



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Mecatrónica**

Relatório de Estágio

**Sistema de alimentação de peças flexível – “flexfeeder”**

António Manuel Vidinha Alves

Orientador(es) | João Manuel Figueiredo

Évora 2021

---

---

---

---



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Mecatrónica**

Relatório de Estágio

**Sistema de alimentação de peças flexível – “flexfeeder”**

António Manuel Vidinha Alves

Orientador(es) | João Manuel Figueiredo

Évora 2021

---

---

---

---



O relatório de estágio foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Fernando Manuel Janeiro (Universidade de Évora)

Vogais | Frederico José Lapa Grilo (Instituto Politécnico de Setúbal) (Arguente)  
João Manuel Figueiredo (Universidade de Évora) (Orientador)

## Agradecimentos

A realização deste relatório de estágio de Mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade. Sem a ajuda e o apoio de pessoas especiais, não teria tanta motivação e dedicação em alcançar os meus objetivos, realizando mais esta etapa da minha formação. Por me ajudarem, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos, tornando-me uma pessoa preenchida, feliz e realizada, não poderia deixar de vos agradecer.

Ao Professor Dr. João Figueiredo, meu orientador, pela dedicação, disponibilidade e orientação neste percurso.

Aos elementos da minha equipa da Automação e pela entidade “*TE Connectivity*”, nomeadamente o meu chefe Filipe Carretas e os meus colegas Apolo Triste, Martinho Roma e Ana Coelho pela transmissão de conhecimentos, disponibilidade e ajuda neste trabalho.

Ao Gabinete de Recursos Humanos e a António Nabo, por se terem demonstrando incansáveis em toda a divulgação deste projeto e pela vossa preciosa ajuda.

À minha namorada, um agradecimento especial pelo apoio e pela transmissão de confiança e força, em todos os momentos.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram, especialmente aos meus pais por permitirem que este sonho fosse concretizado, pelo apoio e encorajamento. O meu maior agradecimento, pelo exemplo que são, pelo amor incondicional, pela vossa dedicação e por acreditarem sempre em mim. É a vocês, que dedico todo este trabalho.

## Resumo

Este projeto consiste no estudo de um sistema *flexfeeder*, que tem o objetivo de apanhar 5 tipos de terminais e rebitá-los. O robô apanha uma peça que esteja em boa posição e coloca-a na estação de rebitar. Após rebitada, o robô retira esta peça e reinicia o processo de colocação de peças. Conforme o resultado da operação, avaliado pelo critério de qualidade, o robô leva a peça para uma de duas caixas: peças boas ou peças más. Ambas as caixas estão em posições opostas de forma a minimizar possíveis erros.

Este projeto é um projeto piloto que irá servir de estudo de referência para projetos futuros que venham a ser desenvolvidos, com idêntica tecnologia.

Este projeto estudou os fatores chave na construção de um sistema *flexfeeder*, desde a câmara correta a utilizar, a lente, a distância de trabalho e o contexto do robô. Relativamente à temática do robô, foi possível avaliar as diferentes gamas de robôs, qual o robô indicado para cada aplicação e também qual o vibrador flexível a utilizar, tendo em conta o tamanho da matéria prima.

No final deste relatório é apresentado um capítulo, que pretende ser um procedimento de referência para consulta em projetos futuros. O objetivo deste procedimento de referência é que o projetista seguindo as suas recomendações consiga realizar uma máquina eficiente, evitando erros já identificados, neste trabalho.

**Palavras-chave:** Robótica; Visão por computador; Automação Industrial; Eletricidade; Indústria.

## **Flexible system for feeding parts - "flexfeeder"**

### **Abstract**

This project consists of the study of a flexfeeder system, which aims to take 5 types of terminals and rivet them. The robot picks up a piece that is in good position and places it in the riveting station. After riveting, the robot removes this part and restarts the process of collecting parts. Depending on the result of the operation, evaluated by the quality criterion, the robot places the part into one of two available boxes: good parts or bad parts. Both boxes are in opposite positions in order to minimize possible errors.

This project was a pilot project that will serve as a reference study for future projects that will be developed, with identical technology.

This Project studied the key factors in the construction of flexfeeder systems, from the correct camera to use, the lens, the working distance and the robot's context. Regarding the theme of the robot, it was possible to evaluate the different ranges of robots; which project is suitable for each application; and also which flexible vibrator to use, taking into account the size of the raw material.

At the end of this work, a chapter is presented, which aims to be a reference procedure for guiding in future projects. The purpose of this reference procedure is that the designer, following these recommendations, can make an efficient machine, avoiding errors already identified in this work.

**Key words:** Robotics; Computer Vision; Industrial Automation; Electricity; Industry.

## Índice

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
Descrição .....	9
Prós e contras de soluções automáticas de alimentação de peças .....	10
Especificações do produto .....	11
Caracterização do objeto de estudo – Introdução à empresa TE Connectivity .....	12
<b>Capítulo 1 – Construção da máquina .....</b>	<b>13</b>
1.1. Segurança de máquinas .....	13
1.1.1. Análise de risco .....	13
1.1.2. Robô .....	15
1.1.3. Ruído .....	15
1.1.4. Vibrações .....	16
1.1.5. Iluminação .....	16
1.2. Robô .....	17
1.2.1. Características do robô EPSON ProSix C4 A601S .....	17
1.2.2. Volume de trabalho .....	18
1.2.3. <i>Pin-out</i> de ligação elétrica do robô: .....	20
1.2.4. <i>Pin-out</i> de ligação elétrica sinais do robô: .....	21
1.3. Câmara .....	22
1.3.1. Características da câmara .....	23
1.4. <i>Gripper</i> elétrico .....	23
1.4.1. Características do <i>gripper</i> .....	24
1.4.2. <i>Pin-out</i> de ligação elétrica dos <i>gripper</i> .....	25
1.5. Vibrador flexível .....	26
1.5.1. Características do vibrador .....	27
<b>Capítulo 2 – Modo de funcionamento .....</b>	<b>30</b>
2.1. Fluxo de trabalho do robô .....	30
2.1. Fluxograma da Estação de Visão/ Robô .....	31
2.2. Estação .....	32

2.2.1. Desenho da estação, com nomenclatura dos cilindros: .....	32
2.2.2. Funcionalidade dos componentes .....	32
<b>Capítulo 3 – Resultados .....</b>	<b>33</b>
3.1. Apresentação dos resultados do 1º R@R.....	33
3.2. Apresentação dos resultados do 2º R@R.....	34
3.3. Apresentação dos resultados do 3º R@R.....	35
3.4. Apresentação dos resultados do 4º R@R.....	36
3.5. Apresentação dos resultados do 5º R@R.....	38
3.6. Otimização de movimentos.....	40
<b>Capítulo 4 - Discussão dos resultados .....</b>	<b>41</b>
4.1. Lições aprendidas neste projeto .....	41
<b>Capítulo 5 – Seleção e utilização de componentes .....</b>	<b>43</b>
5.1. Seleção das pinças.....	43
5.1.1. Orientação das pinças .....	44
5.2. Seleção do <i>flexfeeder</i> .....	45
5.2.1. Estrutura da plataforma do vibrador flexível.....	46
5.2.2. Acoplamento mecânico do <i>flexfeeder</i> .....	48
5.3. Sistema de visão .....	50
5.3.1. Seleção da câmara.....	51
5.3.2. Seleção da lente.....	54
5.4. Seleção do robô .....	58
5.4.1. Especificações do robô.....	59
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo I – M155, segunda máquina com <i>flexfeeder</i>.....</b>	<b>63</b>



## Lista de Figuras

Figura 1- <i>Flexfeeder</i> do projeto .....	9
Figura 2- Especificações do produto.....	11
Figura 3 – PLr do robô.....	14
Figura 4 - Robô articulado usado no projeto ( <i>source</i> [3]) .....	17
Figura 5 - Vista da flange do robô ( <i>source</i> [3]) .....	18
Figura 6 - Vista lateral robô ( <i>source</i> [3]).....	19
Figura 7 - Vista superior do robô ( <i>source</i> [3]).....	19
Figura 8 - Vista frontal do robô ( <i>source</i> [3]).....	20
Figura 9 – <i>Pin-out</i> ligação elétrica robô.....	20
Figura 10 – <i>Pin-out</i> da ligação dos sinais do robô.....	21
Figura 11 - Câmara "acA2500-14gm" usada no projeto ( <i>source</i> [4]) .....	23
Figura 12 - Relação entre corrente [%] e força do gripper [N] ( <i>source</i> [6]) .....	25
Figura 13 – <i>Pin-out</i> de ligação elétrica da pinça elétrica .....	25
Figura 14 – Possibilidade de plataformas para o vibrador flexível ( <i>source</i> [8]).....	26
Figura 15- Imagem esquemática do vibrador flexível ( <i>source</i> [8]) .....	28
Figura 16 – <i>Pin-out</i> de ligação elétrica do vibrador flexível .....	28
Figura 17 – <i>Pin-out</i> de ligação elétrica do <i>hooper</i> .....	29
Figura 18 - Sequência de funcionamento do robô.....	30
Figura 19 - Fluxograma da Estação de Visão/ Robô .....	31
Figura 20 - Estação de rebitar com nomenclatura.....	32
Figura 21 - Quantidade vibrações/ciclo 1º R@R .....	33
Figura 22 - Distribuição do tempo de ciclo 1º R@R .....	33
Figura 23- Quantidade vibrações/ciclo 2º R@R .....	35
Figura 24 - Distribuição do tempo de ciclo 2º R@R .....	35
Figura 25 -Quantidade vibrações/ciclo 3º R@R .....	36
Figura 26 - Distribuição do tempo de ciclo 3º R@R .....	36
Figura 27 - Quantidade vibrações/ciclo 4º R@R .....	37
Figura 28 - Distribuição do tempo de ciclo 4º R@R .....	37
Figura 29 - Quantidade vibrações/ciclo 5º R@R .....	39
Figura 30 - Distribuição do tempo de ciclo 5º R@R .....	39
Figura 31 - Gráfico de otimização dos movimentos .....	40
Figura 32 - Base do robô com ficha elétrica "1xD-Sub 9 pin" ( <i>source</i> [3]) .....	44
Figura 33 - Pinças novas, alinhadas com a flange .....	44
Figura 34 - Pinças antigas, em ângulo, relativamente à flange .....	45

