se um custo muito elevado;
- **Custos de automatização:** é o custo mais significativo num SFF;
- **Utilização de equipamentos:** a utilização de equipamentos para SFF não é, por vezes, tão elevada como se esperava;
- **Custo do produto/trabalho:** a maior desvantagem da implementação destes sistemas é a dificuldade com que a empresa se defronta na atribuição de custos gerais aos postos de trabalho.

### 2.5.7 Modelo do Sistema de Produção – Arquitetura CIM

A função da arquitetura CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), exposta na Figura 2-33, numa entidade é de certa forma para tornar uma fábrica completamente automatizada através do uso de computadores para controlar totalmente um processo de produção. A arquitetura divide-se em vários setores, gestão, organização, supervisão, controlo e processo. A mesma permite a troca de informação entre os vários setores de forma a tornar os sistemas de fabrico mais produtivos e eficientes [58].

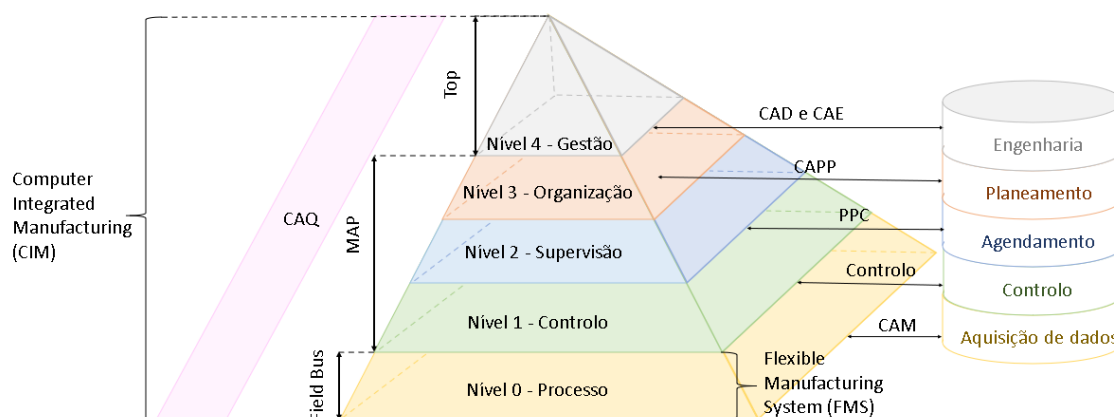


Figura 2-33: Arquitetura CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) [34], [57].

A arquitetura CIM combina várias aplicações e tecnologias que possibilitam que o processo de produção possua maior qualidade, velocidade de processo, flexibilidade, e maior performance, nomeadamente [58], [88]–[93]:

- Desenho assistido por computador (CAD);
- Produção assistida por computador (CAM);
- Engenharia assistida por computador (CAE);
- Planeamento e controlo de produção (PPC);
- Qualidade assistida por computador (CAQ);
- Planeamento do processo assistido por computador (CAPP).

Outros processos envolvidos na arquitetura CIM são [58], [88]–[93]:

- Produção de protótipos;
- Montagem de produtos com o auxílio de robôs;
- Verificação da qualidade e armazenamento automatizado;
- Distribuição automática de produtos dos diferentes setores de armazenamento para transportadores, através do uso de AGVs;
- Atualização automática de dados financeiros e contas no sistema informático;
- Controlo de qualidade em cada fase do desenvolvimento do produto;
- Maquinação através de máquinas CNC;
- Pedido de matéria-prima necessária apenas para o processo de produção.

O único objetivo da implementação da arquitetura CIM é agilizar os processos de produção, proporcionando os seguintes benefícios [88]–[90], [92], [93]:

- Redução de custos, mão-de-obra direta e indireta;
- Tempo de inatividade reduzido;
- Níveis de *stock* ajustados.

Seguem-se os vários elementos da arquitetura CIM [88]–[90], [92], [94], [95]:

1. **Computer numerical control (CNC):** é uma máquina usada para maquinação de peças através da inserção direta de instruções codificadas (*gcode*).
2. **Controlo Adaptativo (CA):** os parâmetros de processamento de uma operação são ajustados automaticamente para otimizar a taxa de produção e a qualidade do produto e minimizar o custo de produção. Por exemplo, temperatura, acabamento superficial e as dimensões da peça podem ser monitorizados constantemente através de sensores.
3. **Robôs industriais:** introduzidos principalmente em tarefas repetitivas, perigosas, entre outras. Os robôs são particularmente eficazes em operações de montagem, introdução e remoção de peças em máquinas CNC, entre outras versatilidades.
4. **Manuseamento automático de materiais:** os computadores tornaram possível o manuseamento altamente eficiente de materiais e componentes nos vários estágios do

---

processo, como na movimentação de uma peça de uma máquina para a outra, passando por secções de inspeção, para inventário, e para transporte.

5. **Sistemas de montagem automáticos:** esses sistemas continuam em constante desenvolvimento para substituir os operadores, embora o ser humano seja fundamental para a realização de certas tarefas. Os custos de montagem podem ser elevados, sendo que atualmente os produtos são projetados para que possam ser montados com mais facilidade e rapidez através de um processo automatizado, reduzindo o custo total de produção.
6. **Computer aided process planning (CAPP):** ao se otimizar o planeamento do processo, este sistema é capaz de melhorar a produtividade, qualidade do produto e consistência e, portanto, redução de custos. Funções como custo de estimação e monitoramento do padrão de trabalho (tempo necessário para a execução de certas operações) também incorporado neste sistema.
7. **Group Technology (GT):** o conceito por detrás da tecnologia de grupo é que as peças podem ser agrupadas e produzidas classificando-os em famílias de acordo com as semelhanças e design e também no processo utilizado para produzi-las. Desta forma, projetos de peças e planos podem ser padronizados e novas peças (baseadas em peças semelhantes feitas anteriormente) podem ser produzidas de forma mais eficiente e económica.
8. **Just-in-Time (JIT):** é uma técnica que visa a eliminação de inventário que permite expor problemas que anteriormente estavam presentes. Com o uso desta técnica é possível eliminar com mais eficácia a causa destes problemas. Como resultado, os custos de transporte de *stock* são baixos, os defeitos em componentes são detetados a tempo, a produtividade aumenta e produtos de alta qualidade são feitos a baixo custo.
9. **Cellular manufacturing (CM):** este sistema utiliza estações de produção que consistem em uma série de células de produção, cada uma contendo várias máquinas de produção controladas por um robô central, com inúmeras máquinas CNC realizando diferentes operações e também estações de inspeção.
10. **Flexible manufacturing systems (FMS):** esses sistemas integram células de produção com todas as células interligadas através de um computador central. Embora muito dispendioso, este sistema de produção é capaz de produzir peças de forma eficiente, mas em quantidades relativamente pequenas, mas de rápida adaptação para diferentes peças. A flexibilidade permite que esses sistemas atendam às rápidas mudanças na demanda de mercado de todos os tipos de produtos.

11. **Expert systems (ES):** consistindo basicamente em programas informáticos complexos, esses sistemas têm a capacidade de resolver problemas difíceis da vida real, assim como os especialistas fariam, incluindo agilizar o processo iterativo tradicional na otimização do *design*.
12. **Artificial intelligence (AI):** sistemas controlados por computador que atualmente são capazes de aprender de acordo com a sua experiência e de tomar decisões que otimizam operações e minimizam custos, substituindo o ser humano.
13. **Artificial neural network (ANN):** as redes neurais artificiais são projetadas para simular os processos de pensamento do cérebro humano, com capacidades como, modelar e simular instalações de produção, monitorar e controlar processos de produção e diagnosticar problemas no desempenho da máquina.

Sendo que a empresa está dependente dos computadores e os mesmos estão propensos a danos, especialmente em ambientes industriais. A ocorrência de certos fenômenos pode levar a que este equipamento se danifique em questões de *software* e/ou *hardware* e para a entidade pode ser catastrófico e resultar em [88]–[90], [92], [94], [95]:

- Períodos prolongados de inatividade;
- Redução da produção;
- Insatisfação do cliente;
- Danos à reputação da organização;
- Perda de participação no mercado.

## 3. Elementos da Célula Flexível de Fabrico

### 3.1 Visão geral da CFF

A Célula Flexível de Fabrico, apresentada na Figura 3-1, presente no laboratório de robótica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), referida no capítulo 1, é constituída por três setores:

- O **setor de fabrico** que é constituído por um robô ABB IRB140, uma fresadora CNC, um torno CNC, quatro *buffers* e uma câmara de visão artificial;
- O **setor de armazém** possui um robô ABB IRB1400 e cinco armazéns, dos quais só serão utilizados dois e uma câmara de visão artificial;
- O **setor de transporte** é composto por um tapete retangular e tem como objetivo interligar o setor de fabrico e o setor de armazenamento, utilizando quatro tipos de paletes. Uma para a matéria-prima (MP) e outra para os produtos acabados (PA) da fresadora, e por fim, outras duas para a MP e os PA do torno.

Recorre-se também a um PLC para gerir e interligar os três setores de forma que a CFF seja eficiente. Através do PC (Gestor da CFF), é possível ter acesso aos controladores dos robôs dos dois setores de forma a fazer o *upload* aos programas desenvolvidos [57], [82], [94].

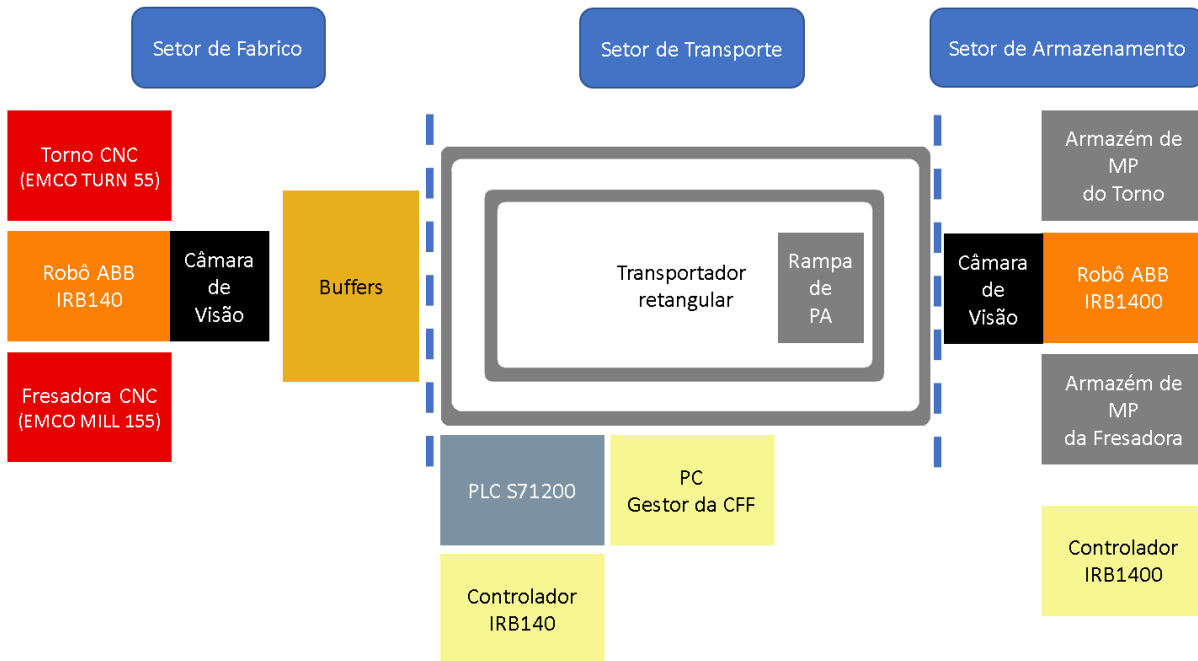


Figura 3-1: Disposição dos elementos da CFF.

### 3.2 Setor de fabrico

O setor de fabrico apresentado na Figura 3-2, possui uma fresadora EMCO MILL 155 (à esquerda), um torno EMCO MILL 55 (à direita), um robô manipulador ABB IRB140 com uma câmara de visão implementada no seu punho e quatro *buffers*. A função principal deste setor é efetuar a maquinação de matéria-prima proveniente do setor de armazenamento. De forma a otimizar este processo de produção, no centro do setor, junto do robô manipulador, estão implementados quatro *buffers*. Tem como objetivo armazenar temporariamente as matérias-primas provenientes do setor de armazenamento, que posteriormente serão maquinadas, e conseqüentemente se transformarão em produtos acabados, sendo, de seguida, transportados para o setor de armazenamento [58], [83].



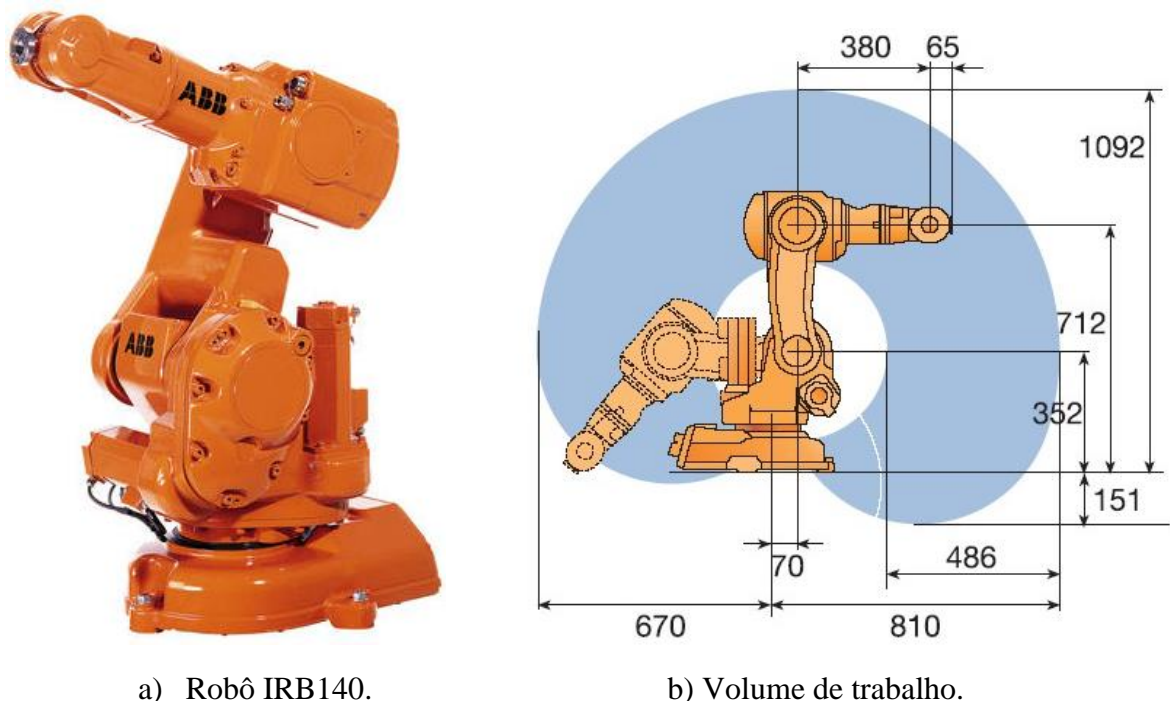
Figura 3-2: Setor de fabrico da CFF da ESTGV.

### 3.2.1 Robô ABB IRB140

No setor de fabrico utilizou-se o tipo de robô antropomórfico, já implementado no centro do setor de fabrico na CFF, o robô ABB IRB140, apresentado na Figura 3-3a). Este robô é compacto, rápido e dispõe de uma capacidade de carga de 5 kg, uma repetibilidade de  $\pm 0,03\text{mm}$  e um alcance máximo de 810mm como mostra a Figura 3-3b). Tem como principal função a carga e a descarga das máquinas CNC (fresadora e torno), sendo também responsável pela carga das paletes de produtos acabados (PA), e a descarga de matéria-prima (MP). Os elementos que constituem o robô, para além do braço robótico, são:

- Controlador IRC5 S4C;
- Manipulador;
- Consola de programação;
- Computador.

A função do controlador é receber informação por parte de sensores, ou de outros equipamentos e através do programa em linguagem RAPID contido no mesmo, é possível o manipulador executar certos movimentos e ações. Isto só é possível devido ao controlador estar constantemente a efetuar cálculos de acordo com a informação proveniente de sensores que detetam posição (*resolvers*), velocidades de juntas, entre outros e de acordo com o programa contido no controlador do robô o mesmo executa movimentos e/ou ativa atuadores [58], [83].



a) Robô IRB140.

b) Volume de trabalho.

Figura 3-3: Robô instalado no setor de fabrico [96], [97].

### 3.2.1.1 Ferramenta do robô IRB140

Mediante a tarefa que necessita de ser elaborada pelo robô, é necessário que exista uma ferramenta adequada para a tarefa a desempenhar. Neste caso, o robô do setor de fabrico é responsável pela manipulação das peças entre as máquinas CNC, *buffers* e paletes. Para desempenhar tal tarefa, no punho do robô está aplicado um *gripper* pneumático, como mostra a Figura 3-4, sendo que de acordo com a sua configuração, o mesmo está preparado para o transporte de peças paralelepipedais e cilíndricas.



Figura 3-4: *Gripper* pneumático do robô IRB140.

A ferramenta do robô possui dois sensores indutivos no órgão terminal, que de acordo com a tabela apresentada no apêndice F, é possível o robô ter conhecimento se o *gripper* está aberto, se está fechado e se está fechado e contém peça. Portanto quando o robô dá ordem para o fecho do *gripper*, é possível receber o *feedback* por parte dos sensores indutivos se o *gripper* contém peça ou não [58], [83].

### 3.2.2 Fresadora CNC

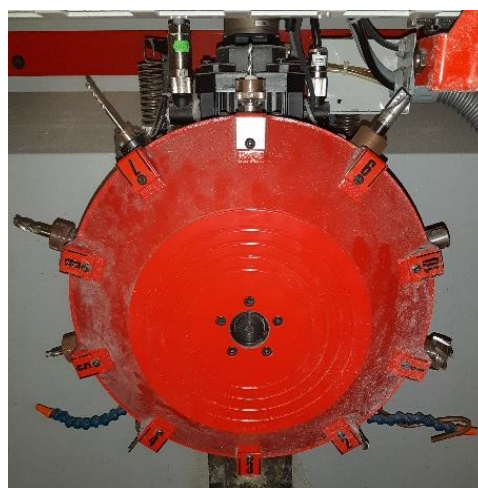
A fresadora CNC apresentada na Figura 3-5, efetua operações de maquinação em três eixos ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), sendo neste caso responsável pela maquinação das matérias-primas provenientes do *buffer* de MPF (Matéria-Prima da Fresadora). Interiormente a mesma possui um sistema de troca automática de ferramenta (*ATC system*), e um vice pneumático, onde a função do mesmo, é manter fixas as peças enquanto a maquinação está a decorrer. Na parte exterior, a máquina possui uma porta de comando pneumática automática que é comandada através da interface robótica entre o robô e a máquina CNC, interface essa descrita no apêndice I. Isto é, estando a peça colocada no *vice*, e a mesma estando fixa, a CNC recebe ordem por parte do robô para fechar a porta e dar início à maquinação. O painel exterior permite ao operador comandar manualmente a máquina e receber certa informação do decorrer do processo de maquinação [58], [83].



a) Fresadora EMCO MILL 155.



b) *Vice* pneumático.



c) *ATC system*.

Figura 3-5: Fresadora CNC do setor de fabrico.

### 3.2.3 Buffer

O setor de fabrico possui uma mesa onde contém 4 *buffers*, como mostra a Figura 3-6, sendo eles:

- BPAT – *Buffer* de produtos acabados (PA) do torno;
- BPAF – *Buffer* de produtos acabados (PA) da fresadora;
- BMPT – *Buffer* de matéria-prima (MP) do torno;
- BMPF – *Buffer* de matéria-prima (MP) da fresadora.



Figura 3-6: *Buffer* das MP e dos PA do setor de fabrico.

A função dos 4 *buffers* é simplesmente armazenar temporariamente os produtos acabados (PA) e a matéria-prima (MP).

Os *buffers* de MP armazenam as peças que provêm do armazém de MP, que futuramente, quando estiverem criadas todas as condições serão maquinadas nas duas máquinas CNC. No caso dos *buffers* de PA, os mesmos armazenam peças que foram maquinadas nas máquinas CNC, e que depois serão transportadas para o armazém de produtos acabados.

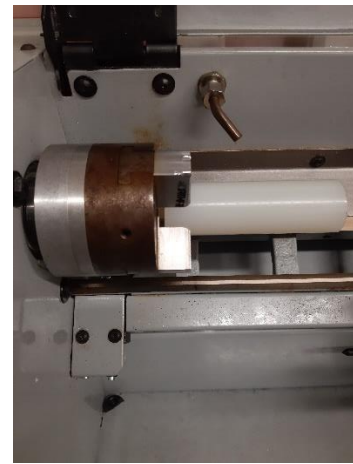
O *buffer* foi implementado no centro do setor de fabrico de forma a otimizar o processo de produção [58], [83].

### 3.2.4 Torno CNC

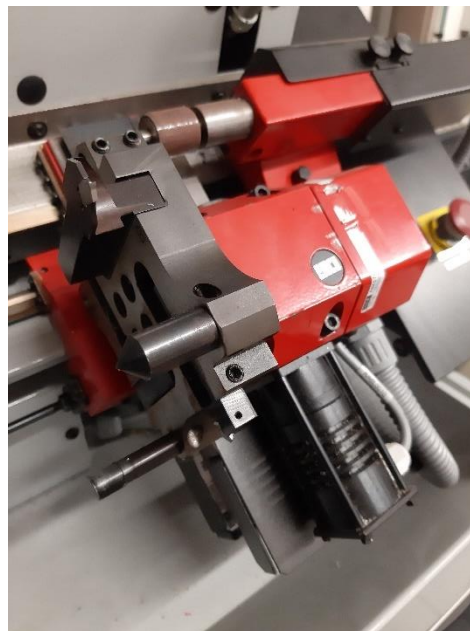
A forma de como opera o torno CNC, apresentado na Figura 3-7, é praticamente a mesma que a da fresadora CNC, sendo que o torno efetua operações a 2 eixos (x e z). Internamente possui um mandril pneumático, no qual permite pressionar a peça cilíndrica, mantendo-a fixa enquanto é executada a maquinação. Possui também uma mesa com um painel de controlo, uma interface entre a máquina e o robô e vice-versa, um *Automatic Tool Changer* (ATC) onde é permitido conter até no máximo 8 ferramentas. A interface robótica entre o robô e as máquinas CNC está localizada no apêndice I [58], [83].



a) Torno EMCO Turn 55.



b) Mandril pneumático.



c) ATC eletromecânico.

Figura 3-7: Torno CNC do setor de fabrico

### 3.3 Setor de Transporte

O setor de transporte, apresentado na Figura 3-8, situado no centro da CFF, possui 2,7 m entre os setores fabricao e armazenamento e 1,7 m de largura. O mesmo é responsável por efetuar o transporte de paletes entre o setor de fabricao e o setor de armazenamento a uma velocidade média de 0,18 m/s.

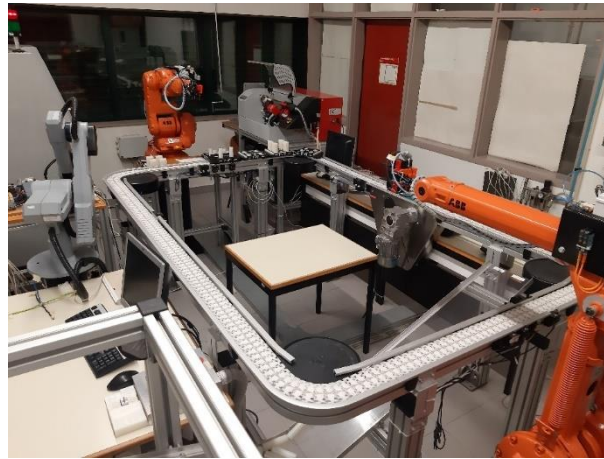
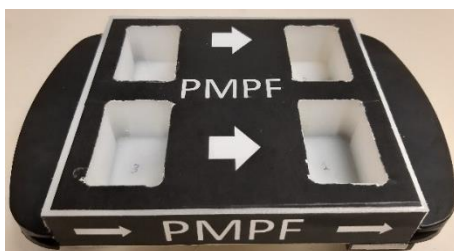


Figura 3-8: Setor de transporte da CFF.

O transporte de peças de MP e PA entre o SF e o SA é efetuada através da utilização de quatro tipos de paletes, apresentadas na Figura 3-9, que circulam no sentido anti-horário (quando visto de cima), sendo elas [58], [83]:

- Palletes de PA torno (PPAT);
- Palletes de PA fresadora (PPAF);
- Palletes de MP torno (PMPT);
- Palletes de MP fresadora (PMPF).



a) Palletes MP da Fresadora.



b) Palletes PA do Torno.

Figura 3-9: Tipos de paletes do setor de transporte.

O robô do setor de fabrico é responsável por gerir os *buffers* e por solicitar a paleta que necessita ao transportador. Quando a paleta presente no SF é a solicitada pelo robô, as peças são transferidas da paleta de MP para o *buffer* de MP, ou os PA do *buffer* para a paleta de PA.

O setor de transporte possui quatro *stoppers* e a função dos mesmos é efetuar a paragem da paleta nas seguintes situações:

- *Stopper* SF – Paragem de paleta no setor de fabrico;
- *Stopper* SA – Paragem de paleta no setor de armazenamento;
- *Stopper* P SF – Paragem de paleta à chegada do setor de fabrico;
- *Stopper* P SA – Paragem de paleta à chegada do setor de armazenamento.

A disposição de como os *stoppers* já implementados no setor de transporte estão apresentados na Figura 3-10.

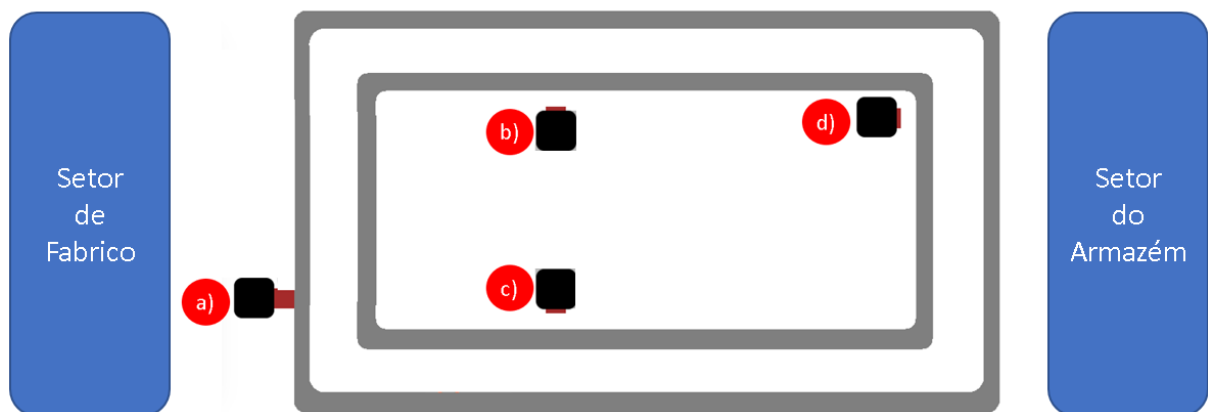


Figura 3-10: Disposição dos *stoppers* no transportador: a) *stopper* SF, b) *stopper* PSF, c) *stopper* PSA e d) *stopper* SA.

Na Figura 3-11 está representado o *stopper* do SA que é responsável pela paragem de paletes. A interface robótica entre os diferentes equipamentos do transportador e o PLC encontram-se dispostos no apêndice L.

