

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Aos meus pais, ao meu irmão e aos meus avós.

*“O sucesso nunca é definitivo e o fracasso
nunca é fatal. É a coragem que conta.”*

George F. Tiltonood

Resumo

Com a evolução tecnológica ao longo dos anos, cada vez mais é possível conceber todo tipo de instrumentos tecnológicos. Além das vantagens que permitiram à nossa sociedade usufruir de uma qualidade de vida melhor. Um dos vários motivos que levou ao aumento dessa qualidade de vida foi a capacidade de inovação e a implementação de uma nova dinâmica por parte da indústria. Esta nova indústria, mais madura que há umas décadas atrás, começou a desenvolver novos sistemas que contribuem para a conceção da maioria do material que nos chega a casa.

A automação industrial, e em particular os sistemas robóticos, dão garantias de robustez, eficácia e de confiança ao setor industrial. A exatidão e a repetibilidade de movimentos são a mais-valia na execução de processos mais ou menos simples, substituindo outras ferramentas menos adequadas ou a mão-de-obra humana. A sua operabilidade em ambientes perigosos ou a execução de processos de risco para o bem-estar do ser humano são outras vantagens desta tecnologia em expansão na indústria mundial.

Abrangendo a área da automação industrial, esta dissertação visa analisar uma solução possível para um problema com efeitos comparativos entre o sistema atual e em estudo. A conceção de um sistema robótico flexível de paletização de caixas para grandes séries de produção no setor de distribuição da empresa Cerutil foi o desafio abraçado.

Deste modo, o documento pretende mostrar a simbiose entre todas as variáveis que envolvem este sistema, ou seja, operador, ferramentas de trabalho, interação com o dispositivo tátil e a essência automática do sistema. A abordagem aprofundada relativamente a estas variáveis tem como objetivo provar que é possível fazer uma paletização dinâmica, flexível, eficiente e segura.

Abstract

With the technological evolution over the years it is increasingly possible to create all kinds of technological tools. Besides the advantages that allowed our society to enjoy a better quality of life. One of several reasons that induce to this increase in quality of life was the capacity of innovation and implementation of a new dynamic at industry. This new industry more mature than a few decades ago, began to develop new systems that contribute the creation of most of the stuff we get home.

Industrial automation and robotic systems in particular give guarantees of robustness, efficiency and reliability to the industrial sector. The accuracy and repeatability of movements are an asset in execution of processes more or less simple replacing other less suitable tools or manpower. Its operability in hazardous environments or process execution risk to the health of the human being are other advantages of this technology expanding the industrial world.

Covering the area of industrial automation, this document wants to analyze a possible solution to a problem with comparative effects between the current system and the case study. The creation of a robotic flexible palletizing boxes for large series production at sector distribution of Cerutil Company was the challenge embraced.

Thus the paper want to show the symbiosis between all variables involved in this system, such as, operator, tools, interaction with the haptic device and the essence of the automatic system. The approach will focus on these variables wants to prove that it's possible make a dynamic, flexible, efficient and safe palletizing.

Palavras-Chave

Robótica,
Sistema de Paletização,
Padrões de Caixas,
Robô,
Ambiente de Trabalho,
Pneumática,
HMI,
Automação industrial.

Key Words

Robotics,
Palletizing System,
Standard Boxes,
Robot,
Workplace,
Pneumatic,
HMI,
Industrial Automation.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pela sua orientação. Através da sua disponibilidade e dos seus conselhos, foi possível fazer uma ótima gestão do trabalho desenvolvido, tanto na parte prática como na parte teórica.

Agradeço a todos os colaboradores da Cerutil, em especial ao meu monitor de estágio/projeto, Engenheiro João Pedro Gonçalves e ao Engenheiro Ricardo Figueiredo pelas dúvidas esclarecidas e pelos conselhos sábios de modo a chegar a uma solução credível do desafio apresentado.

À Cerutil pela oportunidade de trabalhar neste projeto, numa área da eletrotecnia que me agrada particularmente, e pela cedência do material utilizado nos ensaios.

Ao pessoal do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola de Tecnologia e de Gestão de Viseu pelo fácil acesso ao Laboratório de Automação e Controlo. Quero agradecer em especial ao técnico do departamento, Mestre João Ôlas, pela paciência, disponibilidade e pelos conselhos dados relativamente ao projeto.

Aos meus colegas de mestrado pela ajuda, motivação e pelos ótimos momentos passados juntos.

Aos meus amigos do secundário mais chegados, pelo seu companheirismo e pela sua paciência e pela motivação que durante todo este percurso académico me deram.

Aos meus amigos da vida académica, pelos momentos épicos e dignos de serem recordados no futuro próximo, pelo companheirismo, pela motivação e pela grande paciência.

À Professora Alcina Costa pela disponibilidade, pela paciência e sobretudo pela ajuda prestada na revisão do texto.

Em último lugar, um agradecimento muito especial à minha família, em particular aos meus pais, pelo investimento, pela paciência e pelo respeito da caminhada mais longa que a esperada. Também um agradecimento particular ao meu irmão e aos meus avós Manuel e Adelino, às minhas avós Lucinda e Idalina, esta última que infelizmente já não se encontra entre nós.

A todos os que não foram mencionados mas que me ajudaram durante o dia a dia, também agradeço imensamente.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE QUADROS	xvii
SIMBOLOGIA.....	xix
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos da dissertação.....	1
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
2. Estado da Arte	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 O robô Industrial	4
2.3 Revolução e Explosão Demográfica da Indústria.....	7
2.4 Diversidade das Aplicações dos Sistemas Robotizados	11
2.5 Sistemas Robóticos Flexíveis de Paletização	14
2.6 Sistemas de Paletização	16
2.6.1 Sistema de Paletização Manual.....	16
2.6.2 Sistemas de Paletização Convencional.....	17
2.6.3 Sistemas Robóticos de Paletização de Gantry.....	20
2.6.4 Sistemas de Paletização Híbridos	21
3. Exposição do Projeto Proposto	25
3.1. Funcionamento Atual do Sistema de Paletização	25
3.2. Análise do Problema	26
3.3. Exposição do Objeto em Estudo	28
3.3.1. Caixas e Padrões em estudo.....	28
4. Composição do Ambiente de Trabalho.....	33
4.1. Robô e Controlador.....	33
4.2. Ferramenta de Trabalho e sua composição	37
4.2.1. Teste Complementar à Ferramenta de Trabalho	41
4.3. Esteira e seus componentes	42
4.4. Sistema de Paletes e sua composição	44
4.5. Plataforma Elevatória e seus componentes	46

5.	Exposição da Proposta de Solução.....	53
5.1.	Interface Robótica - Hardware	53
5.2.	Descrição da Proposta de Solução – Algoritmo.....	54
5.2.1.	Introdução	54
5.2.2.	Menu Principal.....	55
5.2.3.	Menus de Configuração de Paletização	55
5.2.4.	Sistema de Botões e Luzes	58
5.2.5.	Alarmes e Sensores.....	60
5.2.6.	Registo de Alarmes e Temporização de Paletização	62
5.3.	Comparação de Tempos entre Sistemas de Paletização	62
5.4.	Estimativa do Custo do Material.....	64
5.4.1.	Seleção do Robô	65
5.4.2.	Custo Total do <i>Layout</i>	68
6.	Conclusão e Perspetiva de Trabalhos Futuros	71
6.1.	Conclusão.....	71
6.2.	Perspetiva de Trabalhos Futuros	72
	Referências	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Robô Humanoide: 'Robota' [1].....	4
Figura 2-2 - Primeiro Robô Industrial <i>Unimate</i> [3].....	4
Figura 2-3 - Graus de liberdade do braço humano [4].....	5
Figura 2-4 - Analogia do robô com o membro superior de um ser humano [5].....	5
Figura 2-5 - Configurações dos punhos industriais: <i>pitch-yaw-roll</i> e <i>roll-pitch-roll</i> [4]....	6
Figura 2-6 - Robô Antropomórfico com 6 graus de liberdade [6].....	7
Figura 2-7 - Simbiose entre robô industrial e sensores inteligentes [7].....	8
Figura 2-8 - Vendas estimadas de robôs ao nível mundial [9].....	10
Figura 2-9 - Quantidade de robôs industriais para cada 10 mil trabalhadores [10].....	10
Figura 2-10 - Variação do número de robôs industriais implementados em Portugal [11].....	11
Figura 2-11 - Aplicações dos sistemas robóticos: Paletizar, Soldar, Pintar, respetivamente [12,13,14].....	12
Figura 2-12 - Estimativa do número de robôs industriais nas indústrias entre 2009 e 2011 [9].....	12
Figura 2-13 - Cadeia produtiva genérica [15].....	13
Figura 2-14 – Ventosas [17].....	15
Figura 2-15 – Garras [17].....	15
Figura 2-16 - Placas Metálicas [17].....	15
Figura 2-17 - Sistema de paletização manual [18].....	16
Figura 2-18 - Exemplo de um sistema de paletização convencional [18].....	17
Figura 2-19 - Sistema convencional: <i>Floor Level Infeed</i> [19].....	18
Figura 2-20 - Sistema convencional <i>High Level Infeed</i> [19].....	19
Figura 2-21 - Robô paletizador de Gantry [20].....	20
Figura 2-22 - Sistema Híbrido de Paletização <i>Shuttle Car</i> [21].....	22
Figura 2-23 - Sistema híbrido de paletização <i>Rotary Table</i> [18].....	22
Figura 2-24 - Sistema híbrido de paletização <i>Robotic Arm</i> com sistemas de transporte [22].....	23
Figura 3-1 - Linha de distribuição da Cerútil.....	26
Figura 3-2 - ' <i>Layout</i> ' ideal do sistema robótico a implementar.....	27
Figura 3-3 – ' <i>Layout</i> ' do laboratório.....	28
Figura 4-1 - Robô ABB IRB1600.....	34
Figura 4-2 - Volume de trabalho do robô IR1600 [23].....	34
Figura 4-3 - Disposição de montagem do robô IRB1600 [24].....	35
Figura 4-4 - Controlador IRC5.....	36
Figura 4-5 – Órgão de trabalho laboratorial.....	37
Figura 4-6 - Geradores de Vácuo.....	39
Figura 4-7 - Sensor ótico com fibra ótica.....	40

Índice de Figuras

Figura 4-8 - Esteira laboratorial	42
Figura 4-9 - Sensor ótico	43
Figura 4-10 - Funcionamento do sistema por difusão [30]	43
Figura 4-11 - Sistema de paletes	44
Figura 4-12 - Sensor de contacto.....	45
Figura 4-13 - Vários pontos de vista da Plataforma Elevatória	46
Figura 4-14 - 'Facas' da Plataforma de Ascensão	48
Figura 4-15 - Cilindro Pneumático	48
Figura 4-16 - Sensor <i>reed switch</i>	49
Figura 4-17 - Válvula pneumática 5/2	50
Figura 4-18 - Estados da válvula pneumática 5/2	51
Figura 4-19 - Válvula de regulação de caudal.....	51
Figura 5-1 - Fluxograma do menu principal.....	55
Figura 5-2 - Fluxograma dos menus do operador	56
Figura 5-3 - Fluxograma do Algoritmo.....	58
Figura 5-4 - Sistema de botões e luzes	59
Figura 5-5 - Documento (.txt) com informação de queda de caixas	62
Figura 5-6 - Tempos de teste da paletização das caixas em estudo	62
Figura 5-7 - Robô ABB IRB 4600-20/2.50 e robô KUKA KR60 L30-3 [38] [39]	65
Figura 5-8 - Volume de trabalho do Robô ABB IRB 4600-20/2.50 [40]	66
Figura 5-9 - Volume de trabalho do Robô KUKA KR 60 L30-3 [41]	67

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3-1 - Características das caixas em estudo	29
Quadro 3-2 - Padrão de paletização das caixas em estudo	30
Quadro 4-1 - Características do robô ABB IRB 1600 [25].....	35
Quadro 4-2 - Características do controlador IRC5 [26].....	37
Quadro 4-3 - Material utilizado na concepção do órgão de trabalho.....	38
Quadro 4-4 - Características das ventosas [27].....	39
Quadro 4-5 - Características dos geradores de vácuo [28].....	40
Quadro 4-6 - Características dos sensores óticos com fibra ótica [29]	41
Quadro 4-7 - Ensaio realizados com a ferramenta de trabalho [11]	41
Quadro 4-8 - Material utilizado na concepção da esteira laboratorial	43
Quadro 4-9 - Características dos sensores óticos [31].....	44
Quadro 4-10 - Material utilizado na concepção do sistema de paletes.....	45
Quadro 4-11 - Características dos sensores de contato [32]	46
Quadro 4-12 - Material utilizado na concepção da Plataforma Elevatória.....	46
Quadro 4-13 - Características do cilindro pneumático [33].....	49
Quadro 4-14 - Características do sensor <i>reed switch</i> [34]	50
Quadro 4-15 - Características da válvula pneumática [35][36]	51
Quadro 4-16 - Características das válvulas de regulação de caudal [37]	52
Quadro 5-1 - Entradas digitais do controlador.....	53
Quadro 5-2 - Saídas digitais do controlador.....	54
Quadro 5-3 - Função dos botões e transição do sistema de luzes.....	59
Quadro 5-4 - Alarmes no sistema robótico flexível.....	61
Quadro 5-5 - Tabela comparativa de tempos entre sistemas de paletização	63
Quadro 5-6 - Características do Robô ABB e KUKA [40][41]	66
Quadro 5-7 - Custo/custo médio dos robôs	67
Quadro 5-8 - Custo por unidade do material utilizado	68
Quadro 5-9 - Custo estimado do material do layout ideal.....	69
Quadro 5-10 - Custos estimados de gastos adicionais.....	69
Quadro 5-11 - Custos finais estimados.....	70

SIMBOLOGIA

°	Graus
∅	Diâmetro
%	Porcentagem
≈	Aproximadamente igual

ABREVIATURAS E SIGLAS

mm	Milímetro
m	Metro
Kg	Quilograma
VDC	Voltage Direct Current
Mb	Megabytes
V	Volt
mA	Miliampére
kPa	Quilopascal
l/m	Litros por metro
g	Gramas
mm/s	Milímetros por segundo
min	Minutos
VAC	Voltage Alternating Current
MPa	MegaPascal
PUMA	Programable Universal Machine for Assembly
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
ISO	International Organization for Standardization
HMI	Human Machine Interface
IFR	International Federation of Robotics
AGV	Automatic Guide Vehicle
E/S	Entrada/Saída
CETOP	Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques
DI	Digital Input
DO	Digital Output
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado

1. Introdução

1.1. Motivação

Atualmente, as empresas estão cada vez mais a fazer uma renovação do seu conceito de produção e distribuição. Este novo conceito consiste na renovação da tecnologia mais antiga ou na criação e inovação de novos sistemas que, com o avançar dos anos, se tornaram mais eficientes e seguros. A forte aposta na conceção de ferramentas com elevado poder de automatização pode significar o aumento de produção, a diminuição de custos de produção e a diminuição de acidentes de trabalho nas empresas.

A motivação desta dissertação surge nessa filosofia de renovação de processos na indústria. A proposta, que visa analisar e desenvolver um sistema robótico flexível de paletização na linha de distribuição, encaixa na perspetiva de integrar nova tecnologia de modo a recolher benefícios em aspetos económicos e produtivos a curto/médio prazo. Assim sendo, foi aceite o desafio apresentado pelo departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu e lançado pela unidade fabril Cerutil, uma das empresas do Grupo Visabeira.

O desafio de trabalhar em colaboração com uma empresa nacional com alto índice de exportação, nestes tempos conturbados que o nosso país atravessa, é outro dos motivos pela escolha desta dissertação.

1.2. Objetivos da dissertação

O principal objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um sistema de paletização para caixas em grandes séries de produção, de forma a haver uma interação simples

entre o dispositivo tátil e o operador. A apresentação de uma solução para este desafio pretende mostrar que é tecnicamente viável implementar um sistema alternativo ao atualmente em vigor, que é o sistema de paletização manual.

Esta solução pretende demonstrar que é possível paletizar caixas com diferentes dimensões, com diferentes massas e em diferentes paletes. Além disso, este sistema deverá ser o mais automático possível e ao mesmo tempo ter um cariz informativo, indicando a sua operabilidade, a causa dos contratempos de paletização, entre outros dados.

Assim sendo, o estudo documentado na dissertação destina-se a mostrar uma solução sólida e as vantagens da implementação deste sistema no setor de distribuição da Cerútil.

1.3. Estrutura da Dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos, onde será exposto todo o trabalho realizado durante o estágio/projeto desenvolvido.

O primeiro capítulo revela as motivações e os objetivos em que se baseia a realização do projeto.

O segundo capítulo tem um cariz mais descritivo. É feita uma abordagem sobre toda informação relativamente aos robôs, sobre a sua integração na indústria mundial e nacional e sobre alguns sistemas robóticos de paletização que se encontram na indústria.

No terceiro capítulo é feito um resumo do sistema de paletização atual e do desafio proposto. Será feito um levantamento de questões de análise ao projeto e será apresentado o objeto de estudo.

No quarto capítulo é apresentada a constituição do ambiente de trabalho desenvolvido em prol do problema.

No quinto capítulo é apresentado o algoritmo da solução proposta e o seu funcionamento, a comparação da diferença em termos práticos entre o sistema atual e será feita uma breve contabilização do custo do material previsto a investir na implementação do sistema robótico.

No sexto capítulo serão apresentadas as conclusões gerais e propostas de trabalhos futuros.

Além da dissertação, este documento contém ainda um Manual do Utilizador que explica todos os processos do *software* do sistema de paletização.

2. Estado da Arte

2.1 Introdução

O interesse pelo conceito da robótica é algo que já vem sendo explorado ao longo dos séculos, envolvendo épocas distintas da História, tais como a civilização grega (onde se encontram modelos de ‘robôs’ com aparência humana/animal), da civilização árabe (dando ênfase à atribuição de funções que fossem ao encontro das necessidades do ser humano) e da época renascentista, onde Leonardo Da Vinci tinha uma visão bastante desenvolvida para o seu tempo (possuía conhecimento aprofundado do domínio da anatomia, o que o levou à construção de algumas articulações mecânicas)[1]. Como é natural, todos os esboços e mecanismos idealizados eram bastante simples e primitivos devido aos recursos tecnológicos praticamente nulos.

A ignição para a compreensão do conceito de automatização dos mecanismos de produção/distribuição foi definitivamente dada na primeira revolução industrial (século XVIII). Este conceito viria a ser vital para que houvesse um aumento do desempenho, segurança, eficiência e qualidade do processo/produção em relação à mão de obra, que era efetuada em todos os pontos dos processos industriais na altura. Desde essa época foram construídas as primeiras máquinas com alguma autonomia, como por exemplo teares autónomos. Até ao início do século XX, desenvolveram-se alguns sistemas autónomos, mas sem grande relevo para a robótica industrial.

Por volta de 1922, na Checoslováquia, foi concebida a palavra robô (em checoslovaco – *Robota*), que significa “trabalho forçado”. Na Figura 2-1 está representado o robô humanoide utilizado na peça de teatro “R.U.R.”, que foi construído por Josef Capek, dando início assim a uma enorme geração de robôs. Em 1942 surge pela primeira vez o conceito de robótica, por Isaac Asimov, propondo inclusive três leis aplicáveis à

tecnologia que, com a revolução da robótica industrial, deixaram de se enquadrar na conjuntura atual e passaram a ter uma visão ficcional.

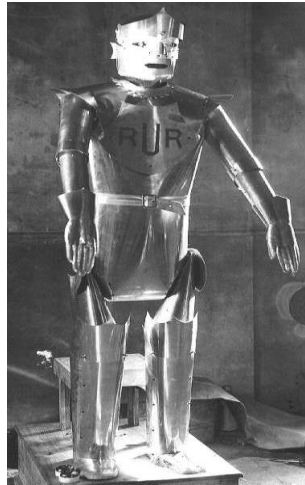


Figura 2-1 - Robô Humanoide: 'Robota' [1]

O primeiro robô industrial, designado por *Unimate*, como mostra a Figura 2-2, foi desenvolvido pela Unimation em 1961. Tinha já a capacidade de ser programado e reprogramado para novas aplicações, através de um computador e tinha também já as suas próprias ferramentas [2]. O *Unimate* foi o primeiro robô industrial de uma série robôs célebres, tais como o Puma (1978) e o SCARA (1978). Desde então, têm sido desenvolvidas várias séries de robôs industriais, que cada vez mais oferecem um leque diversificado de funcionalidades e maior flexibilidade em todo o tipo de indústrias, desempenhando qualquer tipo de função que lhes seja destinada.

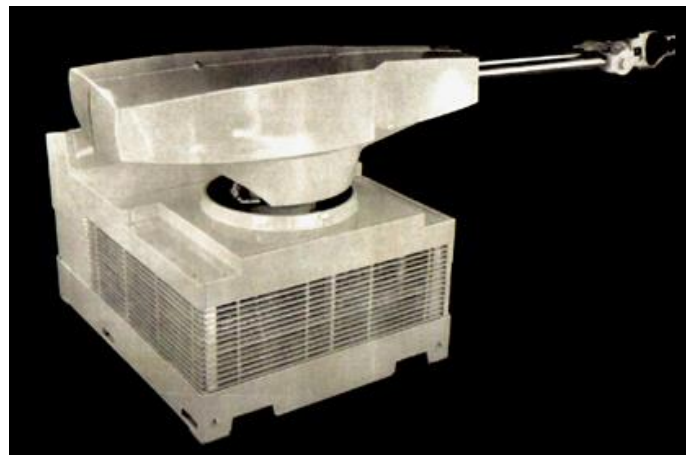


Figura 2-2 - Primeiro Robô Industrial *Unimate* [3]

2.2 O robô Industrial

Segundo a norma da ISO 8373 (*International Organization for Standardization*), define-se o conceito de robô industrial como um manipulador automaticamente controlado, reprogramável e multifuncional. Os robôs industriais são programáveis em três ou mais

eixos e tanto pode estar num lugar fixo ou móvel para aplicações da automação industrial. É também reprogramável, pois é possível (re) programar movimentos ou funções, que podem ser mudados sem alterações físicas. É multifuncional, pois é adaptável a diferentes aplicações com pequenas alterações físicas. Pode-se ainda definir os eixos de um robô como a direção usada para especificar o modo do movimento, isto é, linear ou rotativo.

Na base da concepção do robô industrial estão os membros superiores do ser humano, devido às suas características antropomórficas de grande mobilidade. O braço humano possui 7 graus de liberdade, como é possível ver na Figura 2-3.

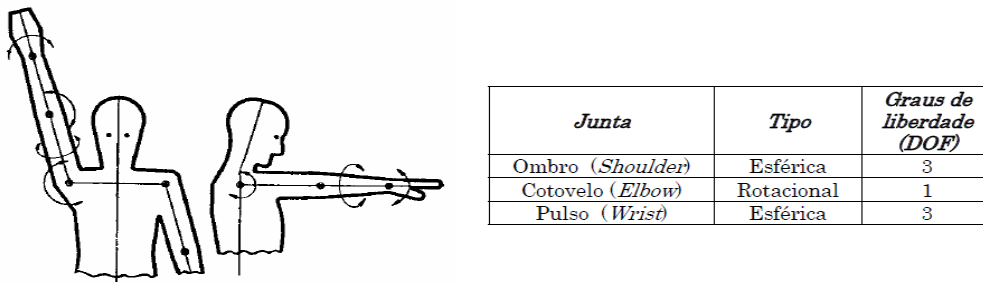


Figura 2-3 - Graus de liberdade do braço humano [4]

Fazendo uma analogia banal, como por exemplo apanhar um objeto, é possível dizer que as semelhanças entre robô industrial e o braço humano são evidentes. As primeiras juntas dos robôs, tal como o ombro e o cotovelo do ser humano, têm uma função de posicionamento. As juntas do punho do robô, tal como o pulso do ser humano, servem de orientação, onde estes serão complementados pelo objeto-terminal ou pela mão, respetivamente, tal como é mostrado na Figura 2-4.

Os robôs industriais possuem normalmente 6 eixos que, tal como o membro superior do ser humano, são capazes de atingir todos os pontos do espaço, desde que sejam ultrapassadas algumas limitações de movimentos. Essas limitações de movimentos são designadas singularidades, que não são mais que a perda de mobilidade das juntas, no caso dos robôs. As singularidades podem ser previamente calculadas, evitando a execução de alguns movimentos que, sob ponto de vista físico, são impossíveis efetuar.

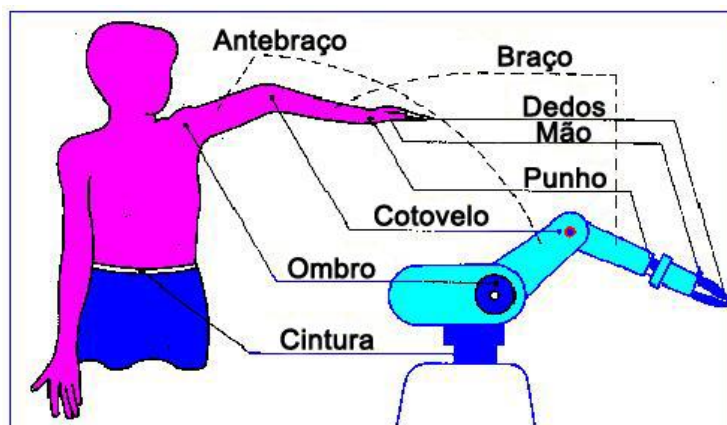


Figura 2-4 - Analogia do robô com o membro superior de um ser humano [5]

Quanto ao punho industrial, são-lhe reconhecidos três movimentos: *pitch* (rotação do pulso para cima e para baixo), *roll* (rotação do punho em torno do braço) e *yaw* (rotação do punho para a esquerda e para a direita). Como é perceptível na Figura 2-5, são usadas duas configurações de punhos industriais: *pitch-yaw-roll* (YZZ), idêntico ao punho humano, e *roll-pitch-roll* (ZXZ), habitualmente designado por punho esférico, sendo este o mais utilizado, embora tenha problemas relacionados com as singularidades.