Figura 35 - Esquemático com estruturas de plataformas (source [8]) .....	47
Figura 36 - Estrutura da plataforma do flexfeeder para molas (source [8]).....	47
Figura 37 - Exemplo de plataforma para rebites de plástico (source [8]).....	47
Figura 38 - Correta fixação do flexfeeder (source [9]) .....	48
Figura 39 - Desacoplamento das vibrações dos dispositivos (source [9]) .....	48
Figura 40 - Suporte específico para cada sistema. (source [9]) .....	49
Figura 41 - Tecnologia anti-vibração (source [9]) .....	49
Figura 42 - Câmara e flexfeeder no mesmo suporte, má instalação (source [9]).....	49
Figura 43 - Exemplos de boas fixações da câmara (source [9]).....	50
Figura 44 - Distância mínima entre dois flexfeeder's (source [9]) .....	50
Figura 45 - Especificação do tamanho do pixel (source [4]) .....	52
Figura 46 - Tecnologias de comunicação com um sistema de visão (source [10]) .....	53
Figura 47 - Comparação de interfaces de comunicação (source [10]) .....	53
Figura 48 - Parâmetros da lente (source [11]).....	54
Figura 49 - Diferentes tipos de distorção (source [13]).....	56
Figura 50 - Distorção complexa (source [13]) .....	56
Figura 51 - Lentes convencionais vs anti-choque/vibração (source [15]) .....	57
Figura 52 - Peça metálica e influências de luzes RGB (source [16]).....	58
Figura 53 - Eixos de um robô articulado (source [3]).....	59
Figura 54 - Fotografia da máquina M155 com um flexfeeder .....	63
Figura 55 - Robô na zona do flexfeeder e outra na zona de inserção .....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - <i>Bowlfeeder vs flexfeeder</i> .....	11
Tabela 2 - Especificações do robô EPSON ProSix C4 A601S ( <i>source</i> [3]) .....	18
Tabela 3 - Ligações elétricas robô .....	21
Tabela 4 - Entradas e saídas digitais do robô .....	22
Tabela 5 - Características da câmara ( <i>source</i> [4]) .....	23
Tabela 6 - Características do <i>gripper</i> elétrico ( <i>source</i> [6]) .....	24
Tabela 7 - Ligações elétricas das entradas do <i>gripper</i> .....	26
Tabela 8 - Ligações elétricas das saídas do <i>gripper</i> .....	26
Tabela 9 - Características do vibrador ( <i>source</i> [8]) .....	27
Tabela 10 - Dimensões do vibrador flexível ( <i>source</i> [8]) .....	27
Tabela 11- Ligações elétricas das entradas do vibrador flexível .....	29
Tabela 12 - Ligações elétricas das saídas do vibrador flexível.....	29
Tabela 13 - Ligações elétricas do <i>hooper</i> .....	29
Tabela 14 - Condições 1º R@R.....	33
Tabela 15 - Condições 2º R@R.....	34
Tabela 16 - Condições 3º R@R.....	35
Tabela 17- Condições 4º R@R.....	37
Tabela 18 - Condições 5º R@R.....	38
Tabela 19 - Pinça elétrica vs pinça pneumática .....	43
Tabela 20 - Vibradores flexíveis consoante o tamanho da peça ( <i>source</i> [8]) .....	46
Tabela 21 - Contraste da peça consoante luz utilizada ( <i>source</i> [16]) .....	58

## INTRODUÇÃO

Para uma aplicação em que é necessário a montagem automática de componentes de um produto, a solução primária de um projetista é um sistema vibrador por calha linear, vulgarmente definido com o termo *bowlfeeder*. Isto aplica-se quando temos o mesmo tipo de componente a ser aplicado em especificações diferentes. No entanto, num produto em que o componente varia consoante a especificação, será necessário um *bowlfeeder* por cada especificação de produto. Devido ao elevado custo de aquisição e espaço ocupado por vários *bowlfeeders*, a solução apresentada neste projeto centrou-se num sistema de alimentação que, por programação, ajusta-se à especificação pretendida, denominado de *flexfeeder*.

O projeto elaborado, enquanto colaborador da empresa *TE Connectivity*, será implementado no produto “*High Current Relay*” (*HCR*), projeto cujo objetivo é o aumento de capacidade de produção para 55 mil relés semanais. Neste projeto, os componentes são terminais que irão ser montados na base do relé.

### Descrição

Este projeto centra-se na interligação de 5 sistemas primários (Fig. 1).

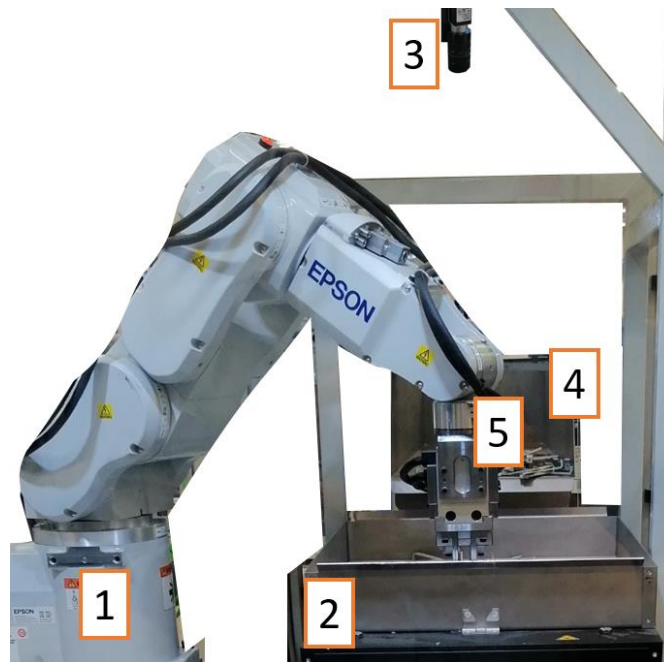


Figura 1- *Flexfeeder* do projeto

Descrição de cada sistema:

1. Robô, com a função de “*pick and place*”;
2. *Flexfeeder*, com a função de deslocar os componentes;
3. Câmara que, por processamento de visão, identifica as posições dos componentes no *flexfeeder*;
4. *Hopper*, que permite a reposição de peças no *flexfeeder*;
5. Garra (*gripper*), com a finalidade de segurar as peças para transporte.

Desta forma, quando é necessário um componente para colocar no produto, o robô coloca-se numa posição, fora do campo de visão da câmara, é tirada uma fotografia cuja informação, após analisada pelo sistema de processamento, é enviada ao robô com a posição  $(x,y,\theta)$  dos componentes ótimos para transportar. O robô desloca-se então para a posição ótima, segura o componente, com a garra, entregando-o no ponto programado. Quando o *flexfeeder* está vazio é dada informação ao *hopper* para repor novos componentes.

### Prós e contras de soluções automáticas de alimentação de peças

Para soluções automáticas de alimentação de peças, usualmente as soluções do mercado tendem a ser *bowlfeeders* ou *flexfeeders*, conforme a especificação do projeto. Para cada uma destas soluções foi elaborada a tabela 1 de forma a mostrar as vantagens e desvantagens de ambas as soluções.

	<b><i>Bowlfeeder</i></b>	<b><i>Flexfeeder</i></b>
<b>Tempo ciclo [s]</b>	Rápido (cerca de 0,5s)	Lento (mínimo 1s)
<b>Especificação de produto</b>	Uma, exceto peças sem variação dimensional	Adaptável a várias especificações por <i>software</i>
<b>Preço</b>	Mais barato	Mais caro
<b>Flexibilidade de reimplementação</b>	Necessário novo <i>design</i> de peça para peça	Adaptável à peça por <i>software</i>

<b>Variação dimensional de lotes</b>	Sensível a variações de lote	Ajustável
<b>Repetibilidade em tempo de ciclo</b>	Sim, exceto para peças fora de especificação	Não, está dependente de peça boa no <i>flexfeeder</i>

Tabela 1 - *Bowlfeeder* vs *flexfeeder*

### Especificações do produto

Para o projeto em questão foram rebitados os terminais A, B, C, D e E, com os rebites 1 e 2:

Estes terminais, depois de rebitados, geram os subconjuntos A1, B1, C1, C2, D1, D2, E1 e E2 (Fig. 2).

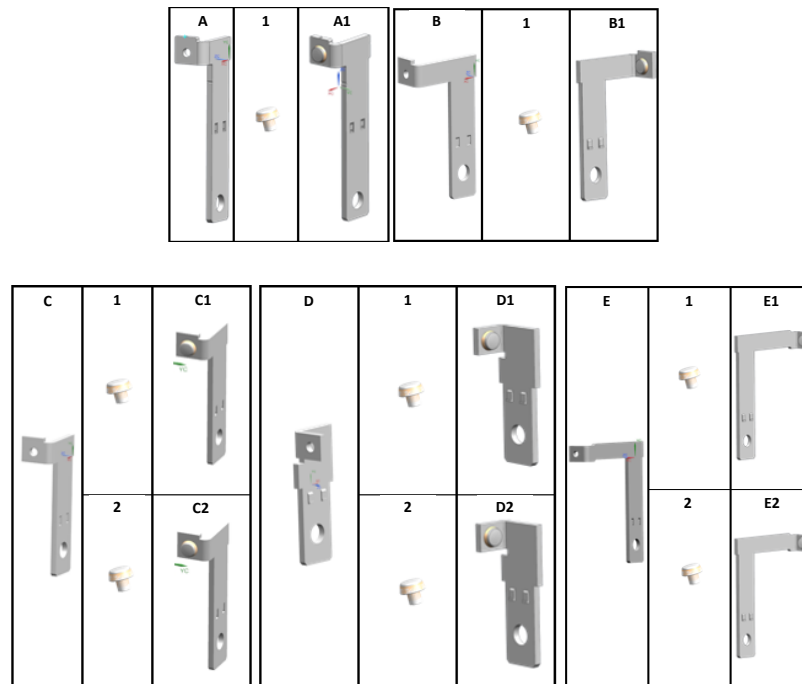


Figura 2- Especificações do produto

## Caracterização do objeto de estudo – Introdução à empresa TE Connectivity

A *TE Connectivity* [1] é uma empresa internacional, líder mundial em conectividade e inovação. Fundada em Portugal no ano de 1969, a *TE* conta hoje com cerca de 2000 colaboradores e duas fábricas em Évora (*Automotive* e *Industrial* – antiga *Axicom*) e um *Business Center*.

A empresa está representada em cerca de 150 países, com 18 fábricas na Europa, Médio Oriente e África (*EMEA*), 6 fábricas na América e 7 fábricas na Ásia perfazendo cerca de 78 mil colaboradores e apresentando em 2020 um resultado líquido consolidado de €13.4 Bilhões. A *TE Connectivity* investiu, em 2017, €650 milhões em investigação, desenvolvimento e engenharia, estando presente, desde 2012, no TOP100 do *ranking* de empresas globais em inovação.

Do ponto de vista social, a *TE Connectivity* realizou um grande investimento em campanhas de direitos humanos e igualdade, sendo reconhecida como uma das empresas mais éticas.

Breve história da *TE Connectivity*, em Portugal:

- 1969 – Fundação da Fábrica de Évora (na altura *Siemens SA*);
- 1971 – Inauguração das Instalações atuais;
- 1973 – Produção dos primeiros relés;
- 1979 – Produção de 10 milhões relés/ano;
- 1984 – Criação do gabinete de Engenharia do Produto;
- 1993 – Primeira linha completamente automática;
- 1998 – Produção de 100 milhões relés/ano;
- 1999 – Integração da Fábrica no grupo Tyco Internacional;
- 2001 – Produção de 150 milhões relés/ano;
- 2003 – Produção de 200 milhões/ano;
- 2013 – Transferência de linhas de produção da Suíça e início da *Axicom*;
- 2014 – Alteração de nome para *TE Connectivity* e integração na unidade de Negócios *Automotive*;
- 2015 – Produção de 250 milhões relés/ano;
- 2017 – Inauguração do *Business Center*;
- 2019 – *TE Conectivity* celebra 50 anos em Portugal.

## Capítulo 1 – Construção da máquina

### 1.1. Segurança de máquinas

O *flexfeeder* tem riscos físicos, nomeadamente ruído, iluminação e vibrações e, no caso do robô, riscos mecânicos.

Conceitos de segurança base, segundo a norma EN ISO 12100:

- Dano: lesão física ou prejuízo para a saúde;
- Perigo: potencial fonte de dano;
- Risco: combinação da probabilidade da ocorrência do dano e da gravidade desse dano;

#### 1.1.1. Análise de risco

Existem ferramentas para a avaliação dos riscos como a ISO TR 14121 e o método *Kinney*. Após identificação dos perigos e avaliação dos riscos são tomadas medidas para eliminação e/ou redução dos mesmos, tendo em conta a hierarquia de controlo, sendo também avaliado o nível de desempenho do sistema, quando aplicável.

O nível de desempenho (PL, do inglês *Performance Level*), segundo a EN ISO 13849-1 e EN ISO 12100, é o nível discreto utilizado para especificar a capacidade das partes dos sistemas de controlo relacionadas com a segurança para desempenhar uma função de segurança em condições previsíveis. Por outro lado, o nível de desempenho exigido (PLr, do Inglês *required Performance Level*) é usado para reduzir o risco relativo a cada função de segurança. Portanto, o nível de desempenho (PL) da máquina deve ser igual ou superior ao nível de desempenho exigido (PLr).