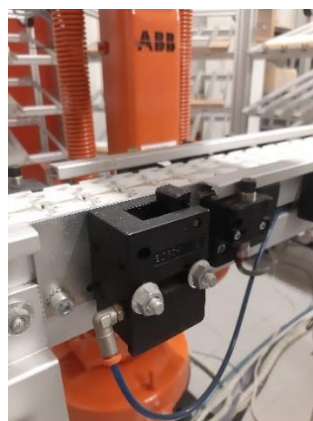


Figura 3-11: *Stopper* paragem de paletes do SA.

A deteção da paleta é efetuada usando um sensor indutivo, apresentado na Figura 3-12, através da deteção de uma chapa metálica contida na paleta. A função desse sensor indutivo é detetar a presença de paleta e informar o PLC. O tipo de paleta será posteriormente detetado usando uma câmara de visão, que será explicado no subcapítulo 3.7. Quando um sensor indutivo deteta uma paleta independente de qual seja o setor, essa informação é enviada ao PLC e o mesmo ativa o *stopper*, para a paleta e envia informação ao robô que uma paleta está presente no SF [58], [83].



Figura 3-12: Sensor indutivo presente no SF.

### 3.4 Setor de Armazenamento

O setor de armazenamento, apresentado na Figura 3-13, tem como função o armazenamento das matérias-primas (MP) e dos produtos acabados (PA). O mesmo é constituído por um robô manipulador ABB, modelo IRB1400, por armazéns de matérias-primas, e por uma rampa, apresentada na Figura 3-14, onde posteriormente serão colocados os produtos acabados.

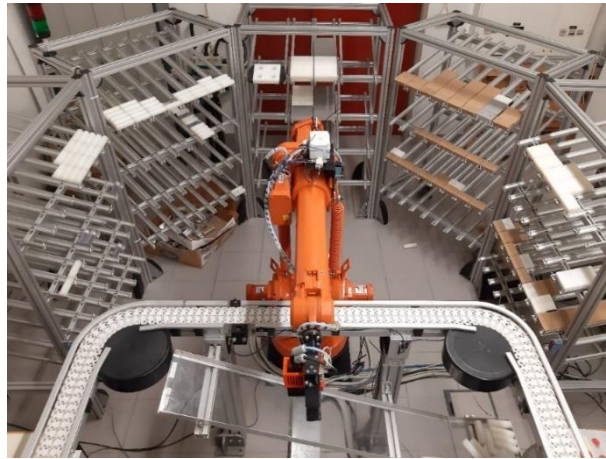


Figura 3-13: Setor de armazém da CFF da ESTGV.

A parte superior do armazém de matéria-prima do torno e o da fresadora, são constituídos por 8 células, onde cada célula poderá ter no máximo 8 peças, ou seja, ao todo cada armazém de matéria-prima poderá armazenar até 64 peças. No subcapítulo 4.4 está mais explícita a razão o de só utilizarmos a parte superior do armazém.

No caso dos produtos acabados, como referido anteriormente, os mesmos serão colocados numa rampa em acrílico, como mostra a Figura 3-14) [58], [83].

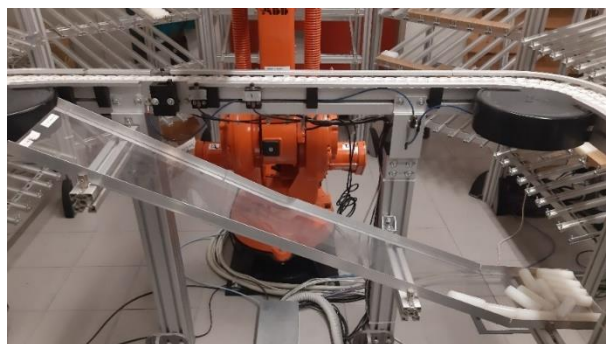
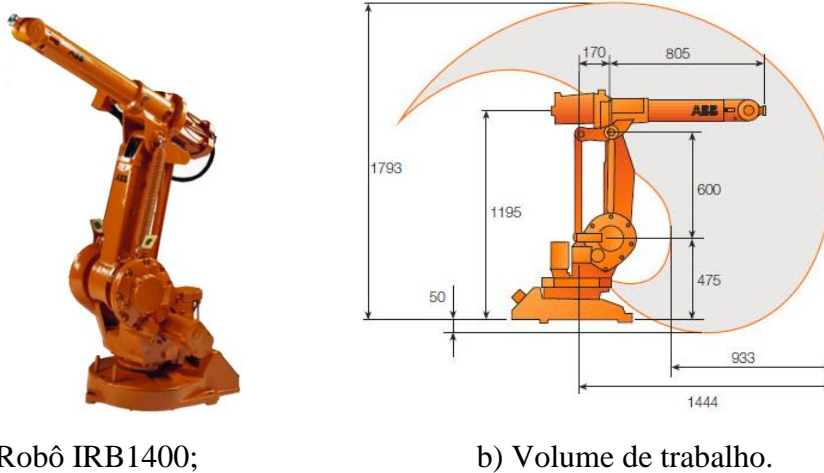


Figura 3-14: Rampa de PA do setor de armazém.

### 3.4.1 Robô IRB1400

O robô implementado no setor de armazenamento, como já referenciado, é um robô da ABB do modelo IRB1400, como mostra a Figura 3-15a). O modo de funcionamento e operação é muito semelhante ao robô IRB140, sendo que o modelo IRB1400 suporta uma carga de 5kg, um alcance máximo de 1,44m, como mostra a Figura 3-15b) e uma repetibilidade de +/- 0.05mm. Este modelo também possui uma estrutura antropomórfica, possuindo 6 graus de liberdade e um punho esférico. As tarefas a nível industrial nas quais o mesmo pode ser implementado, foram referenciadas no subcapítulo 2.2.5.1. Neste caso o robô será responsável apenas pelo transporte das peças desde os armazéns até à paleta do transportador que estiver parada no SA. Mais especificamente para carregar as paletes de MP e descarregar as paletes de PA para a rampa [58], [83].



a) Robô IRB1400;

b) Volume de trabalho.

Figura 3-15: Robô implementado no setor de armazenamento [145], [146].

#### 3.4.1.1 Ferramenta do robô IRB1400

O funcionamento da ferramenta do robô IRB1400, apresentada na Figura 3-16, é equivalente à instalada no robô IRB140 do setor de fabrico apresentada no subcapítulo 3.2.1.1.

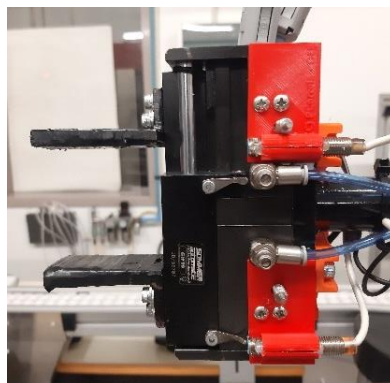


Figura 3-16: *Gripper* pneumático do robô IRB1400.

### 3.5 Controlo, Sinalização e Segurança

O sistema de controlo permite ao operador, em caso de alarme, dirigir-se à CFF, resolver o problema, e se possível continuar o processo onde este tinha ficado parado. No caso do setor de fabrico, o mesmo possui uma botoneira, apresentada na Figura 3-17, contendo cinco botões de impulso e um de emergência. Neste caso utilizaram-se apenas dois botões de pressão devido à interface robótica ter sido toda utilizada no momento em que se implementou os botões por processos mais relevantes que irão ser discutidos no capítulo 4.3. O botão responsável pela paragem do robô do setor de fabrico é o botão de pressão de cor preta e o de continuação da produção e OK do operador é o botão superior de pressão com a cor verde [58], [83].



Figura 3-17: Botoneira do setor de fabrico.

No caso do setor de armazenamento, o mesmo possui uma botoneira, contendo 3 botões de pressão, apresentados na Figura 3-18, onde só se dará uso apenas a dois com as mesmas funcionalidades dos dois botões utilizados no setor de fabrico, botão de pressão com a cor verde é responsável pela continuação da produção e Ok do operador e o botão de cor vermelha é responsável pela paragem do robô do setor de armazenamento [58], [83].



Figura 3-18: Botoneira do setor de armazenamento.

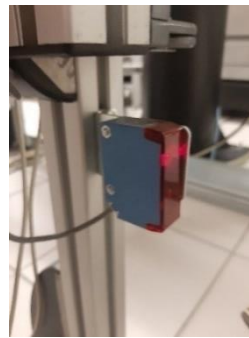
O sistema de segurança da CFF tem como objetivo, garantir a proteção do operador e também prevenir o dano dos equipamentos, presentes em ambos os setores.

Os equipamentos associados a seguranças, emergências e botões de *stop*, deve-se utilizar o contacto normalmente fechado (NC), isto porque, caso exista uma falha elétrica ou um cabo danificado automaticamente é interrompido o processo. Caso contrário se se estivesse a utilizar o contacto normalmente aberto (NO) do sensor e por exemplo ocorresse uma intrusão na CFF essa informação nunca chegaria ao PLC. Visto que se trata de um ambiente de aprendizagem, a CFF possui quatro sensores óticos de intrusão, como apresentado na Figura 3-19, que já se encontravam implementados da seguinte forma [58], [83]:

- 2 Sensores óticos à entrada do SF;
- 2 Sensores óticos à entrada do SA.



a) Sensor ótico de intrusão do SA.



b) Sensor ótico de intrusão do SF.

Figura 3-19: Sistema de segurança de intrusão da CFF.

Caso esse estivesse perante uma CFF implementada num setor industrial, deveriam estar implementadas barreiras óticas de segurança em vez de sensores óticos para deteção de intrusões na CFF. São utilizadas barreiras óticas em vez de sensores óticos devido às mesmas detetarem com exatidão uma intrusão, sendo que com um sensor ótico é possível “enganar” o sensor, devido ao mesmo possuir apenas um feixe único. Um exemplo do uso de uma barreira ótica numa máquina industrial para proteção do operador está apresentado na Figura 3-20.



Figura 3-20: Barreira de Segurança ótica [100].

O sistema de sinalização permite ao operador, estando perto ou distante da CFF, observar se existe alguma anomalia ou se os setores de fabrico e de armazenamento estão a funcionar dentro da normalidade. Para tal, cada setor possui uma baliza de sinalização com dois sinalizadores e um *buzzer*. Na Figura 3-21 está representado o sinalizador do setor de fabrico com a cor verde e vermelha e um sinal sonoro [58], [83].



Figura 3-21: Baliza de sinalização implementada no SF.

### 3.6 Gestor da CFF

A função do Gestor da CFF (PLC) é responsável pelo envio e receção de informação dos 3 setores: fabrico, transporte e armazenamento, como se pode observar na Figura 3-22.

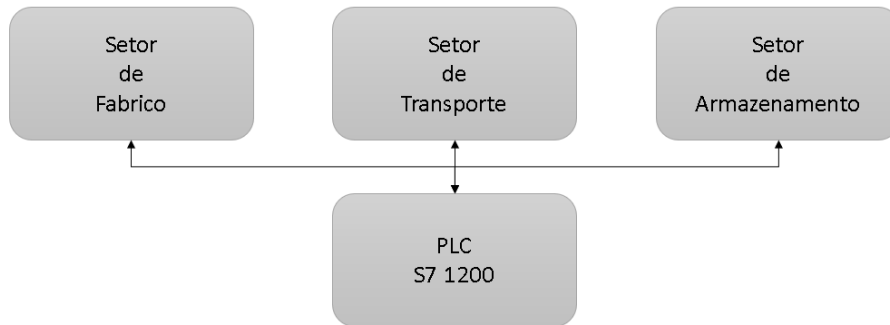


Figura 3-22: Interface de comunicação do S7-1200.

Os equipamentos presentes no setor de fabrico que comunicam com o PLC e a forma como estes comunicam entre si:

- Fresadora e torno CNC (Interface robótica de I/O);
- Controlador do robô do setor de fabrico (Interface robótica de I/O);
- Câmara de visão artificial da OMRON (PROFINET);
- Botoneira presente no setor de armazenamento (sinal digital);
- Sinalizador verde e vermelho (sinal digital).

Equipamentos presentes no setor do armazém que comunicam com o PLC e a forma como estes comunicam entre si:

- Controlador do robô do setor de armazenamento (Interface robótica de I/O);
- Câmara de visão artificial da OMRON (PROFINET);
- Botoneira presente no setor de armazenamento (sinal digital);
- Sinalizador verde e vermelho (sinal digital);

No caso do setor de transporte existem oito sensores indutivos, quatro presentes no setor de fabrico e outros quatro presentes no setor de armazém, e apenas quatro *stoppers* como atuadores. A paleta em cada setor era detetada mediante uma combinação binária através dos quatro sensores, mas com a introdução da câmara de visão em cada um dos setores, foi apenas necessário a utilização de um sensor em cada setor, explicação essa expressa nos subcapítulos 4.4.2 e 4.4.3.

O esquema mais detalhado de como os equipamentos descritos estão interligados encontra-se apresentado no subcapítulo 4.2 [58], [83].

O controlador responsável pela CFF é um PLC S7 1200, com as seguintes características:

- Modelo – 1215C;
- Versão – AC/DC/relay;
- Fonte de alimentação 85 ... 264 V AC;
- Tensão de entrada DI – 24 V DC;
- Tensão de saída DO – 5... 30 V DC;
- Entradas digitais – 14;
- Entradas analógicas – 2;
- Saídas digitais – 10;
- Número de portas RJ 45 – 2.

Foi também necessária a introdução de dois módulos iguais de I/O da Siemens, de forma a expandir a quantidade de I/O, devido às entradas digitais do PLC já estarem praticamente todas ocupadas. O módulo possui as seguintes características:

- Modelo – SM 1223 – 6ES7223-1BL32-0XB0;
- Versão – DC/DC;
- Fonte de alimentação 24 V DC;
- Tensão de entrada DI – 24 V DC;
- Tensão de saída DO – 24 V DC;
- Entradas digitais – 16;
- Saídas digitais – 16.

O gestor da CFF, e os dois módulos de I/O estão dispostos da seguinte forma, como mostra a Figura 3-23 [57], [82], [100].

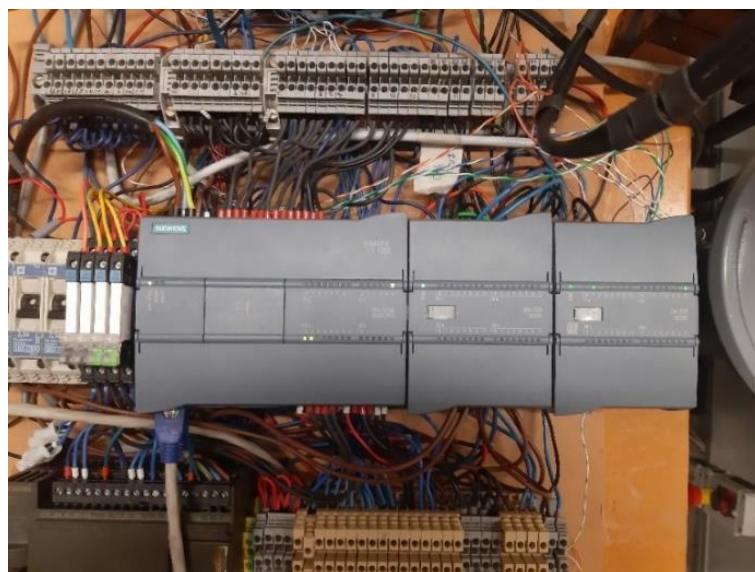


Figura 3-23: Gestor da CFF.

### 3.7 Sistema de Visão

Um dos maiores desafios da indústria é garantir constantemente a qualidade, a otimização de produtividade, sustentabilidade, flexibilidade e segurança. De forma a otimizar a CFF, decidiu-se implementar uma *smart* câmara em ambos os setores, fabrico e armazenamento. Esta câmara permitirá obter informações relevantes acerca da CFF, bem como, deteção de peças, deteção do tipo de palete, verificar se a peça foi colocada corretamente na máquina CNC, entre outras funcionalidades que serão abordadas nos subcapítulos 4.3 e 4.4. A câmara escolhida foi a OMRON FQ2-S45100N, apresentada na Figura 3-24, devido à mesma se aproximar mais ao que se implementa na indústria nos dias atuais e também por possuir um sistema de *search* avançado. Para além disso, optou-se por usar esta câmara devido ao facto de a mesma possibilitar 32 inspeções simultâneas, inspeções a 32 cenas (zonas de inspeção) distintas, sistema de *search* avançado e também pela interface física de I/O, apesar que, no caso deste projeto, não foi utilizada. A mesma suporta os seguintes protocolos de comunicação, EtherNet/IP, PLC *Link*, ou PROFINET. Para alimentar a câmara utilizou-se uma fonte de alimentação externa recomendada pelo fabricante da OMRON do modelo S8VK-S06024 [102].



Figura 3-24: *Smart* câmara FQ2-S45100N OMRON [103].

Devido à CFF estar implementada numa sala que possui variação de luminosidade ao longo do dia, quando se parametriza uma inspeção, o ambiente de inspeção nesse momento possui uma certa luminosidade. Devido à variação da luz natural o julgamento da câmara pode variar e não estar de acordo com a realidade, como mostra a Figura 3-25. A solução passaria por fechar totalmente a zona de inspeção, ou então a introdução de luz artificial, de forma a manter um certo nível de luminosidade que não fosse alterado devido à variação da luz natural.

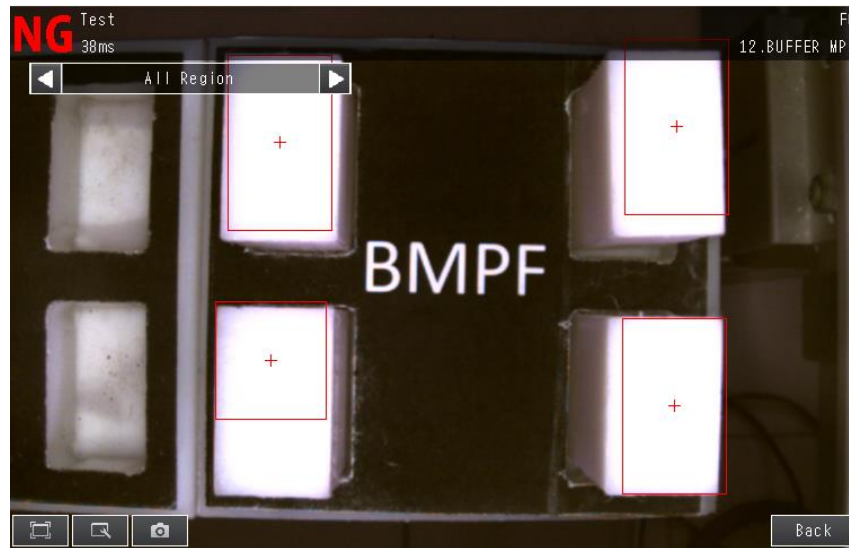


Figura 3-25: Representação da falha de inspeção devido à variação de luminosidade.

Fisicamente não foram utilizadas I/O físicas da câmara devido a ser possível a utilização do protocolo de comunicação PROFINET. Sendo que numa situação inicial elaborou-se um esquema de ligações das I/O físicas apresentadas no apêndice A e B [102].

### 3.7.1 Aplicação no robô

Decidiu-se aplicar a câmara no *gripper* do robô em ambos os setores devido a, deste modo, ser possível extrair mais informação acerca da CFF. Utilizou-se o *software* Fusion 360 para desenvolver um modelo 3D onde posteriormente foi impresso numa impressora 3D. O suporte da câmara apresentado na Figura 3-26 foi elaborado a partir das medidas reais da câmara apresentadas no apêndice C. No modelo 3D apresentado no apêndice D, é possível visualizarmos as diferentes vistas do modelo deste suporte que foi elaborado. Na Figura 3-26, está apresentado o resultado final da implementação do suporte da câmara no robô do setor de fabrico e no setor de armazenamento [58] e [83].



a) Suporte câmara de visão do SF.      b) Suporte câmara de visão do SA.

Figura 3-26: Aplicação da *smart* câmara em ambos os setores.

### 3.7.2 Parametrização da câmara

Para a parametrização recorreu-se ao uso do *software* da câmara, onde com o mesmo é possível:

- Aceder às definições da câmara, tais como, alteração do IP fixo, histórico de erros, ajusto de parâmetros estando em modo *run*, protocolo de comunicação, entre outros;
- No menu principal da câmara é possível obter imagem em tempo real de forma a ajustar a posição do robô e a zona de inspeção pretendida. Também é possível obter inspeção ao objeto em modo *offline*, ou seja, sem ser necessário que a câmara esteja em modo *run*;
- Possibilita também a troca entre várias câmaras na mesma rede local, para parametrizações;
- Permite mudar facilmente entre os diferentes ambientes de inspeção, denominadas pelo fabricante como cenas;
- Na secção de inspeção é possível selecionar, o tipo de inspeção, o valor da correlação, o formato do objeto (elipse, quadrado, *donut* ou polígono), a sua área e também a região de inspeção.

Na Figura 3-27 está representado onde é possível fazer o ajuste da correlação de um determinado objeto, onde neste caso é a peça dois do *buffer* de produtos acabados da fresadora (BPAF). Onde na Figura 3-27:

1. Dados de inspeção: julgamento, correlação, posição (x, y) e ângulo.
2. Ajuste da Correlação.

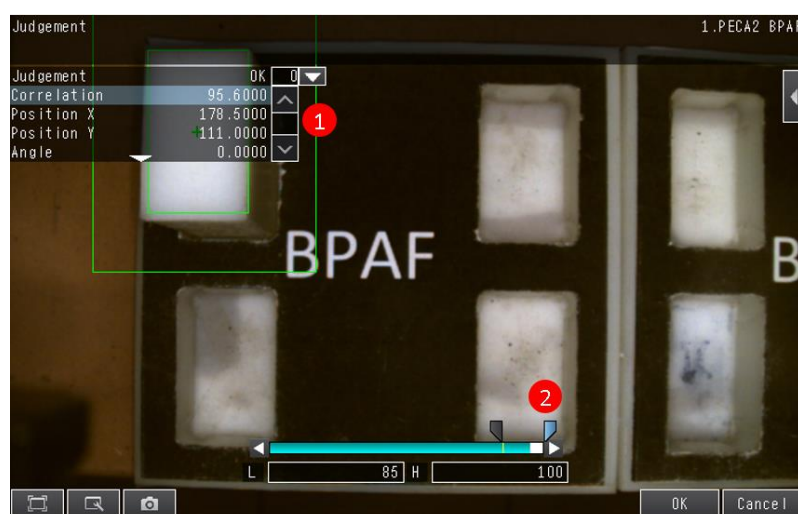


Figura 3-27: Ajuste da correlação no *software* da câmara.

Na Figura 3-28 está apresentada a parametrização das saídas da câmara utilizada no caso deste projeto. No caso deste trabalho é enviado para o PLC apenas o julgamento (JG), mas também é possível enviar outras informações acerca da inspeção de um determinado objeto, tais como: correlação, posição (x, y), ângulo, entre outros.

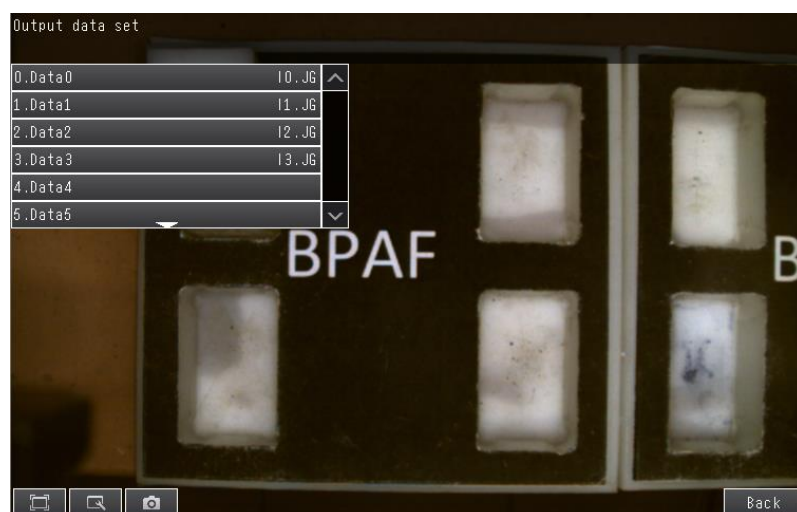


Figura 3-28: Parametrização das *outputs* da câmara.

### 3.7.3 Comunicação entre a câmara e o PLC

O método *grafcet* (*Functional Graph of Control by Steps and Transitions*) ou *SFC* (*Sequential Function Chart*) é uma ferramenta gráfica que descreve o comportamento da evolução de uma automatização, estabelecendo uma correspondência sequencial e combinatória entre entradas e saídas do PLC. Desenvolvido o *grafcet* o mesmo é convertido para equações de forma a facilitar a elaboração do programa em linguagem *ladder* [104]. As tabelas de endereçamento utilizadas para a comunicação entre a câmara e o PLC está apresentada nos apêndices J e K.

Para a comunicação entre a câmara e o PLC foi elaborado um *grafcet* contido numa *function block* (FB). A Figura 3-29 apresenta o bloco de função (FB) que recebe como parâmetros de entrada as variáveis de início de inspeção e a zona de inspeção (número da cena) que será mediante o que o robô solicitar ao PLC. Quando a inspeção é concluída o parâmetro de saída do FB fica ativo durante 200 ms, de forma a essa variável dar continuidade ao funcionamento de outros *grafcet*.

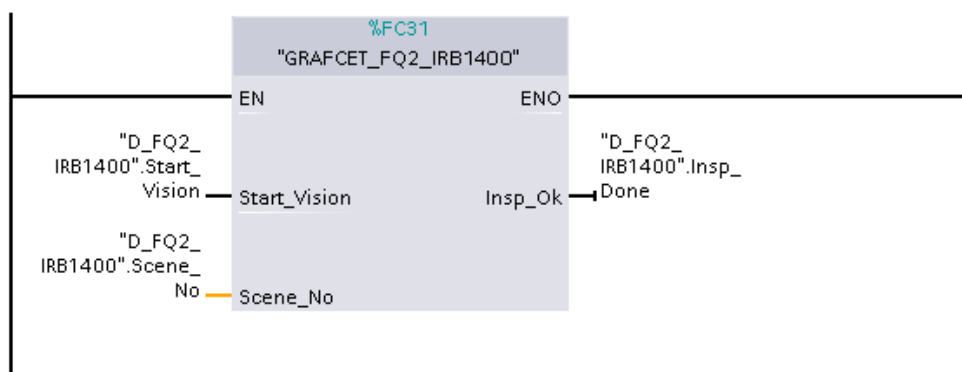


Figura 3-29: Bloco de função “GRAFFCET\_FQ2\_IRB140”.

Como mostra a Figura 3-30, quando há um pedido de inspeção por parte do robô e na hipótese de a câmara reunir todas as condições para efetuar a inspeção, é enviada para a câmara o número da cena correspondente à zona de inspeção que o robô solicitou. A relação do pedido de inspeção do robô e a zona de inspeção correspondente está referida no Apêndice E e G, e a relação da zona de inspeção e o número da cena correspondente está apresentada Apêndice N. Quando a câmara recebe o número da cena é recebido por parte do PLC um pedido de verificação de cena, isto é, para verificar se a zona de inspeção que o robô solicitou é igual à zona de inspeção para onde a câmara se encontra direcionada. Se a condição descrita for verdadeira é efetuado o disparo da câmara efetuando assim a inspeção. Quando a mesma conclui fica a aguardar novo pedido de inspeção por parte do robô.