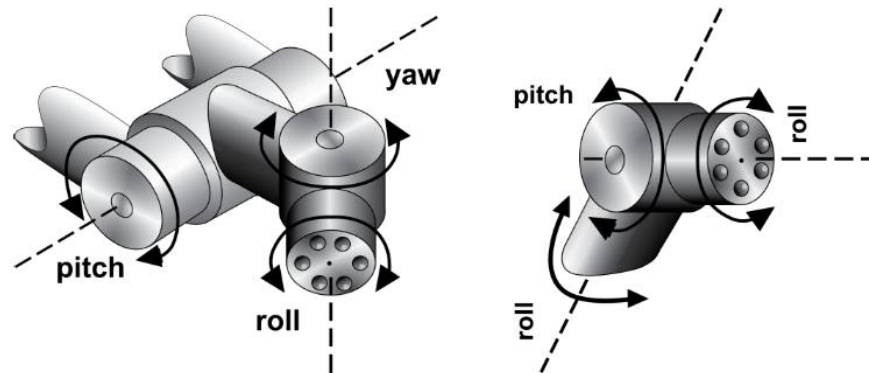


Figura 2-5 - Configurações dos punhos industriais: *pitch-yaw-roll* e *roll-pitch-roll* [4]

Com as diversas combinações de juntas e elos é possível obter-se uma configuração diversificada de robôs. A IFR (*International Federation of Robotics*) divide as estruturas cinemáticas dos robôs industriais em cinco categorias:

- Cartesiana (PPP);
- Cilíndrica (RPP);
- Esférica (RRP);
- SCARA (articulado horizontal);
- Antropomórficos (articulado vertical).

A categoria mais utilizada a nível industrial são os robôs antropomórficos, como é possível ver na Figura 2-6, pois permitem uma maior mobilidade. Esta característica é essencial para a maior flexibilidade dos sistemas robóticos. Nesta configuração, existem sempre pelo menos três juntas de rotação. Também é usual ver robôs SCARA (em menor número), que são utilizados para aplicações com componentes pequenos, normalmente usados ao nível da eletrónica.

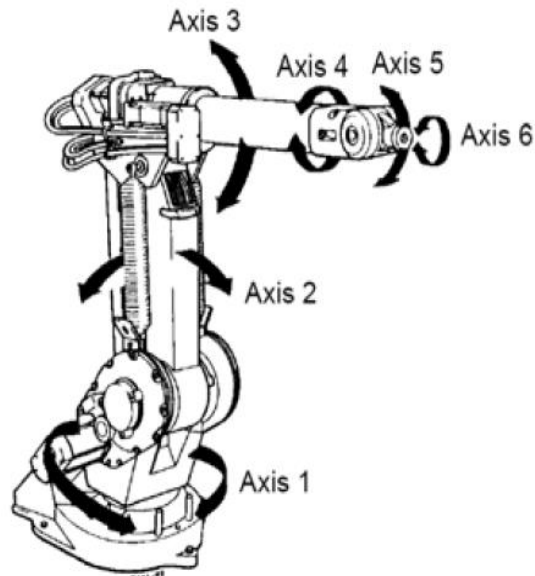


Figura 2-6 - Robô Antropomórfico com 6 graus de liberdade [6]

2.3 Revolução e Explosão Demográfica da Indústria

Quando apareceram os primeiros robôs industriais, como é o caso do *Unimate*, estes sistemas robóticos eram caracterizados por serem sistemas bastante rígidos, isto é, os robôs eram destinados a uma função específica, onde a sua adaptabilidade a outras funções era bastante limitada. Como esta tecnologia ainda estava a dar os primeiros passos, apenas se justificava a sua aquisição quando havia grandes volumes de produção.

Com o passar do tempo, começaram a aparecer novas séries de robôs caracterizados por serem cada vez mais flexíveis, isto é, capazes de se adaptar a funções diversificadas. Esta característica é essencial, pois na indústria moderna cada vez mais os volumes de produção e o tempo de vida dos produtos são mais limitados e curtos. Exige-se, então, que os processos de produção sejam capazes de se adaptar a novas eventualidades e cada vez mais ofereçam uma resposta rápida às necessidades industriais.

Associada à evolução dos robôs, também os *softwares* HMI (*Human Machine Interface*) começaram a ser mais intuitivos e de fácil interação. A supervisão e controlo dos processos evoluíram de modo a serem cada vez mais auxiliados por diversos tipos de sensores que comunicam instantaneamente com o robô, havendo assim uma simbiose entre a interface robô/sensores, em prol de um bom funcionamento do sistema a operar, como é visível na Figura 2-7. Este tipo de interface é adaptável a qualquer tipo de aplicação industrial.

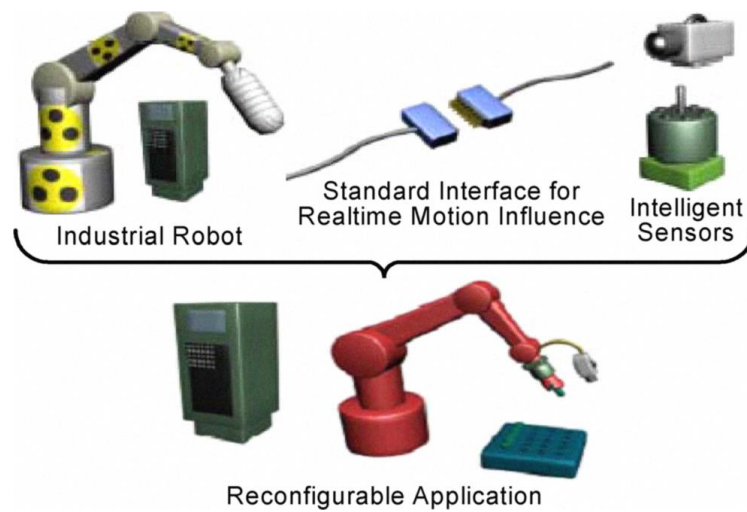


Figura 2-7 - Simbiose entre robô industrial e sensores inteligentes [7]

Devido à evolução tecnológica que se verificou ao longo de décadas, há um leque de vantagens que os sistemas robóticos podem oferecer, tais como [8]:

- Redução de custos operacionais – pode significar uma redução de custos ao nível de consumos, desperdícios, custos relacionados com a saúde e seguros;
- Aumento da qualidade de trabalho – não há registo de fadiga ou distrações e a execução das tarefas é efetuada com elevada precisão;
- Aumento da qualidade de trabalho do trabalhador – permite a substituição do trabalhador em ambientes de risco (peso excessivo, poeiras, temperaturas elevadas, ambientes tóxicos,...), mobilizando-o para outra ocupação.
- Aumento da produção – pode significar, em algumas situações, o aumento das taxas de produção ou maior facilidade em cumprimento de datas de entrega;
- Facilidade de reprogramação – é possível a reprogramação do robô, de modo a que ele se adapte a novas funções, caso seja necessário;
- Redução de desperdício de material – possibilita maior rentabilidade da matéria-prima (por exemplo: tecido em fase de acabamentos);
- Cumprimento das regras de segurança, melhoramento da saúde e segurança no trabalho – pode significar uma redução de acidentes de trabalho e aumento do nível de saúde de um trabalhador;
- Aumento do emprego especializado – torna possível a oportunidade de emprego ao nível de programação, investigação e manutenção;
- Redução de área de ação e facilidade de instalação – permite a contenção de espaço e facilidade de instalação, pois a instalação pode ser efetuada de diversas maneiras;
- Custos de laboração – permite a contenção de custos, pois estes podem substituir trabalhadores que a médio/longo-prazo pode significar redução de despesa com o pessoal.

Apesar das inúmeras vantagens que a implementação de robôs possa trazer, também há desvantagens associadas:

- Desemprego – pode significar o desemprego de pessoal menos qualificado;
- Custo do investimento – pode ser decisivo na implementação deste recurso ou não;
- Formação – é necessário dar formação aos trabalhadores para que se sintam à vontade com a interface;
- Gastos com pessoal especializado – pode ser necessário contratar pessoal especializado de forma a garantir o bom funcionamento;
- Acidentes de trabalho – podem existir colisões homem-máquina, devido a confiança excessiva, acidentes de ordem mecânica, isto é, pode haver movimentos inesperados ou erros provenientes da programação.

Embora haja desvantagens que possam causar acidentes de trabalho, estes também podem ser mitigados através de algumas medidas de segurança que são facilmente implementáveis, tais como:

- Implementação de barreiras impeditivas à circulação livre do ser humano, evitando assim acidentes/incidentes;
- Tapetes ou delimitações de área avisando o trabalhador de uma área potencialmente perigosa para a sua integridade física;
- Botões de Stop/Emergência de rápida atuação, pois podem ser necessários em situações de grande necessidade.

Explosão Demográfica da Robótica Industrial Mundial e Nacional

Mediante as vantagens descritas, existem fatores económicos e ao nível da produção que justificam o investimento em robôs industriais para as mais diversas aplicações. Como se pode ver no gráfico da IFR na Figura 2-8, entre 1994 a 2011, a aquisição de robôs, mundialmente, manteve-se sempre em números bastante elevados, já que em 2011 se venderam mais de 160 mil robôs. Apesar de se registarem quedas de vendas em alguns anos, devido a problemas como o da economia mundial (caso do ano 2009) ou de uma menor necessidade de implantação desta tecnologia, é possível dizer que o uso de sistemas robóticos é uma forte aposta no setor industrial.

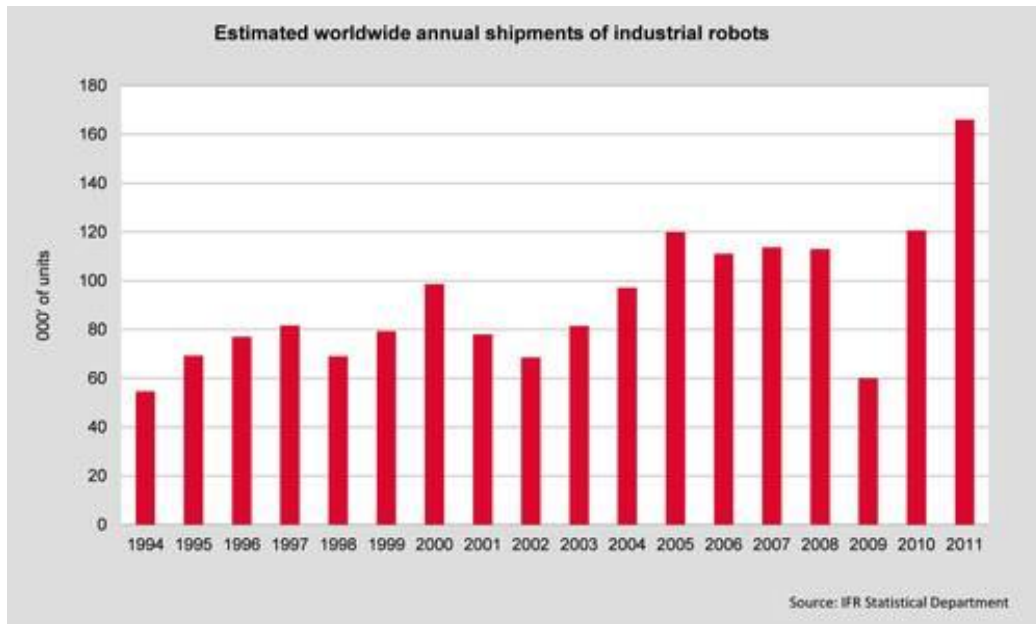


Figura 2-8 - Vendas estimadas de robôs ao nível mundial [9]

Os países mais investidores deste tipo de tecnologia são o Japão, Coreia do Sul e a Alemanha, onde a densidade média de robôs em 2010 foi muito elevada relativamente aos outros países do mundo, como é visível na Figura 2-9. As 10 sociedades com mais sistemas robóticos (à exceção de Taiwan), além de serem superpotências económicas mundiais são caracterizadas por serem países que estão na linha da frente em termos tecnológicos. Ao nível de automação industrial são países bastante avançados e desenvolvidos, comparativamente aos restantes.

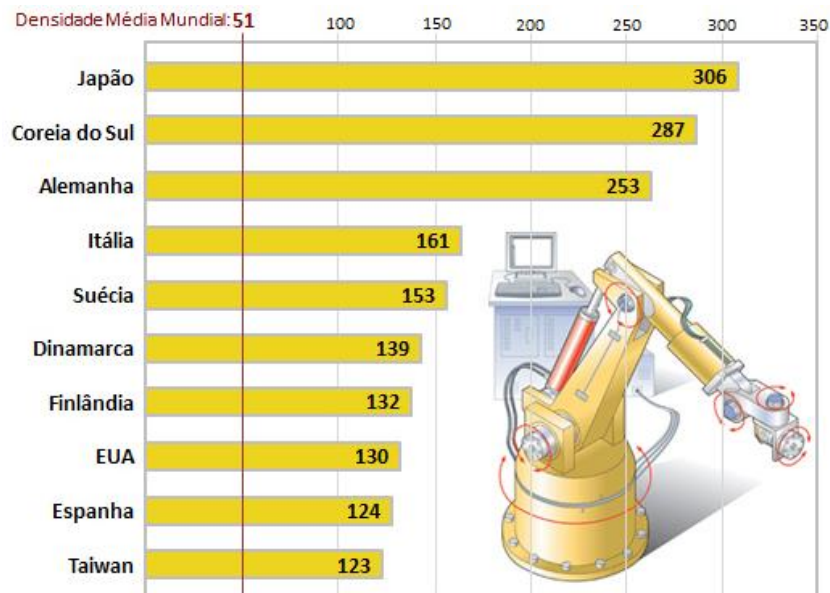


Figura 2-9 - Quantidade de robôs industriais para cada 10 mil trabalhadores [10]

Em Portugal, como é possível verificar na Figura 2-10, houve um aumento do número de robôs instalados, seguindo a tendência da inovação industrial mundial, embora o ritmo de aquisição desta tecnologia seja muito diferente da realidade mundial, pois as aquisições anuais registam-se em apenas algumas centenas de exemplares. A utilização de robôs industriais em Portugal começa a ser vista cada vez mais como uma oportunidade de desenvolvimento, do aumento da qualidade de processos na indústria lusa e como uma vantagem económica também.

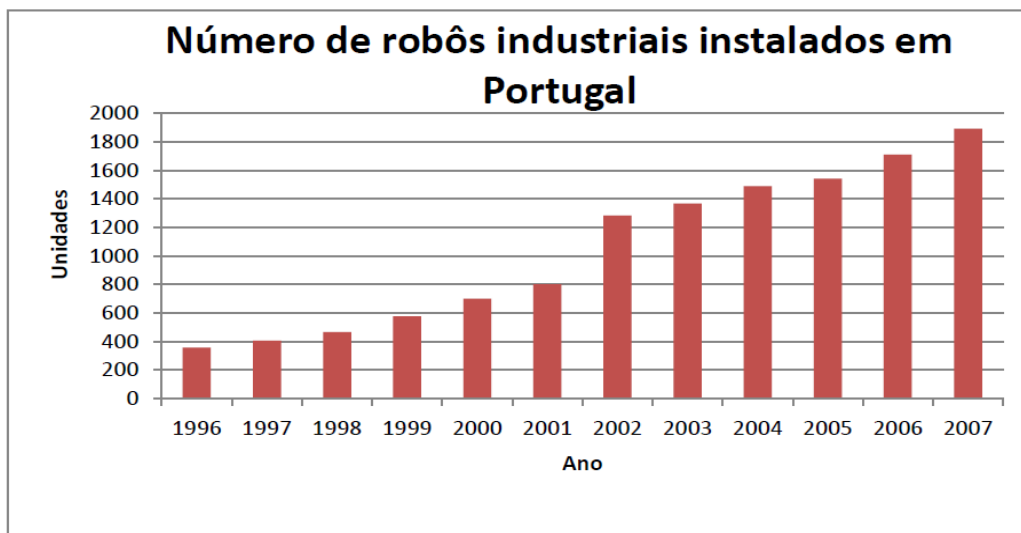


Figura 2-10 - Variação do número de robôs industriais implementados em Portugal [11]

2.4 Diversidade das Aplicações dos Sistemas Robotizados

Anteriormente, foi constatado que os sistemas robóticos são cada vez mais flexíveis. São diversificadas as áreas de aplicação e podem desempenhar as mais variadas funções no mesmo setor. Estas funções, habitualmente desempenhadas por operadores, são caracterizadas por serem cansativas, repetitivas e saturantes. A implementação de robôs industriais que não apresentam este tipo de comportamento pode revelar-se como uma ajuda aos trabalhadores na execução dos processos industriais, contribuindo para a eficiência global da indústria.

Pode-se encontrar este tipo de tecnologia em vários tipos de indústria, como é representado na Figura 2-11, tais como:

- Indústria automóvel – apertar parafusos, soldar, pintar, moldar, cortar, perfurar, transportar peças;
- Indústria elétrica/eletrónica – apertar parafusos, soldar, cortar, perfurar, transportar peças;
- Indústria química – transportar, cortar, inserir;
- Indústria do vidro/cerâmica – fundir, soldar, raspar, embalar, empacotar, cortar, paletizar;

- Indústria de confecção de bens alimentares – transportar, embalar, empacotar, paletizar, moer, separar, cortar;
- Indústria da comunicação – cortar, separar, empacotar, embalar, paletizar.



Figura 2-11 - Aplicações dos sistemas robóticos: Paletizar, Soldar, Pintar, respetivamente [12,13,14]

Como é perceptível, os robôs podem desempenhar funções desde as mais simples às mais delicadas. As áreas da indústria mais equipadas com estes sistemas são a indústria elétrica/eletrónica e a indústria automóvel, como é mostrado na Figura 2-12. Verifica-se ainda que há uma aposta gradual e crescente em todas as áreas industriais.

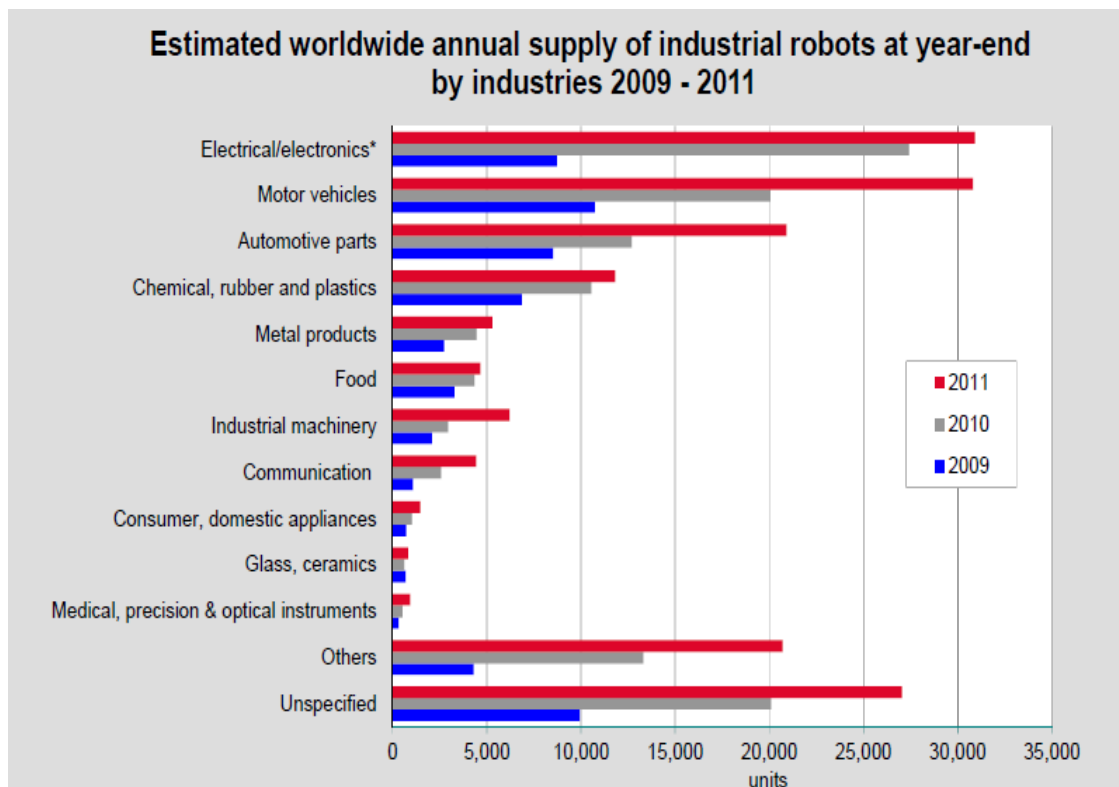


Figura 2-12 - Estimativa do número de robôs industriais nas indústrias entre 2009 e 2011 [9]

Caso da Indústria Cerâmica

A indústria cerâmica, como é possível observar na Figura 2-12, é uma das áreas com a aplicabilidade mais reduzida. Os fatores que contribuem para este caso são a delicadeza na gestão de processos da matéria-prima, alguma flexibilidade que os sistemas antigos (pneumáticos, com autómatos,...) possuíam e a desconfiança em torno da eficiência da tecnologia neste meio.

Com o avanço tecnológico, a indústria começou a olhar com mais confiança e aceitar as garantias da qualidade, eficiência e segurança que os fornecedores e entidades subscreviam [8]. Também a simplicidade do manuseamento dos sistemas de interface levaram os clientes a aceitar a suas vantagens ao nível industrial. Por outro lado, os sistemas mais retrógrados utilizados começaram a ficar em desuso devido a avarias, à pouca flexibilidade e ao consumo energético, que obrigaram que outras alternativas se fossem afirmando, como é o caso dos robôs industriais.

A Figura 2-13 representa as fases em que a robótica passou a ter outra preponderância, isto é, a fase de produção e a fase de distribuição.

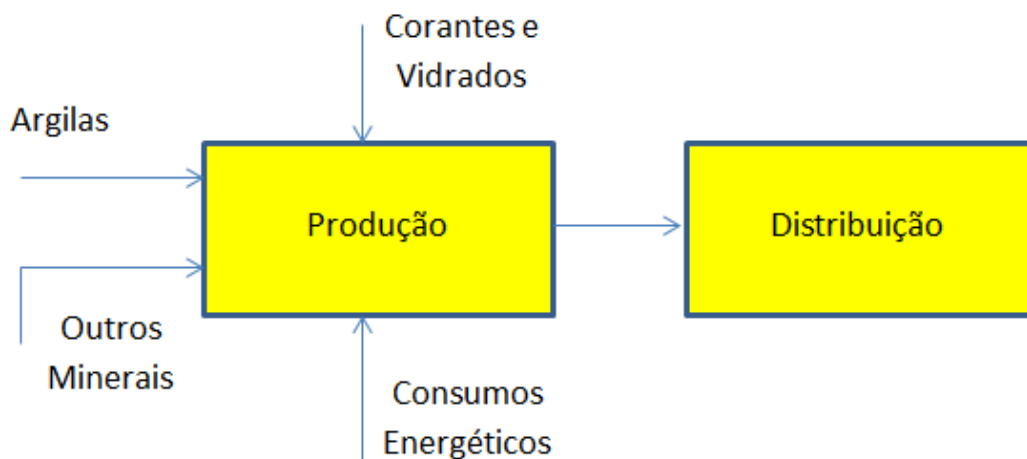


Figura 2-13 - Cadeia produtiva genérica [15]

Nas fases de produção e distribuição, funções como a pintura, triagem, transporte e acabamentos, armazenagem, embalagem e paletização podem ser processos vitais para o bom funcionamento deste ramo. Estes processos requerem a sensibilidade e garantia de eficiência na sua execução. Hoje em dia podem ser efetuados por sistemas robóticos que têm capacidade de manter ou melhorar essas funções.

Nesta área há um ambiente abundante em pó e com altas temperaturas, onde os dispositivos de interação homem-máquina devem ser preferencialmente táteis. Dispositivos tais como, *joysticks* e comandos, devido ao seu constante manuseio, aliado ao clima de erosão da matéria-prima e das elevadas temperaturas, fazem diminuir o tempo de vida do dispositivo, fazendo com que este se danifique e tenha avarias intempestivas.

2.5 Sistemas Robóticos Flexíveis de Paletização

Os sistemas robóticos flexíveis de paletização assentam numa estratégia de transporte dos mais diversificados objetos de um certo lugar (por exemplo: esteiras, tapetes rolantes, sistemas pneumáticos, ...) para outro (por exemplo: euro-paleta, paleta de madeira, tapete rolante, sistemas pneumáticos). Este processo só é possível de ser executado de forma eficiente, se o robô selecionado corresponder à carga máxima que será exigida, se o órgão terminal (pinças, garras, sistemas de vácuo) for o mais correto para cada situação, se houver uma grande precisão nos movimentos que lhes são ordenados e o auxílio de sensores/atuadores, que facilitam a correta execução dos movimentos.

Estes sistemas têm um conjunto de características que se destacam face aos outros sistemas de paletização [16]:

- Alto rendimento de produção – contribuindo assim para um bom desempenho financeiro;
- Alta flexibilidade;
- Pouco tempo de perda nos movimentos que o robô executa – a sua velocidade pode ser controlada e gerida nesse sentido;
- Possibilidade de fazer operações simples – determina a quantidade de vezes que o robô necessita de manutenção;
- Ótima precisão;
- Rapidez de execução;
- Capacidade de paletização de caixas com diferentes formatos, padrões e massas.

As vantagens dos robôs antropomórficos, já descritos anteriormente, sob o ponto de vista de rácio entre flexibilidade, investimento, manutenção, área de trabalho e interface homem-máquina são os sistemas que melhor se adaptam à paletização. Também é de realçar que uma boa parte das empresas que adquirem estes sistemas são empresas que estão em atividade há anos, onde o espaço de trabalho é reduzido devido às outras atividades que aí se desenvolvem e, portanto, não é possível implementar uma solução radical. Devido a estas razões, os sistemas robóticos de paletização são uma aposta válida e correta para a paletização dos diversos produtos, que podem ter tempos de vida longos ou curtos.

O Órgão-Terminal e as Suas Aplicações

Outro aspeto preponderante quando se projetam sistemas deste tipo é relativamente à seleção do órgão-terminal. Uma má seleção significará a falta de eficiência ou a falta de segurança do dispositivo. Portanto, na sua escolha é necessário ter em conta características tais como: a massa, o volume, o feitio e a sensibilidade do material.