Estão previstos cinco níveis, de “PLr = a” para uma contribuição de redução de um risco baixo, até “PLr = e” para um risco alto. Para determinar o PLr é necessário analisar o risco dos componentes de uma máquina, seguindo as seguintes avaliações:

**S** – Severidade do ferimento (gravidade dos ferimentos):

- S1 = leve (reversível)
- S2 = grave (irreversível e inclusive fatal)

**F** – Frequência e duração de exposição:

- F1 = raramente (menos frequência e/ou pequena exposição)

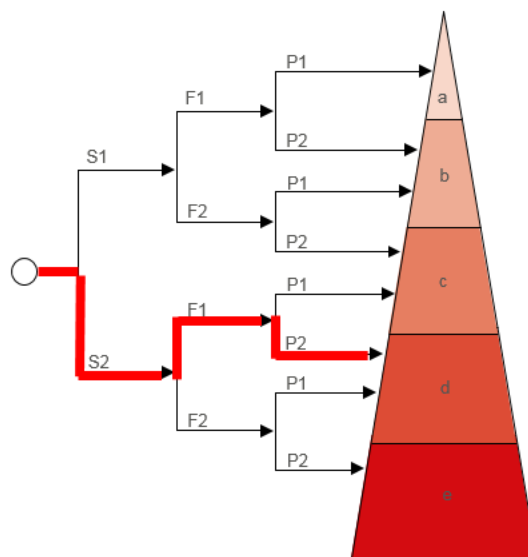


- F2 = frequente (constante e/ou longa exposição)

**P** – Possibilidades de evitar o perigo (referem-se geralmente à velocidade e frequência com a qual a peça analisada se movimenta e a distância operador-peça):

- P1 = possível (sob determinadas condições)
- P2 = pouco possível

O fabricante da máquina, a partir do ponto inicial do gráfico e respondendo às perguntas S, F e P, identificará o PLr para cada uma das funções de segurança examinada. Exemplo do PLr de um robô representado na figura 3.



**Figura 3 – PLr do robô**

O parâmetro básico usado para atingir um PL específico é a Categoria (Cat.). A categoria indica a arquitetura de *hardware* do sistema de segurança. Existem 4 tipos de categorias (B, 1, 2, 3, 4):

**Cat. B:** Utilização de apenas 1 canal funcional no sistema. Quando ocorre uma falha, ela pode levar à perda da função de segurança. O PL máximo alcançável com a categoria B é  $PL = b$ .

**Cat. 1:** Igual à Cat. B, mas assegurando a fiabilidade dos componentes utilizados. Categoria 1 deve ser projetado e construído usando componentes bem testados e princípios de segurança comprovados (ver norma ISO 13849-2). O PL máximo alcançável com a categoria 1 é  $PL = c$ .

**Cat. 2:** Consiste em um canal funcional e um sistema de teste/*feedback*, assegurando a fiabilidade dos componentes utilizados. O PL máximo alcançável com a categoria 2 é PL = c.

**Cat. 3:** dois canais funcionais semelhantes (denominada de redundância). Um sistema de segurança de categoria 3 é constituído por dois canais, que podem ser homogéneos ou diferentes. Alguns sistemas de Categoria 3 requerem a monitorização das saídas. O PL máximo alcançável com a categoria 2 é PL = d.

**Cat.4:** Dois canais semelhantes, mais sistema de teste/*feedback*. Os sistemas da categoria 4 também utilizam dois canais. A monitorização é utilizada para detetar falhas múltiplas no sistema sem perder a função de segurança. O PL recomendado com a categoria 2 é PL = e (PL mais alto).

### 1.1.2. Robô

Numa máquina que contenha robôs, a segurança tem de ser acrescida. Num robô, há o risco mecânico de beliscão, esmagamento, corte, amputação e morte. Por isso é necessário retirar toda a energia para aceder ao robô. O tempo necessário para eliminar as energias perigosas (elétrica e mecânica) não é suficiente para ponderar o uso de barreiras fotoelétricas. Tendo em conta este requisito de segurança, a solução adequada é a aplicação de protetores móveis com dispositivos de encravamento que cumprem os requisitos normativos. Quando o botão de paragem de emergência é premido, ou há abertura dos protetores móveis (portas), o robô não tem alimentação de energia, assegurando-se assim a segurança do sistema.

De acordo com a norma ISO 10218-1, um robô apenas pode operar de portas abertas, se for assegurado, uma velocidade máxima de 250mm/s.

### 1.1.3. Ruído

Relativamente ao ruído, a Diretiva Máquinas DL103/2008 estabelece que a máquina deve ser concebida e fabricada por forma a que os riscos resultantes da emissão de ruído aéreo produzido sejam reduzidos ao nível mais baixo.

Relativamente ao ruído aéreo emitido a legislação define:

- Nível de pressão acústica de emissão ponderado A, nos postos de trabalho, se exceder 70 dB (A); se este nível for inferior ou igual a 70 dB (A), esse facto deve ser mencionado;

- Valor máximo da pressão acústica instantânea ponderada C, nos postos de trabalho, se exceder 63 Pa (130 dB em relação a 20  $\mu$ Pa);
- Nível de potência acústica ponderado A emitido pela máquina quando o nível de pressão acústica de emissão ponderado A, nos postos de trabalho, exceder 80 dB (A).

O Decreto-Lei n.º 182/2006, estabelece a proibição da exposição pessoal diária ou semanal a ruídos iguais ou superiores a 87 dB (A) ou a valores de pico iguais ou superiores a 140 dB (A).

Num sistema *flexfeeder* o ruído não é constante. O ruído do sistema apenas acontece quando não há peças bem orientadas na plataforma (momento da vibração do sistema). O risco de exposição do operador ao ruído é reduzido através do encapsulamento da máquina (aplicação de protetores móveis – portas – e protetores fixos).

#### 1.1.4. Vibrações

Relativamente a vibrações, a Diretiva Máquinas DL103/2008, estabelece que a máquina deve ser concebida e fabricada de modo a que os riscos resultantes das vibrações por ela produzidas sejam reduzidos ao nível mais baixo.

Neste contexto, o Decreto-lei n.º 46/2006, estabelece valores limite para as vibrações transmitidas ao sistema mão-braço:

- a) Valor limite de exposição: 5 m/s<sup>2</sup>;
- b) Valor de ação de exposição: 2,5 m/s<sup>2</sup>.

Para vibrações expostas ao corpo inteiro:

- a) Valor limite de exposição: 1,15 m/s<sup>2</sup>;
- b) Valor de ação de exposição: 0,5 m/s<sup>2</sup>

Nesta máquina, o operador não tem contacto direto com o sistema *flexfeeder*, sendo garantido, na sua conceção, que a vibração não é transmitida ao operador.

#### 1.1.5. Iluminação

Não existindo legislação aplicável, de modo geral, os valores oscilam entre 150 a 2000 lux [2]. Os valores referenciados para definir o nível de iluminação adequado a cada atividade constam das normas internacionais DIN 5035-2:1990, ISO 8995:2002 e DIN EN 12464-1.

## 1.2. Robô

O robô usado na aplicação desenvolvida foi um “EPSON ProSix C4 A601S” [3] com 6 eixos (Fig. 4). A escolha de um robô com 6 eixos prendeu-se com o facto da posição de busca de terminal ter uma orientação diferente nos ângulos “v,w”. Esta característica de projeto inviabiliza a utilização de robôs com apenas uma orientação e menos eixos.



Figura 4 - Robô articulado usado no projeto (source [3])

### 1.2.1. Características do robô EPSON ProSix C4 A601S

Seguidamente, na tabela 2, são apresentadas as especificações técnicas do robô.

<i>Design</i>	Braço articulado vertical
Capacidade de carga	4/5 [kg] - 5kg possível sob certas condições
Alcance horizontal	600[mm]
Repetibilidade	0.02[mm]
Momento de inércia	Eixo 4: 0,15 kg*m <sup>2</sup> , Eixo 5: 0,15 kg*m <sup>2</sup> , Eixo 6: 0,1 kg*m <sup>2</sup>
Cablagem do utilizador	Elétrico: 1x D-Sub 9 pin Pneumática: 4x Ø4mm com 5,8 [bar] máximo
Peso	27kg

Controlador	RC700-A, RC700DU-A
Instalação	Chão e teto
Certificados	Directiva relativa às máquinas: EN 60204-1, Directiva EMC: EN 55011, Directiva EMC: EN 60950, Directiva RoHS: 2002/92/EC, ANSI/RIA: R15.06-1999, UL 1740-1998
Temperatura ambiente	5°C – 40°C
Humidade relativa	20% a 80% (sem condensação)

Tabela 2 - Especificações do robô EPSON ProSix C4 A601S (source [3])

### 1.2.2. Volume de trabalho

A amplitude de movimentos admissíveis para cada eixo é apresentada seguidamente:

- Eixo 6: +/- 360 °;
- Eixo 5: +/- 135 °;
- Eixo 4: +/- 200 °;
- Eixo 3: + 225 ° / - 51 °;
- Eixo 2: + 65 ° / - 160;
- Eixo 1: +/- 170 °.

As características de cada Grau de Liberdade [3], segundo as várias vistas, são ilustradas nas Figs. 5 a 8.

- Vista da flange:

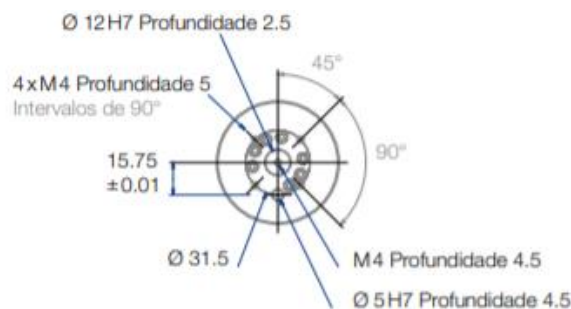


Figura 5 - Vista da flange do robô (source [3])

- Vista lateral:

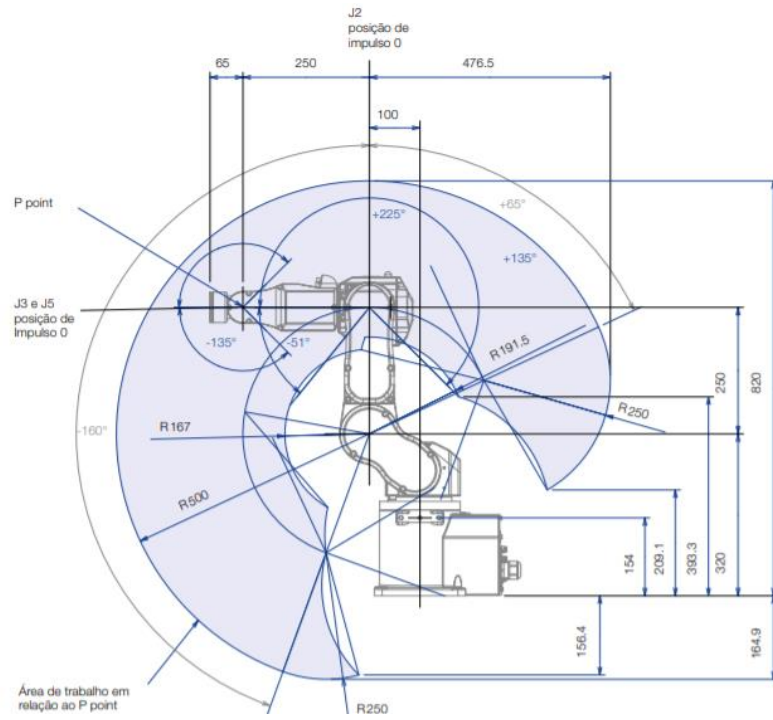


Figura 6 - Vista lateral robô (source [3])

- Vista superior:

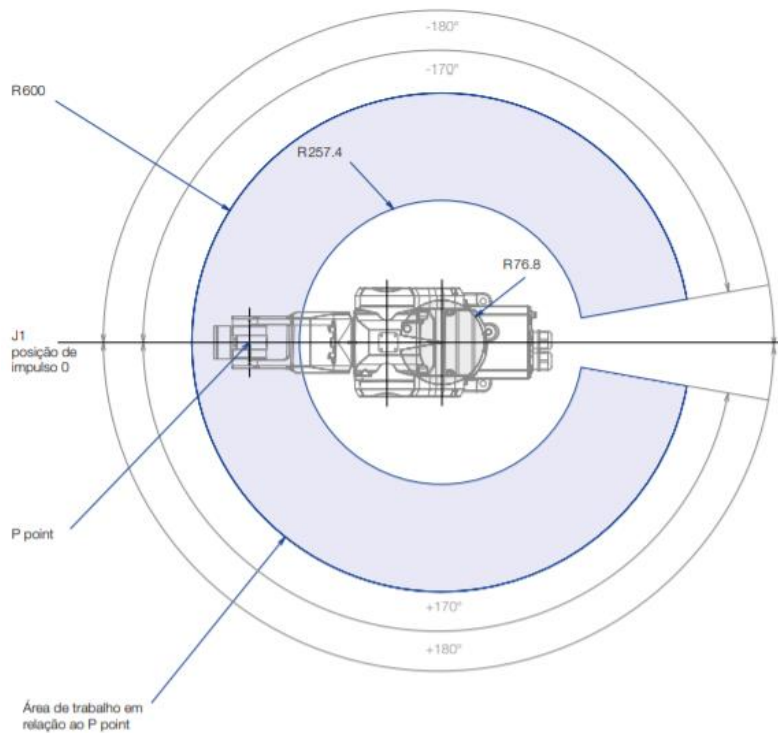


Figura 7 - Vista superior do robô (source [3])

- Vista frontal:

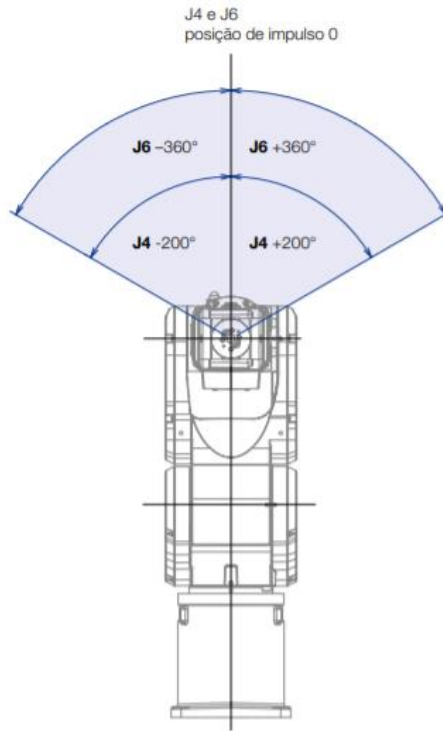


Figura 8 - Vista frontal do robô (source [3])

### 1.2.3. Pin-out de ligação elétrica do robô:

O Robô apresenta o *pin-out* ilustrado na figura 9.

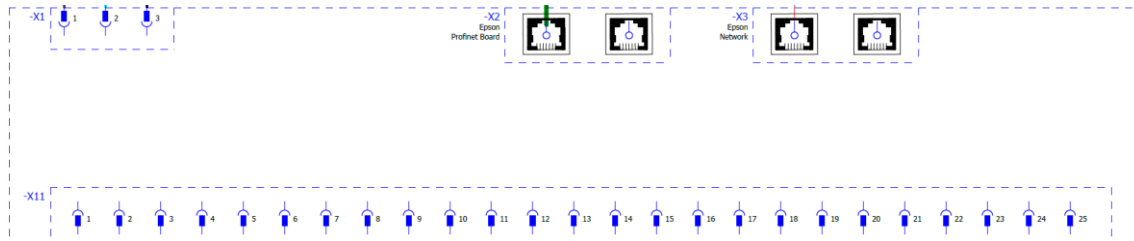


Figura 9 – Pin-out ligação elétrica robô

As ligações do robô, representadas na figura 9, estão descritas na tabela 3.

Pino	Ficha	Descrição
1	X11	Canal 1 sinal emergência
7	X11	Canal 1 sinal segurança portas

9	X11	Canal 1 saída emergência
10	X11	Canal 2 saída emergência
14	X11	Canal 2 sinal emergência
18	X11	Sinal controlo
20	X11	Canal 2 sinal segurança portas
8,19,21	X11	Sinal <i>GND</i>
	X2	Ligação <i>Profinet</i> com <i>PLC</i>
	X3	Ligação <i>Ethernet</i> comunicação com o <i>flexfeeder</i> e interface programação
1	X1	Alimentação ligação 24V
2	X1	Alimentação ligação neutro
3	X1	Alimentação ligação terra

Tabela 3 - Ligações elétricas robô

#### 1.2.4. Pin-out de ligação elétrica sinais do robô:

Os sinais do Robô estão ilustrados no pin-out representado na figura 10.

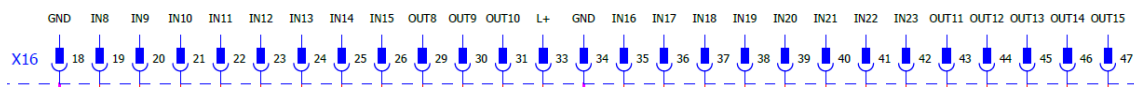


Figura 10 – Pin-out da ligação dos sinais do robô

As ligações dos sinais do robô, representados na figura 10, estão descritos na tabela 4.

Pino	Ficha	Descrição
18	X16	Alimentação <i>GND gripper 1</i>
19	X16	Indicação <i>gripper 1</i> aberto
20	X16	Indicação <i>gripper 1</i> fechado
21	X16	Indicação <i>gripper 1</i> na posição 2
22	X16	Indicação <i>gripper 1</i> na zona 1



23	X16	Indicação <i>gripper</i> 1 com referência válida
24	X16	Indicação <i>gripper</i> 1 em modo de força ou fim de curso
25	X16	Indicação <i>gripper</i> 1 em emergência
26	X16	Indicação <i>gripper</i> 1 em alarme
29	X16	Comando <i>gripper</i> 1 posição abertura
30	X16	Comando <i>gripper</i> 1 posição fecho
31	X16	Comando <i>gripper</i> 1 posição 2
33	X16	Alimentação 24V <i>gripper</i> 1
34	X16	Alimentação GND <i>gripper</i> 2
35	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 aberto
36	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 fechado
37	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 na posição 2
38	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 na zona 1
39	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 com referência válida
40	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 em modo de força ou fim de curso
41	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 em emergência
42	X16	Indicação <i>gripper</i> 2 em alarme
43	X16	Reinício <i>gripper</i> 1 e 2
44	X16	Comando <i>gripper</i> 2 posição abertura
45	X16	Comando <i>gripper</i> 2 posição fecho
46	X16	Comando <i>gripper</i> 2 posição 2
47	X16	Alimentação 24V <i>gripper</i> 2

Tabela 4 - Entradas e saídas digitais do robô

### 1.3. Câmara

A câmara utilizada foi o equipamento “acA2500-14gm – Basler” [4] (Fig. 11), câmara monocromática de 5 MPixel. Esta não é uma câmara inteligente. O

processamento da imagem é realizado pelo dispositivo “EPSON CV2” [5] que comunica com o controlador do robô, por *Ethernet*.



Figura 11 - Câmara "acA2500-14gm" usada no projeto (source [4])

### 1.3.1. Características da câmara

Seguidamente, na tabela 5, são apresentadas as especificações técnicas da câmara.

Tipo de sensor	CMOS
Tamanho do sensor	5.7 [mm] x 4.3 [mm]
Resolução (HxV)	2592px x 1944px
Resolução	5 MP
Tamanho do pixel	2.2 $\mu\text{m}$ x 2.2 $\mu\text{m}$
Imagens por segundo	14.6 fps
Tamanho (LxWxH)	42.0 mm x 29 mm x 29 mm
Peso	90g
Velocidade de comunicação	<i>Fast Ethernet</i> (100Mbits/s) <i>Gigabit Ethernet</i> (1000Mbit/s)
Tamanho em Bit por pixel	12 bits
Alimentação	<i>PoE</i> ou 12 VDC
Potência	2.2W 2.7W ( <i>PoE</i> )
Temperatura operação	0 – 50°C

Tabela 5 - Características da câmara (source [4])

### 1.4. Gripper elétrico

O gripper utilizado foi o equipamento “IAI RCP4-GRSML” [6], um gripper linear com *encoder* incremental. Este gripper permite um funcionamento com controlo por

força ou por distância. No caso do modo de força, o *gripper* irá pressionar a peça. No caso de modo de posicionamento, o *gripper* apenas irá para uma certa posição sem pressionar a peça.

O cabo de ligação ao controlador é um cabo apropriado para robôs com 40 condutores. O controlador é um "IAI PCON-CB-28PWAI-PN-2-0" [7]. É no controlador que se definem as posições de trabalho e repouso.

#### 1.4.1. Características do *gripper*

Seguidamente, na tabela 6, são apresentadas as especificações técnicas do *gripper*.

Motor	Motor de passo
Tipo de <i>encoder</i>	Incremental
Sistema de engrenagens	Parafuso sem-fim com roda helicoidal
Guia	linear
Curso abertura-fecho [mm]	14 (7mm para cada lado)
Força máxima [N]	87
Velocidade linear [mm/s]	94
Repetibilidade [mm]	+/-0.01
Intervalo de ajuste em modo de força	20 a 70% força total
Dimensões (LxWxH)	62x34x87.5
Peso [kg]	0.5

Tabela 6 - Características do *gripper* elétrico (source [6])

O modo de força do *gripper* apresenta uma resposta linear representada na figura 12.

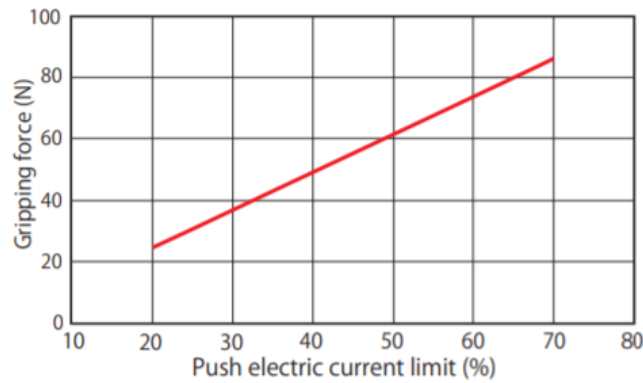


Figura 12 - Relação entre corrente [%] e força do *gripper* [N] (source [6])

Só é possível ativar o modo de força para correntes máximas entre 20 e 70%  $I_{max}$ , relativamente à corrente nominal. O que representa em força, valores entre os 25N e os 87N. Neste projeto, o modo de força está nos 70% da força máxima.

#### 1.4.2. Pin-out de ligação elétrica dos *gripper*

O *gripper* apresenta o *pin-out* representado na figura 13.