Na Figura 3-30 está apresentado o fluxograma do funcionamento da câmara de visão, onde o mesmo foi desenvolvido com o propósito de uma explicação mais simples de como é efetuada a comunicação entre a câmara e o PLC.

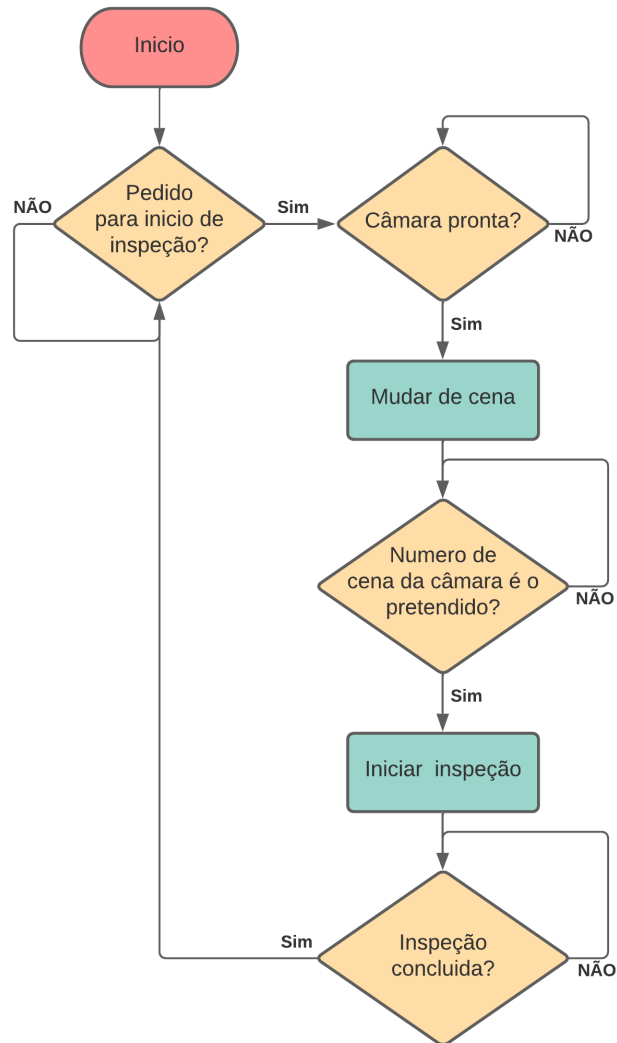


Figura 3-30: Fluxograma do funcionamento da câmara de visão.



## 4. Trabalho Desenvolvido

### 4.1 Introdução

Neste capítulo serão abordadas as soluções desenvolvidas para atingir os objetivos propostos para esta dissertação. Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário programar vários equipamentos, nomeadamente: dois robôs, duas câmaras, *Raspberry Pi* e o gestor da CFF (PLC).

O *Raspberry Pi* que terá como função ser um cliente OPC UA que interagirá (receber/enviar informação) com o servidor OPC UA que está integrado no (PLC). O *Raspberry Pi* também será responsável por efetuar *web hosting* da página *web*.

A programação do PLC foi desenvolvida utilizando a linguagem *ladder* e SQL (*Structured Query Language*), contando com o apoio do método *grafcet*. Para os setores de fabrico e de armazenamento os dois *grafcet* das câmaras são bastante idênticos, sendo que ambos recebem informação de início de inspeção e qual a zona a inspecionar, mediante aquilo que é solicitado pelos robôs.

Para o correto funcionamento do setor de fabrico foram elaborados nove *grafcet*, sendo dois deles utilizados para calcular o tempo de maquinação das máquinas CNC e outros dois para o estado das máquinas CNC. Foram também desenvolvidos quatro *grafcet* de acordo com as zonas onde é necessário realizar inspeções, sendo elas, os *buffers*, a palete e o seu tipo e a zona do *vice* da fresadora onde a peça é posicionada dentro da máquina.

Para a boa execução do setor de armazém foi necessário elaborar dois *grafcet*, um para identificar o tipo de palete proveniente do setor de transportador e outro para inspecionar as

peças da palete. Outros dois foram elaborados, tendo um deles a função de inspecionar e contabilizar o número de peças em cada célula do armazém. Para o conhecimento da quantidade total de peças de cada armazém foram desenvolvidos dois *grafcet*, onde os funcionamentos dos mesmos dependem dos anteriores, sendo a quantidade total de peças só é calculada quando o robô conclui a inspeção ao armazém. De certa forma também foi importante o desenvolvimento de dois *grafcet* de gestão de peças do armazém de MP e PA, decrementando na quantidade total quando o robô vai buscar peças ao armazém de MP e incrementando quando o robô coloca peças na rampa dos PA.

Por fim, o setor de transporte opera de acordo com a solicitação de ambos os setores, tendo sido elaborados dois *grafcet*, onde a função dos mesmos é parar a palete quando esta é detetada, informar o robô para se mover para o ponto “pVisãoTipoPalete”. A palete segue para o próximo setor caso o processo decorrido no setor tenha sido concluído.

Foram elaborados quatro programas para os dois robôs da CFF, com base na linguagem do próprio fabricante da ABB, linguagem de programação RAPID. Dois dos programas foram concebidos para o robô do setor de fabrico e os dois restantes para o robô do setor de armazenamento. O programa principal do robô IRB140 designado “ProgSF.prg”, é encarregue por efetuar a carga e a descarga das máquinas CNC e também das paletes de PA e MP. O segundo programa do robô intitulado “AlarmesSF.prg” tem como função garantir a segurança dos operadores. Este programa funciona em paralelo com o programa principal, como uma *multitask*, e quando for detetada alguma intrusão no setor de fabrico ou o botão de *stop* seja pressionado, o robô para imediatamente e ativa o sistema de alarme.

No caso do robô IRB1400, situado no setor do armazém, foi elaborado um programa principal designado “ProgSA.prg”, e o mesmo tem como objetivo carregar as paletes de MP dos diferentes armazéns, e descarregar os PA. O segundo programa, “AlarmeSA.prg” foi elaborado também de forma a proteger a integridade física do operador, e tem um modo de funcionamento semelhante ao programa “AlarmesSF.prg”.

A integração, controlo e sincronização de todos os equipamentos da CFF é assegurada pelo PLC, desempenhando este as funções de *master*. Todos os restantes equipamentos (robôs, máquinas CNC, transportador, entre outros) funcionam como *slaves*.

Por fim, para interface homem/máquina (HMI) foi desenvolvida uma página *web* que permitirá ao operador monitorizar a CFF e controlar remotamente a mesma, notando que a página *web* apenas é acessível numa rede local privada de forma a maximizar a sua segurança. O equipamento responsável por fazer alojamento *web* (*web server*) é o *Raspberry Pi* [20], [21], [93], [105].

## 4.2 Rede local da CFF

Os equipamentos da CFF estão interligados através de uma rede local (LAN) privada e sem acesso à internet de forma a reduzir possíveis ataques via internet.

Na Figura 4-1 está representada a rede local da CFF, onde ligações com a cor amarela circulam sinais digitais entre as interfaces de I/O de diversos equipamentos: máquinas CNC, robôs e PLC. As ligações com a cor azul representam a comunicação através de Ethernet/IP entre o gestor da CFF, o *router*, o *switch* e o *Raspberry Pi*. Por fim, as ligações com a cor verde entre as duas câmaras dos dois setores, o *router* e o PLC, representam o protocolo de comunicação PROFINET.

O *router wireless* tem como função aceder à página *web* através de dispositivos móveis como por exemplo: telemóveis, tablets e PC.

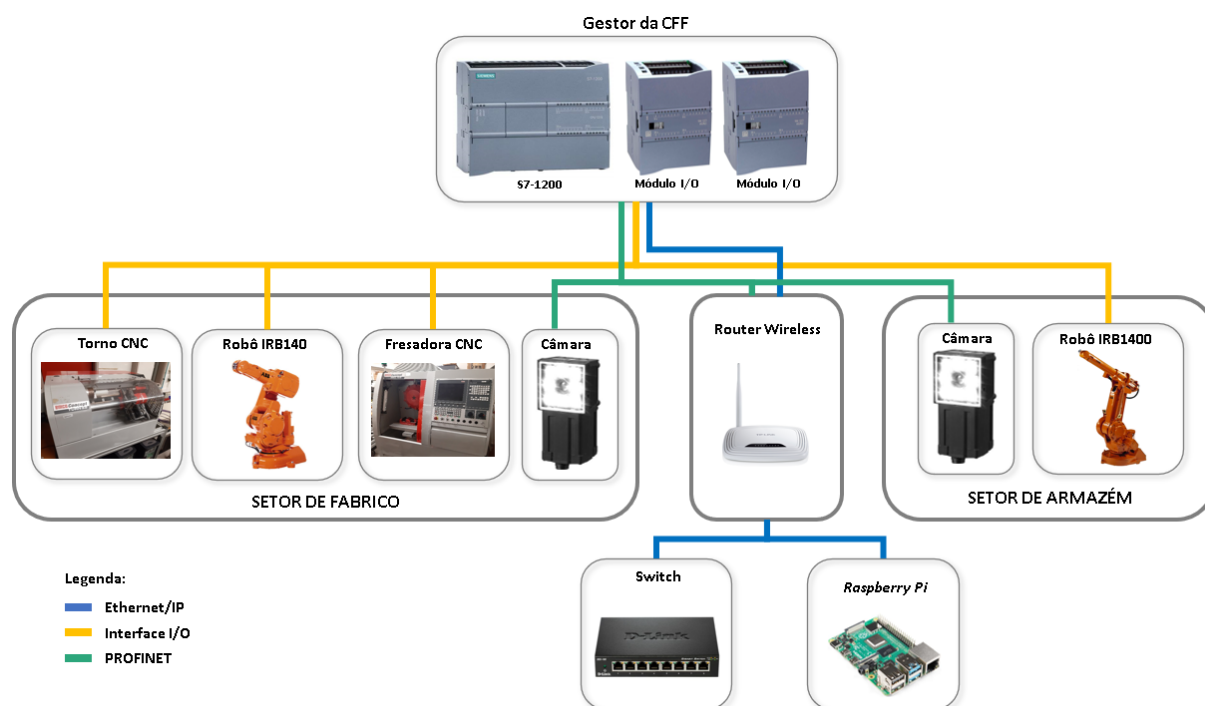


Figura 4-1: Rede local da CFF [96], [98], [106]–[108].

### 4.3 Setor de Fabrico

O programa principal do SF foi resumido de forma a tornar perceptível o seu funcionamento. Na Figura 4-2 está representado um fluxograma, onde é possível uma melhor compreensão do funcionamento do programa principal do robô do SF.

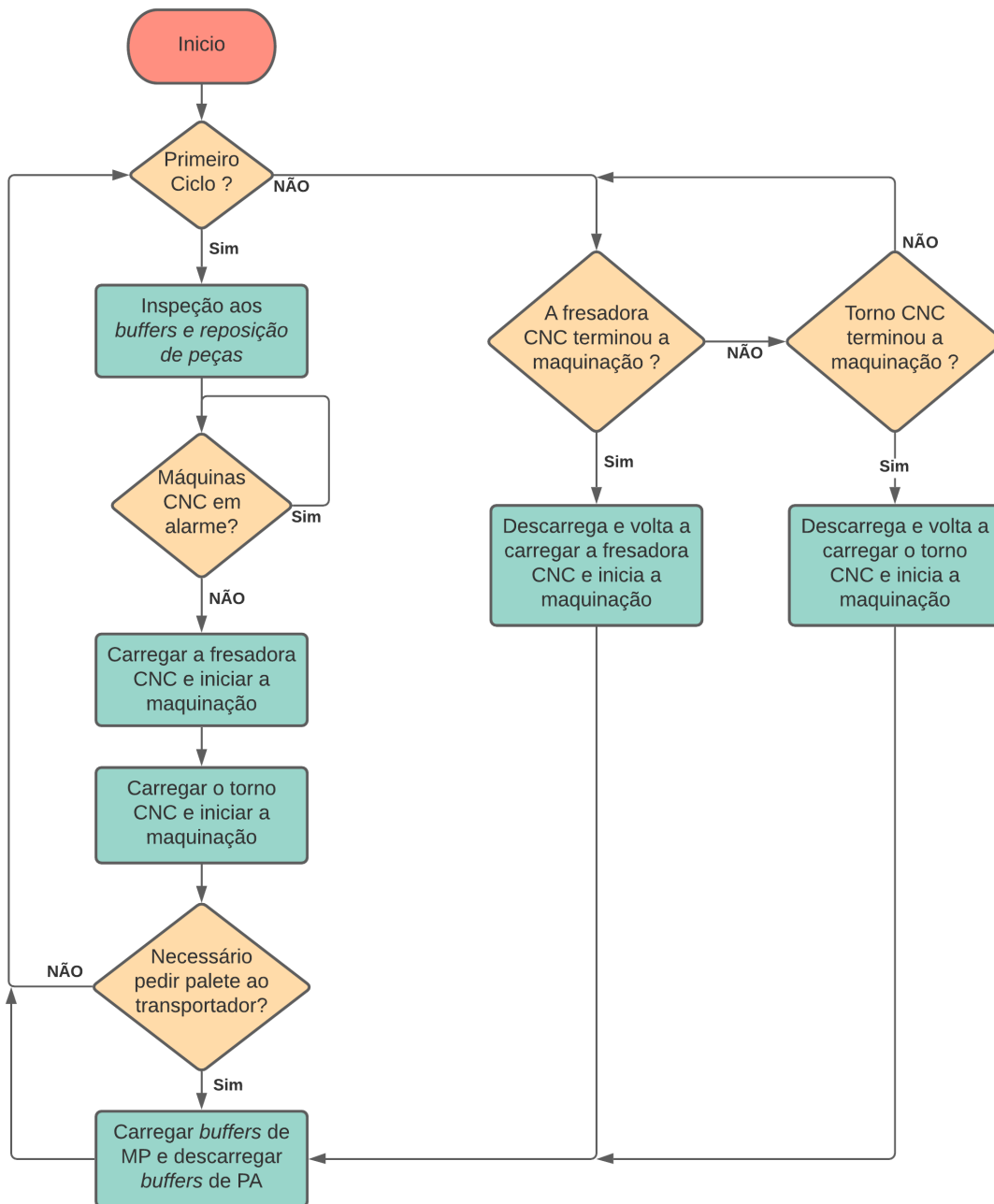


Figura 4-2: Fluxograma do funcionamento do programa principal do robô do SF.

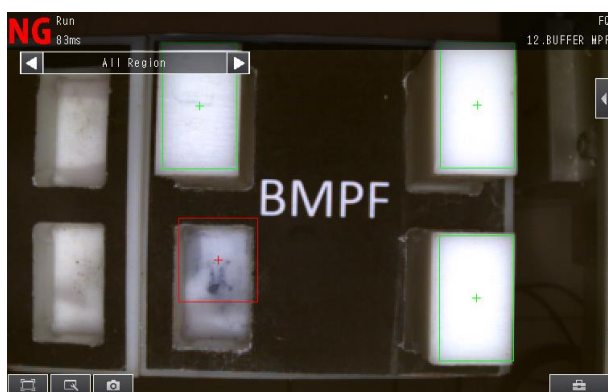
A interface robótica entre o robô do SF e as máquinas CNC, transportador e PLC encontram-se presente nos apêndices E, F, I e L.

Inicialmente o robô inspeciona todos os *buffers* e se for necessário, o mesmo assegura o carregamento dos *buffers* de MP e o descarregamento dos *buffers* de PA. Para efetuar o carregamento das máquinas CNC, caso as condições iniciais sejam verificadas, o robô começa por carregar a fresadora CNC e de seguida o torno CNC. Foram elaboradas duas rotinas *trap*, denominadas “rTerminaF” e “rTerminaT”, isto para o robô efetuar o descarregamento da primeira máquina CNC que termine de maquinar, o que tornou o processo mais eficiente de acordo com o tempo de ciclo. Sendo chamada a rotina *trap*, o robô descarrega a máquina CNC, volta a carregá-la e fica novamente à espera de que uma delas termine o processo de maquinação.

O processo de carga e descarga da máquina repete-se ciclicamente. Caso haja alguma anomalia no SF, o processo de carga e descarga das máquinas é interrompido imediatamente. O mesmo só é retomado após estarem asseguradas todas as condições de segurança para o bom funcionamento do SF.

### 4.3.1 Inspeção ao *buffers*

Quando o programa presente no setor de fabrico é iniciado, o robô necessita de ter conhecimento das peças presentes em todos os *buffers* do setor de fabrico, recorrendo para isso à câmara de visão. Para tal, foi necessário a gravação de quatro pontos de visão. Na Figura 4-3a), está apresentado a inspeção efetuada ao *buffer* MPF e na Figura 4-3b) o ponto de visão.



a) Inspeção ao *buffer* MPF.



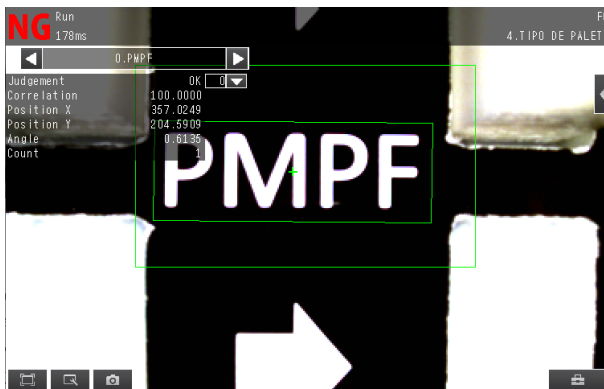
b) Robô no ponto “pVisãoBMPF”.

Figura 4-3: Inspeção ao *buffer* MPF.

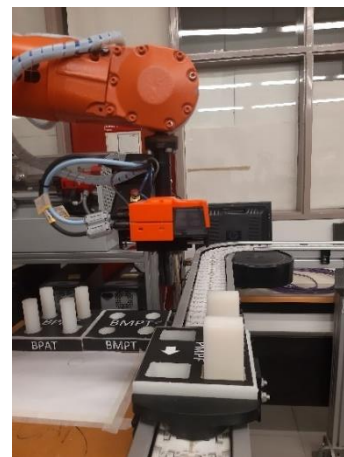
O fluxograma apresentado no apêndice M retrata a forma como foi elaborado o programa para efetuar a inspeção aos *buffers*. Quando o robô solicita a inspeção ao *buffer* de MP da fresadora, o valor 12 que é o que corresponde à cena do BMPF é enviado para a câmara e também é iniciada a visão. Basicamente os dois parâmetros referidos anteriormente dão início ao graficet referido no subcapítulo 3.7.3. Quando a câmara termina a inspeção, a informação é enviada para o controlador do robô e de seguida é efetuado um *reset* às saídas do robô que são responsáveis pelo envio de informação. Este processo é repetido sempre que o robô solicita apoio da câmara.

### 4.3.2 Inspeção à paleta do SF

Numa condição inicial, caso os *buffers* de MP não estejam totalmente carregados e os *buffers* de PA totalmente vazios, o robô efetua o pedido de paleta ao PLC. Nesse momento o robô aguarda pela paleta pedida, e quando esta chegar ao SF, o robô move-se para o “pVisãoTipoPaleta”, como mostra a Figura 4-4, e identifica o tipo de paleta recorrendo à câmara de visão.



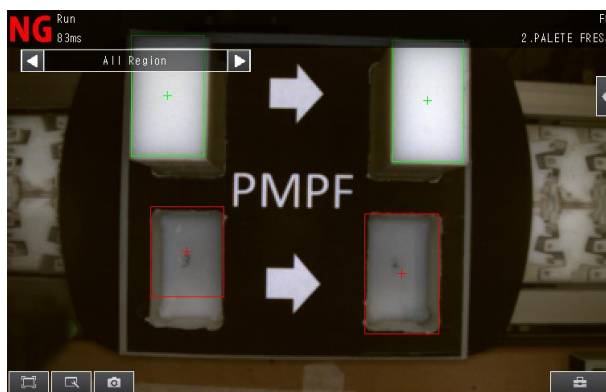
a) Inspeção ao tipo de paleta.



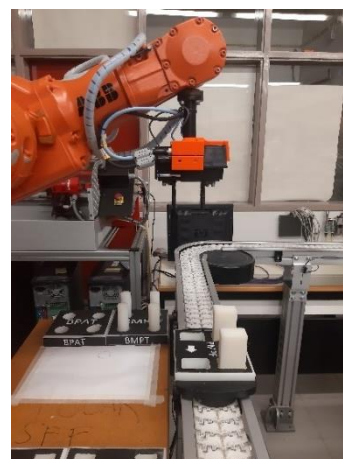
b) Robô no ponto “pVisãoTipoPaleta”.

Figura 4-4: Inspeção ao tipo de paleta do SF.

Caso a paleta solicitada pelo robô do SF não seja a correta, a mesma é rejeitada, e é enviado ao PLC a informação que a paleta não é a correta e o robô volta a efetuar o pedido de paleta ao PLC. O processo é repetido até que a paleta que pare no SF seja a que o robô solicitou. Quando a paleta correta está no SF, o robô move-se para o “pVisãoPSF” apresentado na Figura 4-5b) e usando a câmara de visão volta a identificar a paleta e inspeciona em qual das quatro posições é que estão as peças, processo esse apresentado na Figura 4-5a).



a) Inspeção à paleta MPF.



b) Robô no ponto “pVisãoPSF”.

Figura 4-5: Inspeção à paleta de MPF no SF.

### 4.3.3 Descarregamento da paleta de MP do SF

Se porventura o robô solicitar uma paleta de MP, e se esta não tiver peças, a mesma é rejeitada, e o robô volta a pedir nova paleta. O mesmo acontece se uma paleta de PA estiver totalmente cheia.

Na hipótese de as condições terem sido verificadas, e no caso de uma paleta de MP estar presente no SF, é efetuado o processo de descarregamento da paleta enquanto o *buffer* de MP não estiver totalmente carregado e a paleta de MP no transportador tiver peças. Na situação de uma paleta de PA, o processo é semelhante. É efetuado o carregamento da paleta no transportador enquanto o *buffer* tiver peças e a paleta posições por ocupar. A Figura 4-6 apresenta o processo de descarga de uma paleta de MP da fresadora no SF.

a) Ponto larga peça *buffer* “pVarBMPF”.

b) Ponto pega peça paleta “pVarPMPF”.

Figura 4-6: Descarregamento da paleta de MP da fresadora no SF.



#### 4.3.4 Falha de peça no *gripper* do robô do SF

A Figura 4-8 representa uma falha de inspeção, ou seja, a câmara detetou uma peça que não se encontrava presente no *buffer*/palete. Do ponto de vista do robô a peça está presente na paleta devido a ter recebido essa informação por parte do PLC. Sendo assim, o robô move-se para o ponto de pegar na peça, mas quando fecha o *gripper* a peça não se encontra na posição, como se pode verificar na Figura 4-9. Portanto o robô move-se para a posição seguinte e continua a efetuar o processo até encontrar uma peça, como apresentado na Figura 4-10.

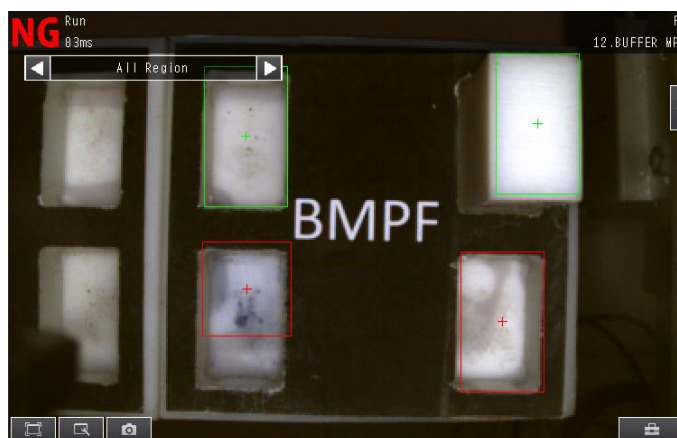


Figura 4-8: Falha de inspeção da câmara do SF.

A Figura 4-9 representa a falha da peça quando o robô se move até à posição onde supostamente esta deveria estar.

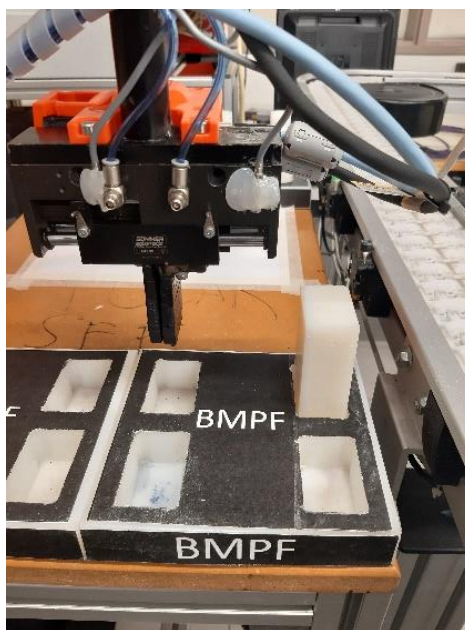


Figura 4-9: Falha de peça no fecho do *gripper* do robô do SF.

#### 4 – Trabalho Realizado

---

Caso aconteça uma falha de peça, como apresentado na Figura 4-9, o robô continua o processo até encontrar peça como mostra a Figura 4-10. De acordo com o programa elaborado, o robô é capaz de detectar falha de peça e dar seguimento ao processo. O mesmo é capaz de detectar este tipo de falha nos quatro *buffers* e nas paletes presentes no transportador.

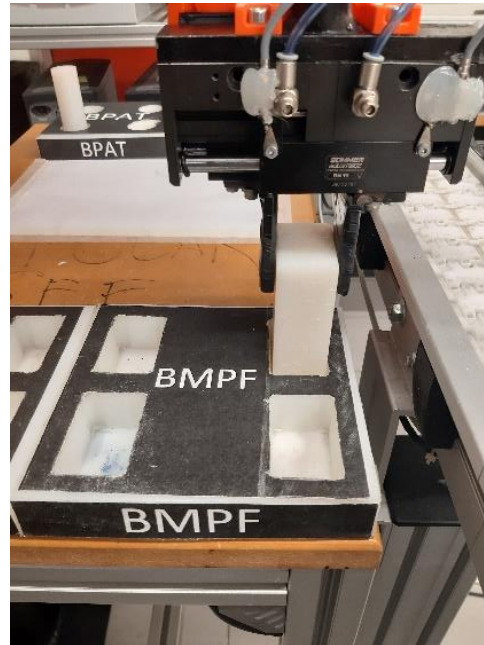


Figura 4-10: Continuação do processo tendo ocorrido falha de peça.

Resumidamente, antes do robô dar início ao carregamento das máquinas, numa situação inicial, o mesmo certifica-se que os *buffers* de MP estão totalmente carregados e os de PA estejam totalmente descarregados.

### 4.3.5 Carregamento das Máquinas CNC

O carregamento do Torno CNC e da Fresadora CNC, apresentado na Figura 4-11, são processos semelhantes, e para se efetuar o carregamento das mesmas certas condições iniciais têm que se verificar. Isto é, ambas as máquinas não podem conter quaisquer alarme e/ou emergência. Durante o processo de carregamento de uma máquina CNC o robô efetua certos movimentos de forma a não colidir com a máquina CNC. Para se dar início ao processo de maquinação, todas as condições descritas a seguir terão de se realizar com sucesso:

- Abertura do mandril/*vice*;
- Abertura da porta da máquina CNC;
- O correto posicionamento do mandril /*vice*;
- O correto posicionamento da peça no mandril/*vice*.