Em termos da indústria da paletização, os três tipos de ferramentas mais utilizados são:

- Através de ventosas, devido ao seu poder de sucção, possuindo um sistema de vácuo, como mostra a Figura 2-14;



Figura 2-14 – Ventosas [17]

- Através de garras que se fecham sobre o produto, como é visível na Figura 2-15;

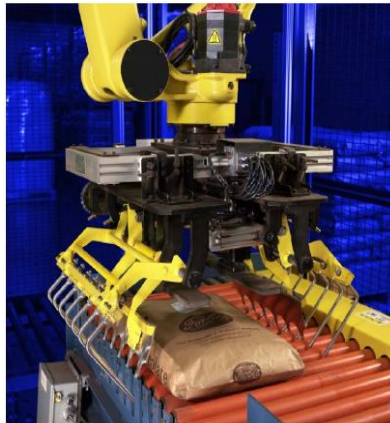


Figura 2-15 – Garras [17]

- Através de várias placas metálicas laterais de forma a agarrar o produto, como é demonstrado na Figura 2-16.



Figura 2-16 - Placas Metálicas [17]

Esta variedade de objetos-terminais define também a diversidade de aplicações em termos de paletização. A abrangência ao nível da distribuição é enorme, isto é, os robôs industriais são completamente adaptáveis para as mais variadas indústrias.

Os sistemas robotizados são adaptáveis para uma variedade industrial enorme. A multifuncionalidade que um robô pode oferecer devido à variedade de órgãos-terminais disponíveis e a opção de escolha do robô para cada situação faz com que haja uma diversidade de produtos com formas, massas e feitios diferentes que são abrangidos por estes sistemas. Exemplo disso é a comunicação social (no transporte após edição de jornais e revistas), a indústria agrícola, cerâmica, eletrónica, tintas, bens alimentares, automóvel, que aparentemente não estão inter-relacionados, mas que apresentam a necessidade de adaptabilidade dos órgãos-terminais dos robôs.

2.6 Sistemas de Paletização

As soluções de mercado, ao nível industrial, em termos de sistemas de paletização não são muito vastas. Existem diferenças entre os métodos mais utilizados. Portanto é importante conhecer os sistemas de paletização alternativos existentes.

2.6.1 Sistema de Paletização Manual

Como se vê na Figura 2-17, este é o sistema mais arcaico possível, pois as pessoas que operam normalmente no setor de distribuição fazem a paletização com as suas próprias mãos. Normalmente, essa tarefa consiste em que o operador ou operadores retirem os objetos a paletizar de uma plataforma (como por exemplo: tapetes rolantes, esteiras, sistemas hidráulicos) e os coloquem numa palete. Neste processo, o operador tem que saber o número de objetos que se pretende paletizar por camada/paleta. Também tem que ter a sensibilidade e os cuidados necessários ao empilhar, pois o conteúdo das caixas pode ser sensível ao choque.

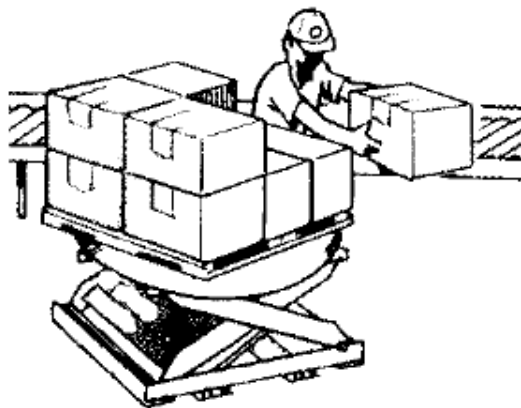


Figura 2-17 - Sistema de paletização manual [18]

Esta solução é apenas viável quando o volume de produção é relativamente baixo e quando a massa do objeto a paletizar é baixa, pois pode ser humanamente impossível de se fazer a paletização. É a forma mais económica de se entrar num negócio, reduzindo os custos de investimento em sistemas mais caros, consoante o volume de produção inicial.

O trabalhador é capaz de lidar com vários tipos de produtos com diferentes tamanhos, formas e massa (desde que seja humanamente possível). O processo a desenvolver é repetitivo, saturante e cansativo. Sob ponto de vista ergonómico, as tarefas realizadas pelos operadores podem não ser as mais corretas, mas existem algumas soluções (como por exemplo plataformas ascendentes/descendentes, pedais pneumáticos) que podem mitigar alguns desses problemas, reduzindo o risco de acidentes/incidentes ou de problemas crónicos a longo prazo.

As vantagens do sistema de paletização manual são:

- Baixo custo de investimento;
- Flexibilidade máxima do sistema;
- Espaço da área de trabalho mínima (não é necessário área de segurança);
- Baixo consumo ou nenhum consumo de energia.

As desvantagens do sistema de paletização manual são:

- Possibilidade de haver acidentes/incidentes;
- Saturação e cansaço que podem levar a más decisões de paletização do operador;
- Possibilidade a médio/longo prazo do operador contrair lesões crónicas;
- Custos em seguros de saúde;
- A eficácia pode não ser assegurada em prazos de entrega mais curtos.

2.6.2 Sistemas de Paletização Convencional

Os sistemas de paletização convencional, como é exemplo a Figura 2-18, são definidos como máquinas que recebem o material a paletizar através de um sistema de transmissão (vulgarmente esteiras e tapetes rolantes), orientando os objetos para um sistema pneumático com capacidade de empilhar corretamente uma camada de caixas, independentemente da sua configuração.

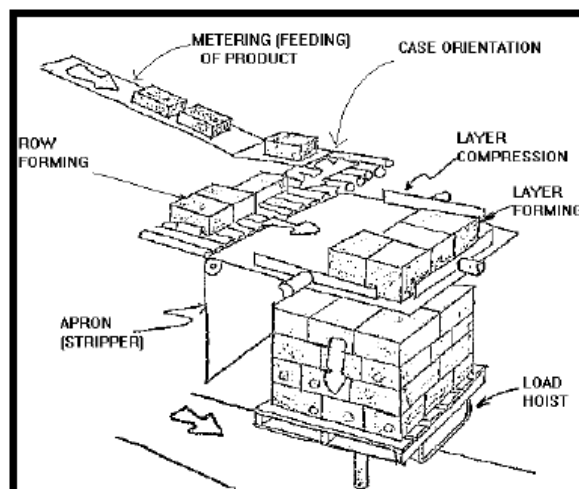


Figura 2-18 - Exemplo de um sistema de paletização convencional [18]

Estes sistemas são conhecidos por terem uma boa taxa de qualidade e não terem qualquer problema com a massa do objeto (normalmente são caixas) a paletizar. As várias configurações das caixas encontram-se na memória do equipamento, que podem ser selecionadas pelo operador, embora possa haver problemas de *software* com os padrões existentes.

Quando bem equipados, o sistema deteta irregularidades que são a causa do congestionamento no processo de empilhamento.

Dois exemplos de sistemas de paletização convencional são:

- *Floor Level Infeed* (Alimentação ao nível do chão);
- *High Level Infeed* (Alimentação a nível elevado).

Floor Level Infeed

Como o nome indica e a Figura 2-19 demonstra – *Floor Level Infeed* – todo o processo é efetuado ao nível do chão, tanto o sistema de transmissão ou o processo de paletização, ou ainda o sistema de fim de linha da paleta (que já virá paletizada).

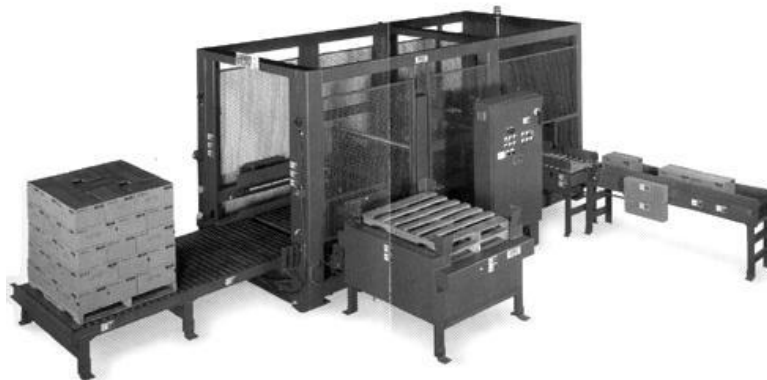


Figura 2-19 - Sistema convencional: *Floor Level Infeed* [19]

Resumidamente, este dispositivo tem o início de ciclo quando os objetos a paletizar entram no sistema de transmissão (tapete rolante, esteira,...). Desta forma, quando for preenchida uma camada, os objetos são empurrados pneumaticamente para uma plataforma. São dispostos conforme a configuração selecionada pelo operador e encaminhados para uma paleta. Quando as camadas seguintes ficarem completas, a plataforma efetua um movimento dinâmico e coloca essa camada em cima da camada transata e assim sucessivamente, até ser satisfeito o número de camadas indicado pelo operador. Após isto, a paleta volta a um novo tapete rolante onde está pronto para ser retirado.

As vantagens do sistema de paletização convencional *Floor Level Infeed* são:

- Possibilidade de ter uma configuração de camadas personalizada;

- Percepção do processo ao nível do ser humano, onde se consegue ter uma melhor perspectiva do funcionamento do dispositivo;
- Possibilidade de controlar o congestionamento ao nível do chão;
- Dispositivo flexível;
- Detecção de problemas com mais facilidade;
- Reparação sempre feita ao nível do chão.

As desvantagens do sistema de paletização convencional *Floor Level Infeed* são:

- Apresenta custo de investimento elevado;
- Exige uma área de funcionamento considerável para todo o processo;
- Exige espaço para uma remoção eficiente das paletes através do porta-paletes;
- É um sistema complexo, onde exige um bom conhecimento relativo ao sistema;
- Pode apresentar erros nos padrões selecionados.

High Level Infeed

Tal como o nome sugere e se pode verificar na Figura 2-20 – *High Level Infeed* – o sistema de transmissão trabalha numa zona mais elevada relativamente ao local onde se efetuará o transporte da paleta já paletizada.

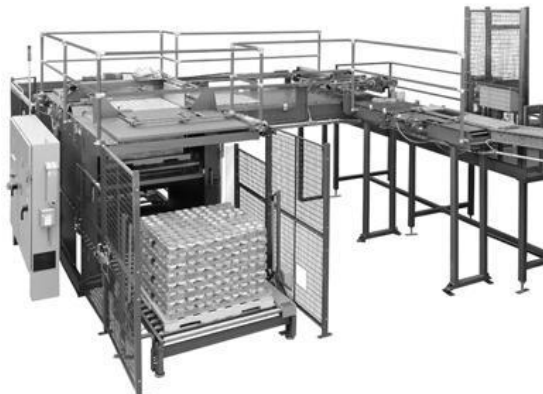


Figura 2-20 - Sistema convencional *High Level Infeed* [19]

Neste caso, o sistema de transmissão (tipicamente tapetes rolantes) leva o material a paletizar para uma zona mais elevada relativamente àquela onde irá ser feito o carregamento da paleta finalizada. Quando o material chegar ao sensor de fim de linha do sistema de transmissão, com a ajuda do sistema pneumático são formadas as camadas. Assim sendo, há outra plataforma ascendente/descendente que possui uma paleta que chega ao nível da plataforma de formação das camadas do material. Portanto, no momento em que haja uma camada completa, é feita uma transição entre plataformas e assim sucessivamente. É de referir que a plataforma que tem a paleta nunca perde a referência relativamente à plataforma onde são formadas as camadas. De forma dinâmica, é feita a paletização conforme a configuração desejada pelo

operador. Quando terminada a paletização, a palete regressa ao nível do chão, onde está preparada para ser removida.

As vantagens do sistema de paletização *High Level Infeed* são:

- Minimiza as operações da empilhadora;
- Otimiza o processo de carregamento das paletes;
- Oferece maior rapidez de processos;
- Suporta maior massa dos objetos relativamente ao dispositivo anterior;
- Pode ser usado para configurações mais complicadas;
- É flexível.

As desvantagens deste sistema são:

- Custo de investimento avultado;
- Ocupação de uma área significativa;
- Maior dificuldade na deteção de problemas técnicos;
- Complexidade do sistema;
- Necessidade de escadas e plataformas de acesso ao dispositivo;
- Necessidade de mais que um painel de interface.

2.6.3 Sistemas Robóticos de Paletização de Gantry

Como é apresentado na Figura 2-21, este é um robô cartesiano, mais conhecido por robô de Gantry. Tem a particularidade de se deslocar ao longo de uma armação para locais pré-programados, devido às suas juntas lineares. O robô pode ser programado para ir para qualquer local sob a estrutura apresentada. Tem a capacidade de executar uma variedade enorme de funções (soldar, pintar, paletizar,...). São utilizadas linhas industriais com diferentes produtos, onde são movimentados para uma zona central de paletização. Isto é, vão para uma zona em que há uma mistura de produtos, quando necessário. Quando comparado a outros dispositivos, estes sistemas são mais lentos, mas têm como vantagem a capacidade de paletizar várias paletes ao mesmo tempo.



Figura 2-21 - Robô paletizador de Gantry [20]

Normalmente, estes dispositivos exigem uma área de trabalho considerável e é uma tecnologia relativamente dispendiosa.

Embora não sejam usados com muita frequência devido à sua lentidão, com o melhoramento da eficiência dos motores, com a utilização de materiais mais leves e com computadores mais rápidos, tem havido um aumento do desempenho destes dispositivos.

As vantagens do sistema de paletização de Gantry são:

- Flexibilidade – consegue paletizar diferentes produtos para diferentes paletes;
- Pouca ou nenhuma interação na operação normal do robô;
- Paletização de uma paleta com diferentes produtos;
- Solução para elevadas massas.

As desvantagens do sistema de paletização de Gantry são:

- Custo elevado;
- Área de ocupação;
- Lentidão de processos;
- Complexidade de instalação, pois há necessidade de instalar vários tipos de sistemas (tapetes-rolantes, porta-paletes, robô, transportador *take-away*).

2.6.4 Sistemas de Paletização Híbridos

Os sistemas de paletização híbridos são desenvolvidos devido à combinação entre os diferentes dispositivos apresentados. Há uma tentativa de combinar os benefícios entre sistemas, tais como a velocidade dos paletizadores convencionais com a flexibilidade dos paletizadores manuais ou robóticos. Geralmente, estes dispositivos são utilizados para paletizar mais que uma linha de produção de cada vez.

Estas máquinas são, normalmente, feitas em último recurso, isto é, depende da necessidade do cliente e da vontade do fabricante em produzir o dispositivo. O investimento necessário para se adquirir este tipo de tecnologia é, normalmente, muito elevado. Portanto, há que garantir que sejam satisfeitas todas as condições de eficácia, eficiência, segurança e qualidade impostas pelo cliente de modo a rentabilizar o seu investimento.

Devido à capacidade de conseguir paletizar várias paletes ao mesmo tempo, estes dispositivos requerem um espaço de trabalho elevado para o seu funcionamento, embora seja inferior ao total dos sistemas puros que seriam necessários para satisfazer as mesmas necessidades.

Seguem-se três exemplos de sistemas híbridos de paletização:

- Sistema híbrido de paletização *Shuttle Car*, como é apresentado na Figura 2-22.

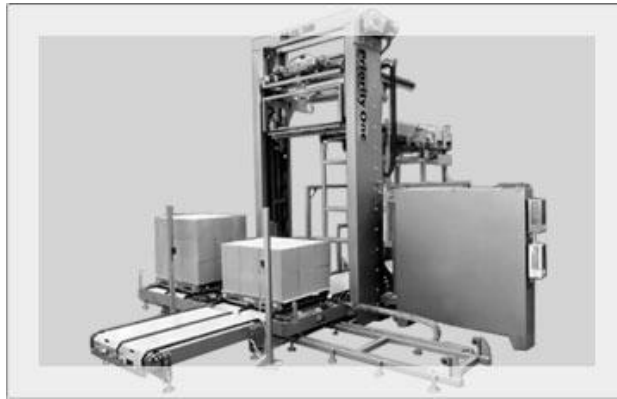


Figura 2-22 - Sistema Híbrido de Paletização *Shuttle Car* [21]

Combina aspetos das formações das camadas encontradas dos paletizadores convencionais com os aspetos dos sistemas de transmissão, de modo a haver mais que uma faixa de transporte de caixas. Desta forma, é possível paletizar vários tipos de produtos diferentes.

- Sistema híbrido de paletização *Rotary Table*, como é visível na Figura 2-23.

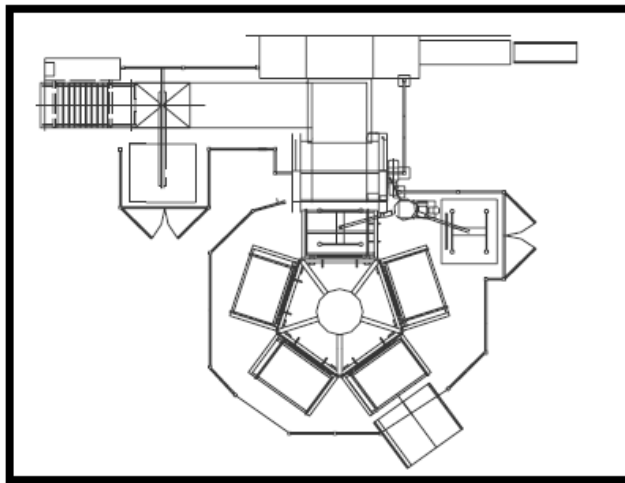


Figura 2-23 - Sistema híbrido de paletização *Rotary Table* [18]

Este dispositivo é muito idêntico ao anterior, distinguindo-se por ter uma mesa rotativa a substituir os sistemas de transmissão. A descarga das paletes pode ser feita através de AGVs (*Automatic Guide Vehicle*) que fazem ponte com o dispositivo, ou através de estações onde serão carregadas por porta-paletes.

- Sistema Híbrido de Paletização *Robotic Arm*, como se pode observar na Figura 2-24.



Figura 2-24 - Sistema híbrido de paletização *Robot Arm* com sistemas de transporte [22]

Combina as características de um braço robótico para fazer a paletização com sistemas de transporte (*Shuttle Car*), para que haja movimentação de paletes. Tem a capacidade de fazer a paletização de vários produtos diferentes em simultâneo em diferentes paletes, como é possível verificar na Figura 2-24. Há sistemas de transporte que fornecem paletes vazias e que carregam as paletes completas para longe da área de ação, onde posteriormente são removidas por porta-paletes. As folhas de separação são colocadas pelos robôs, caso seja necessário.

3. Exposição do Projeto Proposto

3.1. Funcionamento Atual do Sistema de Paletização

Como foi referido anteriormente, foi proposto um estudo na empresa Cerútil que labora em Sátão. O alvo de estudo é a implementação de um sistema robótico flexível de paletização de caixas para o setor de distribuição da fábrica.

As ferramentas em laboração nesse setor estão implementadas há alguns anos e, por isso, todas as soluções apresentadas no decurso deste trabalho foram pensadas para garantir um bom desempenho dos sistemas projetados sem fazer alterações significativas à linha de distribuição existente. O sistema de paletização manual é o sistema implementado atualmente. Como se pode ver na Figura 3-1, existe uma linha de paletização principal (linha de produção esquerda) e uma linha de paletização secundária (linha de produção direita), que apenas entra em funcionamento caso o volume de produção seja o suficiente para haver duas linhas em laboração. Pretende-se analisar se a implementação do novo sistema de paletização na linha principal consegue ter vantagens em termos de segurança, eficiência e eficácia em relação ao sistema de paletização atual, apesar do material de cerâmica que se encontrará dentro das caixas a paletizar, ser bastante frágil e sensível a contactos.



Figura 3-1 - Linha de distribuição da Cerútil

Após todo o processo de produção de material de cerâmica, ele será reencaminhado para o setor de distribuição, onde será inserido em caixas, de forma a satisfazer o número de peças ou caixas ou paletes que um cliente solicita. As peças de cerâmica serão colocadas no início do tapete rolante, onde as funcionárias procedem à sua inserção em caixas e que serão colocadas novamente no tapete rolante. Estas passarão sempre com a mesma posição através de um sistema de selagem, onde se fecharão com fita-cola própria para que não haja a sua abertura até ao destino pretendido. Seguidamente, as caixas seguem para uma esteira que tem uma certa inclinação, resultando num deslizamento por gravidade até ao fim de curso. Nesse momento é iniciada a paletização manual, cuja gestão do número de funcionários e paletes a paletizar é flexível, consoante o volume de produção ou a urgência dos prazos de entrega.

Um dos aspetos fundamentais deste projeto é a enorme variedade de caixas, devido ao leque enorme de peças de cerâmica que a fábrica produz. A variedade do número de caixas ascende a algumas centenas e o número de peças de cerâmica ascende ao milhar, com formatos e dimensões totalmente diferentes. Outro aspeto é que quanto maior for a dimensão da caixa, tendencialmente maior será a sua massa. Devido ao poder exportador da Cerútil, são usados dois tipos de palete: a europalete, que é usada pela maioria dos países da Europa, e a palete de madeira que é uma palete alternativa usada por alguns países, como por exemplo o Reino Unido.

3.2. Análise do Problema

Perante os fatores de volume de produção, flexibilidade de prazos de entrega, número de funcionários e número de paletes que estão envolvidos no processo de paletização, é necessário perspetivar o pior cenário possível. Após o acompanhamento de todo o

processo de distribuição efetuado e devido à elevada frequência com que algumas caixas chegam à esteira, projetou-se o melhor cenário.

Assim sendo é possível ver na Figura 3-2 a representação do *layout* ideal a implementar na fábrica, onde em situações críticas de produção teremos dois robôs a laborar em quatro paletes distintas. Cada robô laboraria em duas paletes de modo a evitar tempos mortos. Ou seja, quando uma paleta estiver conforme o desejado, qualquer um dos robôs irá imediatamente paletizar a seguinte, pois uma delas estará sempre vazia. A paleta completa será removida por um porta-paletes e será colocada outra vazia no mesmo local, estando preparada para quando for necessário fazer novamente a paletização, não havendo interrupções por falta de paletes.

Este *layout* foi idealizado de acordo com o número de funcionários que poderão operar, isto é, em dias mais críticos o número de funcionários que se encontram a paletizar será maior. Um único robô não daria garantias de rapidez de forma a substituir o trabalho de três ou quatro funcionárias, nem garantias de eficiência, podendo haver problemas de sobrelotação de caixas na esteira, em caso de grande volume de produção. A aquisição de dois robôs a operar em simultâneo dará as garantias suficientes de uma paletização rápida e sem congestionamentos de caixas.

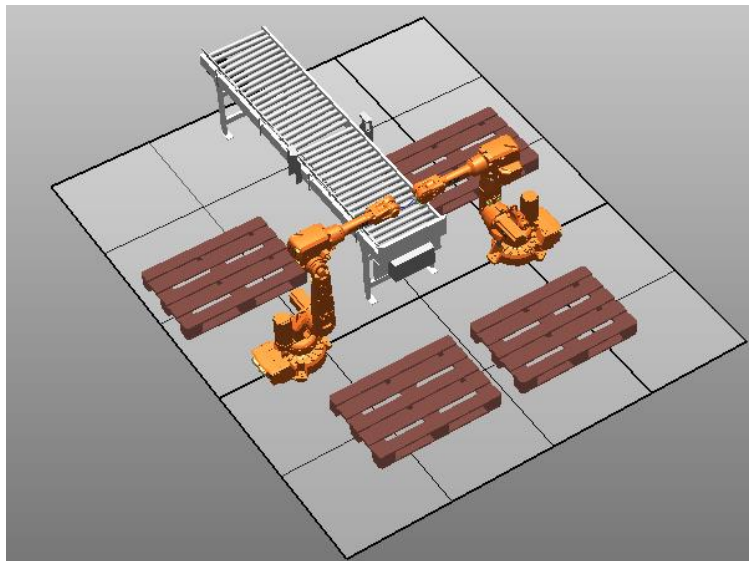


Figura 3-2 - '*Layout*' ideal do sistema robótico a implementar

O estudo laboratorial consistirá no desenvolvimento de um protótipo de um sistema robótico flexível que consiga efetuar, com rigor e precisão, o mesmo trabalho que o sistema de paletização atual. Como finalidade do projeto, espera-se que haja garantias de segurança e de eficácia ao nível do transporte de caixas, podendo levar a um aumento de produção. O *layout* da composição laboratorial para o estudo a efetuar está apresentado na Figura 3-3.

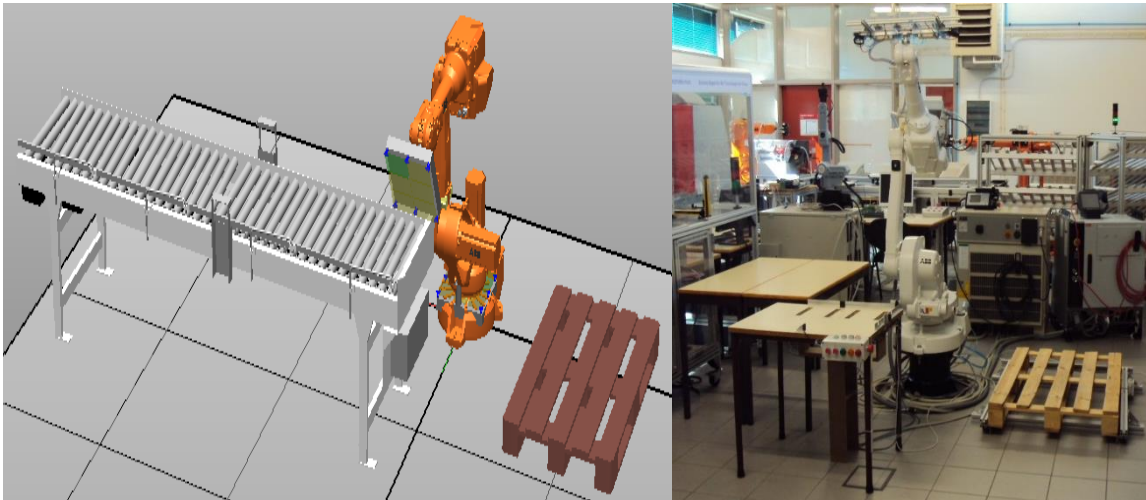


Figura 3-3 – ‘Layout’ do laboratório

Este *layout* é composto por um robô, uma paleta, uma esteira improvisada e um sistema elevatório de caixas. Assim sendo, os ensaios a realizar serão feitos e analisados nestas condições.