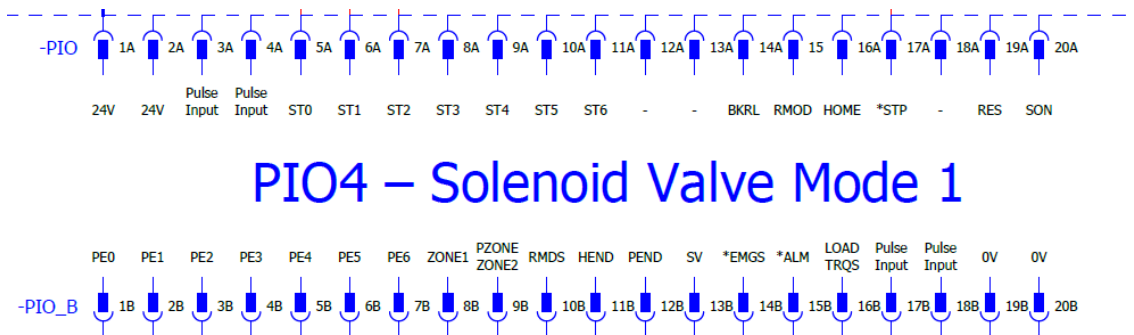


Figura 13 – Pin-out de ligação elétrica da pinça elétrica

As ligações das entradas do *gripper*, representadas na figura 13, estão descritas na tabela 7.

Pino	Descrição Pino	Descrição
1B	PE0	Indicação de posição de abertura
2B	PE1	Indicação de posição de fecho
3B	PE2	Indicação da Posição 2
8B	ZONE1	Indicação que <i>gripper</i> está na zona 1

11B	<i>HEND</i>	Indicação de referência válida
12B	<i>PEND</i>	Indicação de fim de curso ou modo de força
14B	<i>EMGS</i>	<i>Gripper</i> em emergência
15B	<i>ALM</i>	<i>Gripper</i> em erro

**Tabela 7 - Ligações elétricas das entradas do *gripper***

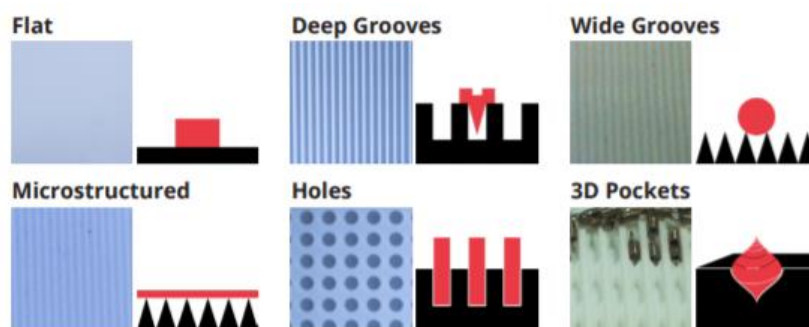
As ligações das saídas do *gripper*, representadas na figura 13, estão descritas na tabela 8.

Pino	Descrição Pino	Descrição
5A	<i>STO0</i>	Comando para posição de abertura
6A	<i>STO1</i>	Comando para posição de fecho
7A	<i>STO2</i>	Comando para Posição 2
19A	<i>RES</i>	Reinício ao <i>gripper</i>

**Tabela 8 - Ligações elétricas das saídas do *gripper***

### 1.5. Vibrador flexível

O vibrador usado neste projeto foi o “*Asycube 530*” [8] (Fig. 15), concebido para peças, com dimensões, entre 15 e 60 mm. A plataforma do vibrador utilizado é lisa, mas há a possibilidade de uma plataforma maquinada (Fig. 14) o que permite o guiamento das peças numa certa orientação.



**Figura 14 – Possibilidade de plataformas para o vibrador flexível (source [8])**

### 1.5.1. Características do vibrador

Seguidamente, nas tabelas 9 e 10, serão apresentadas as especificações técnicas do vibrador flexível (*flexfeeder*) [8].

Dimensão peças	15 a 60 [mm]
Alimentação	24 V / 40 A
Comunicação	<i>Ethernet (TCP/IP), Modbus TCP</i>  (Opcional via <i>gateway</i> ) <i>EtherNet/IP, EtherCat, PROFINET, CC-Link</i>
<i>Led</i> integrado	Vermelho (Escolhida para este projeto) / verde / azul / branco / infravermelhos
Tamanho <i>Hooper</i>	10 litros
<i>Inputs/Outputs</i>	2 entradas digitais de 24V  2 saídas digitais de 24V  2 saídas analógicas 0-10V

Tabela 9 - Características do vibrador (*source* [8])

Dimensões:

Descrição	Referência	Dimensões [mm]
Plataforma	A	254
	B	325
Base	C	257
	D	499
	D'	115
Altura máxima	E	307
Altura	F	245

Tabela 10 - Dimensões do vibrador flexível (*source* [8])

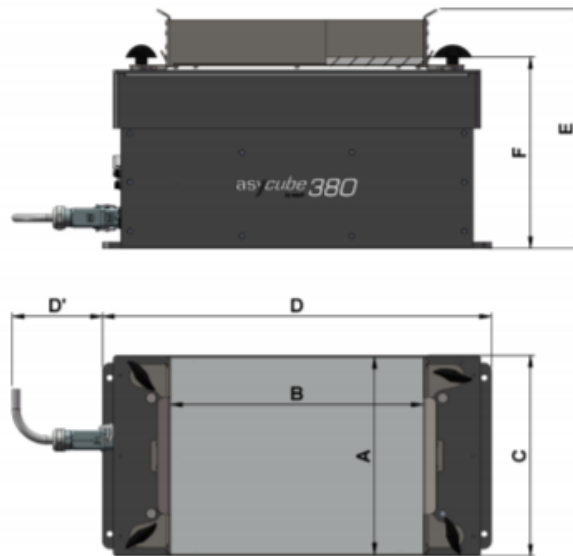


Figura 15- Imagem esquemática do vibrador flexível (source [8])

### 1.5.2. Pin-out de ligação elétrica do flexfeeder:

O flexfeeder apresenta o pin-out representado na figura 16.

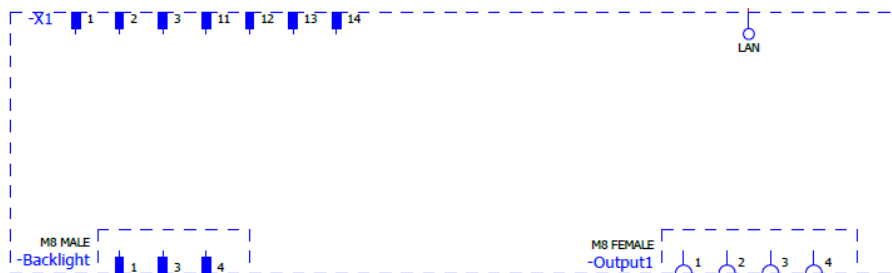


Figura 16 – Pin-out de ligação elétrica do vibrador flexível

As ligações da ficha “X1”, representadas na figura 16, estão descritas na tabela 11.

Pino	Descrição Pino	Descrição
1	PE0	Alimentação 24V de potência
2	PE1	Alimentação GND de potência
3	PE2	Ligação terra
11	ZONE1	Alimentação 24V de sinal

12	<i>HEND</i>	Alimentação <i>GND</i> de sinal
----	-------------	---------------------------------

**Tabela 11- Ligações elétricas das entradas do vibrador flexível**

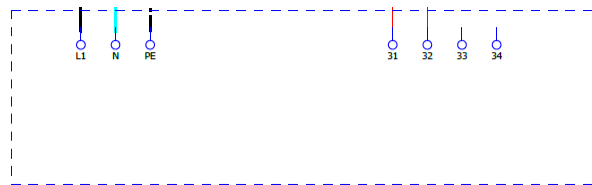
As ligações da ficha “Output1”, representadas na figura 16, estão descritas na tabela 12.

Pino	Descrição Pino	Descrição
3	<i>Backlight</i>	Ligação <i>GND</i> à luz
4	<i>Backlight</i>	Ligação 24V à luz
3	<i>Output 1</i>	Ligação <i>GND</i> ao <i>Hooper</i>
4	<i>Output 1</i>	Ligação 24V ao <i>Hooper</i>

**Tabela 12 - Ligações elétricas das saídas do vibrador flexível**

### 1.5.3. Ligação ao *Hooper*

O *Hooper*, comandado pelo vibrador flexível, apresenta o pin-out representado na figura 17.



**Figura 17 – Pin-out de ligação elétrica do *hooper***

As ligações do *Hooper*, representadas na figura 17, estão descritas na tabela 13.

Pino	Descrição
<i>L1</i>	Alimentação 230V de potência
<i>N</i>	Alimentação neutro de potência
<i>PE</i>	Alimentação terra
31	Sinal de comando <i>GND</i>
32	Sinal de comando 24V

**Tabela 13 - Ligações elétricas do *hooper***



## Capítulo 2 – Modo de funcionamento

Neste capítulo será apresentado o modo de funcionamento da máquina. Para além do fluxo de operações do robô (Fig. 18) também será apresentado o fluxo de trabalho da estação (Fig. 21).

### 2.1. Fluxo de trabalho do robô

O robô é responsável por apanhar peças no *flexfeeder* e em seguida fixar a peça na estação. Depois de analisado o resultado da peça, entrega-a na caixa de produto bom ou mau. Após este ciclo estar completo, o ciclo é reiniciado até uma instrução de fim de ciclo ou até a caixa dos bons atingir uma produção de 500 peças boas.

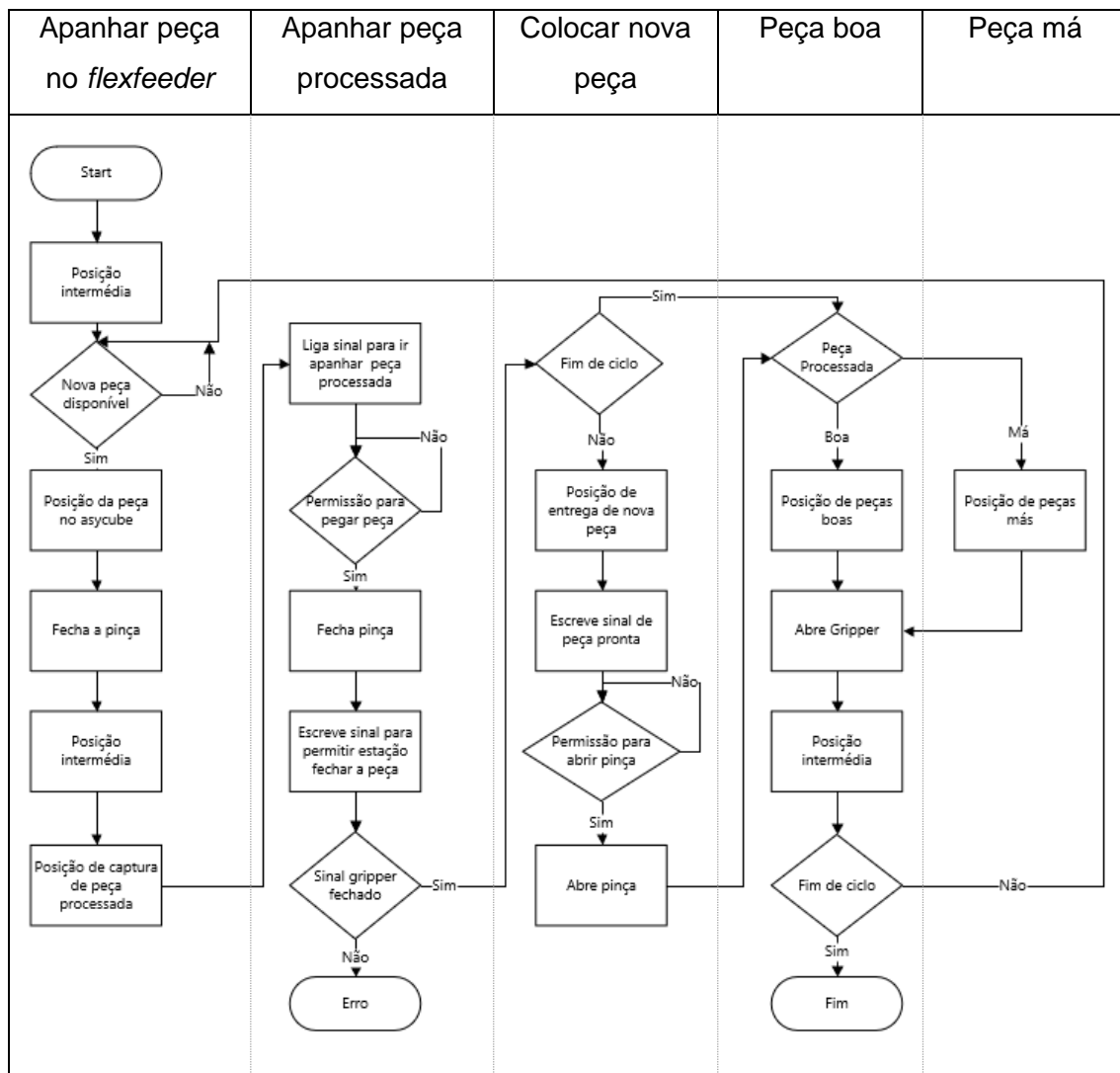


Figura 18 - Sequência de funcionamento do robô

Uma das implementações efetuadas, após realizados os estudos *run at rate* ( $R@R$ ) é a necessidade de a peça estar sempre apoiada, quer pela estação, quer pelo robô. Deste modo, é necessária uma comunicação mais robusta, de forma a que o robô só largue a peça após a mesma estar fixada na estação e vice-versa.