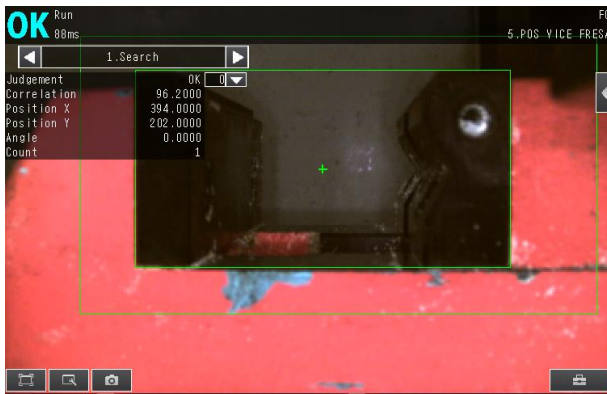


a) Robô a carregar o Torno CNC. b) Robô a carregar a Fresadora CNC.

Figura 4-11: Processo de carregamento das MP nas máquinas CNC.

### 4.3.6 Inspeção ao *vice* da fresadora

No processo de carregamento das máquinas CNC é necessário garantir que o robô não colida com as máquinas. Para isso, é imprescindível que a peça esteja bem posicionada no *gripper* e que o *vice* da fresadora esteja na posição correta. Para a verificação do correto posicionamento da peça no *gripper* seria necessário ter uma segunda câmara numa posição fixa. Dessa forma, o robô ao fim de pegar numa peça, seria possível verificar através de uma câmara secundária se a peça estaria posicionada corretamente no *gripper*. Neste projeto, foi desenvolvido um processo para verificar se a peça fica bem posicionada no *vice* da fresadora. Verificou-se que caso o *vice* da fresadora não estivesse na posição mostrada na Figura 4-12, o robô mover-se-ia para a posição de repouso, ativaria o alarme e ficaria à espera da intervenção do operador.



a) Inspeção efetuada ao *vice*.



b) Robô no ponto “pVisãoViceF”.

Figura 4-12: Inspeção efetuada ao *vice* da fresadora.

### 4.3.7 Inspeção à posição da peça do *vice* da fresadora

Estando perante um ambiente de aprendizagem a máquina CNC executa certos movimentos no eixo ( $x, y, z$ ) apenas para simular a maquinação de uma peça, sendo que esse tempo dura apenas uns segundos. Num ambiente industrial, para a máquina CNC efetuar uma maquinação é necessário ter em conta certas condições e parâmetros. Para tal, decidiu-se efetuar uma inspeção para verificar se a peça ficou bem posicionada na máquina CNC antes de se dar início ao processo de maquinação. Esse processo de inspeção é de extrema importância devido a prevenir que a máquina CNC inicie uma maquinação com a peça mal posicionada podendo danificar a ferramenta ou desperdiçar MP. Na Figura 4-13, está representada a inspeção efetuada à peça presente no *vice* da fresadora.



a) Inspeção à peça da fresadora.



b) Robô no ponto “pVisãoPViceF”.

Figura 4-13: Inspeção efetuada à peça posicionada no *vice* da fresadora.

### 4.3.8 Mensagem de erro na consola do robô

Caso aconteça alguma anomalia durante os processos descritos anteriormente e algum dos equipamentos de emergência seja ativo, um alarme é emitido e uma mensagem é escrita na consola do robô a descrever o sucedido, sendo que na situação descrita o robô fica imóvel à espera da intervenção do operador. Um exemplo de uma mensagem de erro na consola do robô do SF está apresentado na Figura 4-14, sendo que todas as mensagens de erro/alarme apresentam a mesma organização, de forma a ser perceptível a leitura por parte do operador.

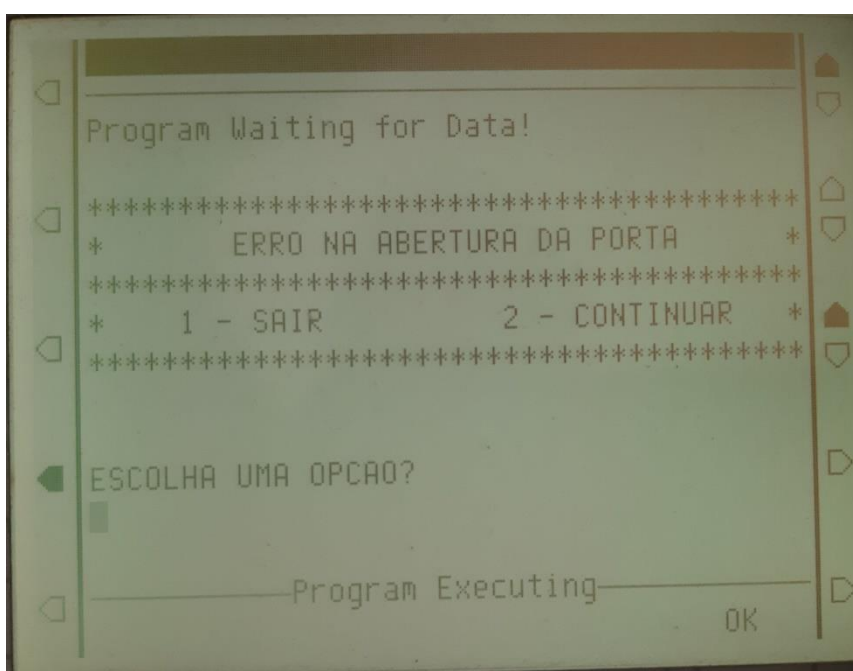


Figura 4-14: Mensagem apresentada na consola do robô quando ocorre um erro.

Se todos os processos descritos anteriormente, necessários ao carregamento das máquinas CNC tiverem sido efetuados com sucesso, então o robô efetua o carregamento da máquina CNC. Estando a peça já posicionada no mandril/*vice*, é verificado com o sistema de visão se a mesma se encontra bem colocada no mandril/*vice*. Caso alguma irregularidade aconteça durante o processo de carga da máquina CNC, um alarme é emitido e uma mensagem é escrita na consola a descrever o problema. Resumidamente, sempre que aconteça algum problema num processo este procedimento é efetuado. No caso de a peça ter sido bem firmada pelo mandril/*vice*, o robô move-se para a posição de repouso, dá ordem de fecho de porta, do mandril/*vice* e, por último, dá ordem de início de maquinação.

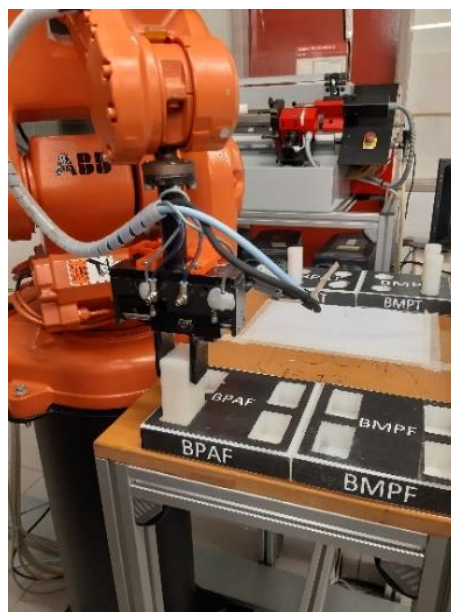
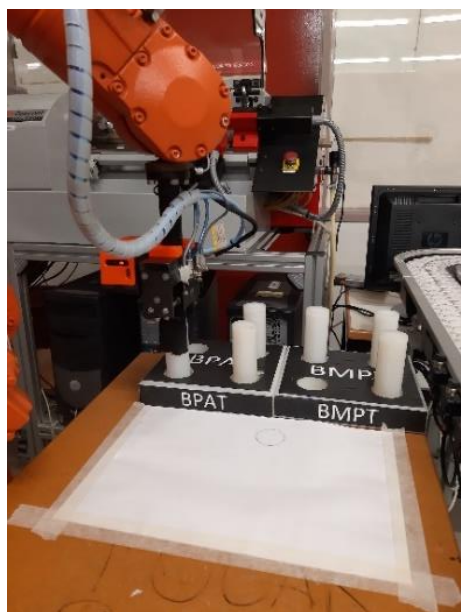
### 4.3.9 Rotina *trap* de fim de maquinação

Quando as duas máquinas estão a maquinação, as mesmas nunca terminam a maquinação pela mesma ordem, portanto foi necessário criar uma fila FIFO (*First In First Out*).

Quando uma das máquinas termina a maquinação é enviado um sinal digital ao robô, o mesmo gera uma interrupção e chama uma das rotinas *trap*: “rTerminaF” ou “rTerminaT”. As rotinas *trap* são apenas para o robô descarregar as máquinas. Estas rotinas criam uma fila FIFO, permitindo que as máquinas sejam descarregadas por ordem de conclusão de maquinação.

### 4.3.10 Descarregamento da máquina CNC

A primeira máquina a concluir a maquinação é descarregada, onde processo de descarregamento passa por o robô mover a peça desde o mandril/*vice* até ao *buffer* de PA, como apresentado na Figura 4-15. Durante este processo o robô passa por vários pontos intermédios, de forma a mover a peça em segurança, sem que o robô colida com a máquina CNC. Sempre que o robô pega ou larga uma peça, o mesmo solicita sempre a câmara de visão de forma a ter conhecimento da presença de peças.



a) Descarregamento do PA do torno. b) Descarregamento do PA da fresadora.

Figura 4-15: Processo de descarregamento dos PA das máquinas CNC.

## 4.4 Setor de Armazenamento

No caso do setor de armazenamento (SA), o programa principal é bem mais reduzido que o do setor de fabrico. Para uma melhor percepção do funcionamento do programa do robô do SA, foi elaborado um fluxograma apresentado na Figura 4-16. A interface robótica do robô do SA com o PLC e com o transportador está presente nos apêndices G, H e L.

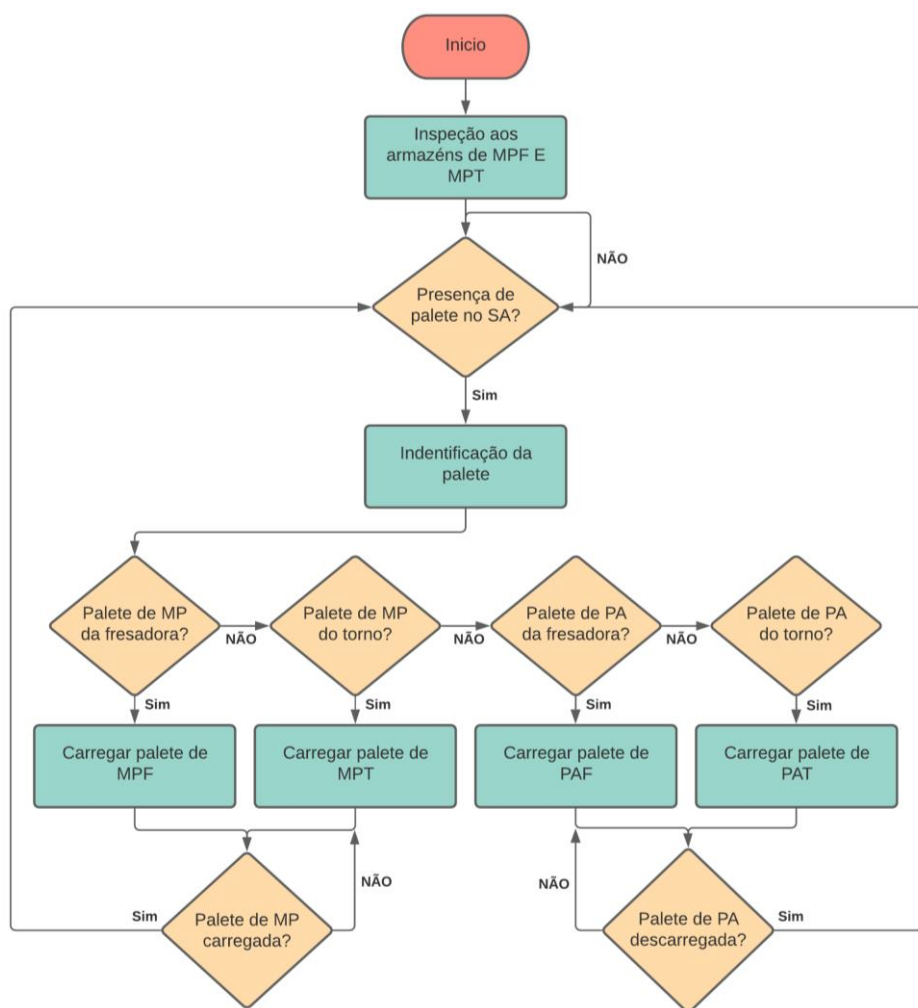
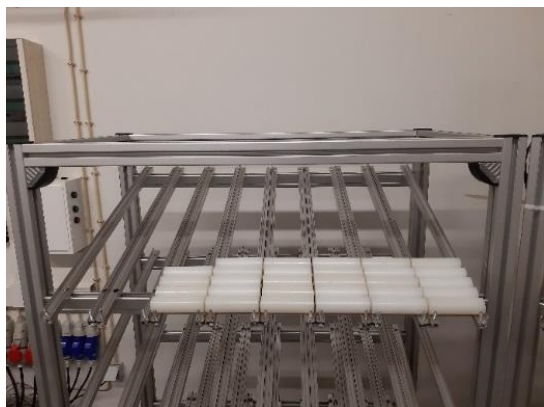


Figura 4-16: Fluxograma do funcionamento do programa principal do robô do SA.

Quando é iniciado o programa principal, designado “ProgSA.prg”, a partir da consola do robô, o mesmo inspeciona o AMPF e o AMPT de forma a contabilizar todas as peças do AMPF e do AMPT. Cada um dos armazéns consegue suportar uma grande quantidade de peças, mas devido a estarmos perante um ambiente de aprendizagem, foram apenas usadas 8 células de cada armazém. A secção dos armazéns que se utilizou neste projeto está apresentada na Figura 4-17.



a) Armazém MP do torno.

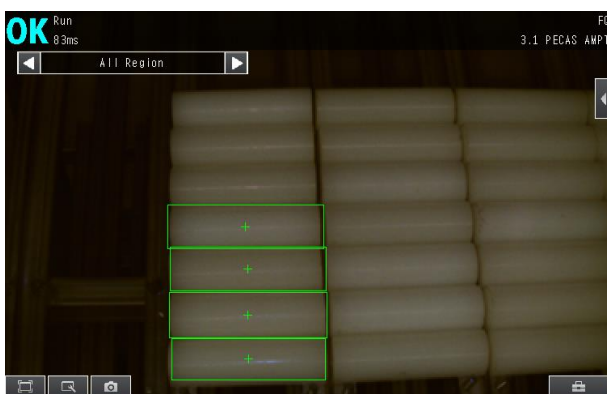


b) Armazém MP da fresadora.

Figura 4-17: Secção de armazéns de matéria-prima utilizados da CFF.

#### 4.4.1 Contabilização das peças do armazém de MP e PA

Cada armazém no SA possui diversas células para armazenamento de MP, mas visto não ser necessário a utilização de todas, apenas se utilizou a parte superior de cada armazém, como apresentado na Figura 4-18 e na Figura 4-19. Cada parte superior do armazém possui 8 células e cada célula no máximo pode ter até 8 peças. De forma ao robô saber quantas peças tem no armazém, inicialmente são inspecionadas as primeiras 4 peças de cada célula e só depois as segundas 4 peças. No total o robô efetua 16 inspeções em ambos os armazéns. Em cada inspeção efetuada é enviada a informação através de 4 sinais digitais para o robô, e o mesmo vai incrementando esse valor na quantidade total de peças. Enquanto o mesmo efetua a inspeção ao armazém, o mesmo ignora as paletes por parte do transportador. Na Figura 4-18 e na Figura 4-19 é apresentada a inspeção às primeiras 4 peças da célula.



a) Inspeção das primeiras 4 peças da coluna.



b) Robô no ponto “pVisão1PAMPT”.

Figura 4-18: Inspeção ao armazém de MP do torno.



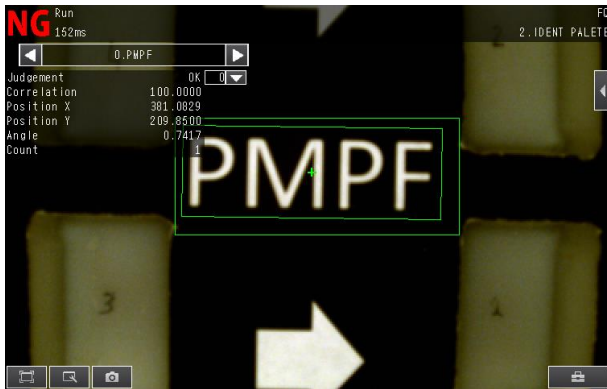
a) Inspeção das primeiras 4 peças da coluna.      b) Robô no ponto “pVisão1PAMPF”.

Figura 4-19: Inspeção ao Armazém de MP da fresadora.

#### 4.4.2 Carregamento da paleta de MP do SA

A partir do momento que o robô efetuou as inspeções em ambos os armazéns, o mesmo tem conhecimento da quantidade de peças em cada armazém, e em que célula as peças estão. No caso deste projeto não foi relevante o conhecimento da quantidade de peças em cada célula de ambos os armazéns, devido à CFF possuir apenas dois tipos de peças (cilíndricas e paralelepipedas). Após o término da inspeção aos armazéns o robô move-se para a posição de repouso (*home*). Neste momento o robô fica à espera que uma paleta seja detetada no transportador pelo sensor indutivo, responsável por informar o PLC que uma paleta se encontra presente no SA.

Independentemente da paleta que chegue ao SA, o PLC dá ordem ao transportador para a paragem da paleta, ação executada através da atuação do “Stopper SA”. Nesse momento o PLC informa o robô que uma paleta está presente no SA e o robô move-se para o ponto de “pVisãoTipoPaleta”. Chegando ao ponto referido, o robô informa o PLC que já se encontra em posição para identificar a paleta e o PLC dá ordem à câmara para efetuar a inspeção ao tipo de paleta do SA, inspeção essa representada na Figura 4-20.



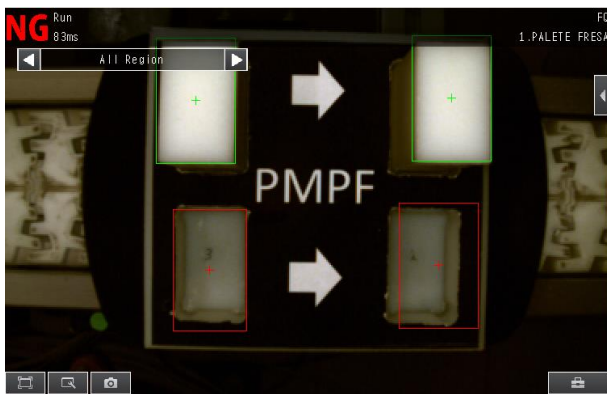
a) Inspeção ao tipo de palete.



b) Robô no ponto “pVisãoTipoPalete”.

Figura 4-20: Inspeção ao tipo de palete do SA.

A partir do momento que o robô tem conhecimento do tipo de palete presente no SA, o próprio move-se para o ponto “pVisãoPSA”, inspeciona a palete, como se pode verificar na Figura 4-21, envia a informação para o PLC acerca do estado das 4 peças (OK ou NOK) e de seguida o PLC informa o robô do estado da palete através do envio de 4 sinais digitais.



a) Inspeção à palete PMPF.



b) Robô no ponto “pVisãoPSA”.

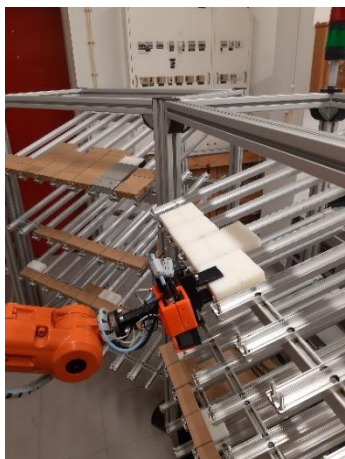
Figura 4-21: Inspeção à palete de MPF no SA.

Caso a palete presente no SA seja de MP, e o armazém contenha peças, o robô efetua o carregamento da palete. Este processo só termina quando a palete de MP estiver carregada ou não houver peças no armazém. Pode-se visualizar na Figura 4-22 e na Figura 4-23 os processos de carregamento de MP para as paletes no transportador.



a) Robô no ponto “pVarAMPT”. b) Robô no ponto “pVarLPecaPT”.

Figura 4-22: Processo de carregamento da paleta de MP do torno no SA.

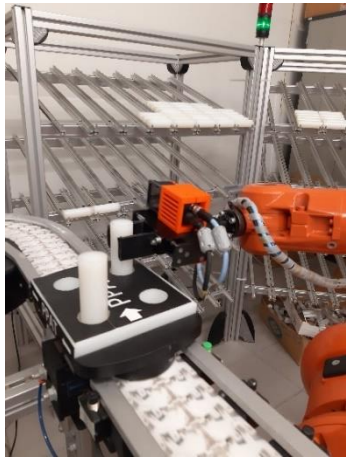


a) Robô no ponto “pVarAMPF”. b) Robô no ponto “pVarLPecaPF”.

Figura 4-23: Processo de carregamento da paleta de MP da fresadora no SA.

### 4.4.3 Descarregamento da paleta de PA do SA

No caso do descarregamento da paleta de PA, como se pode verificar na Figura 4-24 e na Figura 4-25, as peças são colocadas na rampa de PA do SA. Este processo terminará quando a paleta estiver totalmente descarregada ou o armazém de PA estiver cheio.



a) Robô no ponto “pVarPPecaPT”. b) Robô no ponto “pLargaPecaPT”.

Figura 4-24: Processo de descarregamento da paleta de PA do torno no SA.



a) Robô no ponto “pVarPPecaPF”. b) Robô no ponto “pLargaPecaPA”.

Figura 4-25: Processo de descarregamento da paleta de PA da fresadora no SA.

De salientar que o robô sempre que pega numa peça, ou a largue na paleta, o mesmo necessita de utilizar o recurso à visão, isto porque necessita de ter conhecimento onde há e onde não há peça.

#### 4.4.4 Gestão de peças dos armazéns de MP e PA

O robô para efetuar o carregamento de MP, é necessário que o armazém possua peças. Como já referido no subcapítulo 4.4.1, numa situação inicial o mesmo inspeciona o armazém e obtém o número total de MP de cada armazém. De forma ao robô ter conhecimento em tempo real da quantidade total de peças no armazém, foi elaborado um *grafcet* de forma a ser decrementado peça nos AMP (Armazéns de Matéria-Prima) e incrementada peça nos APA (Armazém de Produtos Acabados) de cada máquina. De forma a tornar simples o seu funcionamento foi elaborado um fluxograma presente na Figura 4-26. Sendo que o fluxograma explica apenas como a MP é decrementada visto que o processo de incrementar peça nos PA é idêntico. Se o robô pedir ao PLC a gestão de peças, o mesmo verifica qual a paleta do transportador que está presente no SA. Caso a paleta for de MPF é decrementada uma unidade na quantidade de peças do AMPF. Na hipótese de a paleta for de MPT o processo é semelhante.

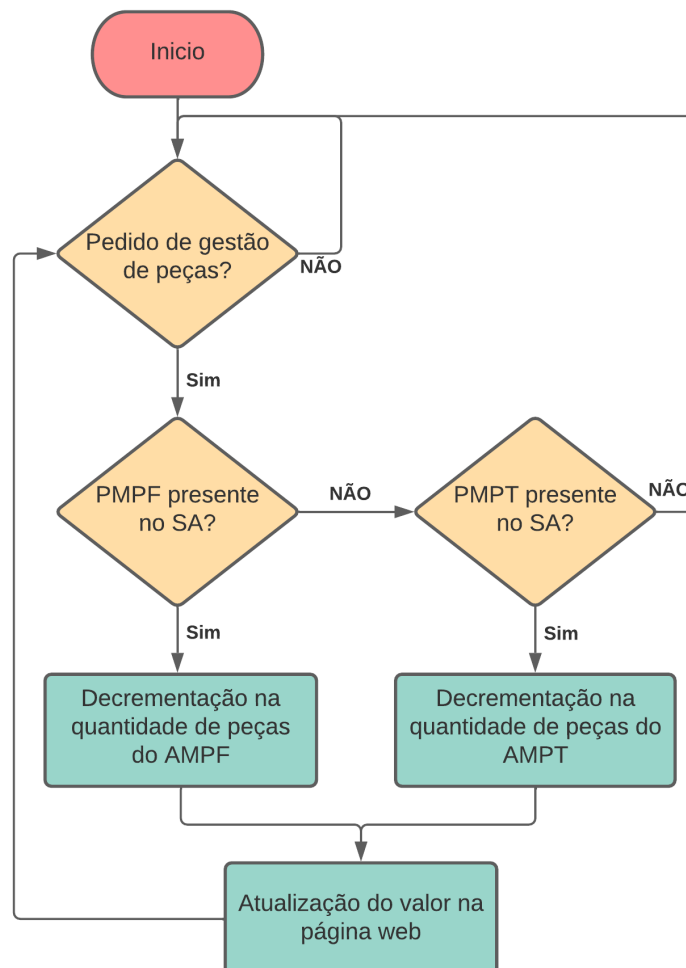


Figura 4-26: Fluxograma do funcionamento da gestão de peças do AMP.

## 4.5 Interface de Controle e Monitorização

Para efetuar o desenvolvimento do servidor *web* recorreu-se a um *Raspberry Pi*. A página *web* neste caso tem como objetivo monitorizar e controlar remotamente a CFF, estando dentro da rede local. Os ficheiros que são responsáveis pelo desenvolvimento do *front-end* da página *web* foram denominados “index.html”, “style.css” e “Graf\_Temp\_Maqui.js”, e para o desenvolvimento do *back-end* foi necessário o Node.Js (domínio virtual) e o ficheiro “app.js”.

### 4.5.1 Servidor OPC UA

A OPC Foundation em 2006 apresentou, a que seria a primeira versão do protocolo OPC UA, que pretende ser um protocolo gratuito para simplificar a comunicação máquina a máquina (em inglês, *Machine-to-Machine*, M2M) de diversos fabricantes. Este protocolo foi projetado única e exclusivamente para a automação industrial. Atualmente existem algumas empresas que não conseguiriam financeiramente possuir os benefícios da Internet das Coisas (IoT) e da Indústria 4.0 sem o OPC UA. O mesmo possibilita que se utilize os dados já existentes nas tecnologias, especialmente na área de visão industrial [109]–[111].

No caso deste projeto para se ter acesso às variáveis do autómato a partir do PLC foi necessário ativar o servidor OPC UA dentro do autómato criando assim uma interface ao servidor. Cada variável independentemente do seu *data type*, possui um *Node ID* que a identifica. Para ter conhecimento do ID correspondente à variável foi necessário utilizar o *software* UaExpert, apresentado na Figura 4-27 [109]–[111].