3.3. Exposição do Objeto em Estudo

Após o conhecimento do funcionamento dos sistemas de paletização (atual e em estudo), é necessário conhecer o objeto em estudo. Neste caso, o objeto em estudo são as caixas, pois é sobre elas que recairão todos os detalhes e processos de paletização. O esforço despendido em termos de ajuste do sistema em estudo ou da programação da paletização deverá ir ao encontro das características das caixas. As caixas terão dimensões e padrões de paletização totalmente diferentes, pelo que o sistema deverá ser capaz de se adaptar a essas situações.




3.3.1. Caixas e Padrões em estudo

Os processos de paletização visam ter o máximo número de caixas num menor número de paletes possíveis, tentando minimizar a área e o volume de vazio, de modo que o espaço de ocupação das paletes nos camiões de entrega seja o menor possível. Sob ponto de vista económico, o uso de mais paletes representaria custos adicionais.

Há três tipos de paletização: paletização de palete inteira, cuja altura pode chegar aos 1,90 metros; paletização de meia palete cuja altura pode chegar a 1 metro e palete dupla, que é composta por uma palete com 1,2 metros sobreposta noutra de 1,2 metros, satisfazendo assim 2,4 metros de altura. A escolha do tipo de paletização depende do pedido do cliente.

As caixas selecionadas para o estudo de paletização estão representadas no Quadro 3-1:

Quadro 3-1 - Características das caixas em estudo

Referência das Caixas	Imagem	Dimensão (categoria)	Dimensão (mm)	Massa (Kg)
R15		Pequena	300*210*110	≈4,7
P120		Média	410*270*160	≈4,9
P556		Grande	400*370*265	≈6,3




Existe uma gama enorme de caixas, cuja área da base varia entre 95*95 (mm) até 680*445 (mm) e o volume entre 95*95*65 (mm) e 590*390*300 (mm). As caixas selecionadas para a realização da parte laboratorial têm a característica comum de serem utilizadas para grandes séries de produção, ou seja, existe uma elevada frequência de utilização destas caixas a nível industrial.

Assim sendo, é importante analisar uma série de questões que se colocaram no início deste projeto, sendo que algumas delas nos surgem como grandes desafios na construção sustentada do projeto, tais como:

- É possível fazer uma paletização de forma eficiente em termos de movimentação ao nível do robô?
- Qual o tipo adequado de ferramenta de trabalho?
- Qual a limitação da ferramenta de trabalho quanto à massa das caixas?
- Haverá flexibilidade suficiente da ferramenta de trabalho caso haja uma variação de dimensão de caixas?
- Em termos de tempo, será possível competir com a paletização manual?
- Com quantas funcionárias se consegue rivalizar paletizando apenas uma palete?
- Qual a eficiência em termos de segurança e manutenção do sistema?
- Serão necessários sistemas auxiliares de apoio à paletização?
- Qual será o custo estimado do sistema?

Além disso, existem padrões de paletização bastante específicos e que poderão fugir à vulgaridade dos padrões das caixas que não foram selecionadas. Geralmente, os padrões que fogem da normalidade têm uma dificuldade acrescida, como se poderá observar em alguns padrões do Quadro 3-2.

Quadro 3-2 - Padrão de paletização das caixas em estudo

Referência das Caixas	Padrão	Nº de Caixas/Camada ou Bloco
R15		30
P120		8
P556		6

Como se pode ver, o padrão de paletização da caixa R15 tem uma disposição bastante particular, pois é possível observar três maneiras diferentes de colocação de caixas na paleta. Quanto às caixas que estão na horizontal, o seu comprimento tanto pode ficar alinhado com o comprimento da paleta (caixas do meio), como a sua largura ficar alinhada com o comprimento da paleta (caixas dos extremos). A outra maneira consiste em colocar caixas na vertical. O termo de bloco serve para designar a composição das 28 caixas na horizontal e 2 caixas na vertical, onde em cada 2 caixas horizontais

sobrepostas é colocada apenas uma na vertical. Por cada bloco é colocada uma folha de cartão, onde o bloco seguinte sofrerá sempre uma rotação de 180° , ou seja, as caixas serão dispostas da maneira inversa. Este processo designa-se de travamento, que consiste em oferecer garantias de robustez e segurança para que não haja queda de caixas da palete desde a sua paletização até ao seu destino final. Como é possível ver, este padrão tem vários detalhes, onde se destaca a disposição de caixas na vertical.

A caixa P120 tem um padrão mais simples, já que todas as caixas são colocadas da mesma maneira. Cada bloco perfaz duas camadas de 8 caixas e por cada bloco é necessário colocar uma folha de cartão de forma a ajudar no seu travamento.

Quanto à caixa P556, existe novamente um padrão invulgar, onde há rotação sucessiva de caixas para maximizar a sua área. Desse modo, é necessário que ao nível da programação haja uma diferenciação das caixas que são paletizadas de maneira diferente. Cada camada possui 6 caixas e por cada camada é colocado uma folha de cartão para ajudar no seu travamento.

4. Composição do Ambiente de Trabalho

Após a primeira análise do que se pretende com o projeto, apresenta-se agora a composição do ambiente de trabalho.

A composição do ambiente de trabalho é fundamental para a eficiência do processo de paletização. Cada sistema é implementado de forma a permitir elevada flexibilidade e simplicidade, oferecendo garantias de eficácia em qualquer situação, evitando alterações à linha principal de distribuição.

Serão apresentados os sistemas que foram desenvolvidos laboratorialmente com as características do material que permitiu a construção do sistema robótico flexível.

Os sistemas que serão apresentados não são de implementação rígida, isto é, estes sistemas são protótipos, que contêm características idênticas às existentes na unidade fabril em estudo. Contudo, em termos industriais deverão ser ajustados conforme o necessário.

4.1. Robô e Controlador

Como é possível ver na Figura 4-1, o robô utilizado no estudo laboratorial foi o robô da ABB IRB 1600-6/1.45m. Tem capacidade de manuseio máximo de 6 kg e uma repetibilidade de +/- 0.02mm. Como principais aplicações destacam-se a soldagem a arco, fundição, moldagem por injeção, manuseio de máquinas, manuseio de materiais e paletização. É um robô antropomórfico, com seis articulações e seis graus de liberdade.

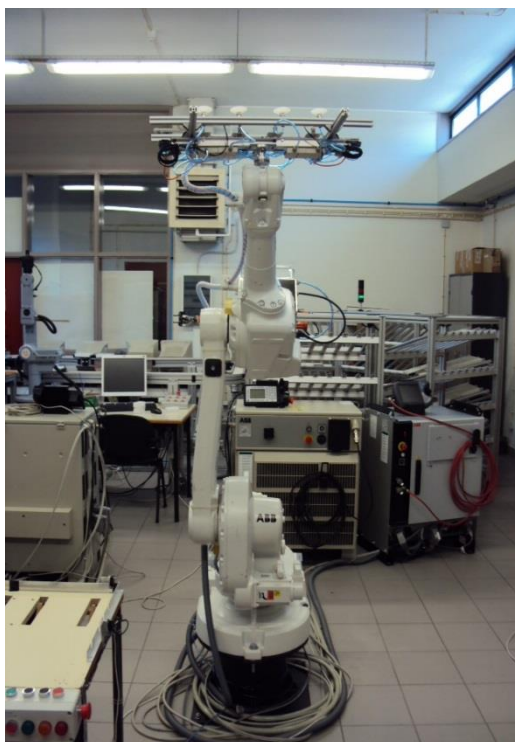


Figura 4-1 - Robô ABB IRB1600

O volume de trabalho do robô ABB IRB1600 pode ser observado na Figura 4-2. Esta análise é importante devido às limitações de movimentos ou singularidades que o robô poderá manifestar durante os ensaios laboratoriais.

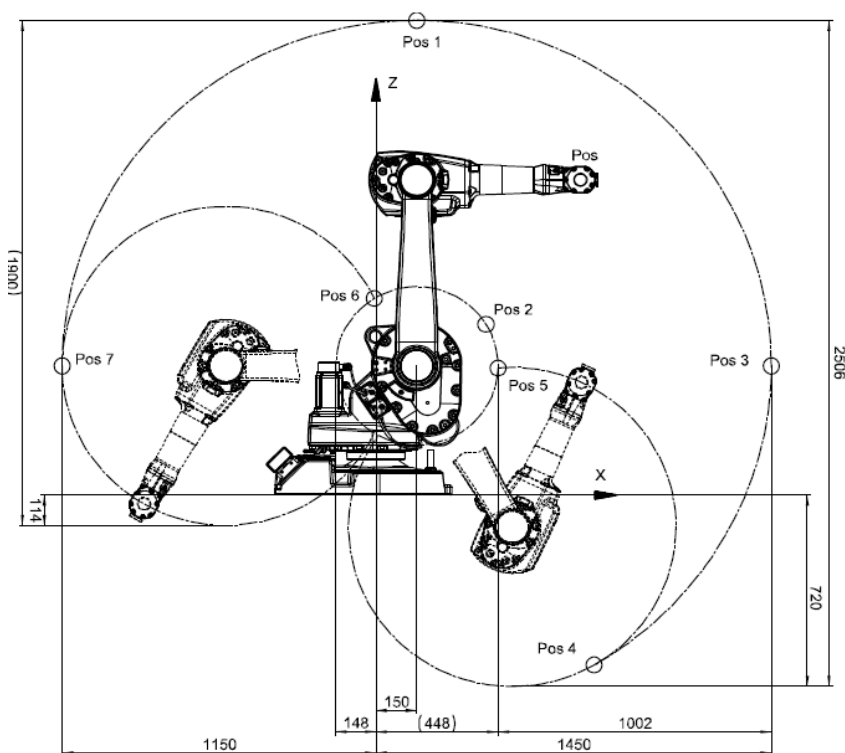


Figura 4-2 - Volume de trabalho do robô IR1600 [23]

Outra característica do robô é a possibilidade de ser montado de várias formas, como é visível na Figura 4-3. No trabalho prático, tal como numa possível implementação na fábrica da Cerútil, o robô estará posicionado no solo sem inclinação, pois não se justifica outra opção.

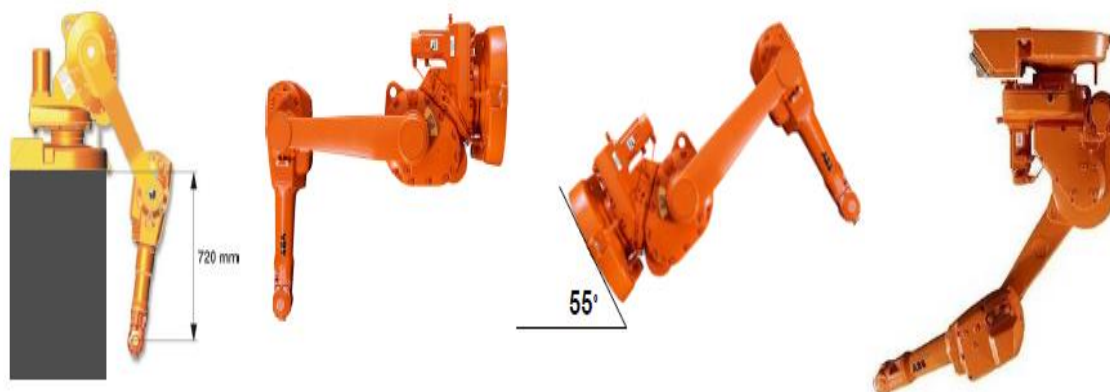


Figura 4-3 - Disposição de montagem do robô IRB1600 [24]

Outras características poderão ser consultadas no Quadro 4-1.

Quadro 4-1 - Características do robô ABB IRB 1600 [25]

Caraterísticas	Dados
Tipo	Antropomórfico
Número de eixos	6
Movimento de eixos	
Eixo 1	+180° até - 180°
Eixo 2	+150° até - 90°
Eixo 3	+65° até - 245°
Eixo 4	+200° até - 200°
Eixo 5	+115° até - 115°
Eixo 6	+400° até - 400°
Velocidade dos eixos	
Eixo 1	150°/s
Eixo 2	160°/s
Eixo 3	170°/s
Eixo 4	320°/s
Eixo 5	400°/s
Eixo 6	460°/s
Carga máxima	6 kg
Altura total	1294,5 mm
Peso	250kg
Repetibilidade	± 0,02 mm

O robô ABB IRB 1600 é comandado por um sistema eletrônico em tempo real (controlador), como está representado na Figura 4-4, que contém as funções de movimentação e controlo. O controlador IRC5 pode ter até três módulos, para garantir uma boa capacidade de operação – módulo de controlo, módulo de acionamento e módulo de processo, caso pretendido. O módulo de controlo contém placas de E/S, memória *flash* e sistemas eletrónicos de controlo como, por exemplo, o computador principal que tem capacidade de efetuar algoritmos de controlo e cálculos de trajetórias. O módulo de acionamento possui os sistemas eletrónicos de alimentação do robô. O módulo de processo é facultativo e é normalmente utilizado quando há um funcionamento entre dois a quatro robôs em simultâneo. Assim, o controlador IRC5 pode controlar até 4 robôs simultaneamente.



Figura 4-4 - Controlador IRC5

Os seus protocolos de comunicação, tais como DeviceNet, PROFINET, PROFIBUS DP, Ethernet/IP, permitem que toda a informação transmitida para o controlador seja processada em tempo real. Desse modo, toda a informação que é estruturada e processada através de um algoritmo elaborado em linguagem de programação RAPID pode ser transmitida para o controlador quando o utilizador desejar.

Este controlador possui uma interface através de uma consola tátil, a partir da qual o utilizador tem acesso a todo o tipo de configurações, históricos, entradas, saídas e principalmente ao controlo dos programas desenvolvidos para uma dada situação. Possui duas cartas lógicas, cada uma possuindo 16 entradas e 16 saídas essenciais para o correto funcionamento do sistema a implementar.

Outras características do controlador IRC5 do robô IRB1600 da ABB estão no Quadro 4-2.

Quadro 4-2 - Características do controlador IRC5 [26]

Caraterísticas do controlador IRC5	
CPU	Pentium®
Memória	256 Mb
DRAM	256 Mb
Comunicação	Porta série RS232/RS422 2 canais <i>Ethernet</i>
Entradas/Saídas	2 cartas lógicas 16 I/16 O cada
Linguagem de Programação	<i>Rapid</i>
Fonte de alimentação interna	Digital: +24VDC Analógicas: 2 x 0-10 V, 3 x ±10 V, 4x 20 mA
Peso	150 Kg

4.2. Ferramenta de Trabalho e sua composição

Como tínhamos visto anteriormente, existem três órgãos-terminais usados com mais frequência na paletização: garras, ventosas de vácuo e placas metálicas. Mediante a melhor seleção do órgão de trabalho, existirá ou não um transporte mais adequado e eficiente de caixas da esteira para a paleta. O órgão deverá ser suficientemente flexível para se adaptar à grande variedade de caixas que existe em *stock*.

O sistema por garras não seria adequado para agarrar em caixas. Quanto ao sistema por placas metálicas, seria difícil controlar a sensibilidade com que se agarrava nas caixas devido à fragilidade do material de cerâmica. Além disso, sob o ponto de vista prático, seria complicada a sua colocação na paleta, devido à abertura e fecho das placas, que seria de difícil controlo, podendo colidir com as caixas. Após esta análise, optou-se pelo órgão de trabalho com ventosas já existente no laboratório como é possível ver na Figura 4-5. Contudo foram feitas adaptações ao nível das ventosas e dos sensores, indo ao encontro das necessidades que as caixas e o algoritmo exigiam.

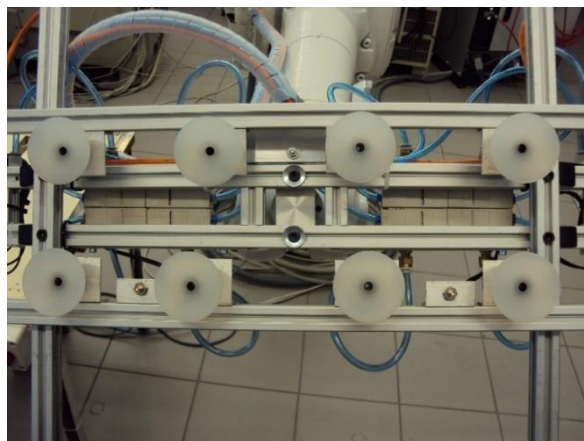


Figura 4-5 – Órgão de trabalho laboratorial

A ferramenta de trabalho utilizada no laboratório é constituída pelos elementos do Quadro 4-3:

Quadro 4-3 - Material utilizado na conceção do órgão de trabalho

Material a Utilizar	Quantidade (unidades)	Fabricante	Referências
Ventosas	8	SMC	ZPT50US-B01
Geradores de vácuo	8	SMC	ZH10BS-06-06
Sensores óticos	2	SICK	WLL160-E420
Perfis de Alumínio	-	-	-

Perfis de Alumínio

Como se pretendia uma ferramenta de trabalho flexível e de fácil manuseio, optou-se por perfis de alumínio de 15x15mm, devido ao seu baixo peso, garantia de robustez, fácil fixação de acessórios e rápida mudança de configuração do órgão, caso necessário. Como é possível ver na figura anterior, os perfis utilizados são a base de sustento das ventosas, sensores e geradores de vácuo. A sua configuração pode ter um maior ou menor espaçamento entre perfis de alumínio, consoante o desejado para a aplicação em questão, o que é bastante útil devido à elevada variedade de caixas.

Ventosas de Silicone

As ventosas de silicone côncavas disponíveis em laboratório têm um diâmetro de 50 mm e funcionam devido a um sistema de injeção de vácuo, que será apresentado mais adiante. As ventosas suportam uma massa ligeiramente superior a 15 kg, sendo por isso suficientes para suportar a massa para as caixas de grandes volumes de produção. Estas funcionam sob a definição do vácuo, ou seja, é criada uma pressão negativa que não é mais que a pressão abaixo da pressão atmosférica.

As ventosas são um acessório bastante importante no processo de paletização, pois são responsáveis pelo acoplamento, por sucção, entre órgão terminal e caixas, desde o momento do início do seu transporte (esteira) até ao seu final (paleta). Este acoplamento é resultante da confirmação da definição de vácuo.

O número de ventosas utilizadas prende-se com a dimensão das caixas utilizadas, embora seja possível aumentar ou diminuir o seu número conforme seja necessário. As posições das ventosas no perfil de alumínio são facilmente alteradas, caso o sistema justifique outro tipo de conjugação de ventosas.

As características das ventosas utilizadas estão descritas no Quadro 4-4.

Quadro 4-4 - Características das ventosas [27]

Caraterísticas das Ventosas	
Diâmetro	50 mm
Tipo de Ventosa	Tipo plana
Forma da Ventosa	Côncava
Material	Silicone
Conexão da Ventosa	Rosca fêmea 1/8

Geradores de Vácuo

Os geradores de vácuo, que podem ser visualizados na Figura 4-6, foram disponibilizados laboratorialmente e têm como principais características o seu baixo tempo de resposta e a sua leveza, para além de serem compactos, levando a uma fácil instalação no perfil de alumínio.



Figura 4-6 - Geradores de Vácuo

O vácuo chega às ventosas de silicone devido aos geradores de vácuo que provam o efeito de Venturi. Este efeito é explicado pelo Princípio de Bernoulli, pois quando há uma diminuição de secção de um fluido num tubo, a velocidade tende a aumentar. No nosso caso, há uma redução na área onde o ar comprimido está a circular, aumentando a velocidade com que este se desloca, gerando uma depressão no ponto de maior velocidade, onde será instalado o gerador de vácuo.

Outra característica é a curta distância entre gerador e ventosas. A opção de implementação de um gerador de vácuo por cada ventosa deveu-se à garantia das mesmas condições de pressão para cada ventosa. Assim sendo, evitam-se diferenças de pressão que poderiam prejudicar o bom transporte de caixas e levar à sua queda, pois a força de sucção em algumas ventosas poderia ser menor que o necessário.

As características dos geradores de vácuo apresentam-se no Quadro 4-5.

Quadro 4-5 - Características dos geradores de vácuo [28]

Caraterísticas do gerador de vácuo	
Diâmetro de Venturi	1 mm
Tipo de corpo	Tipo caixa (inclui silenciador)
Pressão máx. de vácuo	48 kPa
Caudal máx. de sucção	24 l/min
Consumo de ar	46l/min
Conexão	Alimentação: Rosca $\varnothing 6 \frac{1}{8}$
	Vácuo: Rosca $\varnothing 6 \frac{1}{8}$
Peso	33 g

Sensores óticos

Foram disponibilizados dois sensores óticos com fibra ótica, como é visível na Figura 4-7, que posteriormente foram colocados no órgão terminal, cujo robô poderá ser programado em virtude de saber quando há queda de caixas no percurso esteira-paleta. A sua fácil integração no perfil de alumínio devido às pequenas dimensões da cabeça do sensor, o seu alcance e o tempo de resposta rápida são motivos que levaram à sua utilização, ao invés de um sensor fotoelétrico, por exemplo.



Figura 4-7 - Sensor ótico com fibra ótica

Estes sensores são constituídos pelo amplificador e a cabeça do sensor que, através do princípio da fibra ótica, comunicam entre si. O amplificador é composto pelo emissor e pelo recetor. Ou seja, cada filamento do cabo de fibra ótica do sensor é formado por um núcleo composto por sílica ou materiais poliméricos com capacidade de transmitir e receber informação através de um feixe de luz.

Assim sendo, o emissor transmite um feixe de luz com alto índice de refração, que é propagado até à cabeça do sensor, onde será emitido para o ambiente de trabalho. Quando encontrar uma superfície, que no nosso caso será a superfície de uma caixa, haverá o retorno desse feixe para o meio de onde se estava a propagar, até chegar ao recetor. Desse modo, quando o recetor deixar de receber o retorno do feixe significa que uma caixa caiu durante a sua transição.

Foram utilizados apenas dois sensores óticos que garantem a supervisão de queda de caixas. Os sensores foram fixados através de placas de fixação no perfil de alumínio. Essas placas permitem colocar os sensores onde seja necessário. Assim sendo, foram colocados dois sensores, como é observável na Figura 4-5, no mesmo perfil de alumínio, devido a uma situação que será explicada mais adiante. Contudo, poderiam ser utilizados quatro sensores, caso se pretenda garantir que não haja movimentação de caixas durante o seu transporte.

As características que este sensor possui estão apresentadas no Quadro 4-6.

Quadro 4-6 - Características dos sensores óticos com fibra ótica [29]

Caraterísticas dos sensores óticos com fibra ótica	
Referência do cabo	LL3-DB01
Fonte de luz	LED
Tipo de luz	Luz vermelha
Comutação de saída	NPN com coletor aberto

4.2.1. Teste Complementar à Ferramenta de Trabalho

Após a concepção da ferramenta de trabalho, era importante saber qual a massa que ela suporta durante o transporte de caixas, pois, como foi referido anteriormente, o robô tem apenas capacidade de carga de 6 kg. Esta informação é importante na análise da limitação de massa que o órgão terminal consegue suportar até haver quedas de caixas no seu transporte.

Sabe-se que no passado foi testada a capacidade das ventosas e da ferramenta de trabalho para ensaios realizados em condições idênticas às atuais. Como podemos ver no Quadro 4-7, os ensaios foram realizados para massas diferentes.

Quadro 4-7 - Ensaios realizados com a ferramenta de trabalho [11]

Testes realizados ao conjunto ferramenta de trabalho e caixa com peso	
Massa	Resultado
12 Kg	A ferramenta suporta o peso da caixa com facilidade durante bastante tempo e quando sujeita a grandes movimentações, tanto as ventosas a provocar vácuo como a estrutura da ferramenta, dão segurança para que a caixa não caia.
13.5 Kg	Verificam-se as condições para 12 Kg, apesar de termos tido um ligeiro aumento de peso.
15 Kg	Igual para 12 e 13.5 Kg.
17 Kg	Para este peso, a ferramenta consegue suportar a caixa durante muito tempo, mas se submetida a grandes agitações, o vácuo criado nas ventosas deixa de ser suficiente e a ferramenta deixa cair a caixa.
18 Kg	Semelhante aos 17 Kg por caixa.

Como é possível analisar, a massa máxima que a ferramenta de trabalho garante para o transporte de caixas em movimento e em segurança é até aos 15kg. A partir dos 15kg há possibilidade de queda intempestiva de caixas durante o seu transporte.

A massa máxima registada na gama de peças de cerâmica a inserir nas caixas disponíveis, na empresa, foi de 18.5 kg. Apenas se registam em 6 caixas massas acima dos 15 kg. Estas 6 caixas têm como característica comum o facto de não serem caixas de paletização para grandes séries de produção.

Caso se pretenda fazer a paletização da totalidade das caixas, deverão ser seleccionadas outras ventosas que se ajustem à carga máxima das caixas a paletizar. Caso se pretenda apenas fazer a paletização de caixas para grandes séries de produção, então a ferramenta utilizada nos ensaios é adequada ao nível industrial.

4.3. Esteira e seus componentes

É aqui o fim de percurso das caixas. Quando estas chegam ao término da esteira, são transportadas para a palete. Assim, é necessário garantir que todas as caixas chegam ao fim da esteira e que ficam na mesma área, pois, em termos práticos, toda a programação é apenas eficiente se as caixas estiverem sempre na mesma zona.

Na Figura 4-8 apresenta-se a esteira improvisada usada laboratorialmente, onde já se encontrava disponível. Foram feitas alterações ao nível da disposição dos sensores, para que todas as situações de incorreta paletização sejam salvaguardadas. Quanto à botoneira, foram executadas as adaptações que o algoritmo exigia. A mesa foi alterada de modo a simular aspetos importantes, tais como, os intervalos entre roldanas que existem na esteira industrial, abrindo-se assim 4 espaçamentos na mesa. Estes pormenores serão melhor explicitados no decurso do documento.