## 2.1. Fluxograma da Estação de Visão/ Robô

A estação de visão fornece a instrução ao robô de que existe uma peça boa a apanhar (Fig. 19). Após existir uma peça boa no *flexfeeder*, o robô recebe a informação sobre a posição/orientação da peça e, quando estiver no passo de ir buscar uma peça nova, o robô desloca-se para a posição fornecida pela câmara.

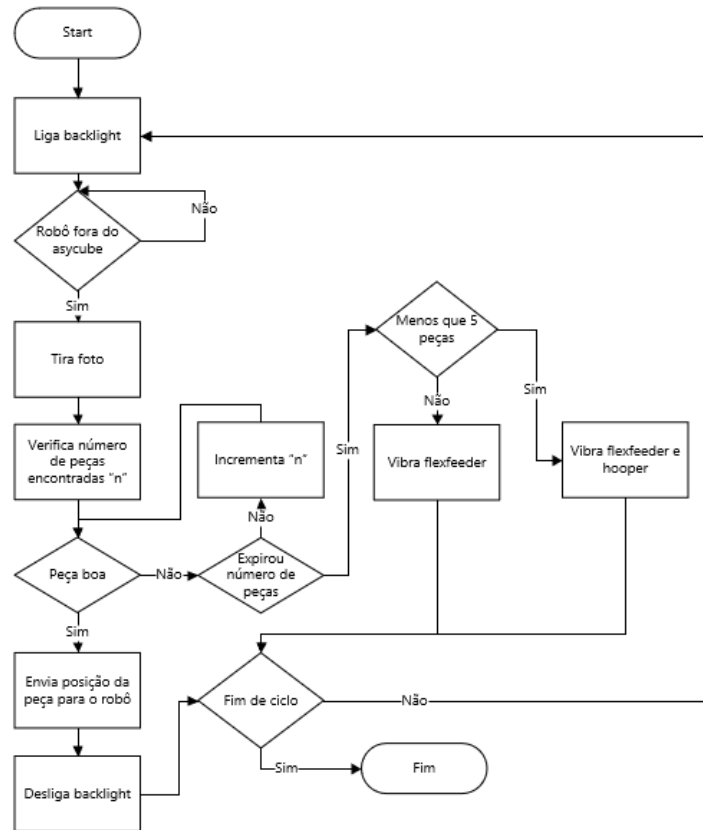


Figura 19 - Fluxograma da Estação de Visão/ Robô

Interpretando o processamento da câmara (Fig. 19), verifica-se que o *Hooper* apenas trabalha se estiverem menos de 7 peças disponíveis no *flexfeeder*. Esta condição foi estabelecida de acordo com a observação da operação da máquina e foi um parâmetro obtido de modo a otimizar-se o funcionamento da máquina. Havia também a possibilidade, testada inicialmente, de colocar o *Hooper* em funcionamento,

consoante o número de peças disponíveis (exemplo: é definido 10 peças no vibrador, se houver 7, irá vibrar o equivalente a 3 peças), no entanto verificou-se um pior desempenho da máquina, para esta alternativa. Com a metodologia adotada, evitou-se a existência de demasiadas peças no *flexfeeder*.

## 2.2. Estação

A estação de rebitar (Fig. 20) é controlada pelo PLC (Programmable Logic Controller) principal e comunica com o robô de forma a iniciar o trabalho ou a entregar uma peça processada. A prensa elétrica é responsável pelo processo de cravamento. É a prensa que controla se o cravamento está dentro dos valores da especificação.

### 2.2.1. Desenho da estação, com nomenclatura dos cilindros:

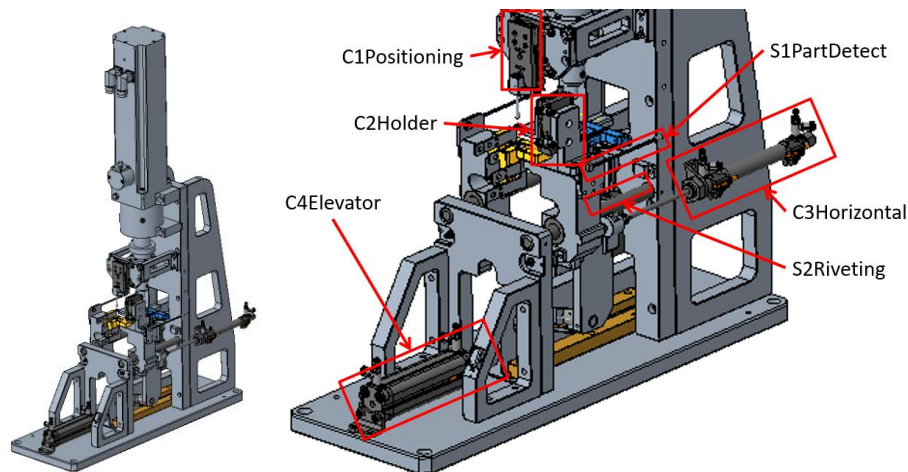


Figura 20 - Estação de rebitar com nomenclatura

### 2.2.2. Funcionalidade dos componentes

- *C1Positioning*: responsável por centrar o furo do terminal onde será rebitado, após o robô fornecer a peça;
- *C2Holder*: responsável por segurar a peça após o centrador atuar. Este cilindro mantém-se atuado durante o processo de rebitar o terminal;
- *C3Horizontal*: responsável por mover o terminal da zona de colocação de peça até à prensa elétrica;
- *C4Elevator*: Responsável por elevar o rebite, proveniente de um *bowlfeeder*;
- *S1PartPresent*: Sensor que deteta presença de terminal na estação;
- *S2Riveting*: Sensor que deteta a presença de rebite no final da calha do vibrador.

### Capítulo 3 – Resultados

#### 3.1. Apresentação dos resultados do 1º R@R

Condições do R@R apresentados na tabela 14.

Modo	Velocidade	Número de ciclos	Tempo de ciclo médio [s]
Low Power	100%	115	88,997

Tabela 14 - Condições 1º R@R

Resultado da quantidade de vibrações por ciclo está representado na figura 21.



Figura 21 - Quantidade vibrações/ciclo 1º R@R

O flexfeeder vibrou 134 vezes e a média foi de 1,17 vibrações por ciclo (134/115).

Resultado da distribuição do tempo de ciclo está representado na figura 22.

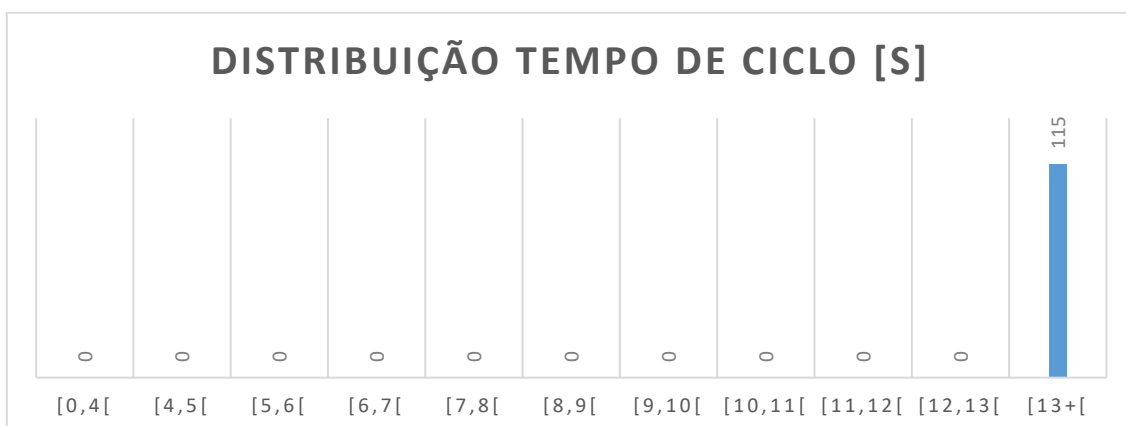


Figura 22 - Distribuição do tempo de ciclo 1º R@R

Este exercício foi elaborado quando as posições estavam todas marcadas e desta forma foi possível elaborar o ciclo completo de trabalho. Foram registadas as seguintes situações:

1. Peças caem quando são colocadas na estação de rebitar;
2. Peças não estão bem fixadas quando a estação termina o ciclo.
3. Quando o robô se desloca entre o *flexfeeder* e a estação, a peça cai do *gripper* porque a vibração afeta a fixação da peça;

### 3.2. Apresentação dos resultados do 2º R@R

Para este R@R foram tomadas as seguintes ações:

1. Após o processo de rebitar finalizado, robô fixa a peça com o cilindro “C2Holder” pressionado;
2. Robô só retira a peça quando o cilindro “C2Holder” recolhe;
3. Robô coloca a peça e só a larga quando “C1Positioning” está colocado;
4. Após “C1Positioning” centrar a peça, robô larga a peça;
5. Quando “C1Positioning” não fixa a peça corretamente (sensor do trabalho falha), o *Programmable Logic Controller (PLC)*, espera 5s e depois envia o comando ao robô para largar a peça;
6. Impedir o *flexfeeder* de vibrar durante o deslocamento da peça entre o *flexfeeder* e a estação;
7. Colocar a pinça em modo de força – a garra mantém a peça apertada com uma força de 87N;
8. Aumentar a velocidade do robô para *High Power* a 100%

Condições do R@R apresentados na tabela 15.

Modo	Velocidade	Número de ciclos	Tempo de ciclo médio [s]
<i>High Power</i>	100%	59	14,86

Tabela 15 - Condições 2º R@R

Resultado da quantidade de vibrações por ciclo está representado na figura 23.



Figura 23- Quantidade vibrações/ciclo 2º R@R

O flexfeeder vibrou 74 vezes e a média foi de 1,25 vibrações por ciclo (74/ 59). Resultado da distribuição do tempo de ciclo está representado na figura 24.