#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	Source Timestamp	Server Timestamp	Statuscode
1	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 3	BMPF_Peca1	false	Boolean	03:26:52.885	03:26:52.885	Good
2	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 4	BMPF_Peca2	false	Boolean	03:26:53.383	03:26:53.383	Good
3	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 5	BMPF_Peca3	false	Boolean	03:26:53.383	03:26:53.383	Good
4	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 6	BMPF_Peca4	false	Boolean	03:26:53.386	03:26:53.386	Good
5	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 11	BMPT_Peca1	false	Boolean	03:26:53.388	03:26:53.388	Good
6	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 12	BMPT_Peca2	false	Boolean	03:26:53.391	03:26:53.391	Good
7	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 13	BMPT_Peca3	false	Boolean	03:26:53.391	03:26:53.391	Good
8	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 14	BMPT_Peca4	false	Boolean	03:26:53.394	03:26:53.394	Good
9	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 86	BOK_OP_BSA	false	Boolean	03:26:53.396	03:26:53.396	Good
10	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 84	BOK_OP_BSF	false	Boolean	03:26:53.399	03:26:53.399	Good
11	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 7	BPAF_Peca1	false	Boolean	03:26:53.401	03:26:53.401	Good
12	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 8	BPAF_Peca2	false	Boolean	03:26:53.401	03:26:53.401	Good
13	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 9	BPAF_Peca3	false	Boolean	03:26:53.404	03:26:53.404	Good
14	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 10	BPAF_Peca4	false	Boolean	03:26:53.406	03:26:53.406	Good
15	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 15	BPAT_Peca1	false	Boolean	03:26:53.409	03:26:53.409	Good
16	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 16	BPAT_Peca2	false	Boolean	03:26:53.412	03:26:53.412	Good
17	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 17	BPAT_Peca3	false	Boolean	03:26:53.414	03:26:53.414	Good
18	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 18	BPAT_Peca4	false	Boolean	03:26:53.414	03:26:53.414	Good
19	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 85	B_Stop_OP_BSA	false	Boolean	03:26:53.417	03:26:53.417	Good
20	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 83	B_Stop_OP_BSF	false	Boolean	03:26:53.419	03:26:53.419	Good
21	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 88	B_Stopper_P_SA	false	Boolean	03:26:53.422	03:26:53.422	Good
22	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 87	B_Stopper_P_SF	false	Boolean	03:26:53.422	03:26:53.422	Good
23	SIMATIC.S7-120...	NS4 Numeric 41	CHANGE_SCEN...	false	Boolean	03:26:53.425	03:26:53.425	Good

Figura 4-27: Visualização das variáveis do OPC UA no *software* UaExpert.

### 4.5.2 Node.js

Node.js é *open-source*, licenciado pelo MIT e tem como função o processamento de ficheiros JavaScript e permite aos desenvolvedores testar o seu código num domínio virtual. Basicamente a linguagem de programação JavaScript é usada para o *front-end* e para desenvolvimento do *back-end*. Notando que Node.js não é uma linguagem de programação, contudo é frequentemente usado para construir serviços de *back-end* como APIs, *Web Apps* ou *Mobile Apps*. Atualmente é usado por empresas como NASA, Netflix, Paypal, eBay, entre outras. Para instalar o domínio virtual Node.js foi necessário a instalação do mesmo na linha de comandos do *Raspberry Pi*. Dentro do ficheiro “app.js” estão contidas as seguintes bibliotecas [110]–[114]:

- **Express:** cria uma aplicação *web* Node.js, onde é referido o diretório do ficheiro “app.js”;
- **Chalk:** muda a cor das mensagens na linha de comandos do *Raspberry Pi*, de forma a ser mais visível na linha de comandos possíveis erros;
- **Socket.IO;**
- **Node OPC UA.**

### 4.5.3 Socket.IO

A biblioteca em JavaScript socket.IO, é uma biblioteca que possibilita a capacidade para estabelecer comunicação nos dois sentidos e com baixa latência, entre um cliente e um servidor. Portanto, a transferência de dados é efetuada por meio de uma conexão aberta, permitindo a troca de dados em tempo real entre o cliente e o servidor. Esta mesma comunicação é conduzida através da tecnologia *WebSocket*. Por fim, o *WebSocket* é um protocolo de comunicação *web* que permite a transferência de dados entre cliente e servidor e vice-versa, recorrendo, para tal, à criação de um canal de comunicação entre ambos. Essa mesma conexão irá persistir até que o canal seja encerrado. Ao contrário do protocolo HTTPS, o *WebSocket* permite a transferência de dados em ambas as direções. Na prática foi necessário a criação de um objeto *listen*, onde o mesmo associa o porto do IP local à aplicação *web* [114], [115].

### 4.5.4 Leitura/Escrita de dados

Existem duas formas de leitura de dados do servidor OPC UA, a criação de uma subscrição, e quando a variável altera de estado ou muda de valor, é atualizada na página *web*. A outra forma é ler diretamente a variável através do seu *Node ID* e atualizá-la na página *web*. Para a escrita de dados é necessário escrever sob o *Node ID* da respetiva variável, e a mesma altera no servidor OPC UA. A escrita de dados é praticamente em tempo real sendo impercetível a existência de um atraso. Contudo, no caso da leitura de variáveis, o tempo de acesso é limitado pelo servidor OPC UA, mas apenas na ordem dos milissegundos, nada que no caso deste projeto seja relevante.

### 4.5.5 Estrutura da Página Web

A página *web* elaborada possui um total de oito secções. Na Figura 4-28 está apresentada a secção “Menu” e onde na mesma é possível navegar entre as seguintes secções:

- Página Principal;
- Informação acerca do autor do projeto;
- Resumo do projeto;
- Tempo de maquinação da fresadora;
- Tempo de maquinação do torno;
- Gestão do setor de armazenamento;
- Monitorização da CFF;
- Comandos da CFF.

Notando que na parte inferior de todas as secções da página *web* possuem um botão no centro para navegar para a página seguinte. Para voltar à página principal no canto inferior direito está situado um botão *scroll to top* ao longo da página *web* de forma a ser possível em qualquer momento o leitor voltar à página principal. Também é possível nesta página visitar a página oficial da ESTGV, através do botão “Visitar o site da ESTGV”.



Figura 4-28: Página *web* – Secção “Menu”

#### 4.5.5.1 “Autor”

A secção “Autor”, apresentada na Figura 4-29, tem como função dar a conhecer ao leitor o autor do projeto. Caso a página *web* fosse apresentada em outras circunstâncias e ocasiões, para alunos externos da ESTGV, seria possível os mesmos terem perceção de quem elaborou o projeto, o nome do projeto, o curso correspondente, entre outras informações.



Figura 4-29: Página *web* – Secção Autor do Projeto.

#### 4.5.5.2 “Resumo”

A secção “Resumo”, apresentada na Figura 4-30, tem como objetivo dar a conhecer ao leitor um pequeno resumo acerca do projeto.



Figura 4-30: Página *web* – Secção “Resumo”

### 4.5.5.3 “Tempo de maquinação”

O tempo de maquinação está relacionado diretamente com o estado da máquina CNC. Na Figura 4-31 está apresentado o fluxograma de funcionamento do estado da máquina CNC. Inicialmente a máquina encontra-se parada. A máquina CNC pode possuir até 3 estados, em alarme, a maquinar, ou parada. Desse modo, é gerada uma animação na página *web* diferente para cada estado da máquina.

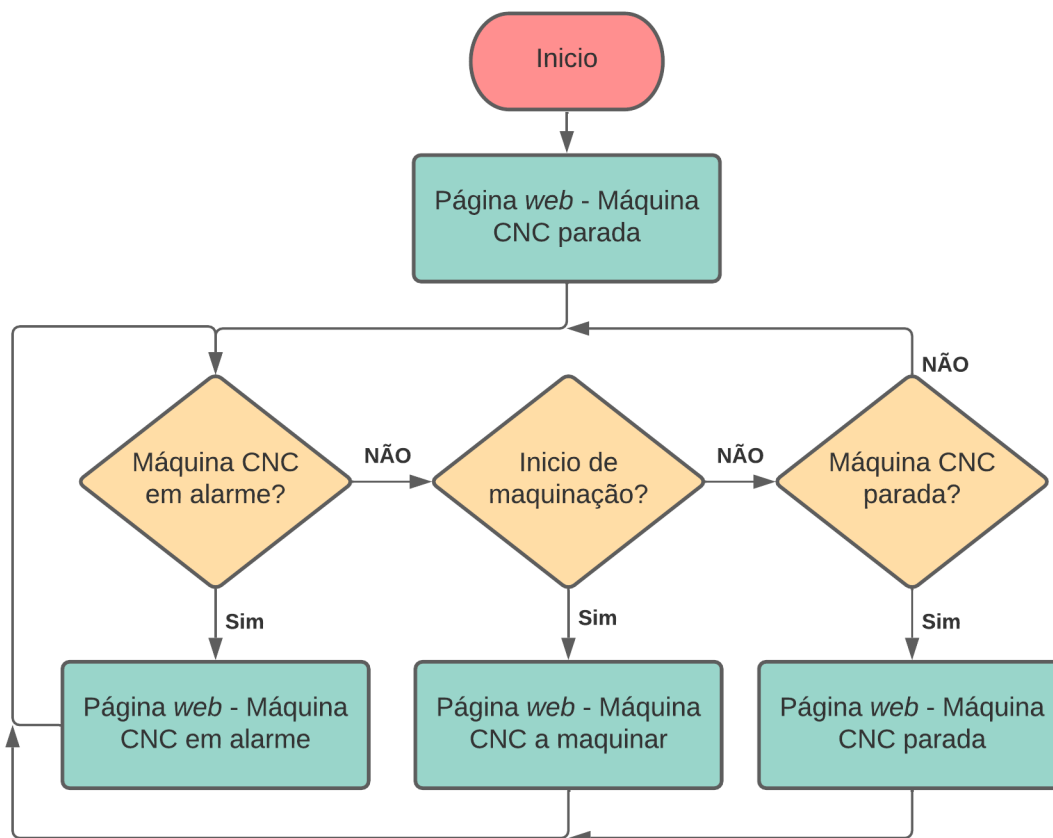


Figura 4-31: Fluxograma de funcionamento do estado da máquina CNC.

Quando a máquina inicia a maquinação também inicia a contagem de tempo de maquinação. Quando a maquinação termina a contagem de tempo de maquinação conclui e é atualizado o seu valor na página *web*.

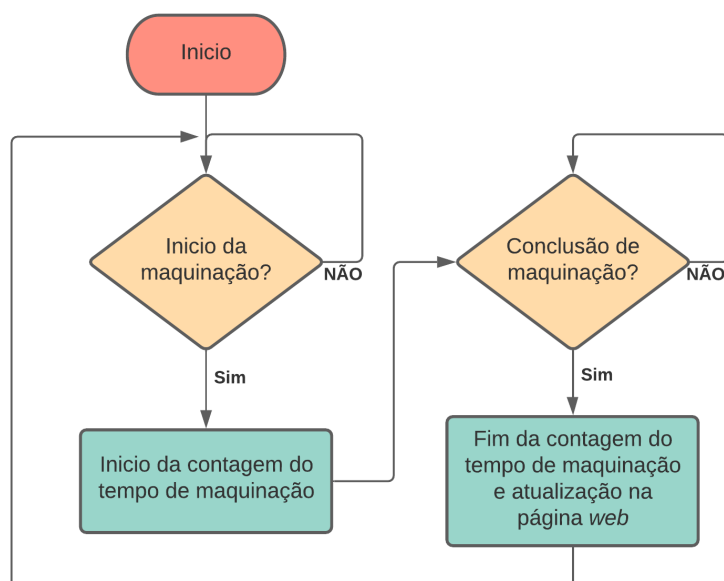


Figura 4-32: Fluxograma da contagem de tempo de maquinação.

A finalidade das duas secções da página *web*, tempo de maquinação do torno e fresadora, ambas presentes nas Figura 4-33 e na Figura 4-34, têm como finalidade demonstrar o tempo de maquinação da máquina CNC. Na parte inferior de cada barra do gráfico é possível visualizar quando a máquina CNC terminou de maquinar no formato “DD-MM-YYYY HH:mm:ss:SSS”.

Quando o gráfico de barras é atualizado com uma nova variável, no centro de cada barra do gráfico está apresentado o tempo referido anteriormente no formato “HH:mm:ss:SSS”. Uma das particularidades na execução destes gráficos foi que o mesmo só deve atualizar o tempo de maquinação no gráfico, após a receção da informação por parte da variável do servidor OPC UA com essa indicação.

## TEMPO DE MAQUINAÇÃO TORNO

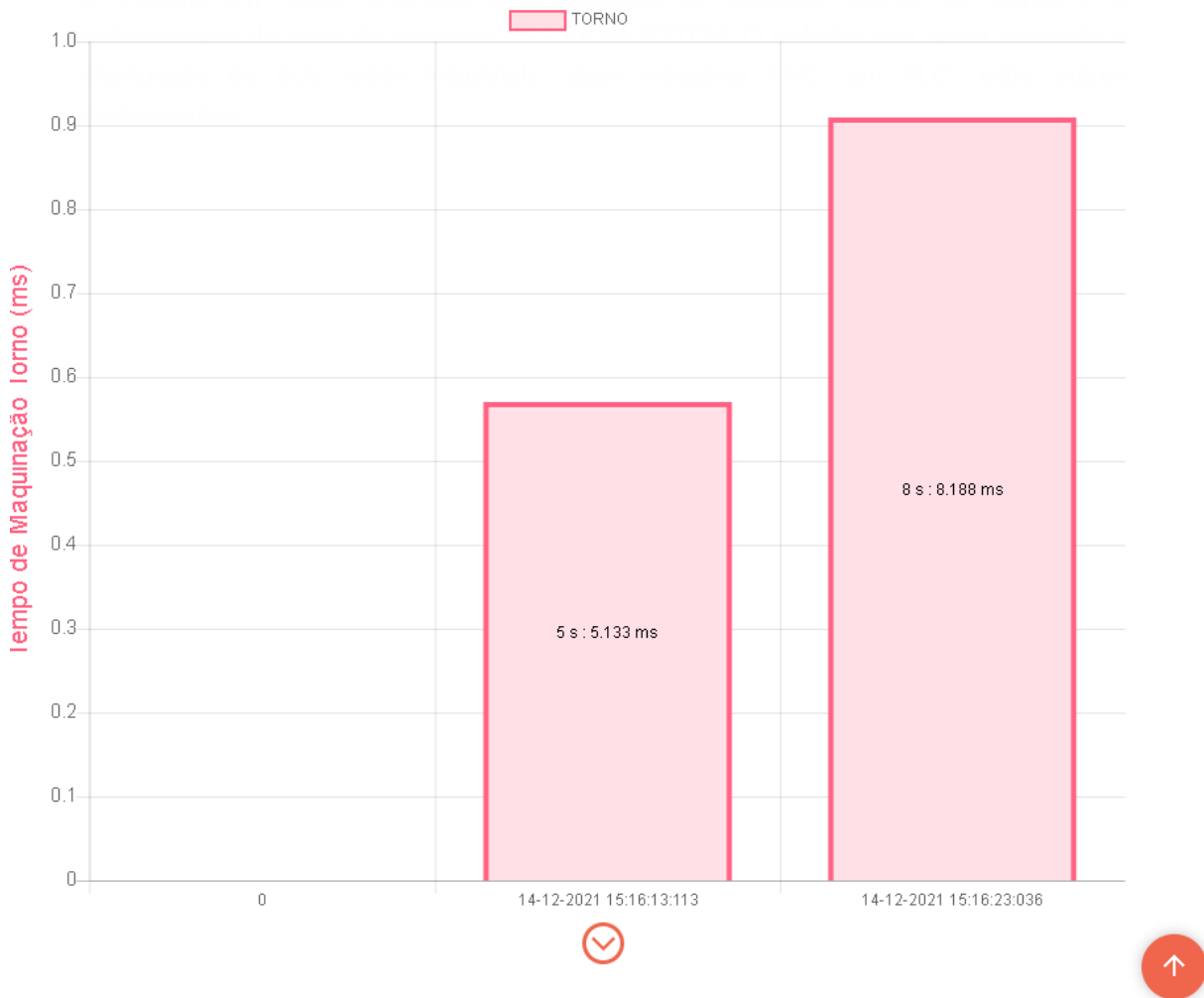


Figura 4-33: Página *web* – Secção “Tempo de maquinação torno”.

A Figura 4-34 mostra o gráfico de barras do tempo de maquinação da fresadora, onde no centro da barra do gráfico está representado o tempo no formato “HH:mm:ss:SSS” e na parte inferior de cada barra do gráfico está representado o tempo em que a maquinação terminou no formato “DD-MM-YYYY HH:mm:ss:SSS”. A escala do lado esquerdo da figura representada o tempo de maquinação em segundos, que neste caso não é relevante, visto no gráfico estar representado o tempo no formato “HH:mm:ss:SSS”.

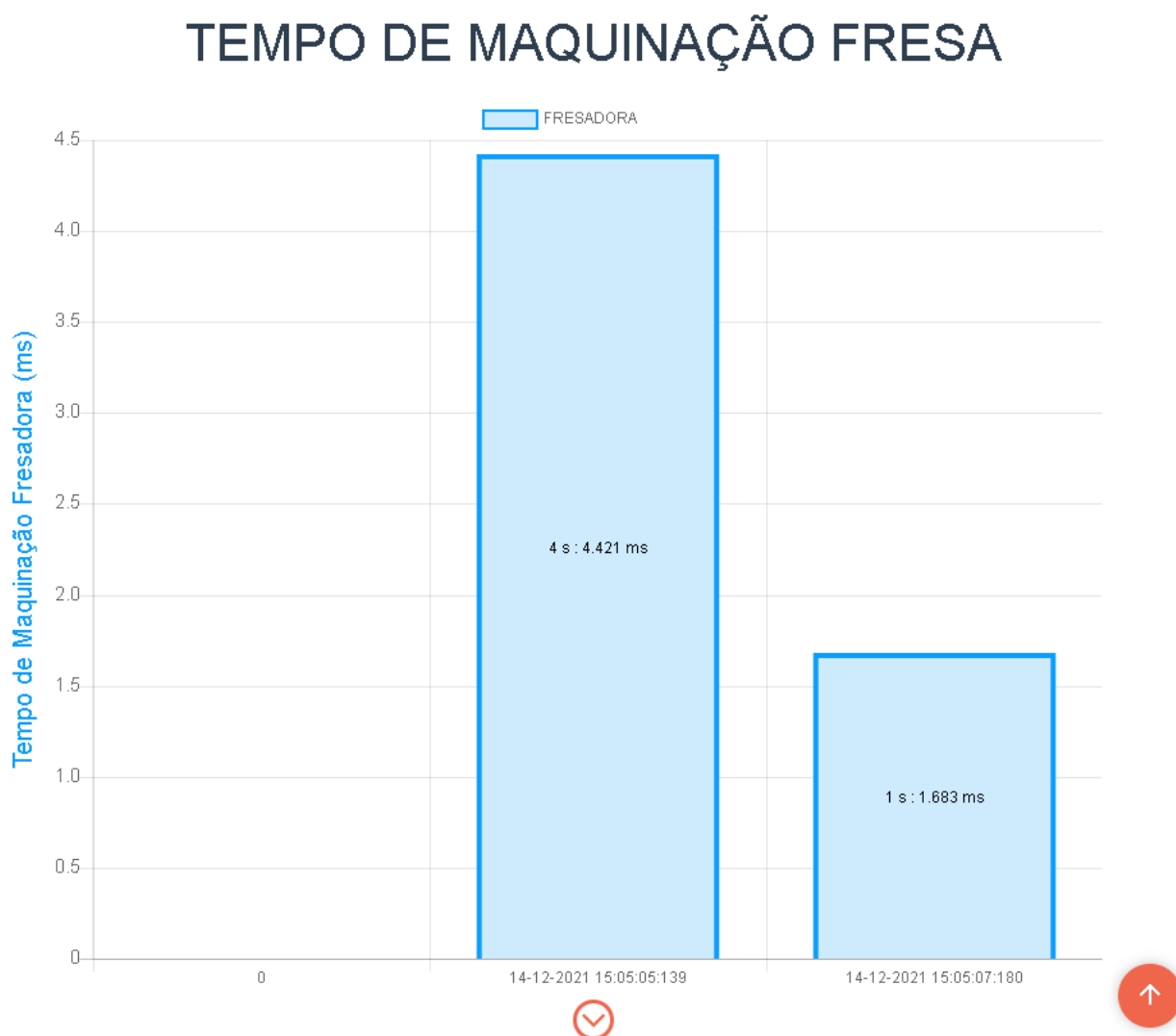


Figura 4-34: Página web – Secção “Tempo de maquinação fresadora”.

#### 4.5.5.4 “Gestão do Armazém”

O desenvolvimento da secção “Gestão do Armazém” seria fulcral caso estivéssemos perante um ambiente industrial, devido ao operador poder gerir todo o armazém. Para além disso possibilita ao operador receber um email quando:

- O limite de MP do torno é inferior a um determinado valor;
- O número de PA do torno for atingido;
- O número de PA do torno atingir o seu valor máximo;
- O limite de MP da fresadora é inferior a um determinado valor;
- O número de PA da fresadora for atingido;
- O número de PA da fresadora atingir o seu valor máximo.

Como se pode visualizar na Figura 4-35, a coluna “Limite atual” possui valores iniciais por defeito, onde posteriormente caso fosse necessário, o operador poderia alterar inserindo um novo valor na linha correspondente de acordo com o pretendido na coluna “Novo Limite” e pressionar o botão “Atualizar”. A partir desse momento a variável possuirá um novo limite. O ideal seria que as alterações efetuadas pelo operador fossem armazenadas, por exemplo num ficheiro .xml local, isto porque, efetuando o *refresh* à página *web*, a mesma perde os valores introduzidos pelo operador e guiar-se-á novamente pelos valores por defeito descritos na figura.

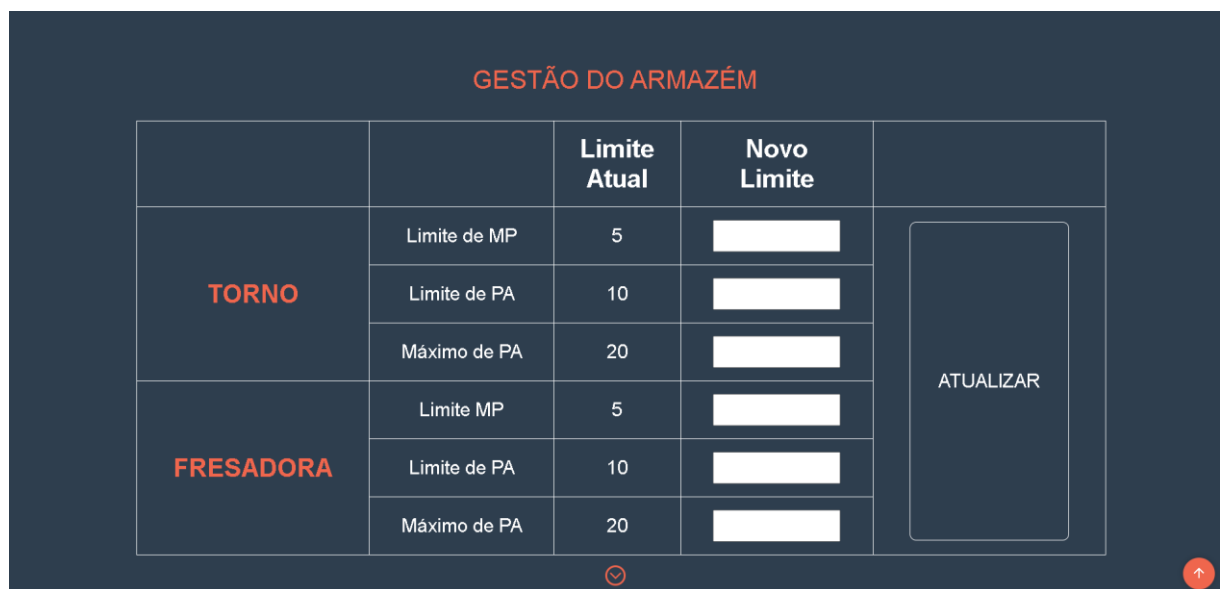


Figura 4-35: Página *web* – Secção “Gestão do Armazém”

#### 4.5.5.5 “Monitorização”

A secção “Monitorização” apresentada na Figura 4-36 é considerada a mais importante, uma vez que permite a visualização de toda a informação da CFF. Na mesma é possível obter as seguintes informações acerca da CFF:

- Estado do torno e da fresadora CNC:
  - **Em funcionamento:** led Verde;
  - **Parado:** led vermelho;
  - **Alarme:** led intermitente preto e amarelo;
- Estado do robô do SF e SA:
  - **Em funcionamento:** Led Verde;
  - **Parado:** led vermelho;
- As câmaras de visão em cada setor possuem seis leds de informação e uma animação:
  - **ENT:** liga o led após a comunicação estar a ser efetuada;
  - **Busy:** liga o led quando um comando está a ser executado;
  - **OR:** liga o led quando o resultado do julgamento geral da inspeção é NG (*Not Good*);
  - **ERROR:** liga o led quando um erro é detetado;
  - **Inspeção e mudança de cena concluída:** led verde;
  - **Inspeção concluída:** led verde;
  - **Informação do disparo da câmara:** animação;
- **Buffers e paletes:** presença ou não de peça em cada posição, e a respetiva numeração da mesma;
- **Tipo de palete:** quando a palete surge num dos setores é possível visualizar qual o seu tipo e onde possui peças;
- **Stoppers:** é possível o comando através da página *web* dos *stoppers* intermédios da CFF que não influenciam diretamente com o funcionamento do SF e do SA. Os 4 *stoppers* possuem uma animação quando são ativados e desativados;
- Armazém de MP:
  - **Vazio:** led vermelho;
  - **Abaixo do limite imposto:** led laranja;
  - **Acima do limite imposto:** led verde.
- Armazém de PA:
  - **Nenhum PA no armazém:** led vermelho;
  - **Abaixo do limite imposto:** led laranja;
  - **Acima do limite imposto:** led verde.

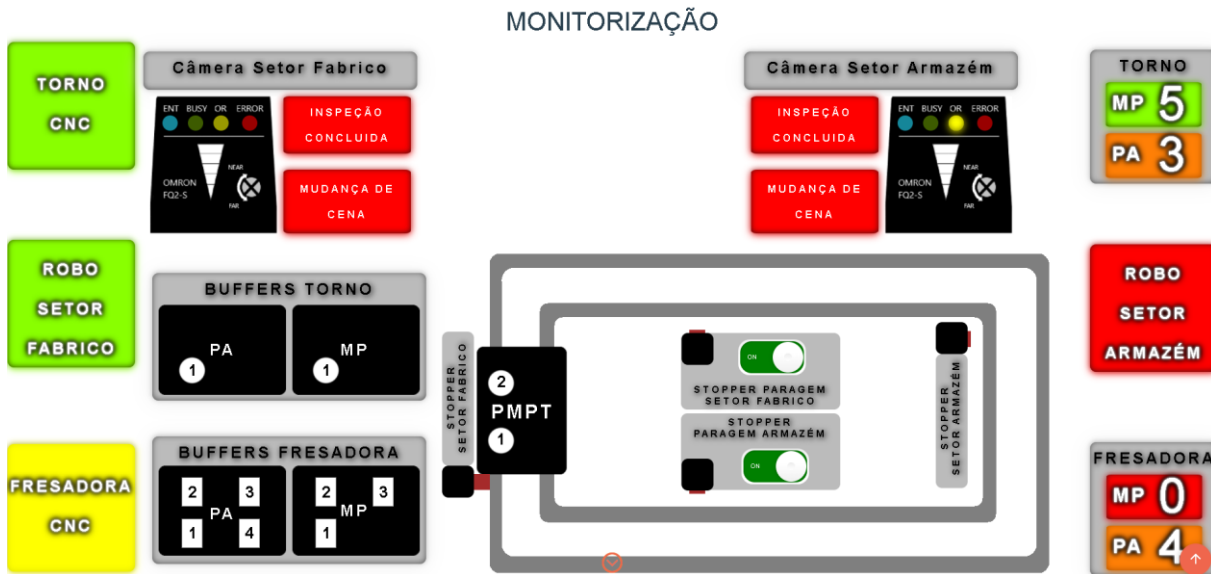


Figura 4-36: Página *web* – Secção “Monitorização”

De acordo com a tabela da gestão do armazém referida no subcapítulo 4.5.5.4, caso a quantidade de peças do AMPT (Armazém de Matéria-Prima do Torno) for cinco e o limite de MP do torno for de cinco o AMPT da página *web* fica de acordo com a Figura 4-37a), apresentado a cor verde. Quando é retirada uma peça do AMPT, a animação fica representada pela cor laranja, como mostra a Figura 4-37b). Caso o operador nesse momento mude o limite de MP por exemplo para quatro, ou seja, nesse momento o número de peças do AMPT está dentro do limite, e a animação na página *web* volta a assumir a cor verde, como mostra a Figura 4-37c). Quando o AMPT, fica totalmente vazio a animação fica representada pela cor vermelha como mostra a Figura 4-37d). A tabela de gestão do armazém em conjunto com esta componente da página *web* apresenta a vantagem de permitir ao operador alterar os limites de MP e PA. Também é possível a visualização não só a quantidade de peças, mas também a introdução de uma animação, visto que na indústria utilizando uma HMI, uma possível falha é detetada mais rapidamente.