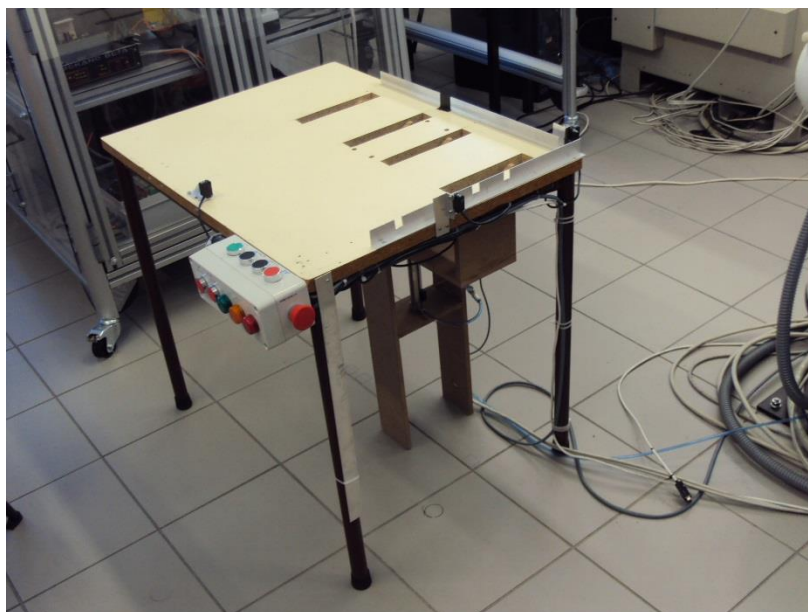


Figura 4-8 - Esteira laboratorial

A esteira laboratorial utiliza os materiais apresentados no Quadro 4-8.

Quadro 4-8 - Material utilizado na concepção da esteira laboratorial

Material a Utilizar	Quantidade (unidades)	Fabricante	Referências
Sensores óticos	3	Omrom	E3Z-D82-G2SHW-05

Sensores óticos

Como é possível observar na Figura 4-9, são disponibilizados três sensores para garantir a presença e o correto posicionamento das caixas no momento do acoplamento de caixas pelo robô. A liberdade de colocação destes sensores no tapete e o seu preço reduzido foram outros motivos da sua utilização, ao invés dos sensores óticos de fibra ótica, por exemplo.



Figura 4-9 - Sensor ótico

Estes sensores utilizam um sistema por difusão, onde o transmissor e o recetor são montados no mesmo dispositivo. Através de um sistema de difusão, os sensores detetam divergências de iluminação. Quando é detetado um objeto, existe uma reflexão do feixe de luz que é emitido do transmissor para o recetor, ficando o sensor a 'um'. Quando não há reflexão do feixe, quer dizer que não há presença de caixas e o sensor fica a 'zero'. O funcionamento deste sensor está ilustrado na Figura 4-10.

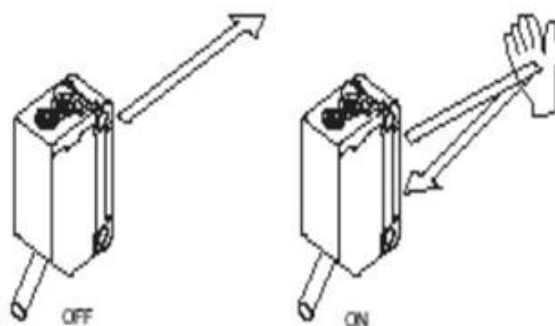


Figura 4-10 - Funcionamento do sistema por difusão [30]

As características deste sensor estão no Quadro 4-9.

Quadro 4-9 - Características dos sensores óticos [31]

Caraterísticas dos sensores óticos	
Tipo de deteção	Reflexão difusa
Forma de saída	Saída PNP
Distância de deteção	1 m
Funções adicionais	Comutação da intensidade da luz
Fonte de luz	Luz infravermelhos
Método de ligação	Pré-cablado 0,5 m
Tipo de sensor	Conjunto emissor recetor/emissor Retro-refletor

4.4. Sistema de Paletes e sua composição

O sistema de paletes, que serve como base de sustentação das paletes, tem como principal função a verificação da correta colocação de paletes. Este sistema de paletes é flexível e robusto para qualquer tipo de paletes, pois existe a possibilidade de regulação dos perfis de alumínio consoante a paleta desejada. Para uma boa programação e um bom funcionamento do processo de paletização é necessário garantir a presença de paleta, bem como a sua correta colocação.

O sistema de paletes visível na Figura 4-11, já se encontrava disponível laboratorialmente. Não foi necessária fazer nenhuma adaptação, pois salvaguardava uma paletização eficiente e segura.



Figura 4-11 - Sistema de paletes

O material utilizado para a construção deste sistema está no Quadro 4-10.

Quadro 4-10 - Material utilizado na concepção do sistema de paletes

Material a Utilizar	Quantidade (unidades)	Fabricante	Referências
Sensores de Contato	4	Omron	D4B-4116N
Perfis de Alumínio	-	-	-

Sensores de Contacto

Para a construção do sistema de paletes foram disponibilizados quatro sensores de contato, cada um deles auferindo de um género de alavanca, como é possível ver na Figura 4-12. Caso a alavanca seja pressionada, exercer-se-á uma força contrária à da alavanca que irá ativar o sensor, indicando a presença de algo; caso não seja pressionada, não será ativado nenhum sensor, indicando que não há presença de nenhum material. As vantagens do seu uso são o seu baixo custo, a fácil instalação e a fácil compreensão do seu funcionamento.



Figura 4-12 - Sensor de contacto

Cada um dos sensores foi colocado numa zona próxima de cada vértice da paleta, garantindo-se, deste modo, a presença da paleta e a sua boa colocação. É essencial haver a garantia da boa colocação da paleta, pois seria prejudicial se as caixas fossem incorretamente pousadas, dando origem a uma má paletização, podendo ainda danificar o material de cerâmica inserido nas caixas.

As características deste tipo de sensores podem ser vistas no Quadro 4-11.

Quadro 4-11 - Características dos sensores de contato [32]

Caraterísticas dos sensores de contato	
Durabilidade	Mecânica: + 30 000 000 operações (ação rápida) + 10 000 000 operações (ação lenta) Elétrica: + 500 000 operações (250 VAC, 10A de carga resistiva)
Velocidade de funcionamento	1 mm/s a 0,5mm/s
Frequência de funcionamento	Mecânica: 120 operações/min Elétrica: 30 operações/min
Peso	250 g

4.5. Plataforma Elevatória e seus componentes

Na Figura 4-13 está representada a plataforma elevatória de caixas, essencial para a paletização de caixas na vertical. Esta plataforma foi um protótipo desenvolvido durante os ensaios da parte prática da dissertação.

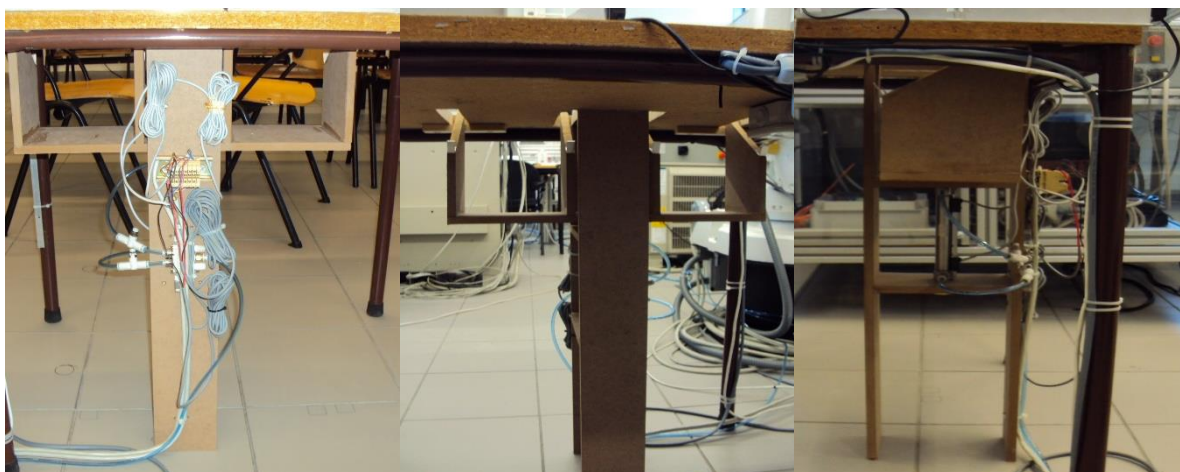


Figura 4-13 - Vários pontos de vista da Plataforma Elevatória

O material utilizado para a construção da plataforma de ascensão está apresentado no Quadro 4-12.

Quadro 4-12 - Material utilizado na concepção da Plataforma Elevatória

Material Utilizado	Quantidade (uni)	Fabricante	Referências
Cilindro Pneumático	1	SMC	CD85N20-100-A
Sensores 'reed switch'	2	SMC	D-A73
Válvula pneumática 5/2	1	SMC	SY5320-5LOU-C6F-Q
Válvulas de regulação de caudal	2	SMC	AS2002F-06
Madeira	-	-	-

A necessidade de paletizar caixas na vertical deve-se à disposição das caixas vindas do sistema de selagem, que inviabiliza que elas venham diretamente do tapete rolante na vertical. Além disso, as tentativas frustradas para resolver o problema apenas com movimentos executados pelo robô são as razões pela concepção deste mecanismo essencial para colocar as caixas na vertical e que sejam corretamente paletizadas. As tentativas de paletização através de movimentos executados pelo robô e o funcionamento da plataforma serão explicitados seguidamente.

Foram realizadas tentativas sucessivas de modo que o órgão terminal colocasse as caixas na vertical, visto que elas vêm sempre na mesma posição (horizontal), devido ao sistema de selagem. Infelizmente, não se conseguiu obter resultados satisfatórios. Uma das vantagens dos perfis de alumínio, como foi referido anteriormente, é a sua capacidade para alargar ou minimizar a distância entre ventosas. No entanto, isso torna-se inviável quando é necessário paletizar caixas na vertical. O processo que envolvia o levantamento das caixas na horizontal e colocando-as na vertical, tinha o risco do órgão de trabalho colidir com a esteira.

Uma das soluções testadas consistia em que as ventosas dos dois perfis de alumínio pegassem nas caixas na horizontal e as colocassem na posição vertical e de seguida seriam transportadas apenas com as ventosas de um perfil. Esta solução levava a problemas de precisão de movimentos. A falta de garantia da colocação das caixas na vertical na mesma área levaria a colisões das caixas verticais com outras caixas na paleta.

Outra tentativa de solução foi a programação de um movimento circular de 90°, solução que também não se mostrou viável, pela impossibilidade de efetuar um movimento circular linear perfeito devido aos movimentos indesejados das articulações do robô.

Por último, tentou-se fixar alguns pontos de forma a efetuar esse mesmo movimento circular. Uma vez mais houve problemas de movimentos que, aliados à previsão da massa das caixas, levaria à danificação do material de cerâmica.

Perante a inviabilidade da resolução do problema com o órgão de trabalho, concebeu-se o protótipo de um sistema de elevação de caixas. O funcionamento deste sistema consiste na elevação de uma plataforma através de um cilindro pneumático. Esta plataforma tem quatro 'facas', como é possível ver na Figura 4-14, uma vez que a esteira instalada na fábrica tem um intervalo entre os cilindros que permite que esta solução seja possível. As facas têm aproximadamente 52°, pois é necessário que elas deslizem até uma referência, que neste caso serão umas articulações de metal. Esta solução apresenta uma vantagem: com a subida das 'facas', existe um bloqueamento da descida das caixas vindas do tapete e assim não haverá nenhuma interferência. Nas soluções anteriores, este problema poderia suceder.

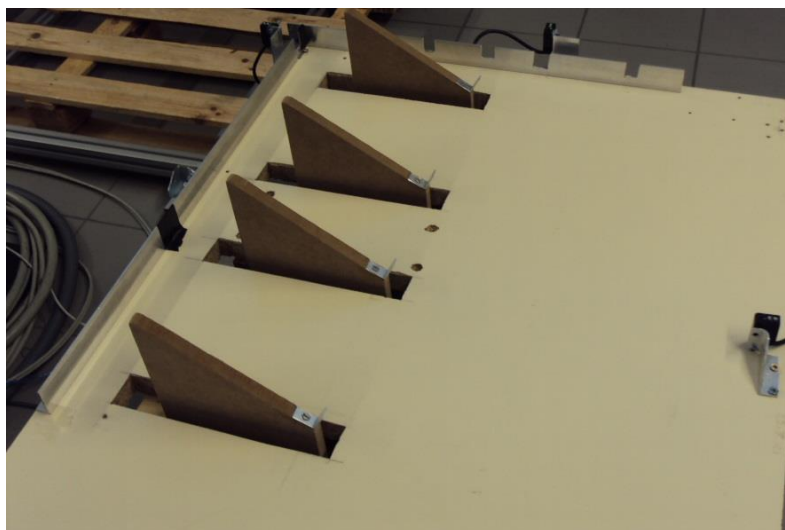


Figura 4-14 - 'Facas' da Plataforma de Ascensão

Este sistema será responsável por levar duas caixas verticais R15 de cada vez para a palete e daí os sensores óticos terem sido colocados no mesmo perfil de alumínio. É apenas necessário um perfil de ventosas para levar o par de caixas verticais até à palete. Cada sensor implementado na ferramenta de trabalho 'vigia' o transporte de uma caixa.

O protótipo foi idealizado para que no futuro seja compatível com todo o tipo de caixas, embora a sua flexibilidade e robustez possa ser facilmente melhorada.

Cilindro Pneumático

Para fazer a ascensão da plataforma foi necessário utilizar um cilindro pneumático, embora este sistema também pudesse ser idealizado com dois cilindros, por exemplo. O cilindro utilizado está apresentado na Figura 4-15. Desta forma, é garantida a eficácia e a simplicidade de processos na ascensão/descida.



Figura 4-15 - Cilindro Pneumático

Estes cilindros são de dupla ação, ou seja, recebem ar comprimido em ambos os lados. Assim, tanto realizam trabalho no avanço como no recuo, sem necessidade de molas.

Conforme a programação do sistema, quando for ordenado o avanço da haste, culminará na ascensão da plataforma, tal como no recuo, que culminará na descida da plataforma.

Sabendo que a haste do cilindro roda no eixo de fixação, foi construído um reforço de madeira no primeiro e último rasgo, de modo a que a haste não se movimente. A situação dos dois cilindros também foi ponderada, pois os movimentos de rotação da haste anular-se-iam, tendo assim uma subida sem movimentação da plataforma.

As características do cilindro pneumático estão apresentadas no Quadro 4-13.

Quadro 4-13 - Características do cilindro pneumático [33]

Caraterísticas do cilindro pneumático	
Tipo de efeito	Duplo
Tipo de haste	Simples
Tipo de cilindro	Frisado
Diâmetro	12 mm
Em conformidade com norma ISO6432 e CETOP RP52P	

Sensores *reed switch*

Foram utilizados dois sensores *reed switch*, idênticos ao da Figura 4-16, visto que o cilindro é de duplo efeito, e foi usado um sensor em cada uma das extremidades.

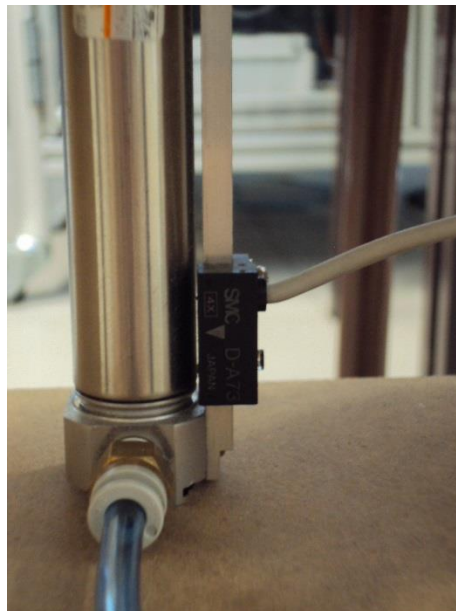


Figura 4-16 - Sensor *reed switch*

O seu funcionamento é diferente dos sensores anteriormente apresentados, pois comportam-se como sensores de proximidade. Estes dispositivos funcionam como interruptores, que são acionados ou não por um campo magnético, devido a um íman

permanente montado no pistão. Isto é, com a aproximação do pistão ou não, o campo magnético do interruptor é fechado ou não. Caso o interruptor se feche, é produzido um sinal, que conforme o movimento da haste será interpretado como recuo ou avanço.

O seu uso nas extremidades prende-se com o facto de a haste fazer um avanço e recuo completo. Conforme a programação efetuada, é possível detetar problemas no cilindro pneumático com o auxílio destes sensores.

As informações relativas aos sensores encontram-se no Quadro 4-14.

Quadro 4-14 - Características do sensor *reed switch* [34]

Caraterísticas do sensor <i>reed switch</i>	
Estilo de corpo	Retangular
Tipo de montagem	Rail
Tipo de sensor	Proximidade
Fonte de alimentação	24 VDC, 100 VAC
Fio de entrada	Vertical

Válvula pneumática 5/2

Na Figura 4-17 está representada uma válvula pneumática 5/2 utilizada na construção da plataforma. O uso desta válvula deve-se ao fato de ser a adequada no controlo em cilindros de duplo efeito.



Figura 4-17 - Válvula pneumática 5/2

Esta válvula pneumática é designada por 5/2, pois possui 5 orifícios e 2 estados. Os estados correspondem à quantidade de manobras diferentes que a válvula pode efetuar no seu acionamento. Nesse caso, o seu acionamento, que pode ser programado, permite a passagem ou não de ar comprimido.

Na Figura 4-18, no estado da esquerda, vemos que os orifícios 1 e 2 têm entrada de ar comprimido, enquanto orifício 4 está à espera do retorno do ar comprimido e os orifícios 3 e 5 são de escape. No estado da direita, os orifícios 1 e 4 têm entrada de ar

comprimido, enquanto o orifício 2 está à espera do retorno do ar comprimido e os orifícios 3 e 5 são um escape.

Dois estados:

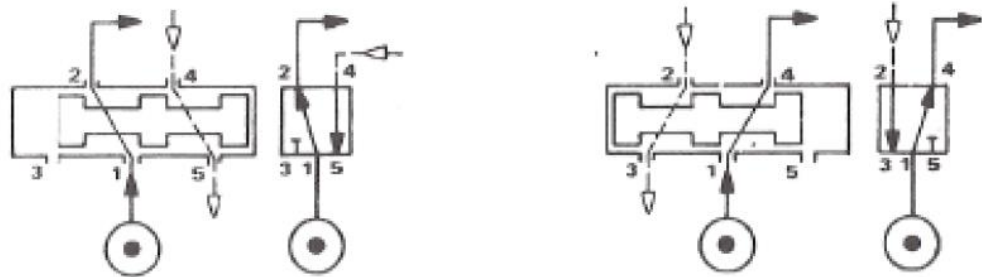


Figura 4-18 - Estados da válvula pneumática 5/2

Perante isto, é necessário dizer que o orifício 1 é o orifício principal de entrada de ar comprimido. Os orifícios 2 e 4 são responsáveis pela ordem de recuo ou avanço da haste do cilindro, isto é, a variação do estado da válvula permite o avanço ou recuo da haste.

Para um funcionamento melhorado do nosso sistema, os orifícios 3 e 5 que são de escape no nosso caso estão selados, pois não se pretende ter fugas de ar comprimido.

As características da válvula pneumática estão representadas no Quadro 4-15.

Quadro 4-15 - Características da válvula pneumática [35][36]

Caraterísticas da válvula pneumática	
Nº de estados	2
Nº de orifícios	5
Tipo de válvula	Solenóide
Fonte de alimentação	24 VDC
Peso	110g

Válvulas de regulação de caudal

Foram utilizadas duas válvulas de regulação de caudal, que foram colocadas após os orifícios 2 e 4. Pode-se observar na Figura 4-19 o tipo de válvulas utilizadas no projeto.



Figura 4-19 - Válvula de regulação de caudal

Estas válvulas têm como função a regulação do ar comprimido que sai dos orifícios 2 e 4. Conforme a pretensão do utilizador é regulada a maior ou menor passagem de ar comprimido. Em termos físicos poderá ser exprimido na maior ou menor velocidade de uma determinada aplicação.

A utilização destes dispositivos tem como principais motivos a manutenção e o controlo da velocidade de ascensão e descida do sistema de ascensão. Como foi testado em laboratório, a velocidade de subida e descida era exagerada, o que levaria a uma degradação/danificação da plataforma elevatória ao longo do tempo devido aos impactos violentos que sofria na descida da plataforma.

As características das válvulas estão descritas no Quadro 4-16.

Quadro 4-16 - Características das válvulas de regulação de caudal [37]

Caraterísticas das válvulas de regulação de caudal	
Pressão máxima	1MPa
Tubo aplicável	<i>Nylon, nylon macio, poliuretano</i>
Tamanho do corpo	M3, M5
Peso	10g

5. Exposição da Proposta de Solução

5.1. Interface Robótica - Hardware

Após a descrição detalhada do material utilizado para a realização do projeto é necessário que haja uma interação em tempo real de todos os sistemas apresentados através do robô e do seu controlador. Estes sistemas têm como característica a rápida resposta e a eficiência em qualquer ação que seja necessária para a programação do nosso sistema.

As entradas e saídas digitais que se encontram no controlador do robô apresentam-se no Quadro 5-1 e Quadro 5-2.

Quadro 5-1 - Entradas digitais do controlador

Entradas Digitais	
Posição no Robô	Resumo da função
DI10_1	Verificar a pressão do ar comprimido
DI10_4	Sensor ótico que deteta presença/queda da caixa número 1
DI10_5	Sensor ótico que deteta presença/queda da caixa número 2
DI10_6	Botão "Manutenção"
DI10_7	Botão "Ventosa ON/OFF"
DI10_9	Sensor ótico da caixa número 1
DI10_10	Sensor de contato que deteta a presença da palete número 1
DI10_11	Sensor de contato que deteta a presença da palete número 2

DI10_12	Sensor de contato que deteta a presença da paleta número 3
DI10_13	Sensor de contato que deteta a presença da paleta número 4
DI10_14	Botão "Fim Paleta"
DI10_15	Botão "Fim Caixa"
DI10_16	Botão "Emergência"
DI11_1	Botão "Stop"
DI11_2	Botão "Start"
DI11_3	Sensor ótico deteta irregularidades da caixa
DI11_5	Sensor ótico da caixa número 2
DI11_6	Sensor deteta haste no recuo
DI11_7	Sensor deteta haste no avanço

Quadro 5-2 - Saídas digitais do controlador

Saídas	
Posição no Robô	Resumo da função
DO10_2	Desativa Electroválvula 1
DO10_3	Ativa Electroválvula 2
DO10_4	Desativa Electroválvula 2
DO10_5	Ativa Electroválvula 3
DO10_6	Desativa Electroválvula 3
DO10_7	Ativa Electroválvula 4
DO10_8	Desativa Electroválvula 4
DO10_9	Luz Vermelha
DO10_10	Luz Laranja
DO10_11	Luz Verde
DO10_12	Ativa Electroválvula 1
DO10_13	Ativa Electroválvula da Plataforma
DO10_14	Desativa Electroválvula da Plataforma

5.2. Descrição da Proposta de Solução – Algoritmo

5.2.1. Introdução

O algoritmo desenvolvido foi programado em linguagem RAPID, uma linguagem de alto nível semelhante à linguagem Pascal e específica para programação de robôs ABB.

Todo o processo de programação foi desenvolvido no sentido de se ter uma aplicação simples, onde houvesse facilidade de escolha de caixas a paletizar. Sabendo que os futuros utilizadores do robô poderão ser não qualificados, todos os processos e menus a programar deverão ser o mais simples possível, de modo a que haja harmonia entre operador e dispositivo tátil. O sistema de paletização deverá ter mecanismos que detete e informe das irregularidades que possam existir nos sistemas apresentados anteriormente. Também devem ser criadas ferramentas que possibilitem o armazenamento de dados para uma análise posterior, como por exemplo, o armazenamento de tempos de paletização, ou informação relativa aos problemas que possam suceder.

5.2.2. Menu Principal

O menu principal está representado na Figura 5-1 e oferece um leque de opções que permite ao utilizador fazer a escolha ideal para o momento.

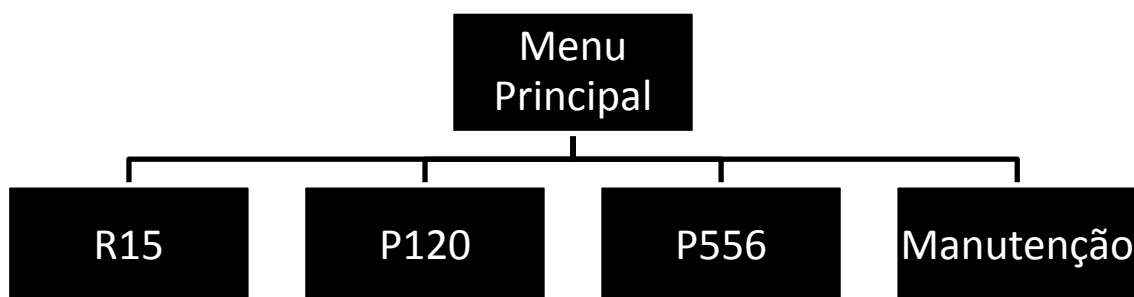


Figura 5-1 - Fluxograma do menu principal

Como é possível verificar, o menu permite ao utilizador fazer a escolha da caixa a paletizar, ou então, caso seja necessário, permite que o operador faça manutenção à ferramenta de trabalho sempre que necessário.

5.2.3. Menus de Configuração de Paletização

Para haver uma boa paletização é necessário fazer a escolha de palete para a situação indicada, é necessário a inserção correta das medidas (comprimento, largura, altura) das caixas, a altura máxima que se deseja paletizar e também o número de folhas separadoras necessárias que ajuda no travamento. Assim, podemos observar na Figura 5-2, onde podemos visualizar os passos seguintes após a escolha da caixa.



Figura 5-2 - Fluxograma dos menus do operador

Como é possível analisar, independentemente da caixa que queiramos paletizar, todo o processo de configuração da paleta segue o mesmo percurso. Também é necessário fazer a seleção do tipo de paleta, ou seja, é feita a escolha entre paleta de madeira ou europaleta.