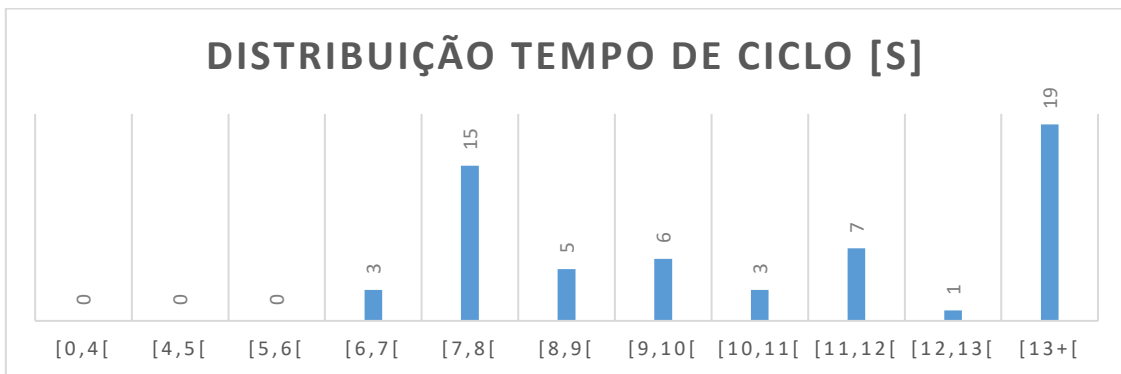


Figura 24 - Distribuição do tempo de ciclo 2º R@R

Foi possível fazer 3 ciclos com a duração entre 6 a 7 segundos. Se houver peças boas, no flexfeeder, é possível ter ciclos entre 6 a 12 segundos.

Foram registadas as seguintes situações:

1. Robô apanha mal a peça da estação e coloca outra por cima;
2. O controlo das pinças gerava microparagens ao robô;

### 3.3. Apresentação dos resultados do 3º R@R

Para este R@R foram tomadas as seguintes ações:

1. É colocada a gestão do gripper em paralelo, relativamente ao código de controlo principal do robô, otimizando a gestão do gripper e conseqüentemente retirados temporizadores do código principal do robô;

Condições do R@R apresentados na tabela 16.

Modo	Velocidade	Número de ciclos	Tempo de ciclo médio [s]
High Power	100%	63	12,434

Tabela 16 - Condições 3º R@R

Resultado da quantidade de vibrações por ciclo está representado na figura 25.

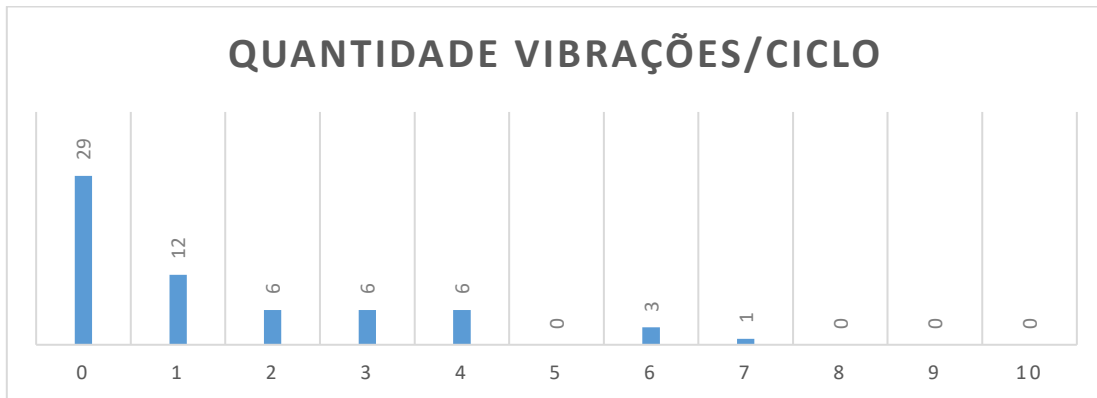


Figura 25 -Quantidade vibrações/ciclo 3º R@R

O *flexfeeder* vibrou 91 vezes e a média foi de 1,44 vibrações por ciclo (91/ 63).

Resultado da distribuição do tempo de ciclo está representado na figura 26.

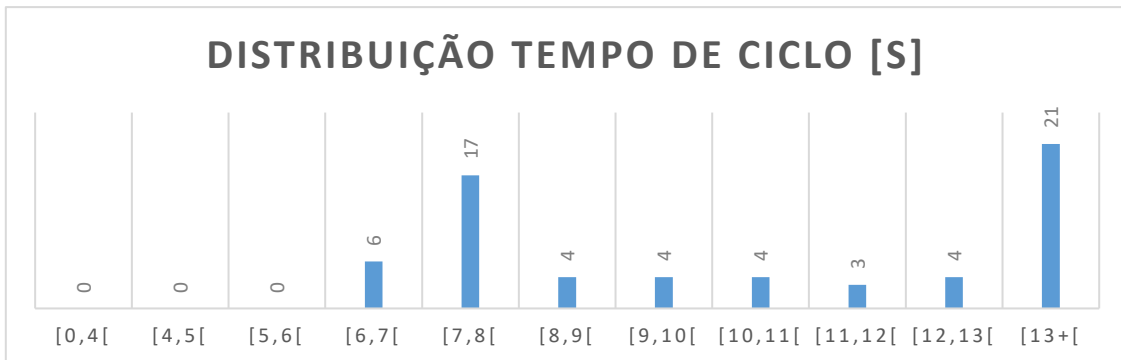


Figura 26 - Distribuição do tempo de ciclo 3º R@R

Foram registadas as seguintes situações:

1. O tempo de processamento da câmara situa-se no intervalo de 1.2 a 4.5 segundos. Esta grande variância do tempo de processamento verifica-se porque sempre que a peça encontrada não tiver as condições de *picking*, o robô volta a adquirir e a processar a imagem.
2. A sequência do processamento de imagem é controlada pelo código do *flexfeeder* o que gerava algumas dificuldades no código geral do robô.

### 3.4. Apresentação dos resultados do 4º R@R

Para este R@R foram tomadas as seguintes ações:

1. Foi colocado o código da visão como *Master*. A gestão do *flexfeeder* é agora assumida pela câmara, ao contrário do que se verificava na versão inicial;

2. Foi otimizado o código de gestão da visão. Este código, cuja execução tinha um valor situado no intervalo de tempo de 1.2 a 4.5 segundos, foi otimizado em protótipo, com resultados de tempos de processamento situados no intervalo de 0.3, a 0.9 segundos.

Condições do R@R apresentadas na tabela 17.

Modo	Velocidade	Número de ciclos	Tempo de ciclo médio [s]
High Power	100%	90	8,939

Tabela 17- Condições 4º R@R

Resultado da quantidade de vibrações por ciclo está representado na figura 27.

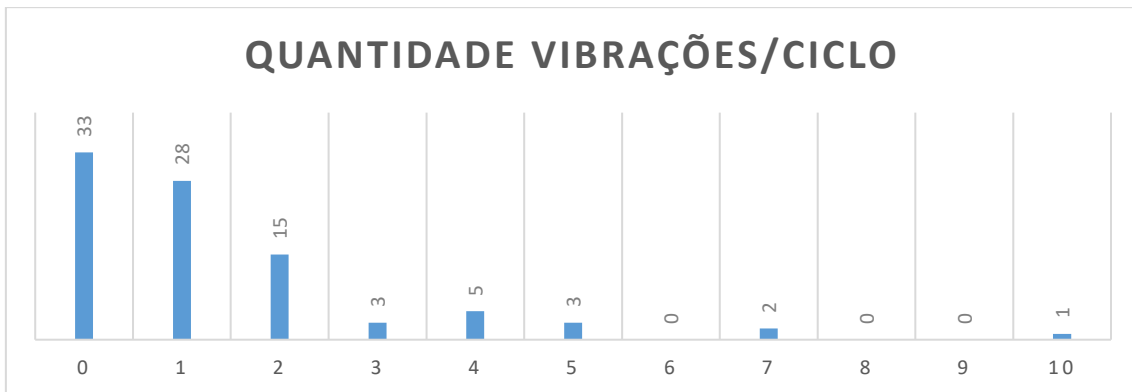


Figura 27 - Quantidade vibrações/ciclo 4º R@R

O flexfeeder vibrou 126 vezes e a média foi de 1,4 vibrações por ciclo (126/ 90).

Resultado da distribuição do tempo de ciclo está representado na figura 28.

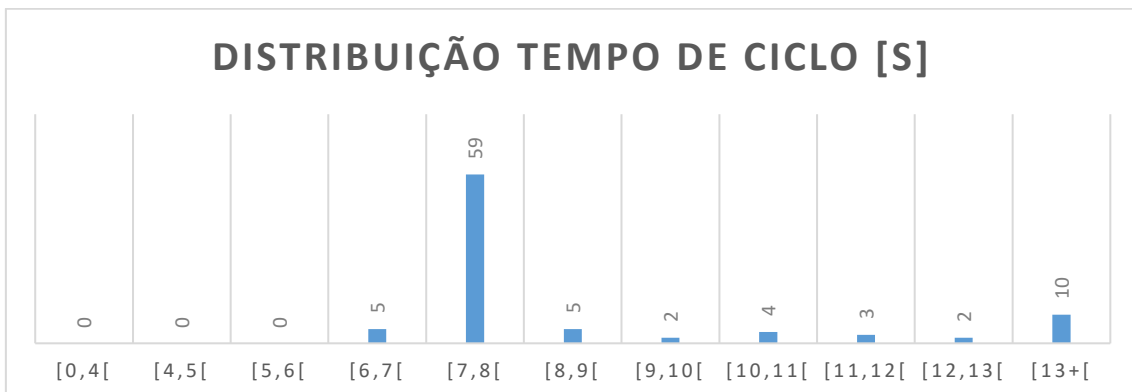


Figura 28 - Distribuição do tempo de ciclo 4º R@R

Verificou-se que, se o flexfeeder vibrar até 1x, é possível ter tempos de ciclos abaixo dos 8 segundos e que quando o número de vibrações é superior a 5, a máquina demora mais que 13s a completar o ciclo.

Foram registadas as seguintes situações:

1. Foram detetadas colisões na zona de picking do flexfeeder,



2. Com a atual configuração das pinças (estar localizado a 90° em relação à flange do robô), o robô fica limitado mecanicamente, o que gera um esforço adicional no código, de modo a tentar minimizar o tempo de ciclo;
3. A sequência do *flexfeeder* está com um tempo de ciclo elevado e com um enorme ruído auditivo;
4. Há muitas posições intermédias que poderiam ser evitadas, com posições menos robustas;

### 3.5. Apresentação dos resultados do 5º R@R

Para este R@R foram tomadas as seguintes ações:

1. Introdução de um novo *design* de pinças. Em cada vibração, regra geral, existe sempre uma peça boa, mas que, devido à eventual colisão, é rejeitada pelos limites estabelecidos no código do robô. Com a introdução das novas pinças verificou-se melhorias (ver figuras 30 e 31).
2. Otimização da sequência do *flexfeeder*. Diminuição da frequência de vibração e aumento da amplitude. Com isto, verificou-se uma redução do ruído da máquina.
3. Com a alteração mecânica das pinças, foram reprogramadas algumas das posições do robô. Esta alteração permitiu a otimização dos movimentos do robô e a eliminação de posições intermédias;
4. Foi revista a parametrização do fecho/abertura dos *grippers* – antes, ao fechar, estava em velocidade lenta (modo de força), atualmente “Vai para 2mm a velocidade máxima e depois aciona o modo de força até aos 2.6mm”. Foram diminuídas as distâncias de fecho e abertura. Se não for apanhado um terminal, a pinça não fecha totalmente, uma vez que, não havendo essa necessidade, é reduzido o tempo de ciclo da máquina.

Condições do R@R apresentados na tabela 18.

Modo	Velocidade	Número de ciclos	Tempo de ciclo médio [s]
High Power	80%	79	6,162

Tabela 18 - Condições 5º R@R

Resultado da quantidade de vibrações por ciclo está representado na figura 29.