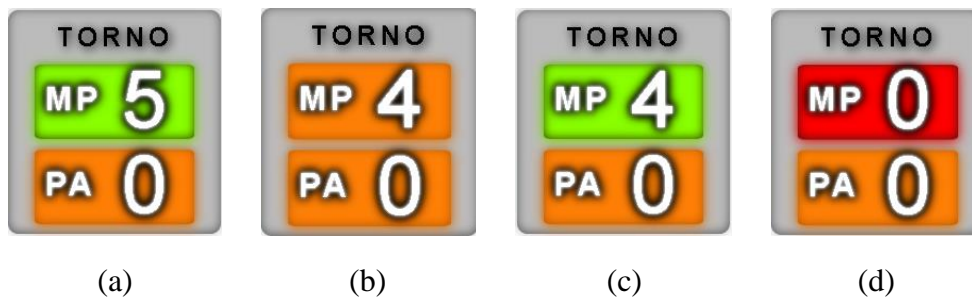


Figura 4-37: Página *web* – Armazém de MP de torno: (a) MP dentro do limite, (b) MP inferior ao limite, (c) MP dentro do limite e (d) AMPT vazio.

#### 4.5.5.6 “Comandos CFF”

A secção “Comandos CFF”, exposta na Figura 4-38, tem como principal objetivo a paragem do robô do setor de produção e do setor de fabrico através da página *web* clicando no botão de stop. Para se dar novamente início ao movimento do robô é apenas necessário pressionar o botão OK do operador.

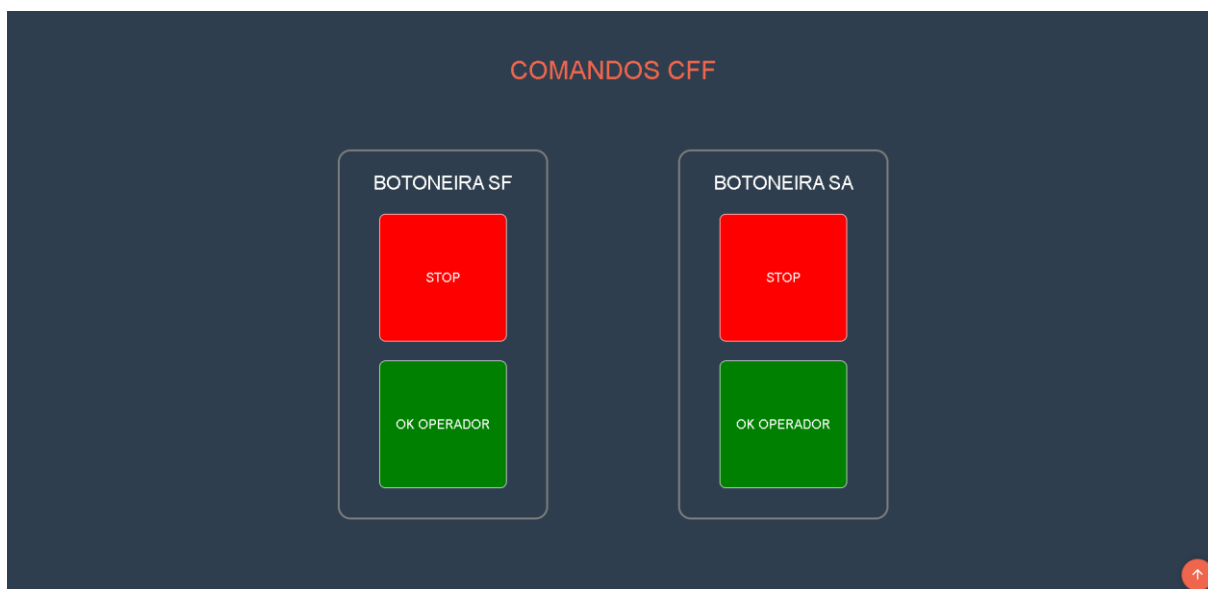


Figura 4-38: Página *web* – Secção “Comandos CFF”

A secção da página *web* “ComandosCFF” é composta por quatro botões como mostra a Figura 4-38. Para que o PLC recebesse o estado do botão de pressão, foi necessário a publicação do seu estado numa variável do servidor OPC UA. Na Figura 4-39 está representado um fluxograma que explica o processo desde o *click* do botão até o seu estado ser recebido no PLC. Quando o botão é pressionado o valor 1 é emitido para o cliente OPC UA. No caso de ser 1, é escrito o valor do estado no *nodeID* correspondente ao estado do botão que foi pressionado. Quando deixa de estar premido o botão o valor 0 é emitido para o cliente OPC UA. Na hipótese de ser 0, é escrito o valor do estado no *nodeID* correspondente ao estado do botão. O estado do botão está diretamente ligado a uma saída do PLC, onde o mesmo está a ser monitorizado pela *multitask* presente no robô do SA.

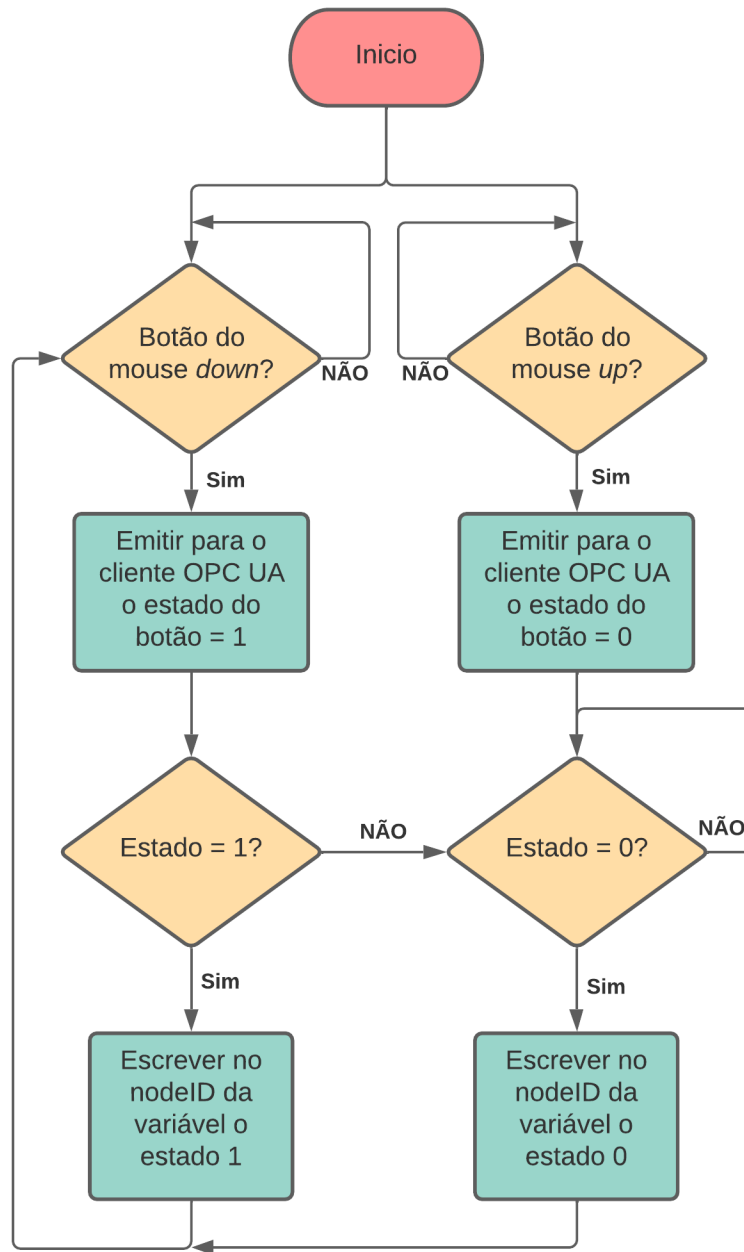


Figura 4-39: Fluxograma de funcionamento da escrita de dados no OPC UA.

## 4.6 Envio de E-mail

Atualmente o envio de email é utilizado como um mecanismo padrão para o envio de erros ou avisos sobre anomalias que possam ocorrer numa instalação industrial para um centro de controlo ou para um operador. Utilizando a instrução “TMAIL\_C”, é possível o envio de emails através da porta *Ethernet* de um PLC S7-1200. Hoje em dia por razões de segurança, a maioria dos servidores de email apenas suportam ligações seguras.

Para configurar uma ligação segura (*Simple Network Management Protocol* – SNMP) sobre TLS (*Transport Layer Security*) a um servidor de email utilizando a porta *Ethernet* integrada do CPU foi necessário seguir os seguintes passos [116]:

- Criar uma conta email, que no caso deste projeto foi uma conta *gmail*;
- Nas definições da conta *Gmail*, é necessário ativar as funcionalidades de POP (*Post Office Protocol*) e IMAP (*Internet Message Access Protocol*);
- Ativar o acesso a *app* menos seguras, de forma a permitir que *apps* e dispositivos que utilizam tecnologias de login menos seguras a acedam.
- Efetuar o *download* dos certificados: “GlobalSign” e “GlobalSign Root CA” - Protege mensagens de correio eletrónico, encriptação de dados e permite comunicações seguras na Internet;
- Proteger o programa do TIA Portal com utilizador e palavra-passe (obrigatório);
- No TIA Portal na secção “Security settings → Settings → Security features → Certificate Manager” abrir e importar os certificados;
- No TIA Portal na secção “Propriedades → Protection & Security → Certificate Manager” incluir os certificados e memorizar os ID;
- Necessário a utilização da instrução “TMAIL\_C” e a criação de um DB, apresentado na Figura 4-40, onde estão contidas todas as variáveis necessárias para que uma conexão seja estabelecida com a conta *Gmail*;
- Nas propriedades do PLC em “Advanced configuration → DNS configuration”, colocar o IP do router e o endereço do servidor DNS da Google.

DadosTMAIL			
	Name	Data type	Start value
1	Static		
2	tmail_erros	Struct	
3	enable	Bool	TRUE
4	toS	String[240]	
5	ParamGmail	TMail_QDN_SEC	
6	InterfaceId	HW_ANY	64
7	ID	CONN_OUC	16#100
8	ConnectionType	Byte	16#22
9	ActiveEstablis...	Bool	true
10	WatchDogTime	Time	T#1M
11	MailServerQDN	String[254]	'smtp.gmail.com.'
12	UserName	String[254]	
13	PassWord	String[254]	
14	From	EMAIL_ADDR	
15	RemotePort	UInt	587
16	ActivateSecur...	Bool	true
17	ExtTLSCapabili...	Byte	16#0
18	TLSServerCertR...	UDInt	3
19	Teste	Bool	false

Figura 4-40: Data Block da instrução “DadosTMAIL”

Presumindo que todos os passos mencionados anteriormente foram efetuados com sucesso é necessário a criação de um FB (*Function Block*), introduzir a instrução “TMAIL\_C”, exposta na Figura 4-41, e na mesma colocar os seguintes parâmetros:

- REQ – Colocar a instrução que iniciará o envio do email;
- TO\_S – Email para o qual será enviado o email;
- SUBJECT – Assunto do email enviado;
- TEXT – Informação que irá conter no email.

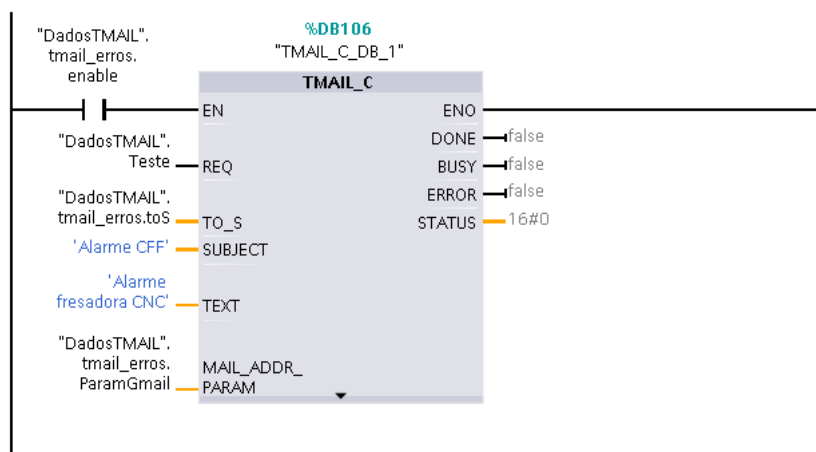


Figura 4-41: Bloco do “TMAIL\_C” no TIA Portal.

Na Figura 4-42, encontra-se apresentado um exemplo do email enviado para a conta de correio eletrónico do operador. O mesmo será enviado em caso de:

- Invasão da CFF;
- Alarme das máquinas CNC;
- Alguma das peças de matéria-prima contidas nos armazéns for menor que o limite imposto pelo operador na página *web*;
- O armazém do torno e da fresadora não contenha nenhuma MP;
- O número de PA produzidos pelas máquinas CNC já ter sido atingido.

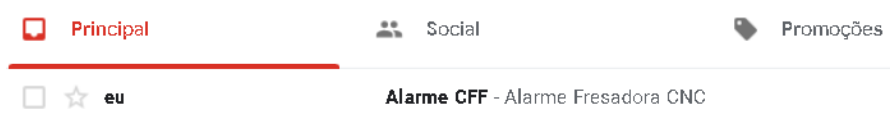


Figura 4-42: Envio de email da fresadora CNC em alarme.



## 5. Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

### 5.1 Conclusões

De acordo com todo o trabalho prático desenvolvido, conclui-se que todos os objetivos propostos foram alcançados. O objetivo principal deste trabalho era elaborar um programa para que toda a célula funcionasse de forma autónoma, ou seja, no setor de fabrico o robô descarregasse e carregasse as máquinas CNC e no setor de armazém que o robô carregasse ou descarregasse a paleta mediante o seu tipo presente no setor de transporte de forma a que nunca houvesse escassez de MP e excesso de PA nas paletes.

Uma das dificuldades na elaboração da Dissertação, concluída com sucesso, foi nomeadamente na construção do capítulo 2, Revisão Histórica. Para o mesmo possuir informação credível foi necessária a pesquisa em artigos, plataformas *online*, entre outros, acerca da história da automação industrial, robótica industrial, máquinas CNC, sistemas flexíveis de fabrico e visão computacional. Foi também de certa forma árduo, encontrar imagens nítidas que retratassem a história das várias tecnologias, para que fosse possível ao leitor ter perceção de como eram os equipamentos.

No decorrer do desenvolvimento do trabalho prático foram sentidos alguns obstáculos que foram ultrapassados, nomeadamente o modo de comunicação entre o autómato e a *smart* câmara da OMRON. O principal problema era estabelecer comunicação entre a câmara e o PLC, visto nunca ter tido contacto com este tipo de tecnologia.

Sentiu-se também alguma dificuldade, em operar com diferentes equipamentos (robô, autômato e câmara de visão) e principalmente no envio de informação e comandos entre o PLC e o robô devido à interface dos robôs já ser antiga e só possuir uma interface de I/O e não possuir nenhum protocolo de comunicação. De certo modo sentiu-se também dificuldade na forma como se enviou a informação entre o robô e o PLC. Para tal, foi necessário o PLC enviar informação durante um determinado tempo para o robô através de sinais digitais, onde o programa do robô ciclicamente durante um determinado tempo armazena esses estados em variáveis. O programa do robô concluiria esse ciclo estando ainda o PLC a enviar informação. Isto para o robô receber a informação correta por parte do PLC.

Os diversos programas e *softwares* que integram os elementos da CFF, robô ABB IRB140 e IRB1400, PLC, máquinas CNC e *Raspberry Pi*, desenvolvidos em ambiente laboratorial foram testados e cumprem com as funções para as quais foram projetados.

Durante a projeção e implementação deste trabalho, um ponto importante foi garantir a segurança dos operadores da célula e de todos os equipamentos, visto que foi desenvolvido um sistema capaz de garantir a segurança do operador. Em caso de intrusão, o sistema de segurança desenvolvido garante a segurança das pessoas e equipamentos.

A implementação de duas câmaras de visão artificial nas ferramentas dos robôs e do microcomputador *Raspberry Pi* são uma mais-valia evidente neste projeto. A partir das câmaras os robôs têm conhecimento da posição das peças do *buffer*/palete, do tipo de palete presente no setor, se a peça está corretamente posicionada no mandril/*vice* e do número de peças em ambos os armazéns de MP. A partir do servidor *web* implementado no *Raspberry Pi* e da página *web* elaborada permite ao utilizador que visualize, monitorize e controle a CFF praticamente em tempo real.

No setor de fabrico quando ocorre uma falha numa máquina CNC, apenas as tarefas relacionadas com essa máquina não são efetuadas. As restantes tarefas da CFF decorrem dentro da normalidade. No caso de ocorrer um alarme, o PLC envia um email ao operador/centro de controlo com a informação acerca do alarme. Não estando o operador presente na CFF nem a visualizar a página *web*, o email funciona como uma solução alternativa.

## 5.2 Conclusão Geral

Neste projeto aprendi conceitos e tecnologias novas na área de automação e robótica. Mediante a pesquisa que fiz no capítulo “Revisão Histórica”, aprendi um pouco sobre a história dos diversos equipamentos, a sua evolução, tipos de tecnologias, vantagens da sua utilização, desvantagens e as principais aplicações onde são implementados.

No capítulo “Elementos da Célula Flexível de Fabrico” enriqueci os meus conhecimentos acerca das características dos equipamentos que implementei e de outros que já faziam parte da CFF. No fundo fiquei a conhecer de uma forma geral o controlo de uma CFF, a sua sinalização e os elementos necessários para garantir a segurança do operador e dos equipamentos.

Por fim o capítulo “Trabalho Desenvolvido” foi de certa forma exigente devido a todas as tecnologias presentes na CFF e o que seria necessário elaborar a nível de programação de forma que a CFF fosse flexível e garantisse a segurança do operador e dos equipamentos. No caso da programação dos robôs, foram desenvolvidas aproximadamente 6000 linhas de código contando com a organização de todo o programa de forma a possibilitar uma rápida alteração do mesmo se necessário. Na programação dos robôs ganhei conhecimentos principalmente sobre rotinas *trap*, *multitasks*, entre outros.

A programação do PLC foi elaborada de forma a manter uma boa organização e funcionamento de todos os 20 *grafcet* desenvolvidos de forma a facilitar a alteração do mesmo caso necessário. No caso desta programação o grau de exigência foi elaborar diferentes *grafcet* e funções para diferentes tipos de funções da CFF. Onde foi adquirido mais conhecimento na componente de automação foi a compreensão e desenvolvimento do *grafcet* da câmara de visão e compreender como a mesma se comunicava com o PLC através do protocolo de comunicação PROFINET.

Toda a programação da página *web*, foi elaborada com bases mínimas de HTML, CSS, JavaScript, OPC UA, entre outros. Toda a programação em HTML, CSS e JavaScript contém aproximadamente 7000 linhas de código. No caso da página *web* aprendi como estabelecer comunicação entre um servidor OPC UA e cliente e em diferentes formas de monitorizar variáveis e em como enviar comandos para o PLC.

Por fim, todo o trabalho foi iniciado com pouco conhecimento ou quase nenhum acerca dos equipamentos, principalmente acerca do *Raspberry Pi* e da câmara de visão, mas terminando com conhecimento que me ajudará futuramente. Em todo o trabalho prático e escrita da dissertação foi depositado todo o esforço máximo possível.

### 5.3 Trabalhos Futuros

Tendo em conta que todos os objetivos do trabalho proposto foram cumpridos, há sempre aspetos relativamente à programação e sistema físico da CFF que podem ser melhorados de forma a aumentar a eficiência, rápida manutenção e alteração de *software*. De seguida são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Implementar novos *buffers* no setor de fabrico de forma que seja possível o armazenamento de uma maior quantidade de peças;
- Incrementação da variedade de matéria-prima, de forma a aumentar o número do tipo de paletes;
- Aumento da sinalização presente em ambos os setores de maneira a apresentar diferentes tipos de alarmes;
- Melhoramento da *function block* de ambas as câmaras, de forma a poder visualizar o tipo de erro quando o mesmo ocorre, e também o *reset* às saídas da câmara ao fim do PLC receber informação por parte da mesma;
- Melhoramento do *grafcet* da câmara para no caso da mudança de cena, a mesma ainda não corresponda à solicitada. Da forma como se encontra elaborado o *grafcet*, o mesmo só avança caso a mudança de cena presente na câmara seja igual à pretendida. Uma solução seria a mesma ter por exemplo três tentativas para mudar de cena e caso mesmo assim o problema persistisse, seria emitido um alarme;
- Introdução de uma secção para o comando manual da câmara a partir da página *web*, de forma a se poder efetuar inspeções para testes à CFF sem ter de colocar a mesma em funcionamento. Para se poder comandar a câmara a partir de uma HMI ou de uma página *web* o mesmo não poderia funcionar caso o setor estivesse em modo automático. Portanto só se poderia comandar a câmara manualmente caso esse setor estivesse em modo manual. Nessa mesma secção poder-se-ia também visualizar o tipo de erro da câmara caso o mesmo aconteça, permitir a limpeza do histórico de erros da câmara e também a possibilidade de efetuar um *reset* à câmara;
- Desenvolvimento de uma base de dados para armazenamento de toda a informação gerada ao longo do processo de fabrico, como por exemplo, tempos de maquinação, tempos de manutenção, tempos de paragem das máquinas, entre outras;
- Restruturação de todo o quadro elétrico da CFF de forma a facilitar a alteração e a perceção das ligações elétricas;
- Possibilidade de utilização da visão para controlo de qualidade das peças maquinadas na máquina CNC;

Mediante as sugestões apresentadas haverá sempre melhorias a acrescentar de forma a melhorar o funcionamento da CFF, no entanto, prioritariamente algumas delas passam por desenvolver os aspetos acima mencionados.



## REFERÊNCIAS

- [1] D. Lase, “Education and industrial revolution 4.0,” *Jurnal Handayani Pgsd Fip Unimed*, vol. 10, no. 1, pp. 48–62, 2019.
- [2] A. A. Shahroom and N. Hussin, “Industrial revolution 4.0 and education,” *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, vol. 8, no. 9, pp. 314–319, 2018.
- [3] “As 4 revoluções industriais.png.” [Online] disponível em: <https://www.salesforce.com/content/dam/blogs/br/quarta-revolucao-industrial.png> (Data de consulta: 05-dez-2021).
- [4] L. Silveira and W. Q. Lima, “Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial,” *Redes para Automação Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, p. 16, 2003.
- [5] N. Crafts, “Explaining the first Industrial Revolution: two views,” *European Review of Economic History*, vol. 15, no. 1, pp. 153–168, 2011.
- [6] P. M. Deane, *The first industrial revolution*. Cambridge University Press, 1979.
- [7] B. Lojek, *William Shockley-the Will to Think*. Springer, 2021.
- [8] “Transistor.png.” [Online] disponível em <https://www.embarcados.com.br/wp-content/uploads/2014/12/imagem-de-destaque-4.png> (Data de consulta: 15-Mar-2021).
- [9] “Desenvolvedores do transístor.” [Online] disponível em [https://www.wired.com/images\\_blogs/thisdayintech/2009/12/transistor\\_inventors\\_hr.jpg](https://www.wired.com/images_blogs/thisdayintech/2009/12/transistor_inventors_hr.jpg) (Data de consulta: 15-mar-2021).
- [10] Z. Sarfraz, A. Sarfraz, H. M. Iftikar, and R. Akhund, “Is covid-19 pushing us to the fifth industrial revolution (Society 5.0),” *Pakistan journal of medical sciences*, vol. 37, no. 2, p. 591, 2021.
- [11] K. Patel, V. Jogani, P. Bhajiyawala, A. Modi, and P. Panchal, “Technological revolution in Industrial Automation using PLC,” 2021.
- [12] V. R. Segovia and A. Theorin, “History of Control History of PLC and DCS,” *University of Lund*, 2012.
- [13] “Modicon PLC module.” [Online] disponível em: <https://www.repairzone.com/prod/modicon/c184> (Data de consulta: 12-mar-2021).

## REFERÊNCIAS

---

- [14] G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, “Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 18, p. 100129, 2020.
- [15] P. K. Malik *et al.*, “Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art,” *Computer Communications*, vol. 166, pp. 125–139, 2021.
- [16] “IoT.jpg.” [Online] disponível em: <https://gecdesigns.com/img/blog/iot/iot-02.jpg> (Data de consulta: 12-mar-2021).
- [17] F. Soares De Lima, “A AUTOMAÇÃO E SUA EVOLUÇÃO,” *University of Rio Grande do Norte*, 2003.
- [18] D. Kiel, J. M. Müller, C. Arnold, and K.-I. Voigt, “Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0,” in *Digital Disruptive Innovation*, World Scientific, 2020, pp. 231–270.
- [19] “*Industrial Automation History*.” [Online] disponível em: <https://www.slideshare.net/saianjaneya/industrial-automation-history> (Data de consulta: 11-mar-2021).
- [20] A. M. S. Francisco, *AUTÓMATOS PROGRAMÁVEIS*, 5ª ed. Lisboa: ETEP, LIDEL, 2003.
- [21] J. R. C. Pinto, “Técnicas de Automação.” 3ª ed. Lisboa: ETEP, LIDEL, 2010.
- [22] R. C. Beecher, “Puma: Programmable universal machine for assembly,” in *Computer vision and sensor-based robots*, Boston: Springer, 1979, pp. 141–152.
- [23] S. Roberts, “Victor Scheinman, Assembly Line Robot Inventor,” *The New York Times*, 2016. [Online] disponível em: <https://www.nytimes.com/2016/09/22/technology/victor-scheinman-dead.html> (Data de consulta: 17-nov-2021).
- [24] “Puma Robot.jpg.” [Online] disponível em: <https://www.botmag.com/wp-content/uploads/2016/05/020-8.jpg> (Data de consulta: 17-nov-2021).
- [25] K. Nilson, “Industrial Robot Programming,” Ph. D Dissertation, LTH, Lund, SE, 1996.
- [26] “kUKA\_logo.png.” [Online] disponível em: [https://reai.ca/wp-content/uploads/2018/10/S51z3V6hTTmPdQ9GYPkr\\_KUKA\\_logo\\_sRGB\\_151021\\_isc.png](https://reai.ca/wp-content/uploads/2018/10/S51z3V6hTTmPdQ9GYPkr_KUKA_logo_sRGB_151021_isc.png) (Data de consulta: 17-nov-2021).
- [27] “ABB\_logo.png.” [Online] disponível em: [https://www.pikpng.com/pngl/b/430-4306869\\_abb-logo-abb-logo-abb-logo-high.png](https://www.pikpng.com/pngl/b/430-4306869_abb-logo-abb-logo-abb-logo-high.png) (Data de consulta: 05-mar-2021).