Após seleção de paleta, será necessário introduzir as medidas da caixa escolhida. Estas medidas são bastante importantes, pois isso é fundamental para os *offsets* que não são mais que a deslocação de pontos em relação a um ponto fixo. A partir de uma caixa

colocada, as restantes serão programadas em função do ponto de fixação dessa caixa. A má inserção das medidas da caixa resultará num afastamento indesejado de caixas ou na colisão de caixas, conforme a medida inserida seja superior ou inferior, respetivamente. É de realçar que estas medidas podiam ser pré-definidas sem necessidade de inserir as medidas dimensionais, caso se paletizassem apenas estas 3 caixas. A possibilidade de haver caixas que se enquadrem com estes padrões foi o motivo da colocação dos menus de inserção de medidas das caixas.

De seguida, aparecerá o menu com a altura de paletização. Trata-se de um menu fundamental, pois é ele que determina até que limite de altura poderá haver no transporte de caixas para a palete. Como laboratorialmente é impossível fazer uma palete completa devido à incapacidade física do robô e existem dificuldades em fazer meia palete, com base na altura da caixa em questão, o menu exige a altura total correspondente às camadas ou blocos a paletizar.

Em último lugar, aparece o menu do número de folhas separadoras que desejamos. Este menu, em termos industriais, poderia ser configurado para a altura de um bloco de folhas separadoras, mas ao nível laboratorial, isso não se verifica devido ao baixo número de folhas. Deste modo, há uma maior facilidade de controlo de altura das folhas através do seu número.

O fluxograma completo pode ser observado na Figura 5-3, onde se podem ver todos os passos envolventes à configuração dos parâmetros das variáveis iniciais, ou seja, desde a escolha da caixa ou manutenção até ao número das folhas separadoras. Qualquer dos passos envolvidos pode ser interrompido a qualquer momento pelo botão de stop da consola tátil, quando o operador insere os dados de paletização. Após a correta inserção dos parâmetros iniciais será iniciada a paletização da caixa escolhida inicialmente.

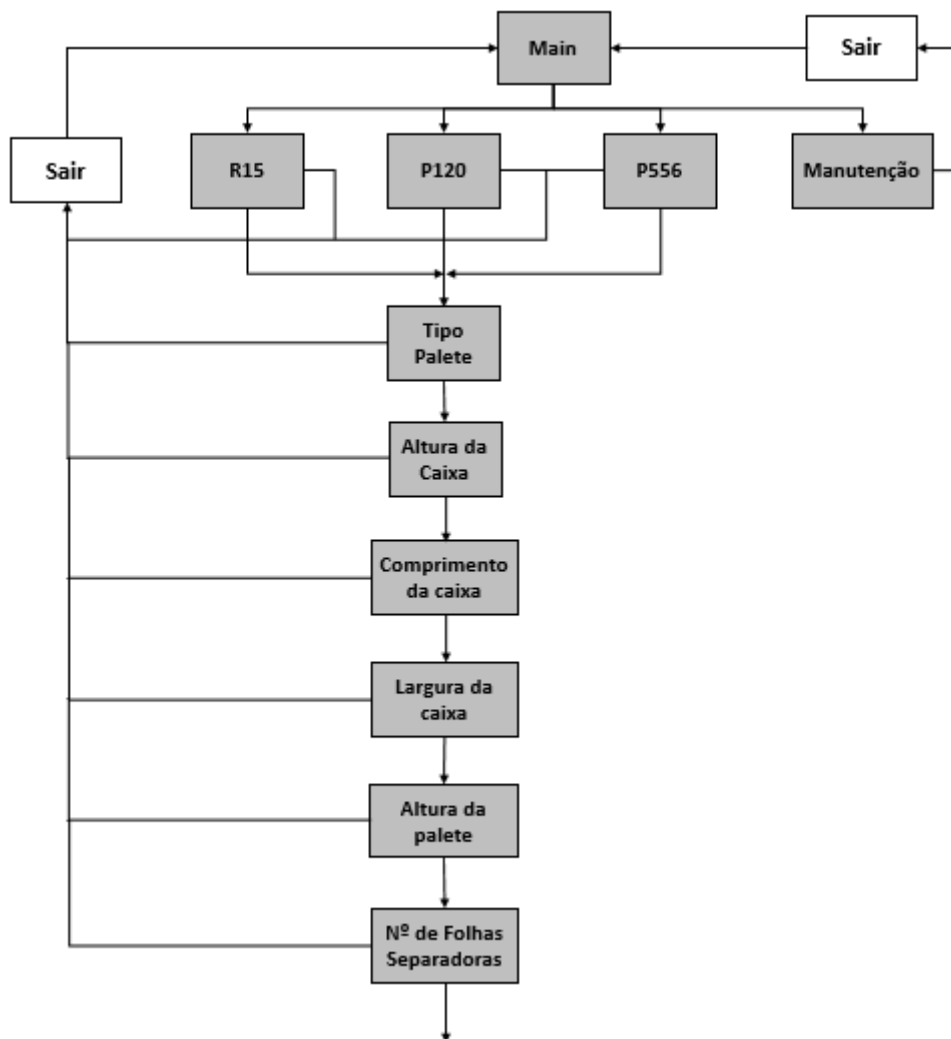


Figura 5-3 - Fluxograma do Algoritmo

5.2.4. Sistema de Botões e Luzes

Na Figura 5-4 está representado o sistema de botões e luzes, que já se encontrava concebido e instalado na esteira. Assim sendo, foram executadas as adaptações necessárias para que as funções da botoneira abranjam todas as situações que possam ocorrer durante a paletização e sejam facilmente resolvidas pelo operador, como é possível ver no Quadro 5-3. A implementação destes sistemas torna a paletização mais automática e simples. Além disso, tem um carácter informativo para o operador, devido ao sistema de luzes que informa a laboração ou a paragem do processo de paletização.



Figura 5-4 - Sistema de botões e luzes

As funções da grande maioria dos botões configurados estão relacionadas com as irregularidades que possam ocorrer durante o empilhamento de caixas. Além disso, o sistema de luzes está diretamente relacionado com as funções dos botões.

O Quadro 5-3 apresenta as funções dos botões (apresentados e numerados na Figura 5-4) e a alteração dos estados de luz, quando solicitada a intervenção deste sistema.

Quadro 5-3 - Função dos botões e transição do sistema de luzes

Botão	Função	Luzes ativadas (Transição)
Manutenção (1)	Devolve ferramenta de trabalho à posição de HOME	Verde -> Amarela
Ventosas (2)	Quando problema de caixas no tapete, a ferramenta de trabalho vai para um ponto de segurança	Verde -> Vermelha
Stop (3)	Suspende processo de transporte de caixas	Verde -> Vermelha
OK! (4)	Retoma a paletização	Vermelha -> Verde
Fim Palete (5)	Ao fim da palete a paletizar acaba paletização	Verde -> Vermelha
Fim Caixa (6)	Ao fim da caixa a paletizar acaba paletização	Verde -> Vermelha
Emergência (7)	Interrompe processo de transporte de caixas	Verde -> Vermelha

No menu principal, quando escolhida a opção 'Manutenção' e após os ajustes necessários à ferramenta de trabalho, o operador deverá premir o botão 'Manutenção' para que a ferramenta volte à posição de origem, estando o sistema pronto para operar novamente.

Como definição de premir, entende-se como o acionamento dos botões do Quadro 5-3 num intervalo de tempo superior a 0,5 segundos.

Alguns destes botões funcionam em conjunto, como por exemplo, quando existe um problema de caixas no tapete. Nesse caso, é necessário que o operador prima¹ o botão ‘Ventosas’, que suspende a emissão de ar comprimido das ventosas até que a ferramenta de trabalho chegue à zona de segurança, permitindo a correta posição das caixas no tapete pelo operador. Quando houver um correto posicionamento das caixas, nesse momento o operador deve premir o botão ‘OK!’ para continuar a paletização. Outro caso é quando se verifica alguma irregularidade e é necessário suspender o transporte de caixas. Nesse caso é premido o botão ‘Stop’, até o operador verificar que todas condições estão reunidas para retomar a paletização, premindo depois o botão ‘Ok!’.

O programa tem mais duas opções em termos de paletização, que são os botões ‘Fim Palete’ e ‘Fim Caixa’. Como temos um ciclo contínuo de paletização devido à paletização de grandes séries de caixas, durante a paletização da última palete o botão ‘Fim Palete’ deve ser premido de forma a interromper a paletização que vinha a ser feita até aí. Quanto ao botão ‘Fim Caixa’, é essencial quando não temos uma palete completa, interrompendo a paletização no fim da última caixa a paletizar. Em pequenas séries de caixas poderá ser uma ferramenta útil, devido ao seu reduzido número de caixas. A paletização para paletes incompletas é idêntica à paletização de uma palete completa. O objetivo de maximizar a área da palete preenchida por caixas e o menor volume de caixas possível, tal como era executado nas paletes completas, garante que haja a melhor paletização nestas situações.

Por último, o botão ‘Emergência’ é essencial em situações de urgência, como por exemplo acidentes de trabalho, sismos, incêndios, nas quais é necessário haver uma interrupção instantânea do processo de transporte de caixas.

O dispositivo de luzes tem um carácter informativo, pois sempre que a paletização decorra dentro da normalidade estará acesa a luz verde. Quando há manutenção da ferramenta de trabalho estará acesa a luz laranja. Quando há uma irregularidade ou uma suspensão de processos de paletização estará acesa a luz vermelha.

5.2.5. Alarmes e Sensores

Em prol de uma paletização eficiente e segura, os sensores implementados em todos os sistemas apresentados anteriormente deverão garantir que em qualquer caso em que as condições impostas não estejam asseguradas, haja uma suspensão de processos até que estejam reunidas as condições necessárias para retomar a paletização. Também existem mecanismos que asseguram a emissão da informação da causa da suspensão de processos.

Os possíveis alarmes emitidos durante a paletização encontram-se apresentados no Quadro 5-4.

Quadro 5-4 - Alarmes no sistema robótico flexível

Sensor	Entrada Digital	Sistema	Alarme
Contacto	DI10_10, DI10_11, DI10_12, DI10_13	Paletes	Problema na Palete
Ótico	DI10_9, DI11_3, DI11_5	Esteira	Problema no Tapete
Ótico	DI10_4, DI10_5	Órgão de Trabalho	Queda de Caixa ou Folha Separadora
'Reed Switch'	DI11_6, DI11_7	Plataforma de Ascensão	Avaria no Cilindro

Em relação aos sensores de contacto, caso as entradas digitais não estejam a '1', isto é, caso não haja contacto em algum dos vértices na palete, será emitido um alarme para o comando tátil como 'Problema na Palete'. Enquanto os sensores não estiverem todos a '1' não haverá paletização. Esta interrupção poderá ser facilmente detetada pelo operador, pois será acesa a luz vermelha do sistema de botões. Este sistema também é dotado de uma rotina *trap*, que não é mais que um meio para responder a interrupções durante toda a paletização. As interrupções são geradas através da variação de sinal ao longo do decorrer do programa. Caso haja uma variação de '1' para '0', ou seja, caso deixe de haver deteção de algum dos vértices da palete, haverá uma suspensão imediata da paletização e haverá a emissão do alarme com 'Problema na Palete'.

Quanto aos sensores óticos instalados na esteira, que têm entrada digital DI10_9 e DI11_5, deverão estar a '1', ou seja, deverão detetar presença de caixas, embora o sensor da entrada DI11_5 seja apenas necessária para caixa R15, pois existe a paletização de duas caixas de cada vez. O sensor DI11_3 deverá estar sempre a '0', ou seja, caso esteja a '1' é porque a caixa ou se apresenta deformada ou com uma disposição diferente daquela que deveria vir. Caso estas condições não sejam satisfeitas, será emitido um alarme com a mensagem 'Problema no Tapete' e, enquanto não sejam satisfeitas as condições impostas, a paletização estará suspensa e a luz do sistema de botões estará vermelha.

Os sensores do órgão de trabalho também funcionarão através de uma rotina *trap*. Estes sensores apenas estarão ativos durante o transporte de caixas ou das folhas separadoras, ou seja, quando há acoplamento da ferramenta de trabalho com a caixa ou a folha até a sua colocação na palete. Ambos os sensores deverão estar a '1', a variação de sinal indica que houve queda de caixas ou da folha. Neste caso, haverá emissão de um alarme 'Queda de Caixa' ou 'Queda Folha Separadora' e suspensão automática da paletização.

Os sensores *reed switch* analisam se existe retorno e subida da haste, ou seja, quando a plataforma sobe, o sensor da entrada digital DI11_7 deverá estar a '1' e a outra entrada DI11_6 deverá estar a '0'. Após o retorno e conseqüente descida da plataforma, as

entradas DI11_7 e DI11_6 deverão estar a '0' e '1', respetivamente. Caso não se verifiquem estes sinais, será emitido um alarme 'Avaria Cilindro' e haverá consequente suspensão da paletização.

5.2.6. Registo de Alarmes e Temporização de Paletização

Quando é emitido um alarme, é possível fazer um registo desse alarme, que pode ser guardado no nosso computador para uma análise posterior.

Desse modo, para alguns dos alarmes já explicitados anteriormente, são guardadas a hora, a data da irregularidade ocorrida e a referência da caixa na qual sucedeu esse problema, como é exemplo o problema com a queda das caixas, que é apresentado na Figura 5-5.

```
5 =====Alarme no Robo ABB=====
6 2013-06-12      15:06:40      Queda de Caixa (P556) Numero: 1
7 2013-06-12      15:06:50      Queda de Caixa (P556) Numero: 2
8 =====Alarme no Robo ABB=====
9 2013-06-12      15:21:45      Queda de Caixa (P120) Numero: 1
10 =====Alarme no Robo ABB=====
11 2013-06-12      18:47:24      Queda de Caixa (R15) Numero: 1
12
```

Figura 5-5 - Documento (.txt) com informação de queda de caixas

Caso haja uma emissão de alarme relativamente a quedas de caixas, problemas nos cilindros e problemas na palete, é efetuado o registo e guardada a informação num documento de texto (.txt).

Também é possível guardar o registo do tempo de ciclo de paletização de cada caixa. Esse tempo permite fazer a comparação entre o sistema atual implementado e o sistema em estudo. Assim, foi implementado um cronómetro que é inicializado quando a ferramenta de trabalho inicia a paletização e acaba a sua contagem quando acaba a paletização da palete, dando a informação relativa à caixa paletizada, como é possível ver na Figura 5-6.

```
7 2013-06-12      15:06:56      Tempo de Paletizacao P556: 175.216
8 2013-06-12      15:24:03      Tempo de Paletizacao P120: 283.908
9 2013-06-12      15:34:57      Tempo de Paletizacao R15: 225.534
```

Figura 5-6 - Tempos de teste da paletização das caixas em estudo

Os tempos apresentados são de teste e poderão não corresponder à realidade.

5.3. Comparação de Tempos entre Sistemas de Paletização

Após a descrição da proposta de solução apresentada, é importante fazer uma comparação entre o sistema de paletização manual e o sistema robótico de paletização. É necessário perceber o tempo ganho ou perdido entre os dois sistemas, de forma a justificar o investimento feito num sistema robótico. Também será interessante

perceber se a introdução do sistema robótico de paletização, caso seja necessário, pode traduzir-se num aumento de produção.

Assim, é necessário saber quantos funcionários estarão a paletizar cada tipo de caixa em estudo, para quantificarmos o número de funcionários que o robô é capaz de substituir.

O Quadro 5-5 apresenta uma tabela comparativa entre sistemas em estudo. Os tempos do sistema robótico flexível resulta dos tempos médios de paletização retirados pelo através do temporizador integrado no algoritmo de paletização. Quanto aos tempos de paletização do sistema de paletização atual, através dos dados recolhidos na empresa foram determinados os tempos médios de paletização correspondente a cada caixa.

Os tempos médios podem ser medidos por camadas, blocos ou paletes. No nosso caso devido às impossibilidades técnicas de fazer uma palete inteira foram medidos os tempos médios de paletização de uma camada ou bloco, de cada tipo de caixa, e projetados os tempos relativamente a uma palete completa.

Quadro 5-5 - Tabela comparativa de tempos entre sistemas de paletização

Caixa de Paletização	Sistema Robótico Flexível		Sistema de Paletização Atual		
	Tempo/Camada ou Bloco	Tempo de Palete	Tempo/Camada ou Bloco	Tempo de Palete	Nº de funcionários
R15	3min 32s	24min 50s	6min 17s	44min	1
P120	2min 23s	7min 09s	2min 13s	6min 39s	2
P556	56s	6min 35s	1min 30s	10min 33s	1

Como podemos ver, as diferenças de tempo entre o sistema robótico de paletização e o sistema de paletização atual são significativas, pelo que o sistema em estudo traz vantagens em termos de tempo e eficiência para a empresa, em relação a um funcionário.

Um dos principais problemas na paletização da caixa R15 era o tempo excessivo de paletização no transporte de apenas uma caixa e assim os tempos de paletização não eram competitivos em relação ao sistema de paletização atual. Dessa forma, foi ensaiada uma paletização alternativa, onde as caixas eram paletizadas aos pares. Assim sendo, foi observado que o tempo de paletização tinha diminuído substancialmente. A soma do tempo de paletização de duas caixas individuais é maior que o tempo de paletização de duas caixas em simultâneo, devido ao elevado tempo dos movimentos da ferramenta de trabalho sem caixas, quando transportada apenas uma caixa de cada vez. Por isso, foram criados mecanismos que tornam possível levar sempre as caixas aos pares, devido à flexibilidade da ferramenta de trabalho, das características dimensionais

da caixa e do protótipo criado. Deste modo, foi reduzido substancialmente o tempo de paletização, que se traduziu numa redução de quase três minutos por bloco em relação ao sistema atual.

Fazendo uma dedução em relação ao rácio entre o tempo de paletização e o número de funcionários, é possível dizer que o robô efetua sensivelmente o mesmo trabalho de dois funcionários, como é observável no Quadro 5-5. Apenas um funcionário demora quase o dobro do tempo a fazer a paletização da caixa.

A paletização da caixa P120 foi o desafio mais fácil de abordar, devido à simplicidade da sua paletização. Como se pode verificar na tabela anterior, o sistema em estudo consegue fazer a paletização sensivelmente ao mesmo tempo que dois funcionários.

Quanto à caixa P556, está numa situação semelhante às caixas anteriores, apesar de ter um desempenho melhor em termos de tempo em relação a um funcionário. Apesar de não conseguir ser mais rápido do que dois funcionários, a diferença de tempo pequena justifica o uso de um robô para substituir esses dois funcionários, caso seja necessário.

Quanto mais pequena for a caixa, maiores são as dificuldades em fazer a paletização, embora isso não invalide que os tempos de paletização não consigam rivalizar com o sistema manual de paletização. Caso a caixa R15 fosse paletizada através do transporte de uma caixa de cada vez, seria complicado o sistema robótico rivalizar com o sistema atual, mesmo apenas estando um funcionário a laborar.

Os tempos ainda podem ser melhorados através do ajuste da velocidade, caso se verifique que ainda é possível aumentar a velocidade de segurança no transporte das caixas para a palete.

Caso não seja possível manter dois funcionários a paletizar cada palete, este sistema poderá refletir-se num aumento de produção.

5.4. Estimativa do Custo do Material

Após a descrição do material e dos processos que envolvem a parte prática do projeto, é importante fazer uma estimativa do custo. Esta é uma parte fundamental, pois como todos os projetos, apenas se tornam viáveis se tiverem um desempenho financeiro que justifiquem a substituição. Portanto, é necessário fazer a avaliação relativamente ao custo do material do projeto, tendo assim uma ideia do capital a investir num novo sistema.

A estimativa do custo será contabilizada através do *layout* ideal na Figura 3-2, apresentado no capítulo 3.

5.4.1. Seleção do Robô

Para iniciar a estimativa de custos, é necessário fazer a seleção de um robô que garanta a operacionalidade e seja eficiente ao nível dos movimentos. Esse robô deverá garantir a colocação das caixas sem problemas, em duas paletes com posições distintas, como foi projetado no *layout* ótimo. Não deverá ter problemas de alcance, permitindo a exequibilidade de movimentos nos três tipos de paletização predefinidos.

Perante estas condições, foram selecionados dois robôs de fabricantes diferentes, mas similares em termos de características, fazendo assim a média dos seus custos. O robô apresentado na esquerda é um robô ABB IRB4600-20/2.50, enquanto o robô apresentado à direita é um KUKA KR 60 L30-3, como se pode visualizar na Figura 5-7.

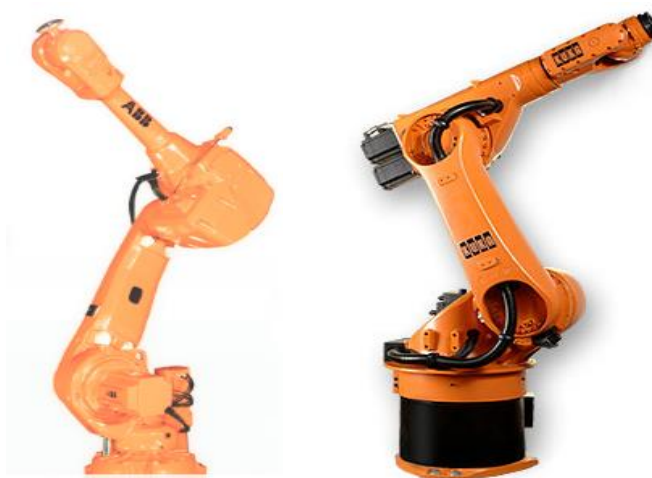


Figura 5-7 - Robô ABB IRB 4600-20/2.50 e robô KUKA KR60 L30-3 [38] [39]

As características dos robôs estão apresentadas no Quadro 5-6. A capacidade de carga de ambos abrange totalmente a gama de peso das caixas utilizadas da Cerútil, que como o robô laboratorial, por exemplo, não acontecia. Assim, com a escolha de um dos robôs, poderão ser paletizadas todas as caixas independentemente de serem caixas de grandes ou pequenas séries de produção ou da sua massa.

Quadro 5-6 - Características do Robô ABB e KUKA [40][41]

Caraterísticas	Robô ABB IRB4600-20/2.50	Robô KUKA KR L30-3
Tipo	Antropomórfico	Antropomórfico
Número de eixos	6	6
Movimento de eixos		
Eixo 1	+180° até - 180°	+185° até - 185°
Eixo 2	+150° até - 90°	+35° até - 135°
Eixo 3	+75° até - 180°	+158° até - 120°
Eixo 4	+400° até - 400°	+350° até - 350°
Eixo 5	+120° até - 120°	+119° até - 119°
Eixo 6	+400° até - 400°	+350° até - 350°
Velocidade dos eixos		
Eixo 1	175°/s	128°/s
Eixo 2	175°/s	102°/s
Eixo 3	175°/s	128°/s
Eixo 4	360°/s	260°/s
Eixo 5	360°/s	245°/s
Eixo 6	500°/s	322°/s
Capacidade de carga	20 kg	30 kg
Altura total	1922 mm	2429 mm
Peso	412 a 435 kg	679 kg
Repetibilidade	± 0,05 mm	± 0,25 mm

Embora sejam usados métodos diferentes de construção, tanto as suas características como os seus volumes de trabalho são similares e adequadas à paletização como é possível verificar na Figura 5-8 e na Figura 5-9. **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

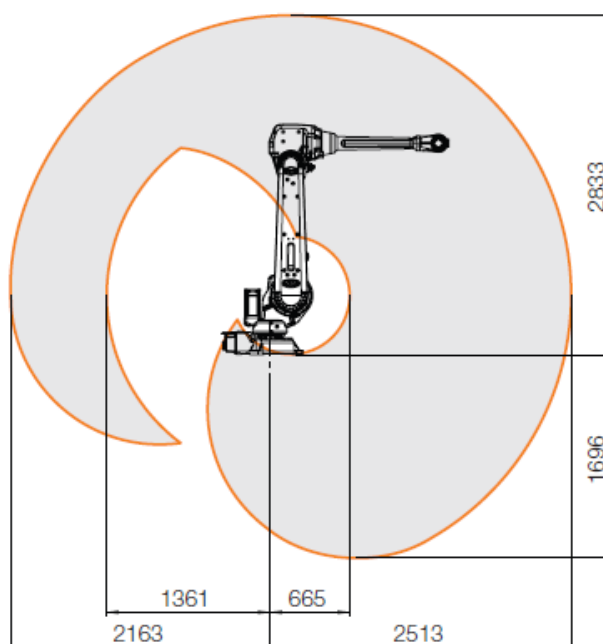


Figura 5-8 - Volume de trabalho do Robô ABB IRB 4600-20/2.50 [40]

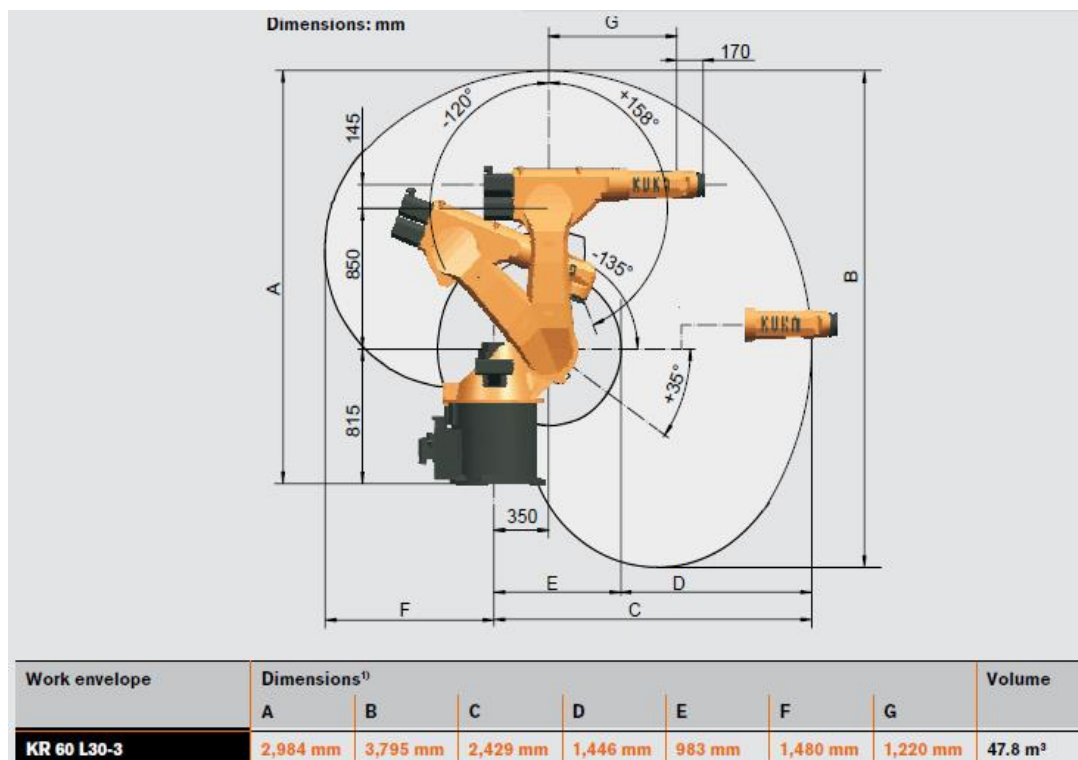


Figura 5-9 - Volume de trabalho do Robô KUKA KR 60 L30-3 [41]

Esta é a parcela mais elevada no investimento do projeto. Algumas das principais diferenças com o sistema atual é que ao longo do ano não será preciso fazer o pagamento do ordenado, subsídios e seguros aos funcionários, como já foi abordado anteriormente.