- 
- [28] “FANUC\_robot\_logo.jpg.” [Online] disponível em: <http://www.machinery.world/wp-content/uploads/2017/05/fanuc-logo-945x419.jpg> (Data de consulta: 05-mar-2021).
- [29] “Kawasaki\_Robotics\_Logo.jpg.” [Online] disponível em: [https://quadrants.com/wp-content/uploads/2019/02/kawasaki-robotics-gmbh-8ea8e-logo\\_fs-1024x292.jpg](https://quadrants.com/wp-content/uploads/2019/02/kawasaki-robotics-gmbh-8ea8e-logo_fs-1024x292.jpg) (Data de consulta: 05-mar -2021).
- [30] “STAUBLI Robotics.jpg.” [Online] disponível em: <https://twitter.com/StaubliRobotics/photo> (Data de consulta: 05-mar -2021).
- [31] “Mitsubishi logo.jpg.” [Online] disponível em: [https://www.sugarthegoldenretriever.com/wp-content/uploads/2016/02/mitsubishi\\_logo.jpg](https://www.sugarthegoldenretriever.com/wp-content/uploads/2016/02/mitsubishi_logo.jpg) (Data de consulta: 05- mar -2021).
- [32] E. J. S. Pires, “Uma perspectiva evolutiva dos sistemas robóticos,” Ph. D Dissertation, UTAD, Vila Real, PT, 2005.
- [33] K. S. Fu, R. Gonzalez, and C. S. G. Lee, *Robotics: Control Sensing. Vis.* Tata McGraw-Hill Education, 1987.
- [34] Z. Ahmed, P. Koban, S. Sharook, A. Lomate, and M. D. IMRAN, “Multitasking Industrial Robot,” *International Journal Of Innovative Technology And Research Volume No. 5*, no. 3, pp. 5982–5985, 2017.
- [35] A.M.P. Ferrolho, “Apontamentos das aulas de Automação Industrial,” Viseu, 2021. [Online] disponível em: Plataforma ESTGV (Data de consulta: 04-mar-2021).
- [36] A.M.P. Ferrolho, Apontamentos das aulas de Sistemas Flexíveis de Fabrico. Viseu, 2021. [Online] disponível em: Plataforma ESTGV (Data de consulta: 10-mar-2021).
- [37] A.M.P. Ferrolho, “Apontamentos das aulas de Robótica Industrial,” Viseu, 2021. [Online] disponível em: Plataforma ESTGV (Data de consulta: 08-mar-2021).
- [38] A.M.P. Ferrolho, “Controlo e Sequenciamento em Sistemas Robóticos Industriais,” Ph. D Dissertation, DEEC, UI, PT, Viseu, 2007.
- [39] “Robótica: Introdução e Aplicações.” [Online] disponível em <https://pt.slideshare.net/felipenm/robtica-introduo-e-aplicaes> (Data de consulta: 12-mar-2021).
- [40] “Robô articulado - FANUC.” [Online] disponível em <https://www.aeroexpo.online/pt/prod/fanuc-france/product-183679-39104.html> (Data de consulta: 14-mar-2021).

## REFERÊNCIAS

---

- [41] Mário Luiz Tronco, “Robôs Industriais,” 2021. [Online] disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2092683/mod\\_resource/content/1/Aula\\_2\\_Rob%C3%B3tica\\_2016.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2092683/mod_resource/content/1/Aula_2_Rob%C3%B3tica_2016.pdf) (Data de consulta: 16-mar-2021)
- [42] “Os 6 Principais Tipos de Robôs Industriais.” [Online] disponível em: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/> (Data de consulta: 17-mar-2021).
- [43] “Principais tipos de robôs industriais.” [Online] disponível em: <https://blog.cimautomacao.com.br/3-principais-tipos-de-robos-industriais/> (Data de consulta: 18-mar-2021).
- [44] “Unimate 2000 *series Robot*.” [Online] disponível em: <https://www.pinterest.pt/pin/366832332128690376/> (Data de consulta: 05-mar-2021).
- [45] “Epson Scara *Robot.jpg*.” [Online] disponível em: <https://5.imimg.com/data5/XS/QP/MY-18360240/t3-401s-scara-robot-1000x1000.jpg> (Data de consulta: 05-mar-2021).
- [46] “Omron Delta *Robot*.” [Online] disponível em: <https://industrial.omron.it/it/products/x-delta-3+1> (Data de consulta: 18-nov-2021).
- [47] “*Numerical Control Tape.jpg*.” [Online] disponível em: [https://blog.tormach.com/hs-fs/hubfs/Imported\\_Blog\\_Media/Harvard\\_Mark\\_I\\_program\\_tape\\_agr\\_-600x800.jpg?width=600&height=800&name=Harvard\\_Mark\\_I\\_program\\_tape\\_agr\\_-600x800.jpg](https://blog.tormach.com/hs-fs/hubfs/Imported_Blog_Media/Harvard_Mark_I_program_tape_agr_-600x800.jpg?width=600&height=800&name=Harvard_Mark_I_program_tape_agr_-600x800.jpg) (Data de consulta: 20-mar-2021).
- [48] A.M.P. Ferrolho, “Apontamentos das aulas de Dados de corte,” Viseu, 2021. [Online] disponível em: Plataforma ESTGV (Data de consulta: 12-abr-2021).
- [49] “Torno CNC.jpg.” [Online] disponível em: <https://www.stanser.com/wp-content/uploads/2018/10/Descubre-los-tornos-CNC.jpg> (Data de consulta: 26-mar-2021).
- [50] “Fresadora CNC de 6 eixos.jpg.” [Online] disponível em: [https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2019/03/20145334/a-promotional-image-of-zimmermans-6-axis-toolhead-kingsbury-190315\\_download.jpg](https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1000,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2019/03/20145334/a-promotional-image-of-zimmermans-6-axis-toolhead-kingsbury-190315_download.jpg) (Data de consulta: 26-mar-2021).

- 
- [51] L. Oyoum, “COMPUTER NUMERICAL CONTROL(CNC),” out., 2020.
- [52] “Marvin Minsky.jpg.” [Online] disponível em: [https://img.olhardigital.com.br/uploads/acervo\\_imagens/2016/01/20160126104107.jpg](https://img.olhardigital.com.br/uploads/acervo_imagens/2016/01/20160126104107.jpg) (Data de consulta: 30-mar-2021).
- [53] J. Pereira, L. Lemos, and Pierre Melhor, “Visão Computacional,” *Universidade Federal da Bahia (UFBA)*, 2018.
- [54] J. Villalba-Diez, D. Schmidt, R. Gevers, J. Ordieres-Meré, M. Buchwitz, and W. Wellbrock, “Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0,” *MDPI*, vol. 19, no. 18, p. 3987, 2019.
- [55] G. J. Agin, “Computer vision systems for industrial inspection and assembly,” *Computer*, vol. 13, no. 05, pp. 11–20, 1980.
- [56] C. Torras, *Computer vision: theory and industrial applications*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [57] “Improving traffic insights with Artificial Intelligence.” [Online] disponível em: <https://vivacitylabs.com/> (Data de consulta: 31-mar-2021).
- [58] Ó. Pereira, “Integração e controlo de máquinas CNC e robôs industriais em Células Flexíveis de Fabrico,” M.S. thesis, DEE, IPV, PT, Viseu, 2018.
- [59] Y.-P. Cheng, C.-W. Li, and Y.-C. Chen, “Apply computer vision in GUI automation for industrial applications,” *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 16, no. 6, pp. 7526–7545, 2019.
- [60] “Industrial Vision.png.” [Online] disponível em: <https://industrial.vision/wp-content/uploads/2019/02/isometric-scheme-en-1024x787.png> (Data de consulta: 04-nov-2021).
- [61] D. Poussart and D. Laurendeau, “3-D sensing for industrial computer vision,” in *Advances in Machine Vision*, Springer, 1989, pp. 122–159.
- [62] “Fast bin picking with Pickit 3D and ABB.” [Online] disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=QyWv\\_KW2pXo](https://www.youtube.com/watch?v=QyWv_KW2pXo) (Data de consulta: 04-nov-2021).
- [63] E. Zancul, H. O. Martins, F. P. Lopes, and F. A. T. v da Silva Neto, “Machine vision applications in a learning factory,” *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 516–521, 2020.
- [64] C. Yang, “Research on Grasping Method of Industrial Robot Based on Deep Learning and Machine Vision,” in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1992, no. 3, p. 032039, 2021.

## REFERÊNCIAS

---

- [65] D. Mourtzis, J. Angelopoulos, and G. Dimitrakopoulos, “Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.0 engineers,” *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 361–366, 2020.
- [66] L. Pérez, S. Rodríguez-Jiménez, N. Rodríguez, R. Usamentiaga, and D. F. Garcia, “Digital twin and virtual reality based methodology for multi-robot manufacturing cell commissioning,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10, p. 3633, 2020.
- [67] A. Bilberg and A. A. Malik, “Digital twin driven human–robot collaborative assembly,” *CIRP Annals*, vol. 68, no. 1, pp. 499–502, 2019.
- [68] V. Kuts, T. Otto, T. Tähemaa, and Y. Bondarenko, “Digital twin based synchronised control and simulation of the industrial robotic cell using virtual reality,” *Journal of Machine Engineering*, vol. 19, 2019.
- [69] W. Xu, J. Cui, L. Li, B. Yao, S. Tian, and Z. Zhou, “Digital twin-based industrial cloud robotics: framework, control approach and implementation,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 196–209, 2021.
- [70] È. Pairet, P. Ardon, X. Liu, J. Lopes, H. Hastie, and K. S. Lohan, “A digital twin for human-robot interaction,” in *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 2019, p. 372.
- [71] L. Pérez, S. Rodríguez-Jiménez, N. Rodríguez, R. Usamentiaga, and D. F. Garcia, “Digital twin and virtual reality based methodology for multi-robot manufacturing cell commissioning,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 10, p. 3633, 2020.
- [72] GEOOPREMA, FARO Focus3D X 130 HDR *Users Manual*. 2021.
- [73] Saren, Sanjib, and T. Vesselenyi, “REVIEW OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM BASED ON MODELING AND SIMULATION,” *ANNALS OF THE ORADEA UNIVERSITY. Fascicle of Management and Technological Engineering*, vol. Volume XXV (XV), maio, 2016.
- [74] B. RAM, S. Sarin, and C. S. Chen, “A model and a solution approach for the machine loading and tool allocation problem in a flexible manufacturing system,” *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, vol. 28, no. 4, pp. 637–645, 1990.
- [75] K. Nilsson, “Application oriented programming and control of industrial robots,” Lund Univ.(Sweden). Dept. of Automatic Control, 1992.

- 
- [76] L. Lin, M. Wakabayashi, and S. Adiga, “Object-oriented modeling and implementation of control software for a robotic flexible manufacturing cell,” *Robotics and computer-integrated manufacturing*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 1994.
- [77] A. Kusiak, *Modelling and design of flexible manufacturing systems*, no. 3. Elsevier Science Limited, 1986.
- [78] R. M. O’KEEFE and T. Kasirajan, “Interaction between dispatching and next station selection rules in a dedicated flexible manufacturing system,” *The International Journal Of Production Research*, vol. 30, no. 8, pp. 1753–1772, 1992.
- [79] J. Kaltwasser, A. Hercht, and R. Lang, “Hierarchical control of flexible manufacturing systems,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 19, no. 2, pp. 37–44, 1986.
- [80] S. B. Joshi, E. G. Mettala, J. S. Smith, and R. A. Wysk, “Formal models for control of flexible manufacturing cells: Physical and system model,” *IEEE Transactions on Robotics and automation*, vol. 11, no. 4, pp. 558–570, 1995.
- [81] S. Joshi, R. A. Wysk, and E. G. Mettala, “Automatic generation of control system software for flexible manufacturing systems,” in *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 1991, vol. 2, pp. 283–291.
- [82] D. L. Byrkett, M. H. Ozden, and J. M. Patton, “Integrating flexible manufacturing systems with traditional,” *Production and Inventory Management Journal*, vol. 29, no. 3, p. 15, 1988.
- [83] A. I. R. de Carvalho, “Desenvolvimento e melhoramento da Célula Flexível de Fabrico da ESTGV,” M.S. thesis, DEE, IPV, PT, Viseu, 2016.
- [84] J. P. F. Mata, “Integração e controlo do armazém numa Célula Flexível de Fabrico,” M.S. thesis, DEE, IPV, PT, Viseu, 2016.
- [85] “*Single Machine Cell.JPG.*” [Online] disponível em: [https://cdn3.edurev.in/ApplicationImages/Temp/1611947\\_badca751-03d3-47a8-802a-90069c45728e\\_lg.JPG](https://cdn3.edurev.in/ApplicationImages/Temp/1611947_badca751-03d3-47a8-802a-90069c45728e_lg.JPG) (Data de consulta: 5-abr-2021).
- [86] “*Flexible Manufacturing Cell.JPG.*” [Online] disponível em: [https://cdn3.edurev.in/ApplicationImages/Temp/1611947\\_27709ef3-364b-4b25-8152-5a25270f829c\\_lg.JPG](https://cdn3.edurev.in/ApplicationImages/Temp/1611947_27709ef3-364b-4b25-8152-5a25270f829c_lg.JPG) (Data de consulta: 24-nov-2021).
- [87] “*Flexible Manufacturing System.png.*” [Online] disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322375944/figure/fig1/AS:581444520157184@1515638584490/The-Flexible-Manufacturing-System-FMS.png> (Data de consulta: 11-dez-2021).

## REFERÊNCIAS

---

- [88] Z. M. Bi, C. Luo, Z. Miao, B. Zhang, W. J. Zhang, and L. Wang, “Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 67, p. 102022, 2021.
- [89] S. Ramnath, P. Haghghi, A. Venkiteswaran, and J. J. Shah, “Interoperability of CAD geometry and product manufacturing information for computer integrated manufacturing,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 33, no. 2, pp. 116–132, 2020.
- [90] Y.-Q. Chen, B. Zhou, M. Zhang, and C.-M. Chen, “Using IoT technology for computer-integrated manufacturing systems in the semiconductor industry,” *Applied Soft Computing*, vol. 89, p. 106065, 2020.
- [91] D. Carvalho, *Planeamento e Controlo da Produção*, vol. Capítulo II. 2000.
- [92] J.B. Waldner, “CIM—Principles of Computer Integrated Manufacturing,” *John Wiley & Sons, Chichester*, vol. 5, no. 1, pp. 115–116, 1992.
- [93] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, PHI., vol. 5. 2019.
- [94] N.F. R Melão, *Apontamentos das aulas de Pensamentos Contemporâneos de Gestão*. Viseu, 2021. [Online] disponível em: Plataforma ESTGV (Data de consulta: 24-nov-2021).
- [95] M. P. Groover Jr, *Automation, production systems and computer-aided manufacturing*. Prentice Hall PTR, 1980.
- [96] “ABB IRB140.jpg.” [Online] disponível em: [http://2.bp.blogspot.com/\\_BijOZUNFzJM/SwpzmZPMExI/AAAAAAAAAHU/Kt7Imc-dlgw/s1600/ABB-irb140.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_BijOZUNFzJM/SwpzmZPMExI/AAAAAAAAAHU/Kt7Imc-dlgw/s1600/ABB-irb140.jpg) (Data de consulta: 16-out-2021).
- [97] “ABB IRB140 Working Range.jpg.” [Online] disponível em: [https://www.eurobots.net/media/diagram/det\\_40\\_working\\_range.jpg](https://www.eurobots.net/media/diagram/det_40_working_range.jpg) (Data de consulta: 16-out-2021).
- [98] ABB Robotics, “IRB1400 Users Manual,” 2003.
- [99] “ABB IRB1400 Working Range.jpg.” [Online] disponível em: <http://www07.abb.com/images/default-source/robotics/irb-1410-wr-ny.jpg?sfvrsn=0> (Data de consulta: 16-out-2021).
- [100] “Barreira Ótica de Segurança.jpg.” [Online] disponível em: <https://sensorville.com.br/wp-content/uploads/2018/09/EZ-SCREEN-LS-barreira-seguran%C3%A7a-1024x768.jpg> (Data de consulta: 17-out-2021).
- [101] Siemens, “Siemens SM 1223 DC/DC - 6ES7223-1BL32-0XB0 Users Manual,” 2021.

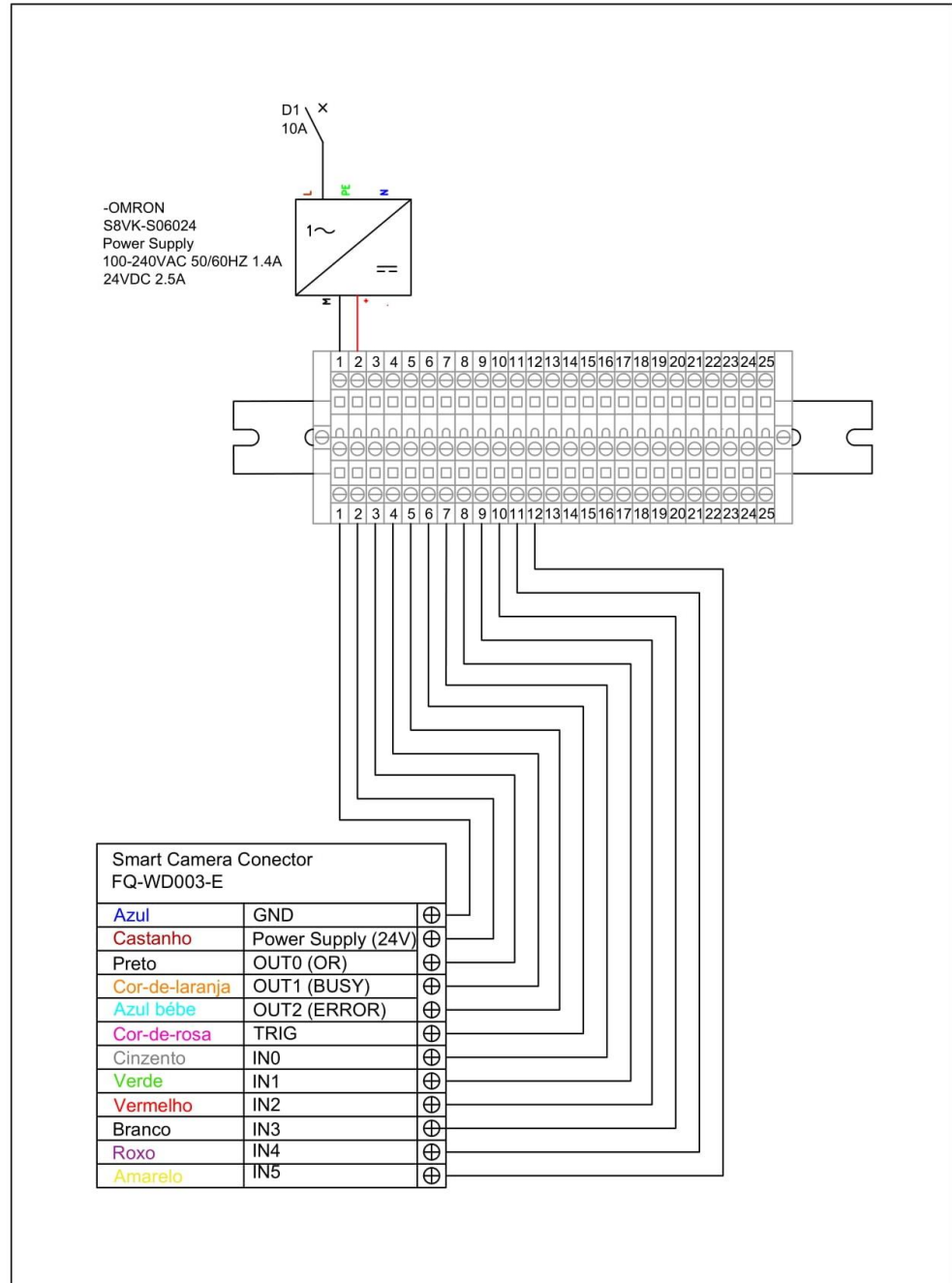
- 
- [102] OMRON, *FQ2 Smart Camera Users Manual*. 2021.
- [103] “OMRON Smart Camera FQ2.jpg.” [Online] disponível em: [https://8z1xg04k.tinifycdn.com/images/fq2\\_prod.jpg?resize.method=fit&resize.width=400&resize.height=400](https://8z1xg04k.tinifycdn.com/images/fq2_prod.jpg?resize.method=fit&resize.width=400&resize.height=400) (Data de consulta: 22-out-2021).
- [104] O. Miguel-Escrig, J.-A. Romero-Pérez, B. Wiesmayr, and A. Zoitl, “Distributed implementation of Grafccets through IEC 61499,” in *2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, vol. 1, pp. 402–409, 2020.
- [105] J. Novais, *Programação de autómatos*. Lisboa, 2012.
- [106] Siemens, *S7-1200 Users Manual*. 2021.
- [107] “TP-LINK.jpg.” [Online] disponível em: <https://store.cmsdistribution.com/images/products/full/TL-WR743ND-1.jpg> (Data de consulta: 18-out-2021).
- [108] “PROFINET.png.” [Online] disponível em: [https://profinetuniversity.com/wp-content/uploads/2021/05/PROFINET-\\_rgb\\_transparent\\_2020.png](https://profinetuniversity.com/wp-content/uploads/2021/05/PROFINET-_rgb_transparent_2020.png) (Data de consulta: 18-out-2021).
- [109] J.L.F. Lucas, “Desenvolvimento de servidor OPC UA para sistema CNC,” M.S. thesis, IPL, PT, Viseu, 2019.
- [110] M. A. Fumagalli, A. A. C. Branco, and W. S. Dias, “IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO OPC UA PARA CONTROL DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA, UTILIZANDO FRAMEWORK WEB VOLTADO PARA INDÚSTRIA 4.0,” *FTT Journal of Engineering and Business*, vol. 1, no. 6, 2021.
- [111] W. Montalvo, P. Encalada, A. Miranda, C. A. Garcia, and M. v Garcia, “Implementación de OPC UA en una Plataforma Web para la integración de comunicación en el área de producción,” *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, no. E26, pp. 667–680, 2020.
- [112] A. Mardan, *Express.js Guide: The Comprehensive Book on Express.js*. Azat Mardan, 2014.
- [113] A. Mardan, “Using Express.js to create Node.js web apps,” in *Practical Node.js*, Springer, pp. 51–87, 2018.
- [114] A. Mardan, “Socket.IO and Express.js,” in *Pro Express.js*, Springer, pp. 193–198, 2014.
- [115] R. Rai, *Socket.IO Real-time Web Application Development*. Packt Publishing Ltd, 2013.

## REFERÊNCIAS

---

- [116] Siemens, “*Sending emails over secure email connections with S7-1500 and S7-1200,*” 2021.

## APÊNDICE A – ESQUEMA DE LIGAÇÕES DA CÂMARA FQ2-S45100N



Projeto: Desenvolvimento e melhoramento do setor do armazém da Célula Flexível de Fabrico da ESTGV



Esquema elétrico da OMRON FQ2-S45100N  
Smart Camera

Nome: Fábio David Martins Almeida

Data: 18/05/2021

Escala:

Figura A-1: Esquema de ligações da câmara FQ2-S45100N.

## APÊNDICE B – CABO I/O DA CÂMARA FQ2-S45100N

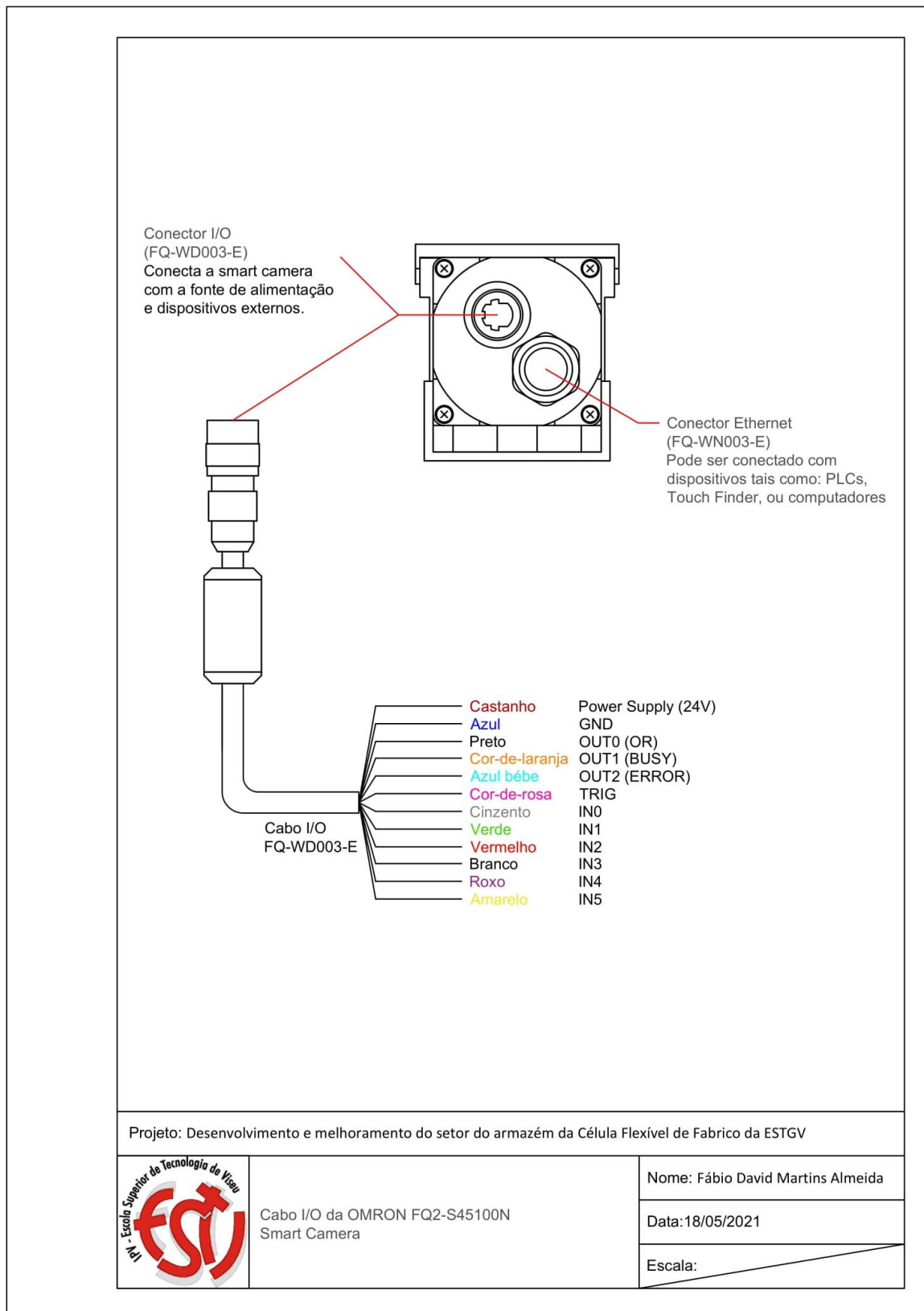


Figura B-1: Cabo I/O da câmara FQ2-S45100N.