Os custos estimados dos robôs selecionados anteriormente estão apresentados no Quadro 5-7. Estes valores englobam já o valor médio de taxas europeias, tais como o IVA, visto que os robôs vêm normalmente de outros países tal como a Alemanha.

Quadro 5-7 - Custo/custo médio dos robôs

Robô	Custo estimado/unidade (€)
ABB IRB 4600	45000
KUKA KR 60-3	46500
Média	45750

O custo médio de um robô é de 45 750€ e será esse o valor utilizado na soma dos custos do investimento do novo sistema.

5.4.2. Custo Total do *Layout*

Como foi apresentado anteriormente, foram construídos vários subsistemas, compondo assim o sistema de paletização. Portanto, é necessário fazer uma estimativa de custos do sistema de paletes, ferramenta de trabalho, esteira laboratorial e da plataforma elevatória. No Quadro 5-8 está apresentado o custo estimado por unidade do material utilizado. O preço por unidade engloba o IVA.

Quadro 5-8 - Custo por unidade do material utilizado

Material Utilizado	Sistema	Custo/Unidade (€)	Fabricante
Ventosas	Ferramenta de trabalho	14,76	SMC
Geradores de vácuo	Ferramenta de trabalho	43,05	SMC
Sensores óticos (com fibra ótica)	Ferramenta de trabalho	312,82	SICK
Perfil de alumínio 20*20 mm	Ferramenta de trabalho	7,67	Bosch
Sensores óticos	Esteira Laboratorial	7,98	OMROM
Pack Sensores de contato	Sistema de Paletes	17,79	OMROM
Perfil de alumínio 45*45 mm	Sistema de Paletes	12,11	Bosch
Válvula de regulação de caudal	Plataforma Elevatória	13,75	SMC
Cilindro Pneumático	Plataforma Elevatória	52,91	SMC
Sensores 'reed switch'	Plataforma Elevatória	18,11	SMC
Válvula pneumática 5/2	Plataforma Elevatória	65,77	SMC

No decurso da dissertação deste projeto, foi apresentada a listagem do material utilizado nas construções dos sistemas desenvolvidos. Assim, é necessário fazer uma extrapolação ao *layout* ideal. Possuirá quatro sistemas de paletes, duas plataformas elevatórias, duas ferramentas de trabalho e um número de sensores equivalente a duas esteiras laboratoriais. Portanto, é necessário multiplicar o material utilizado em cada sistema pelo número de sistemas previstos para o *layout* a implementar na Cerútil. O material utilizado tem como garantia a sua longevidade e robustez, necessitando de manutenção apenas a médio/longo prazo.

No Quadro 5-9 encontra-se a estimativa de custos do material para o *layout* a implementar.

Quadro 5-9 - Custo estimado do material do layout ideal

Material Utilizado	Sistema	Unidades ou metros	Custo total (€)
Ventosas	Ferramenta de trabalho	16	236,16
Geradores de vácuo	Ferramenta de trabalho	16	688,80
Sensores óticos (com fibra ótica)	Ferramenta de trabalho	4	1251,26
Perfil de alumínio 20*20 mm	Ferramenta de trabalho	3,5	26,83
Sensores óticos	Esteira Laboratorial	4	314,88
Pack Sensores de contato	Sistema de Paletes	16	284,57
Perfil de alumínio 45*45 mm	Sistema de Paletes	5,5	66,61
Válvula de regulação de caudal	Plataforma Elevatória	4	55,01
Cilindro Pneumático	Plataforma Elevatória	2	105,82
Sensores 'reed switch'	Plataforma Elevatória	4	72,43
Válvula pneumática 5/2	Plataforma Elevatória	2	131,54
		TOTAL (€)	3233,91

Os custos estimados do material que compõem o *layout* ideal são de 3233.91€, embora os custos com a plataforma elevatória tenham que ser melhor analisados posteriormente, devido à adaptação industrial que terá de ser feita a partir do protótipo apresentado.

Também é necessário estimar os custos na interligação entre o robô com a interface robótica e o material adicional necessário para a conceção do projeto. Os custos relativos a outros gastos estão apresentados no Quadro 5-10.

Quadro 5-10 - Custos estimados de gastos adicionais

Outros Gastos		
Outro Material	Custo	Fabricante
4 Válvulas pneumáticas 3/2	384,384	SMC
10m cabo de fibra ótica	10,98	SICK
Outro material	200,00	
TOTAL (€)		595,36

As válvulas pneumáticas são necessárias na interligação do robô com a ferramenta de trabalho, onde serão usadas 4 válvulas em cada robô. Os 10 metros de cabo são utilizados na interligação entre os robôs e os sensores óticos. O custo estimado de outro

material contemplado na tabela anterior refere-se, por exemplo, a parafusos, cantos para os perfis de alumínio, tubo para o ar comprimido, ligadores e outros materiais usados para complementar e garantir a boa funcionalidade do sistema de paletização.

O custo de engenharia, relativamente à investigação/desenvolvimento de software e hardware do projeto será fixado nos 10000€.

Após apresentadas todas as parcelas dos custos estimados, é necessário fazer a contabilização de custos do investimento de todo o material a adquirir para o *layout* ótimo.

Como é possível ver no Quadro 5-11, estão contabilizados os custos finais estimados de todo o equipamento necessário.

Quadro 5-11 - Custos finais estimados

	Custo Estimado Total (€)
2 Robôs	91500
Material	3233,91
Outros gastos	595,36
Mão-de-obra	10000
Total	105329,27

O investimento em material para o *layout* ideal é de 105 329,27€. Embora este valor seja um valor aproximado do custo real necessita de uma nova avaliação após análise do custo da plataforma elevatória.

Também é possível concluir que 86,9% do custo total estimado é relativo à aquisição dos robôs, tendo o material acessório um impacto reduzido no custo total.

6. Conclusão e Perspetiva de Trabalhos Futuros

6.1. Conclusão

Ao longo deste documento foi provado que a automação industrial é uma ferramenta bastante poderosa e que através dela é possível criar mecanismos que proporcionam sistemas de automação bastante capazes de solucionar os problemas existentes no dia-a-dia de uma fábrica.

O objetivo principal de conseguir provar que um sistema robótico flexível de paletização é suficientemente seguro, capaz e eficiente de modo a substituir um sistema de paletização manual foi alcançado. A sua conceção, sob o ponto de vista do *hardware*, promove a flexibilidade e a boa articulação dos vários sistemas apresentados. Sob o ponto de vista de *software*, promove a boa paletização, a segurança e a harmonia entre o operador e máquina. Além disso, as potencialidades da disposição do material utilizado permitem que o *software* seja capaz de detetar qualquer irregularidade ou avaria que pode acontecer durante a paletização, sem que o robô se danifique ou prejudique todo o processo.

Assim sendo, o sistema robótico de paletização de caixas para grandes séries de produção desenvolvido em laboratório mostrou garantias e capacidade de substituição do modelo mais arcaico de paletização que existe atualmente na unidade fabril Cerútil, que se situa no Sátão.

6.2. Perspetiva de Trabalhos Futuros

Apesar do objetivo principal ter sido cumprido, é possível fazer melhoramentos que vão ao encontro de uma maior automatização e eficiência do sistema. Também é possível acrescentar novos elementos que tornem o sistema mais completo e menos dependente da mão humana.

As melhorias a implementar podem ser:

- Implementação de um sistema automático de carga e descarga de paletes, e assim o funcionário não teria que introduzir a paleta à mão nem retirá-la através do porta-paletes;
- Introdução de um sistema autónomo de etiquetagem de caixas;
- Aumento do número de padrões de caixas através de grupos de configurações, ou seja, através do mesmo programa será possível paletizar caixas com diferentes dimensões mas com o mesmo padrão através de uma referência;
- Aperfeiçoamento da interface HMI;
- Aperfeiçoamento do protótipo de elevação de caixas.

Referências

- [1] *A História da Robótica - O que você sabe sobre robôs?* Disponível em <http://nabalsa.blogspot.pt/2010/06/historia-da-robotica.html>. [Consultado em 22-Jan-2013].
- [2] J. Noberto Pires, *Róbotica - Das Máquinas Gregas à Moderna Robótica Industrial*, Jornal Público - Caderno de Computadores de 1 a 8 de Julho de 2002, pp. 12–14.
- [3] *Unimate*. Disponível em <http://robostuff.com/http://robostuff.com/robots-catalog/robots-by-country/usa/unimate/>. [Consultado em 23-Jan-2013].
- [4] Apontamentos do Prof. Doutor Vítor Santos, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.
- [5] Apontamentos Teóricos do Prof. Doutor António Ferrolho, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- [6] Apontamentos Teóricos do Prof. Doutor Miguel Lima, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- [7] Rolf Groninger, Elzbieta Kus, e Richard Hlippi, *Market Study on Adaptive Robots for Flexible Manufacturing Systems*, apresentado na IEEE International Conference on Mechatronics, 2009, pp. 1–7.
- [8] ABB Group, *Robotics -10 good reasons to invest in robots*, pp. 7–9, 2010.
- [9] *2011: The most successful year for industrial robots since 1961*, Disponível em <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>. [Consultado em 24-Jan-2013].
- [10] Marcel Salim, *Os 10 países mais robotizados do mundo*, 24-Jan-2012. Disponível em <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/os-10-paises-mais-robotizados-do-mundo>. [Consultado em 24-Jan-2013].
- [11] Daniel Carreira, *Sistema de Paletização Robotizado no setor de Pesagem/Etiquetagem do queijo*, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal, 2012.
- [12] ABB, *Robot ABB faz trabalho rápido com baldes de tinta de 19 litros*, *Prod. E Tecnol.*, Fev. 2012.
- [13] *Linha robótica para solda*. Disponível em <http://polimetri.com.br/tecnologia.htm#solda>. [Consultado em 28-Abr-2013].
- [14] Renata Branco, *Tipos de robôs para pintura industrial*, 25-Ago-2011. Disponível em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4798-tipos-de-robos-para-pintura-industrial/>. [Consultado em 28-Abr-2013].
- [15] Celestina Crocetta Biazin e Amália Maria Goldberg Godoy, *O planeamento e controle da produção na indústria de revestimentos cerâmicos*. Disponível em <http://br.monografias.com/trabalhos915/controle-industria-ceramicos/controle-industria-ceramicos2.shtml>. [Consultado em 24-Jan-2013].
- [16] Pavel Dzitac e Abdul Md Mazid, *An Efficient Control Configuration Development for a High-speed Robotic Palletizing System*, apresentado na IEEE Automation and Mechatronics, Chengdu, 2008, pp. 140–145.
- [17] Prof. Felipe Kühne, *Aplicações de Sistemas Robotizados em Processos Industriais*. 27-Ago-2012.
- [18] Hixson Manufacturing Engineering Department – L. Foltz, *Palletizing Of Cases, Trays Or Bundles; Equipment Types and Operation*, 2004.

Referências

- [19] Currie By Brenton, *High Level Infeed Palletizer*. Disponível em <http://www.curribybrenton.com/products/high-level-infeed-palletizer-hlp-high-speed/>. [Consultado em 28-Abr-2013].
- [20] Uptownmaker, *Building a flutterwumper*, 16-Out-2009. Disponível em <http://www.tcmaker.org/blog/category/posts/page/9/>. [Consultado em 28-Abr-2013].
- [21] Arrowhead Systems Inc., *Priority One Pro-Pal® MultiPal Shuttle Case Palletizer*. Disponível em <http://packagingequipmentforsale.com/page/4/?catablog-terms>. [Consultado em 30-Abr-2013].
- [22] *EXPO21XX Online Trade Fair*. Disponível em http://www.expo21xx.com/material_handling/17605_st3_order-picker/17.jpg. [Consultado em 28-Abr-2013].
- [23] ABB Group, *Product Manual*. Disponível em http://lecture.sccsc.edu/amt/AMT%20206%20Electricity%20and%20Automation/ABB%20IRB%20140%20Robot/files/3HAC026660-001_revF_en.pdf. [Consultado em 26-Jun-2013].
- [24] ABB Group, *IRB 1600 - Industrial Robot*, 24-Abr-2013. Disponível em http://www.itk.ntnu.no/IRL/equipment/IRB_1600_6_1p2_data_compact.pdf.
- [25] ABB Group, *IRB1600 - The highest performance general purpose 10kg Robot*, Fev-2009. Disponível em [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/a9cd1df1462ece1fc1257b5700263e25/\\$file/IRB%201600_PRESENTATION_2013.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/a9cd1df1462ece1fc1257b5700263e25/$file/IRB%201600_PRESENTATION_2013.pdf). [Consultado em 26-Jun-2013].
- [26] ABB Group, *IRC5 - Industrial Robot Controller*, Set-2011. Disponível em [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/c13e1c5490c61230c125796000515137/\\$file/irc5%20datasheet%20pr10258%20en_r13.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/c13e1c5490c61230c125796000515137/$file/irc5%20datasheet%20pr10258%20en_r13.pdf). [Consultado em 26-Jun-2013].
- [27] SMC Group, *Vacuum Pad - Series ZP*, 2010. Disponível em <http://content.smcetech.com/pdf/ZP.pdf>. [Consultado em 27-Jun-2013].
- [28] SMC Group, *SMC - ZH10BS-06-06 - VACUUM EJECTOR BOX*, 2012. Disponível em <http://pt.farnell.com/smc/zh10bs-06-06/vacuum-ejector-box/dp/3637992>. [Consultado em 27-Jun-2013].
- [29] Sick Group, *SICK WLL160-E420 (6009982)*, 2006. Disponível em <http://vision-supplies.com/p/51345/sick-wll160-e420>. [Consultado em 27-Jun-2013].
- [30] Michael Fredigo, *Sensores óticos - tudo sobre sensores*. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAEqToAH/sensores-oticos>. [Consultado em 21-Jun-2013].
- [31] OMRON Electronics, *E3Z Preventive Maintenance Series*, 2008. Disponível em: [http://echannel.omron247.com:8085/marcom/pdfcatalog.nsf/0/1511E0F817FB6BE48625756000575A86/\\$file/E3Z_datasheet_en_200902.pdf](http://echannel.omron247.com:8085/marcom/pdfcatalog.nsf/0/1511E0F817FB6BE48625756000575A86/$file/E3Z_datasheet_en_200902.pdf). [Acedido: 27-Jun-2013].
- [32] OMRON Group, *OMRON D4B-4116N - Limit switch*. Disponível em <http://www.tme.eu/en/details/d4b-1116n/limit-switches/omron/d4b-4116n/>. [Consultado em 28-Jun-2013].
- [33] SMC Group, *ISO cylinder - Series C85*. Disponível em: <http://www.smc-pneumatics.com/pdfs/C85.pdf>. [Consultado em 28-Jun-2013].
- [34] SMC Group, *Auto Switch Guide*. Disponível em <http://octopart.com/d-a73-smc-13239>. [Acedido: 28-Jun-2013].

- [35] SMC Group, *SY5320-5LOU-C6F-Q*. Disponível em <http://www.smc-pneumatics.com/SY5320-5LOU-C6F-Q.html>. [Consultado em 28-Jun-2013].
- [36] SMC Group, *Peça SMC.SY5320-5LOU-C6F-Q*. Disponível em http://eplandata.de/portal/pt_BR/part/SMC.SY5320-5LOU-C6F-Q?cookieset=1. [Consultado em 28-Jun-2013].
- [37] SMC Group, *AS2002F-06 FLOW CONTROL*. Disponível em <http://www.smc-pneumatics.com/AS2002F-06.html>. [Consultado em 28-Jun-2013].
- [38] ABB Group, *The Sharp Generation. Are you sharp enough?*, 15-Out-2008.
- [39] KUKA Roboter GmbH, *Kuka - Products*. Disponível em http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/medium/kr60_3/. [Consultado em 01-Jul-2013].
- [40] ABB Group, *IRB 4600 - Industrial Robot, 26-Set-2012*. Disponível em [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/cad39c28b12dab04c1257a85004233d4/\\$file/ROB0109EN_G_HR.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/cad39c28b12dab04c1257a85004233d4/$file/ROB0109EN_G_HR.pdf). [Consultado em 04-Set-2013].
- [41] KUKA Roboter GmbH, *KUKA - The versatile robots for the medium payload category*. Disponível em http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PFO042_KR_30-3_KR_60-3_en.pdf. [Consultado em 05-Set-2013].

Manual do Utilizador

*'A ciência ainda não nos ensinou se a loucura é ou
não o lado mais sublime da inteligência.'*

Edgar Allan Poe

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
1. Introdução.....	1
2. Funcionamento Geral do Programa.....	3
2.1. Menu Principal.....	3
2.1.1. Manutenção	4
2.2. Menu de Escolha de Palete.....	5
2.3. Menus de Configuração de Caixas.....	6
2.4. Menu de Altura de Paletização.....	7
2.5. Menu de Folhas de Separação.....	8
3. Avarias e Alarmes.....	9
3.1. Problema na Palete.....	9
3.2. Problema no Tapete	10
3.3. Queda de Caixa	10
3.4. Problema no Cilindro	11
3.5. Problema nas Folhas de Separação	11
4. Registos de Alarmes e Temporização	13
4.1. Registo do Alarme de Queda de Caixas	13
4.2. Registo do Alarme da Palete.....	14
4.3. Temporização de Paletização	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Dispositivo tátil do robô	3
Figura 2- Menu Principal	4
Figura 3 - Posição de manutenção	5
Figura 4- Menu de escolha de palete	5
Figura 5- Menu de altura de caixa	6
Figura 6 - Menu de comprimento da caixa	6
Figura 7 - Menu de largura da caixa	7
Figura 8 - Menu de altura de paletização	8
Figura 9 - Menu de folhas de separação	8
Figura 10 - Problema na palete	9
Figura 11- Problema no tapete.....	10
Figura 12- Queda de caixas.....	10
Figura 13 - Problema no cilindro	11
Figura 14 - Problema com folhas de separação	12
Figura 15 - Diretório do ficheiro referente ao registo da queda de caixas	13
Figura 16 - Registo da queda de caixas	14
Figura 17 - Registo de problemas na palete	14
Figura 18 - Temporização do tempo de paletização	15

ABREVIATURAS E SIGLAS

mm

Milímetros

1. Introdução

O manual de utilizador, tal como o nome sugere, serve como guião para o operador, na configuração da paletização do sistema robótico flexível apresentado.

O algoritmo de configuração é bastante acessível e intuitivo fazendo com que haja facilidade de interação entre o operador e o dispositivo tátil de inserção de dados.

2. Funcionamento Geral do Programa

2.1. Menu Principal

Quando clicado em ABB será apresentado um menu diversificado de opções, onde o operador deverá escolher *Program Data* e de seguida premir a Tecla 1, como é possível observar na Figura 1. Deste modo, será ativado o menu principal do programa.



Figura 1- Dispositivo tátil do robô

Após iniciado o programa do sistema robótico de paletização destinado à empresa Cerútil, como é apresentado na Figura 2, será desencadeado o início da configuração de paletização, onde o operador deverá fazer a escolha adequada para o tipo de caixa que pretende paletizar.

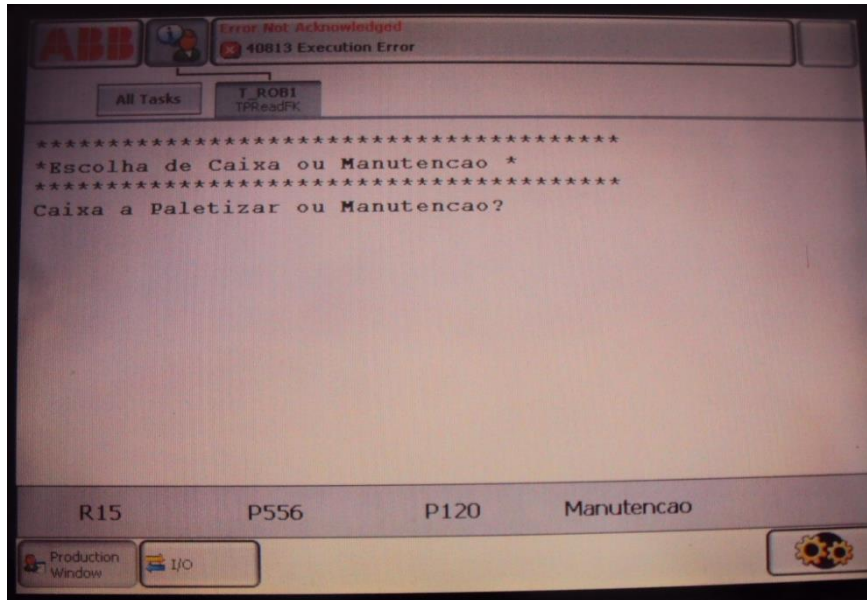


Figura 2- Menu Principal

O menu principal apresenta várias opções, de onde operador deverá escolher:

- Paletizar a caixa R15;
- Paletizar a caixa P556;
- Paletizar a caixa P120;
- Colocar o robô numa posição de manutenção, caso necessário;

2.1.1. Manutenção

Caso seja premida a opção MANUTENÇÃO no dispositivo tátil, o robô irá pra uma posição, onde o operador estará à vontade para verificar as condições da ferramenta de trabalho e, se for preciso, fazer as modificações necessárias. Na Figura 3 está representada a posição de manutenção laboratorial.



Figura 3 - Posição de manutenção

Como é possível verificar, a luz no sistema de botões é amarela devido à ferramenta de trabalho estar numa posição de manutenção. Só após o operador clicar em MANUTENÇÃO no sistema de botões, o robô voltará à posição de origem.

2.2. Menu de Escolha de Palete

Caso a opção escolhida anteriormente tenha sido a caixa R15, P556 ou P120 serão percorridos os mesmos menus, independentemente da caixa. Assim sendo, os menus apresentados a seguir serão de configuração relativamente aos elementos que envolvem a paletização, configuração de palete, caixa e folha separadora.

Na Figura 4 está apresentado o menu de escolha de palete.

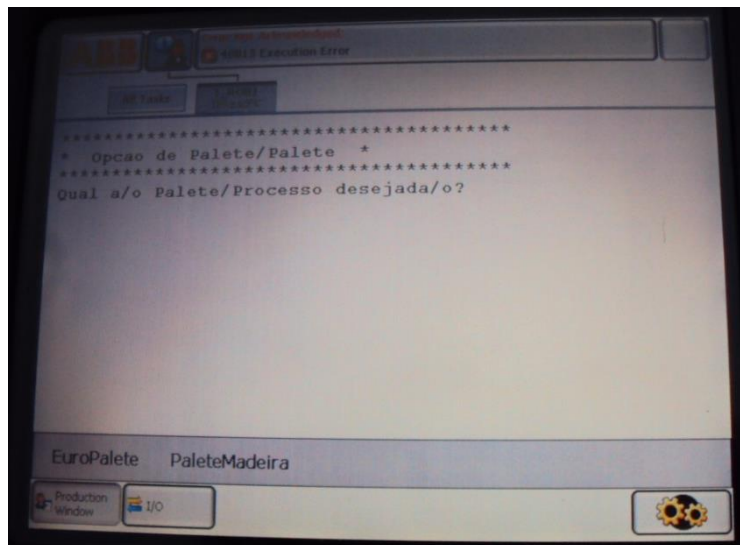


Figura 4- Menu de escolha de palete

Consoante as características do pedido do cliente, o operador deverá escolher uma das paletes. As características dimensionais de área da paleta são:

- Europaleta: 1200 mm de comprimento e 800 mm de largura;
- Paleta de madeira: 1200 mm de comprimento e 1000 mm de largura;

2.3. Menus de Configuração de Caixas

De seguida aparecerão três menus de inserção das medidas das caixas.

Na Figura 5 está apresentado o menu de inserção da medida de altura da caixa.

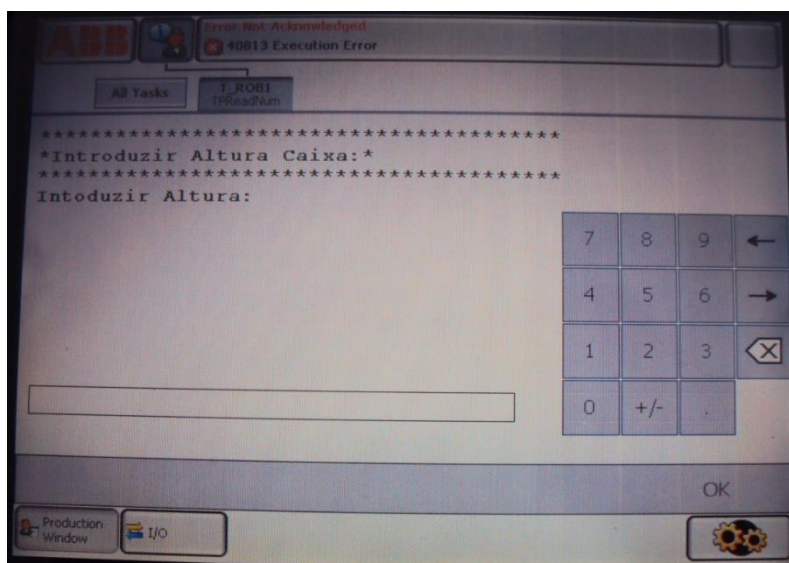


Figura 5- Menu de altura de caixa

Na Figura 6 está apresentado o menu de inserção do comprimento das caixas.

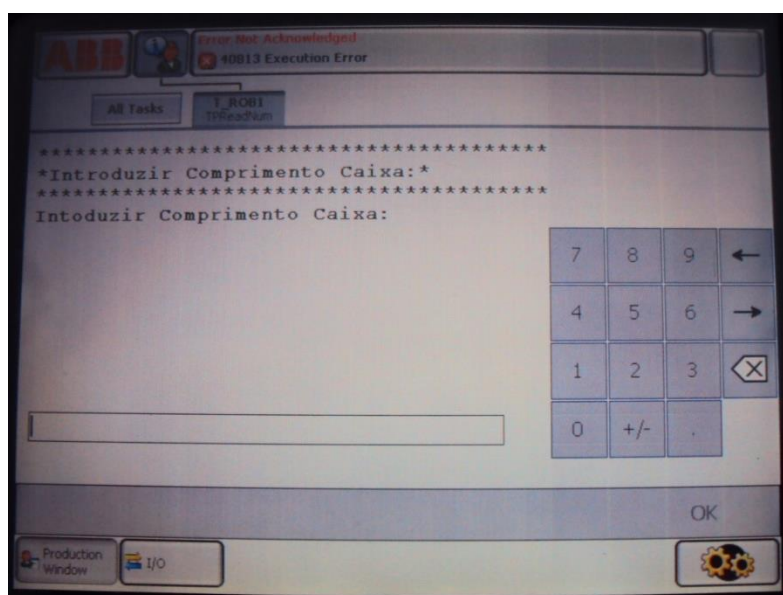


Figura 6 - Menu de comprimento da caixa

Na Figura 7 está representado o menu de inserção da largura da caixa.

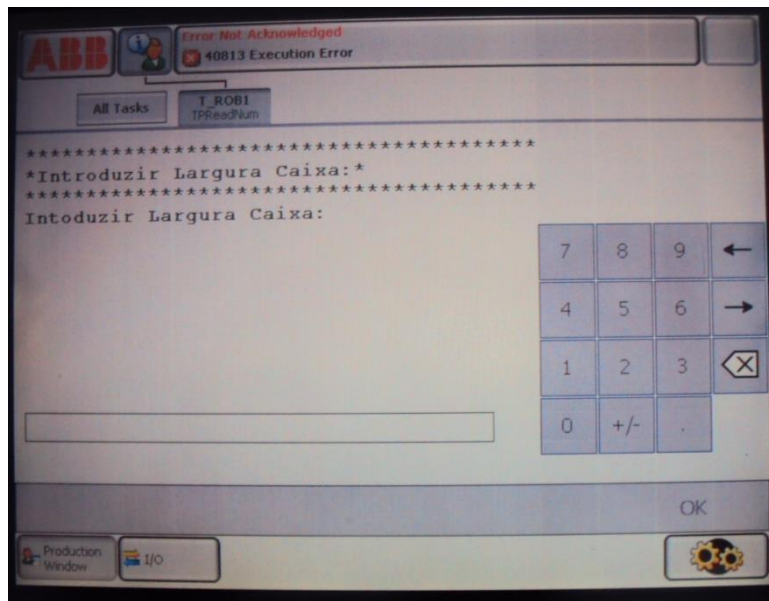


Figura 7 - Menu de largura da caixa

Todas as medidas de configuração das caixas devem ser inseridas em milímetros. Para que seja determinado o número de caixas possíveis na área da palete, serão realizados os cálculos do número de caixas ao longo do comprimento da palete e o número de caixas ao longo da largura da palete. Para isso, será efetuado o quociente entre o comprimento da palete e o comprimento ou largura da caixa, determinando o número de caixas ao longo do comprimento da palete e o quociente entre a largura da palete e o comprimento ou a largura da caixa, determinando o número de caixas ao longo da largura da palete. A seleção da largura ou do comprimento da caixa para os cálculos anteriores prende-se com a maximização do número de caixas na palete.

2.4. Menu de Altura de Paletização

Este é o menu que requer mais atenção por parte do operador, pois será inserida a altura desejada de paletização. Consoante a medida da altura da caixa o operador deverá inserir a altura de paletização que pretende paletizar. A medida inserida será convertida e traduzir-se-á no número de blocos ou camadas a paletizar. O cálculo realizado pelo robô será o quociente entre altura da paletização e altura da caixa.

Este menu foi assim configurado, pois laboratorialmente não era possível fazer a paletização de uma palete inteira devido às características físicas do robô. Assim é necessário ajustar a paletização em função das limitações do robô. A Figura 8 apresenta o menu de altura de paletização.

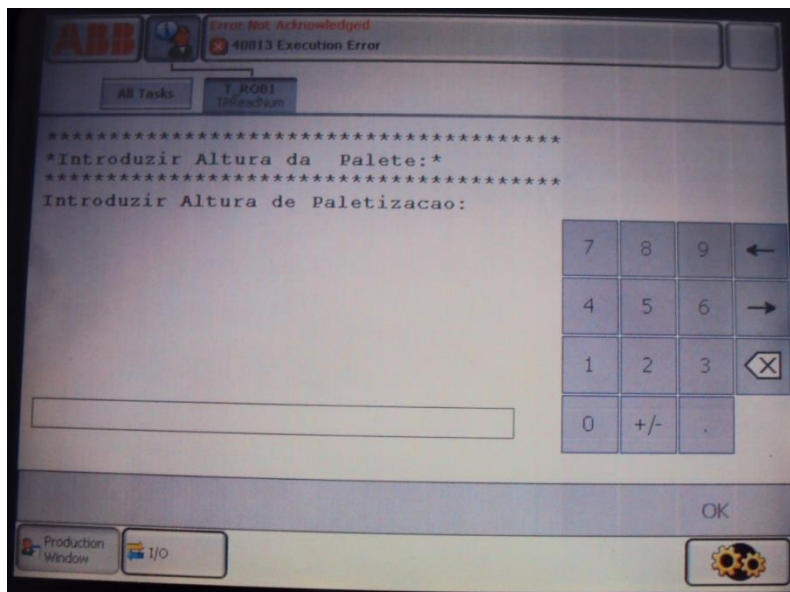


Figura 8 - Menu de altura de paletização

A medida de altura a inserir deve ser expressa em milímetros.

2.5. Menu de Folhas de Separação

Este é o menu onde será introduzido o número de folhas separadoras utilizadas para ajudar no travamento das caixas. O menu está expresso em unidades, ao invés de uma altura, devido à pequena quantidade de folhas separadoras utilizadas.

Na Figura 9 está apresentado o menu de inserção do número de folhas separadoras.

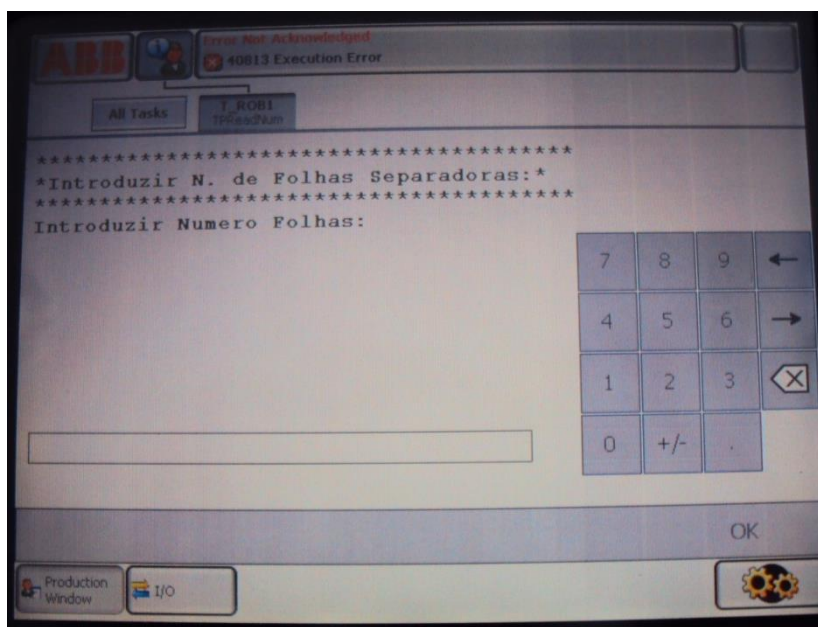


Figura 9 - Menu de folhas de separação

3. Avarias e Alarmes

Após a configuração de paletização, iniciar-se-á a paletização. Como acontece com qualquer sistema, este não é perfeito e poderá ocorrer qualquer imprevisto durante a paletização. Sabendo isto, foram desenvolvidos mecanismos de informação ao operador de avarias e/ou alarmes das situações que põem em risco uma paletização eficaz.

3.1. Problema na Palete

Quando a palete não é colocada corretamente ocorrerá o problema relatado na Figura 1.

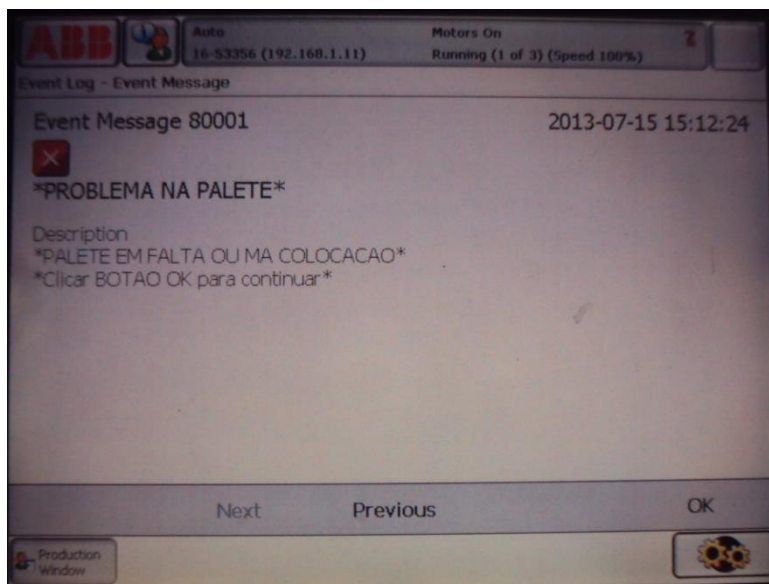


Figura 10 - Problema na palete

Este problema poderá acontecer devido a dois motivos, embora se deva considerar o primeiro motivo como o mais provável do problema:

- Má colocação da palete – a palete deverá estar na área correta;
- Avaria de pelo menos um sensor de contato.

3.2. Problema no Tapete

Quando há um problema relativamente à posição de caixas ou à ausência de caixas no tapete é emitido um aviso sobre essa situação, como é possível ver na Figura 11.

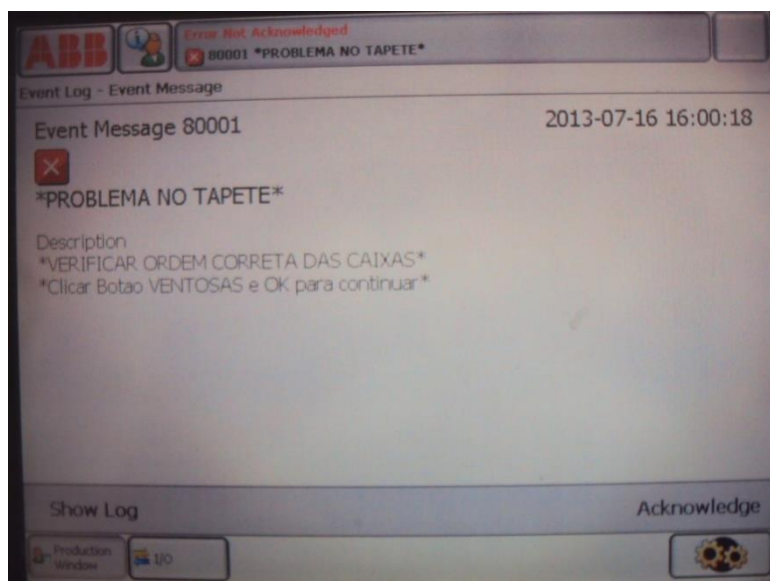


Figura 11- Problema no tapete

Perante este alarme, o operador deverá clicar no botão VENTOSAS, aguardar pela posição de segurança da ferramenta de trabalho e após corrigido o problema existente deverá premir o botão 'OK!' para ser retomada a paletização.

3.3. Queda de Caixa

Hipoteticamente, caso alguma caixa caia, também existem meios de deteção de queda de caixas durante o seu transporte, como pode ser verificado na Figura 12.

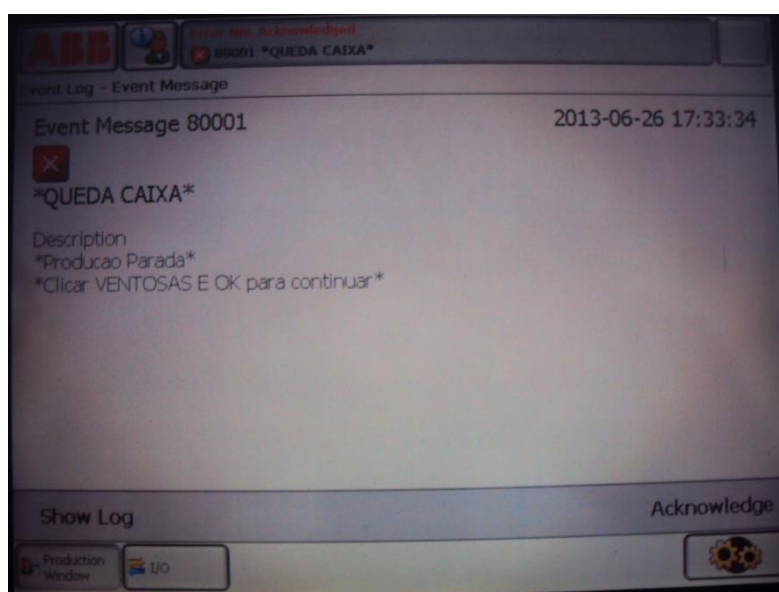


Figura 12- Queda de caixas

O processo de paletização será suspenso de imediato e caberá ao operador colocar essas caixas no sítio correto. Após estarem reunidas as condições necessárias, o funcionário deverá clicar no botão OK! para ser retomada a paletização.

3.4. Problema no Cilindro

No protótipo apresentado foi também desenvolvido um mecanismo de detecção de avarias no cilindro. O cilindro é essencial para que a plataforma elevatória funcione de forma eficiente. Caso haja algum problema será enviada uma informação igual à da Figura 13.

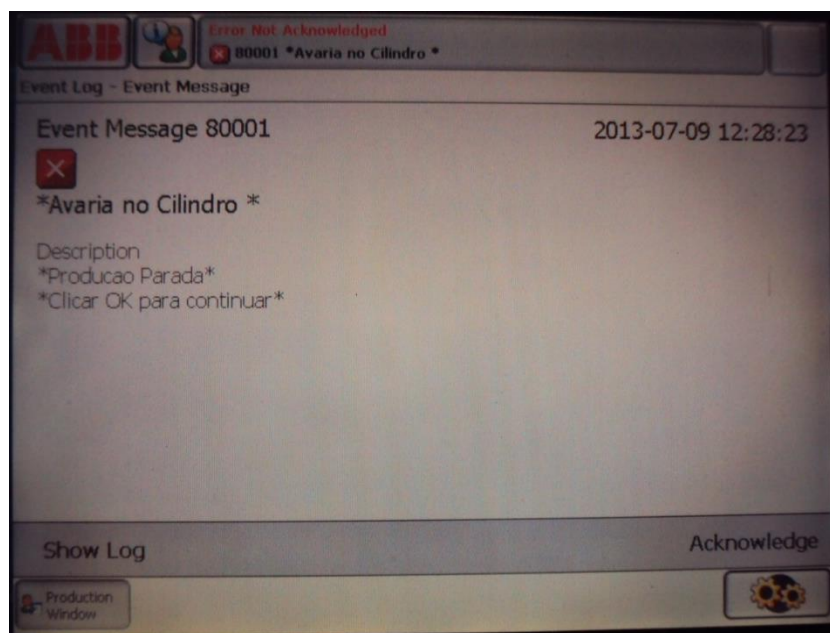


Figura 13 - Problema no cilindro

Os sensores implementados no cilindro serão importantes neste processo, pois é através deles que será feita a supervisão do bom funcionamento do cilindro. Caso alguma condição predefinida falhe, será desencadeado um alarme para o operador. Nesse caso, quando estiver o problema solucionado deverá premir o botão OK!.

3.5. Problema nas Folhas de Separação

Pode ainda suceder um problema quanto às folhas de separação. Caso seja detetada a ausência de folhas separadoras será emitido ao operador outro alarme, como está representado na Figura 14.

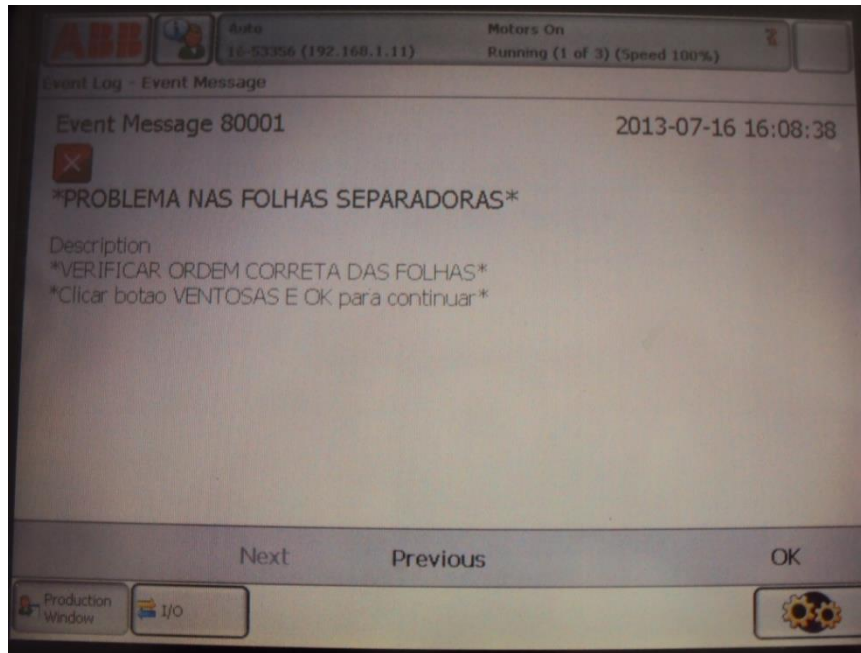


Figura 14 - Problema com folhas de separação

Perante esta situação, após premir o botão VENTOSAS o operador deverá colocar a folha separadora no respetivo lugar. Quando estiverem as condições reunidas, deverá clicar no botão OK!, sendo retomada a paletização.

4. Registos de Alarmes e Temporização

De modo a termos informações relativamente a algumas falhas que tenham tido como consequência a suspensão da paletização, é possível fazer o seu registo, guardando essas informações num computador. A programação em RAPID permite ao operador guardar determinado tipo de percalços que ache importante para análise posterior.

Os registos são guardados num formato (.txt) no computador que comunica com o controlador do robô. O programador define em que diretório guarda as informações relativamente aos alarmes e temporização, como é exemplo a Figura 15.

```
PROC rRegistaQuedaCaixa()  
  nAlarme:=nAlarme+1;  
  Open "home:"\File:="ESTV/NelsonGomes/AlarmeCaixa.txt",file\Append;  
] IF nAlarme=1 Write file, "-----Alarme no Robo ABB-----";
```

Figura 15 - Diretório do ficheiro referente ao registo da queda de caixas

4.1. Registo do Alarme de Queda de Caixas

Um dos percalços que poderá acontecer é a queda de caixas e para o operador seria importante saber quantas caixas caíram, sabendo assim quantas peças foram danificadas durante o processo de paletização. De igual importância é a especificação de qual o tipo de caixas que caíram.

Conforme é apresentado na Figura 16 é possível verificar o registo de caixas caídas.

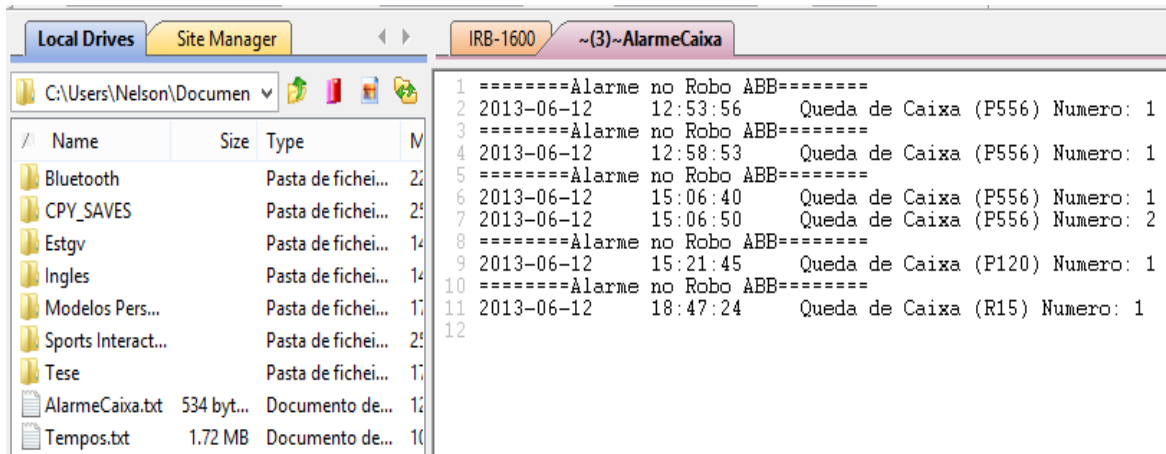


Figura 16 - Registo da queda de caixas

O registo da queda de caixas dá informações ao operador relativamente ao dia, mês e ano do sucedido, além disso também dá informação relativamente à hora exata em que houve a queda da caixa.

4.2. Registo do Alarme da Palette

Também é possível consultar os registos dos alarmes das paletes. Desta forma, o operador pode fazer a contabilização do número de vezes em que houve problemas com a palette, como está representado na Figura 17.

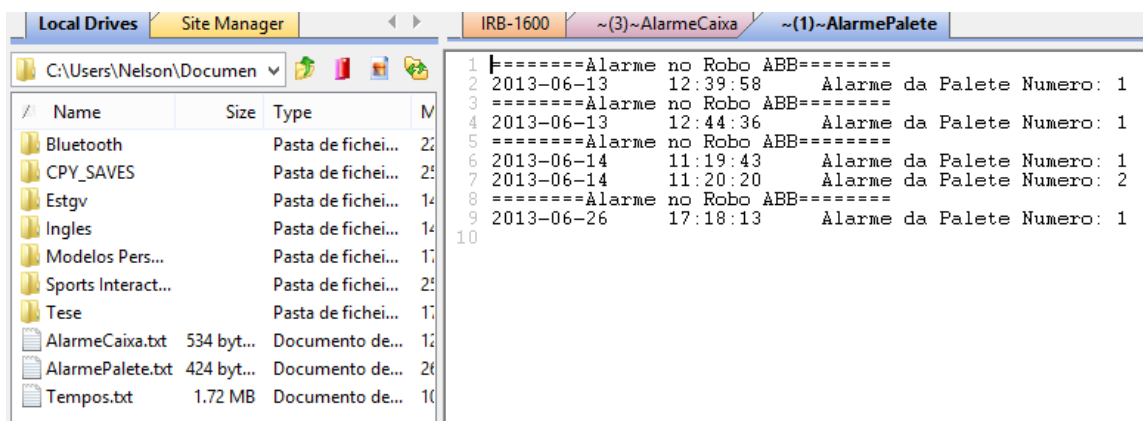


Figura 17 - Registo de problemas na palette

Tal como acontece no registo do alarme da queda de caixas também no registo de problemas na palette é possível recolher as informações relativamente à hora e data do problema.

4.3. Temporização de Paletização

Também é possível ao operador adquirir os tempos de paletização. Esta informação é útil na previsão do tempo de paletização total. Também se consegue especificar qual a caixa que está a ser paletizada.

Na Figura 18 é possível conferir o tempo de paletização, onde se pode também obter a hora, dia, mês e ano de paletização.

Line	Date	Time	Paletization Details
1	2013-06-11	17:17:48	Tempo de Paletizacao P556: 56.528
2	2013-06-11	18:06:15	Tempo de Paletizacao R15: 419.602
3	2013-06-12	12:34:56	Tempo de Paletizacao R15: 266.546
4	2013-06-12	12:45:33	Tempo de Paletizacao P120: 142.615
5	2013-06-12	14:56:05	Tempo de Paletizacao P556: 56.114
6	2013-06-12	15:02:09	Tempo de Paletizacao P556: 62.633
7	2013-06-12	15:06:56	Tempo de Paletizacao P556: 175.216
8	2013-06-12	15:24:03	Tempo de Paletizacao P120: 283.908
9	2013-06-12	15:34:57	Tempo de Paletizacao R15: 225.534
10	2013-06-12	16:03:30	Tempo de Paletizacao R15: 225.719
11	2013-06-12	16:13:53	Tempo de Paletizacao R15: 219.82
12	2013-06-12	16:24:35	Tempo de Paletizacao R15: 212.981
13	2013-06-12	16:42:21	Tempo de Paletizacao R15: 443.11
14	2013-06-12	17:24:31	Tempo de Paletizacao R15: 419.982
15	2013-06-12	17:42:31	Tempo de Paletizacao R15: 419.945
16	2013-06-12	18:05:55	Tempo de Paletizacao R15: 54.227
17	2013-06-14	11:25:38	Tempo de Paletizacao R15: 238.166
18	2013-06-14	11:45:07	Tempo de Paletizacao P120: 151.941
19	2013-06-14	12:29:43	Tempo de Paletizacao P120: 142.588
20	2013-06-14	15:06:30	Tempo de Paletizacao P120: 142.651
21	2013-06-14	15:24:45	Tempo de Paletizacao P120: 142.623
22	2013-06-14	15:52:39	Tempo de Paletizacao R15: 218.541

Figura 18 - Temporização do tempo de paletização

Estes dados são essenciais para o tratamento e análise de dados que poderão ser úteis na calendarização da paletização.