## APÊNDICE C – MEDIDAS DA CÂMARA FQ2-S45100N

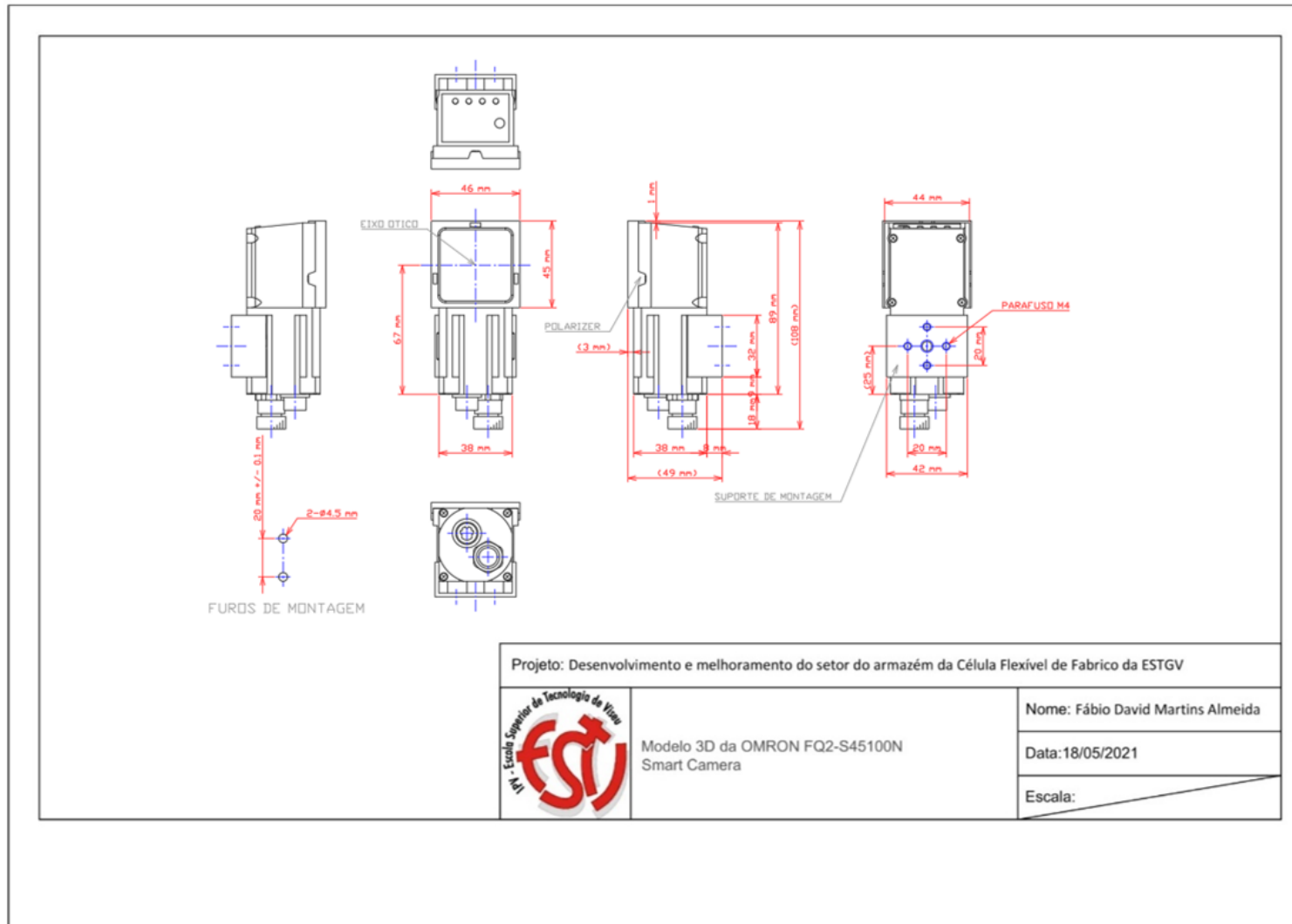


Figura C-1: Medidas da câmara FQ2-S45100N.

## APÊNDICE D – MODELO 3D DO SUPORTE DA CÂMARA FQ2-S45100N

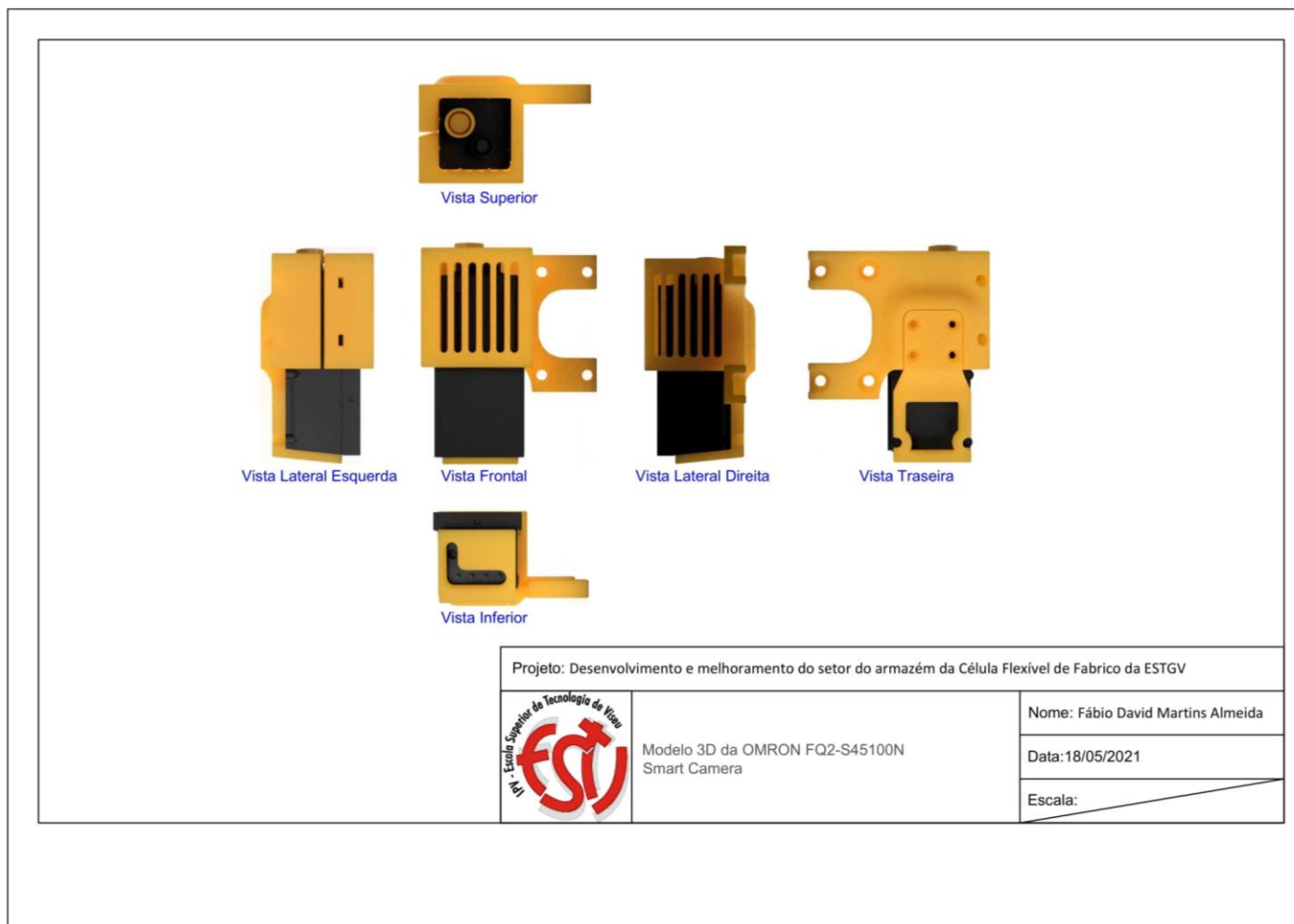



Figura D-1: Modelo 3D do suporte da câmara FQ2-S45100N.


## APÊNDICE E – SAÍDAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB140

Tabela E-1: Interface de comunicação (*Outputs* IRB140 – *Inputs* PLC).

Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> IRB140 – <i>Inputs</i> PLC)				
<i>Outputs</i> do controlador do robô IRB140	S71200			Descrição
	<i>Inputs</i>	PLC tag ROBO_IRB140_OUT	 D_IRB140_OUT	
DO12_1	-	-	-	Baliza de sinalização (luz verde)
DO12_2	-	-	-	Baliza de sinalização (luz vermelha)
DO12_3	I8.0	V_BF_IRB140	V_BF_IRB140	Inspeção ao <i>buffer</i> da fresadora
DO12_4	I8.1	V_BT_IRB140	V_BT_IRB140	Inspeção ao <i>buffer</i> do torno
DO12_5	I8.2	V_PF_IRB140	V_PF_IRB140	Inspeção à paleta da fresadora no SF
DO12_6	I8.3	Pedir_PF	Pedir_PF	Pedido de paleta para a fresadora ao transportador
DO12_7	I12.4	Estado_Fresa	Estado_Fresa	Estado da fresadora (parada/ a maquinar)
DO12_8	I13.6	Alarme_Fresa	Alarme_Fresa	Fresadora em Alarme
DO12_9	I1.2	Paleta_Desc	Paleta_Desc	Paleta do SF descarregada
DO12_10	I1.3	V_Ident_Paleta_SF	V_Ident_Paleta_SF	Inspeção para identificar a paleta no SF
DO12_11	I1.4	V_Vice_Fresa	V_Vice_Fresa	Inspeção ao <i>vice</i> da fresadora
DO12_12	I1.5	Estado_IRB140	Estado	Estado do robô IRB140 (parado/movimento)
DO12_13	I9.4	Pedir_PT	Pedir_PT	Pedido de paleta para o torno ao transportador
DO12_14	I9.5	V_PT_IRB140	V_PT_IRB140	Inspeção à paleta do torno no SF
DO12_15	I13.7	Estado_Torno	Estado_Torno	Estado do torno (parado/ a maquinar)
DO12_16	I13.5	Alarme_Torno	Alarme_Torno	Torno em Alarme
DO10_1 Pinça	-	-	-	Abertura/Fecho <i>Gripper</i>


## APÊNDICE F – ENTRADAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB140

Tabela F-1: Interface de comunicação (*Outputs* PLC – *Inputs* IRB140).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> PLC – <i>Inputs</i> IRB140)</b>					
<b>S7 1200</b>				<b><i>Inputs</i> do controlador do robô IRB140</b>	<b>Descrição</b>
<b><i>Inputs</i></b>	 <b>D_IRB140_IN</b>	<b>PLC tag ROBO_IRB140_IN</b>	<b><i>Outputs</i></b>		
-	-	-	-	DI12_1	Sensor ótico 2 – Sensor de intrusão do SF
-	-	-	Q9.5	DI12_2	Pedido ao robô IRB140 para se mover para o ponto de inspeção da paleta do transportador
<b>I9.2</b>	-	-	Q9.4	DI12_3	Botão de impulso “OK Operador”
	-	-		DI12_4	Botão de encravamento “Emergência”
	-	-		DI12_5	
-	-	-	-	DI12_6	Sensor ótico 1 – Sensor de intrusão do setor de produção
-	-	-	-	DI12_7	Sensor Indutivo do órgão terminal
-	-	-	-	DI12_8	Sensor Indutivo do órgão terminal
-	Peça1/Desc_PMPF	IRB140_IN1	Q0.6	DI12_9	Envio de informação para o IRB140
-	Peça2/Carr_PPAF	IRB140_IN2	Q0.7	DI12_10	Envio de informação para o IRB140
-	Peça3/Desc_PMPT	IRB140_IN3	Q1.0	DI12_11	Envio de informação para o IRB140
-	Peça4/ Carr_PPAT	IRB140_IN4	Q1.1	DI12_12	Envio de informação para o IRB140
<b>I9.3</b>	-	-	Q8.0	DI12_15	Botão de impulso com a cor preta “Stop”


## APÊNDICE G – SAÍDAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB1400

Tabela G-1: Interface de comunicação (*Outputs* IRB1400 – *Inputs* PLC).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> IRB1400 – <i>Inputs</i> PLC)</b>				
<i>Outputs</i> do controlador do robô IRB1400	S71200			Descrição
	<i>Inputs</i>	PLC tag ROBO_IRB1400_OUT	 D_IRB1400_OUT	
<b>DO10_1</b>	-	-	-	Abertura/Fecho <i>Gripper</i>
<b>DO10_2</b>	-	-	-	Baliza de sinalização (luz verde)
<b>DO10_3</b>	-	-	-	Baliza de sinalização (luz vermelha + som)
<b>DO10_4</b>	I13.0	Estado_IRB1400	Estado	Estado do IRB1400 (parado/ em movimento)
<b>DO10_5</b>	I13.1	-	-	-
<b>DO10_6</b>	I13.2	-	-	-
<b>DO10_7</b>	I13.3	-	-	-
<b>DO10_8</b>	I13.4	-	-	-
<b>DO10_9</b>	I1.0	V_PF_IRB1400	V_PF_IRB1400	Inspeção à palete da fresadora no SA
<b>DO10_10</b>	I1.1	V_PT_IRB1400	V_PT_IRB1400	Inspeção à palete do torno no SA
<b>DO10_11</b>	I9.0	P_Desc	P_Desc	Palete do SA descarregada
<b>DO10_12</b>	I9.1	V_Ident_Palete_SA	V_Ident_Palete_SA	Inspeção para identificar a palete no SA
<b>DO10_13</b>	I9.2	V_AMPF	V_AMPF	Inspeção ao AMP da fresadora
<b>DO10_14</b>	I9.3	V_AMPT	V_AMPT	Inspeção ao AMP do torno
<b>DO10_15</b>	I8.5	-	-	-
<b>DO10_16</b>	I8.7	Gestão_Pecas_Arm	Gestão_Pecas_Arm	Gestão de pecas do armazém

## APÊNDICE H – ENTRADAS DO CONTROLADOR DO ROBÔ IRB1400

Tabela H-1: Interface de comunicação (*Outputs* PLC – *Inputs* IRB1400).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> PLC – <i>Inputs</i> IRB1400)</b>				
<b>S7 1200</b>			<b>Inputs do controlador do robô IRB1400</b>	<b>Descrição</b>
 <b>D_IRB1400_IN</b>	<b>PLC tag ROBO_IRB1400_IN</b>	<b>Outputs</b>		
-	-	-	DI10_1	Sensor ótico de intrusão N°2
-	-	-	DI10_2	Sensor ótico de intrusão N°1
-	-	Q9.2	DI10_3	Botão de impulso “OK Operador”
-	-	Q9.3	DI10_4	Botão de impulso “stop”
DescPPAT	DescPPAT	Q8.1	DI10_5	Descarregar PPAT do SA
		-	DI10_6	Sensor ótico do órgão terminal
		-	DI10_7	Sensor ótico do órgão terminal
Peca1/Visao_Ident_P	IRB1400_IN1	Q9.6	DI10_8	Envio de informação para o IRB1400
Peca2	IRB1400_IN2	Q9.7	DI10_9	Envio de informação para o IRB1400
-	-	-	DI10_10 ( <i>Gripper</i> fechado)	Sensor Indutivo do órgão terminal
-	-	-	DI10_11 ( <i>Gripper</i> aberto)	Sensor Indutivo do órgão terminal
CarrPMPT	CarrPMPT	Q0.4	DI10_12	Carregar PMPT do SA
CarrPMPF	CarrPMPF	Q0.5	DI10_13	Carregar PMPF do SA
DescPPAF	DescPPAF	Q9.0	DI10_14	Descarregar PPAF do setor de armazém
Peca4	IRB1400_IN4	Q9.1	DI10_15	Envio de informação para o IRB1400
Peca3	IRB1400_IN3	Q13.0	DI10_16	Envio de informação para o IRB1400

## APÊNDICE I – INTERFACE ROBÓTICA COM AS MÁQUINAS CNC

Tabela I-1: Interface robótica com o torno CNC.

<b>Interface de comunicação (Torno CNC ↔ IRB140)</b>	
<b><i>Inputs do controlador do robô IRB140</i></b>	Descrição
DI10_1	Stop no programa
DI10_2	Mandril Aberto
DI10_3	Mandril Fechado
DI10_4 = 1 AND DI10_5 = 0	Porta Aberta
DI10_4 = 0 AND DI10_5 = 1	Porta Fechada
DI10_8	Emergência/Alarme Ativo
<b><i>Outputs do controlador do robô IRB140</i></b>	Descrição
DO10_2	<i>Start</i> ao programa
DO10_3	Fechar Porta
DO10_4	Abrir Porta
DO10_7	Fechar <i>Chuck</i>
DO10_8	Abrir <i>Chuck</i>

Tabela I-2: Interface robótica com a fresadora CNC.

<b>Interface de comunicação (Fresadora CNC ↔ IRB140)</b>	
<b><i>Inputs do controlador do robô IRB140</i></b>	Descrição
DI10_9 = 1 AND DI10_10=0	Alarme Ativo
DI10_9 = 1 AND DI10_10=1	Emergência Ativa
DI10_9 = 0 AND DI10_10=0	Condições Iniciais Verificadas
DI10_12	Maquinação Concluída
DI10_13	<i>Vice</i> Fechado
DI10_14	<i>Vice</i> Aberto
DI10_15 = 0 AND DI10_16 = 1	Porta Fechada
DI10_15 = 1 AND DI10_16 = 0	Porta Aberta
<b><i>Outputs do controlador do robô IRB140</i></b>	Descrição
DO10_9	Fecho da Porta
DO10_13	Iniciar a Maquinação
DO10_14	Fechar <i>Vice</i>
DO10_15	Abrir <i>Vice</i>
DO10_16	Abrir Porta

## APÊNDICE J – INTERFACE DA CÂMARA DO SF COM O PLC

Tabela J-1: Interface de comunicação (*Outputs* câmara de visão do SF – *Inputs* PLC).

Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> câmara de visão ↔ <i>Inputs</i> PLC)		
<b>BUSSY</b>	Bool	%I14.1
<b>READY</b>	Bool	%I14.2
<b>OR</b>	Bool	%I14.3
<b>RUN</b>	Bool	%I14.4
<b>ERROR</b>	Bool	%I15.7
<b>GATE</b>	Bool	%I16.0
<b>OutputData1</b>	DInt	%ID30
<b>OutputData2</b>	DInt	%ID34
<b>OutputData3</b>	DInt	%ID38
<b>OutputData4</b>	DInt	%ID42
<b>OutputData5</b>	DInt	%ID46
<b>OutputData6</b>	DInt	%ID50
<b>OutputData7</b>	DInt	%ID54
<b>OutputData8</b>	DInt	%ID58
<b>FLG</b>	Bool	%I14.0
<b>ResponseCode</b>	DWord	%ID22
<b>ComandCodeOut</b>	DWord	%ID18
<b>ResponseData</b>	DWord	%ID26

Tabela J-2: Interface de comunicação (*Outputs* PLC – *Inputs* câmara de visão do SF).

Interface de comunicação ( <i>Outputs</i> PLC ↔ <i>Inputs</i> câmara de visão)		
<b>TRIGGER</b>	Bool	%Q14.1
<b>DSA</b>	Bool	%Q16.0
<b>CLEAN_ERROR</b>	Bool	%Q15.7
<b>EXE</b>	Bool	%Q14.0
<b>CommandCodeIn</b>	DWord	%QD18
<b>CommandParameter1</b>	DInt	%QD22
<b>CommandParameter2</b>	DInt	%QD26
<b>CommandParameter3</b>	DInt	%QD30
<b>TRIGGER</b>	Bool	%Q14.1

## APÊNDICE K – INTERFACE DA CÂMARA DO SA COM O PLC

Tabela K-1: Interface de comunicação (*Outputs* câmara de visão do SA – *Inputs* PLC).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> câmara de visão ↔ <i>Inputs</i> PLC)</b>		
<b>BUSSY</b>	Bool	%I68.1
<b>READY</b>	DWord	%ID72
<b>OR</b>	Bool	%I69.7
<b>RUN</b>	Bool	%I68.0
<b>ERROR</b>	Bool	%I70.0
<b>GATE</b>	Bool	%I68.3
<b>OutputData1</b>	DInt	%ID84
<b>OutputData2</b>	DInt	%ID88
<b>OutputData3</b>	DInt	%ID92
<b>OutputData4</b>	DInt	%ID96
<b>OutputData5</b>	DInt	%ID100
<b>OutputData6</b>	DInt	%ID104
<b>OutputData7</b>	DInt	%ID108
<b>OutputData8</b>	DInt	%ID112
<b>FLG</b>	Bool	%I68.2
<b>ResponseCode</b>	DWord	%ID76
<b>ComandCodeOut</b>	DWord	%ID80
<b>ResponseData</b>	Bool	%I68.4

Tabela K-2: Interface de comunicação (*Outputs* PLC – *Inputs* câmara de visão do SA).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> PLC ↔ <i>Inputs</i> câmara de visão)</b>		
<b>TRIGGER</b>	Bool	%Q34.1
<b>DSA</b>	Bool	%Q36.0
<b>CLEAN_ERROR</b>	Bool	%Q35.7
<b>EXE</b>	Bool	%Q34.0
<b>CommandCodeIn</b>	DWord	%QD38
<b>CommandParameter1</b>	DInt	%QD42
<b>CommandParameter2</b>	DInt	%QD46
<b>CommandParameter3</b>	DInt	%QD50
<b>TRIGGER</b>	Bool	%Q34.1

## APÊNDICE L – INTERFACE DO TRANSPORTADOR COM O PLC

Tabela L-1: Interface de comunicação (*Outputs* PLC– *Inputs* Transportador).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> PLC ↔ <i>Inputs</i> Transportador)</b>		
<b>Stopper_SF</b>	Bool	%Q0.0
<b>Stopper_SA</b>	Bool	%Q0.1
<b>Stopper_P_SF</b>	Bool	%Q0.2
<b>Stopper_P_SA</b>	Bool	%Q0.3
<b>Stopper_SF</b>	Bool	%Q0.0
<b>Stopper_SA</b>	Bool	%Q0.1
<b>Stopper_P_SF</b>	Bool	%Q0.2
<b>Stopper_P_SA</b>	Bool	%Q0.3
<b>Stopper_SF</b>	Bool	%Q0.0

Tabela L-2: Interface de comunicação (*Outputs* Transportador – *Inputs* PLC).

<b>Interface de comunicação (<i>Outputs</i> Transportador ↔ <i>Inputs</i> PLC)</b>		
<b>SISA_1</b>	Bool	%I0.0
<b>SISA_2</b>	Bool	%I0.1
<b>SISA_3</b>	Bool	%I0.2
<b>SISA_4</b>	Bool	%I0.3
<b>SISF_1</b>	Bool	%I0.4
<b>SISF_2</b>	Bool	%I0.5
<b>SISF_3</b>	Bool	%I0.6
<b>SISF_4</b>	Bool	%I0.7

## APÊNDICE M – FLUXOGRAMA DA INSPEÇÃO DOS *BUFFERS* DO SF

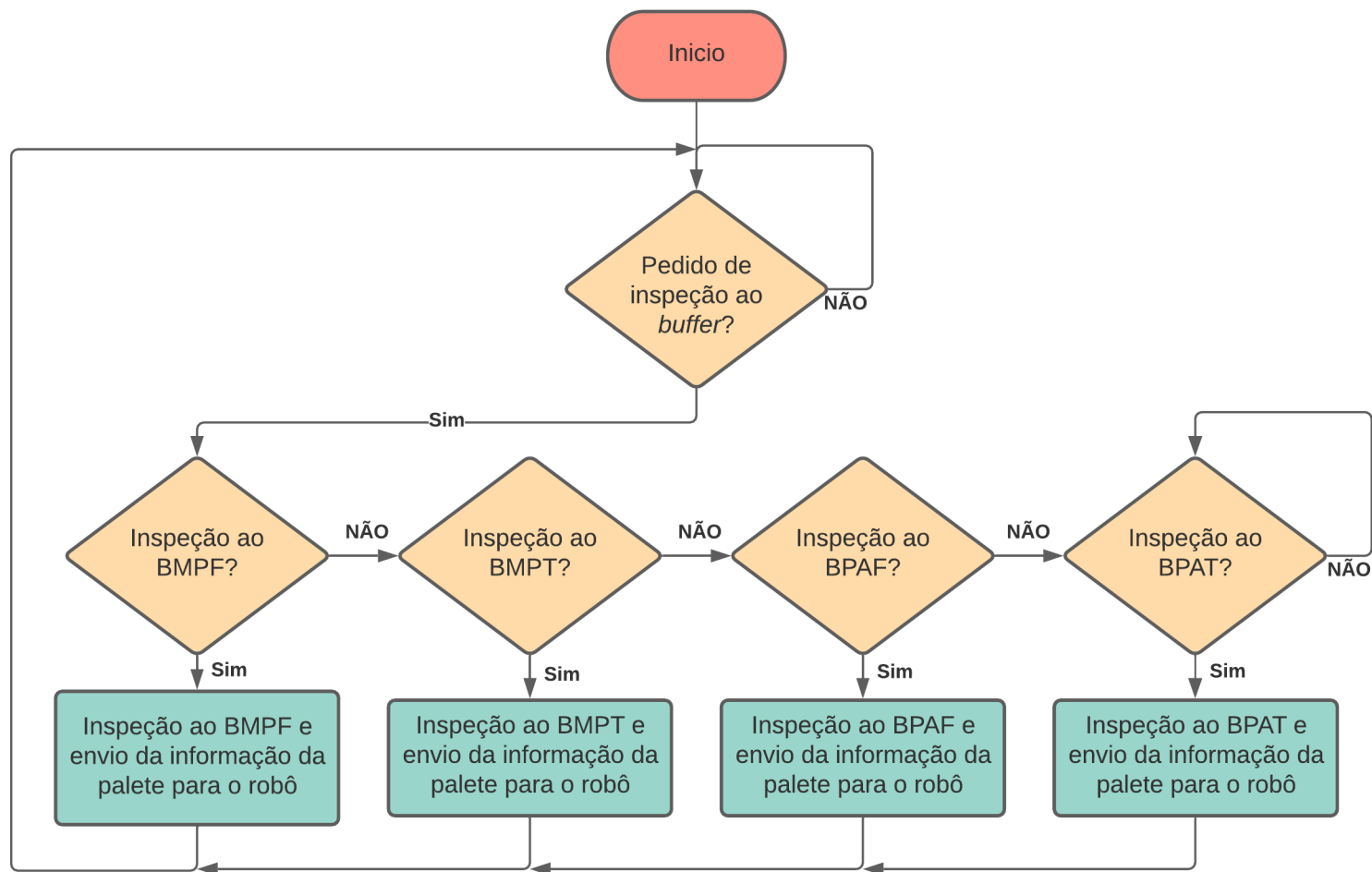


Figura M-1: Fluxograma do funcionamento da inspeção aos *buffers* do SF.

## APÊNDICE N – RELAÇÃO ENTRE A ZONA DE INSPEÇÃO E A CENA DA CÂMARA DE VISÃO

Tabela N-1: Relação da cena com a zona de inspeção da câmara de visão do SF.

<b>Relação do número das cenas com a zona de inspeção</b>	
Número da cena	Zona de inspeção
2	Palete da fresadora do SF
4	Tipo de palete do SF
5	Posição do <i>vice</i> da fresadora
6	Posição da peça no <i>vice</i> da fresadora
7	Palete do torno do SF
8	<i>Buffer</i> PAT
9	<i>Buffer</i> MPT
10	<i>Buffer</i> PAF
12	<i>Buffer</i> MPF

Tabela N-2: Relação da cena com a zona de inspeção da câmara de visão do SA.

<b>Relação do número das cenas com a zona de inspeção</b>	
Número da cena	Zona de inspeção
0	Palete do torno do SA
1	Palete da fresadora do SA
2	Tipo de palete do SA
3	1ª peças do AMPT
4	2ª peças do AMPT
5	1ª peças do AMPF
6	2ª peças do AMPF