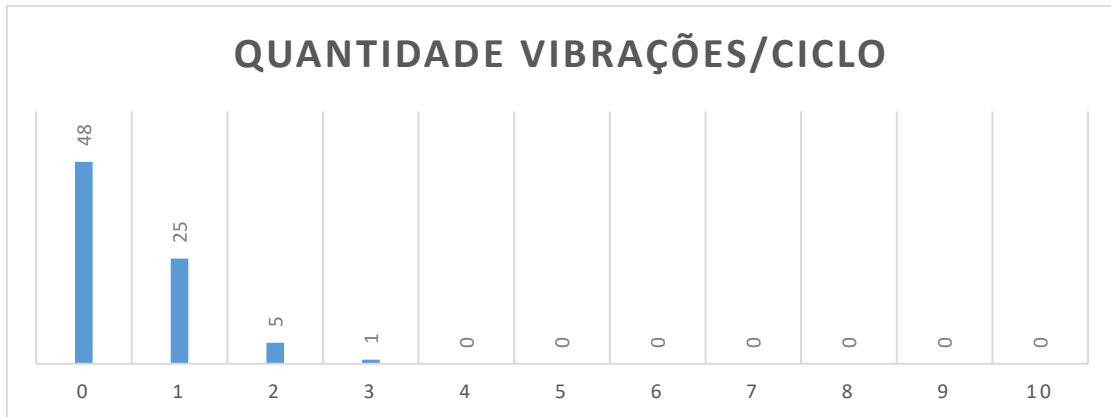


Figura 29 - Quantidade vibrações/ciclo 5º R@R

O flexfeeder vibrou 98 vezes e a média foi de 1,24 vibrações por ciclo (98/ 79). Resultado da distribuição do tempo de ciclo está representado na figura 30.

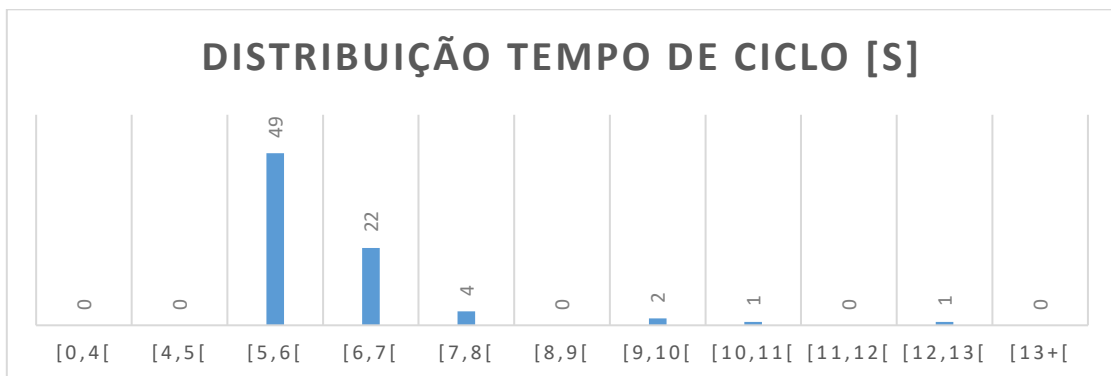


Figura 30 - Distribuição do tempo de ciclo 5º R@R

Foram registadas as seguintes situações:

1. Com o terminal C o Robô, com as novas pinças, colide com os acessórios pneumáticos do cilindro calcador “C2Holder”;
2. É possível ver microparagens ao mudar de posições. Isto deve-se à ausência de comandos de *jump* e arco no código;
3. Como solução temporária, foi restringida a janela da câmara, de forma a apenas visualizar os terminais mais afastados da extremidade, independentemente de terem um bom ângulo de *picking*;

### 3.6. Otimização de movimentos

Uma vez corrigidos os pontos identificados nos  $R@R$ 's, foram otimizados os movimentos do robô. Esta otimização ficou registada nos passos da figura 31. Na figura 32 é possível verificar as peças por minuto (Peças/min), o tempo de ciclo médio (TCM) e as peças produzidas por semana (Peças/sem.). A maior parte da otimização traduziu-se na alteração dos comandos “Go” e “Move” para “Jump3”:

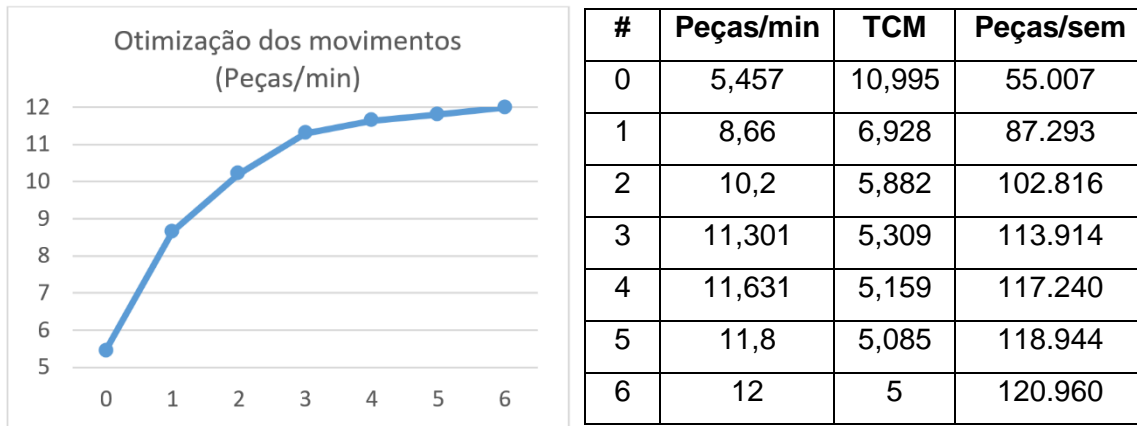


Figura 31 - Gráfico de otimização dos movimentos

0. Tempo de ciclo, em caderno de encargos;
1. Otimização das pinças elétricas – posição de fecho é, agora, menos 2 mm que o curso máximo. Posição de abertura está com velocidade máxima até aos 2mm e em modo de força (70%  $I_{max}$  até ao final) – pinça fecha até aos 2.8mm.
2. Na sequência da busca de peça, ao *flexfeeder*, foi retirada uma posição intermédia.
3. O movimento entre a busca de peça no *flexfeeder* até à estação, era realizado com a alteração da ferramenta (comando “*tool*”) e era visível uma microparagem.
4. As tarefas: “retira peça processada” e “coloca peça nova” eram realizadas com os comandos “*Move*” – “*Go*” – “*Move*”. Colocou-se um comando “*Jump3*” entre estas 3 posições;
5. A movimentação entre a estação e a posição da caixa dos produtos bons era realizada com três comandos “*Go*” e passou a ser realizada com o comando *Jump*;
6. O movimento de busca de peça do *flexfeeder* até à estação estava a ser realizado com dois “*Jumps*”. Esta situação deve-se ao facto de ser necessário 4 posições para realizar o movimento em vez de 3 (comando *Jump* é feito com 3 posições). Foi substituído por um comando “*Go*” com 4 posições.

## Capítulo 4 - Discussão dos resultados

Analisando os dados obtidos, verifica-se que o objetivo de produção de 55 mil peças por semana é atingido. A máquina, neste momento, tem uma capacidade em dobro da produção pretendida, com o robô a trabalhar à sua velocidade máxima (100%). Em termos práticos, a velocidade do robô será mantida nos 70%, por dois motivos: a produção semanal fica garantida e, por outro lado, não será necessário que o robô trabalhe no limite das suas especificações nominais. Este foi o projeto de arranque para no futuro se utilizar sistemas vibratórios flexíveis (*flexfeeder*).

O objetivo, da elevada produção pretendida, parecia difícil de atingir inicialmente, mas com as melhorias globais que foram sendo introduzidas, foi possível cumprir o objetivo. A partir daqui é possível tirar lições para futuros projetos deste tipo, que serão apresentados em seguida como lições aprendidas (*Lessons to Learn*).

### 4.1. Lições aprendidas neste projeto

1. *Flexfeeder* deverá ficar ao mesmo nível que a zona de entrega. Preferencialmente, a zona de entrega (estação, neste caso) deverá estar mais alta que o *flexfeeder* e este tem de estar junto à estação para evitar longas distâncias. Neste projeto, a exigência de tempo de ciclo foi curta, porém, para futuros projetos, este tópico tem de ser levado em conta. Quanto maior a distância, maior o tempo de ciclo.
2. Pinças têm que estar alinhadas com a flange do robô para terem uma maior área de cobertura. Neste projeto, verificou-se que na primeira configuração da pinça, não foi possível obter vibrações médias abaixo de uma vibração por ciclo. Havia muitas peças boas que o robô podia apanhar, mas com as pinças em ângulo relativamente à flange, o robô não chegava a esse ponto, seja por limitações em ângulo, seja pela posição em questão. Quando este não era o problema, havia o risco de o robô colidir com a estrutura.
3. Robô deverá estar encastrado no topo da máquina. Esta fixação evita que o movimento fique constrangido na zona de trabalho. Para além da vantagem da redução do número de posições necessárias para um único movimento (ex: o movimento de levar a peça do *flexfeeder* até à estação necessita de 4 posições), existe a vantagem adicional de ser necessário menos espaço na máquina para a fixação do robô.

4. Deverá evitar-se a colocação de estruturas a obstruir a visão do *flexfeeder* – aquando de uma calibração da visão é necessário não haver obstruções visuais porque robô tem de percorrer 6 círculos e se houver alguma obstrução visual é difícil afinar os pontos em  $[x,y]$ , relativamente aos centros dos círculos.
5. *Flexfeeder* deverá estar posicionado o mais próximo possível da posição de entrega – quanto mais longa a distância, maior o tempo de ciclo. Conforme verificado no ponto 3, para projetos com tempo de ciclo crítico, quanto menor as distâncias, melhor será o sucesso da implementação.
6. Câmara deverá estar o mais próxima possível do *flexfeeder*. Atualmente a câmara está fixa ao teto e quanto mais alto a câmara estiver em relação ao *flexfeeder*, menor será a resolução do sistema. Se metade da imagem obtida recair nas áreas envolventes, significa que perdemos metade da resolução do sistema.
7. Deverá ser deixado espaço livre, em redor do *flexfeeder*, de modo a evitar colisões na sequência de busca de peças no *flexfeeder*. No projeto em questão existe um pilar que segura a câmara. Se o robô buscar uma peça naquela zona irá colidir com o mesmo (ver Fig. 34).
8. Verificar mecanicamente, aquando do projeto, se o robô tem a possibilidade de aceder a todo o *flexfeeder*. No projeto atual, existe um canto a que o robô não tem acesso, por estar fora do volume de trabalhos do robô. Em termos práticos, isto significa que poderão existir peças boas que o robô não tem capacidade de as alcançar.

## Capítulo 5 – Seleção e utilização de componentes

Consoante as lições aprendidas neste projeto, este capítulo terá um conjunto de procedimentos consoante a aplicação final. Com isto, para o caso de um futuro projeto neste âmbito, este capítulo servirá de procedimento para otimizar a seleção e utilização dos componentes.

### 5.1. Seleção das pinças

Entre as múltiplas possibilidades de pinças, a primeira abordagem é verificar se, para o projeto em questão, se será mais conveniente a opção de pinças elétricas ou pneumáticas (ver tabela 19).

Característica	Elétrico	Pneumático
Precisão	Sim	Não
Mais que 2 posições	Sim	Não
Menor preço	Não	Sim
<i>Feedback</i> posição exata	Sim	Não
Programação mais simples	Não	Sim
Controlo de força	Sim	Não
Controlo de velocidade	Sim	Não
Suscetível à pressão na alimentação	Não	Sim
Deteção da aderência da peça	Sim	Não

**Tabela 19 - Pinça elétrica vs pinça pneumática**

Para o projeto em questão, o *gripper* elétrico está conectado ao controlador por um cabo de 40 fios. Neste cabo estão as ligações do *encoder*, alimentação e potência. Este cabo, devido à quantidade de fios não é possível estar ligado à ficha disponibilizada pelo robô de 9 pinos, por isso o cabo teve de percorrer todo o robô até ao seu controlador. Um cabo preso ao robô constrange os movimentos do robô e poderá haver movimentos impossibilitados devido ao constrangimento do cabo. Para uma solução que exija uma pinça elétrica, devem ser observados os seguintes fatores:

- Pinça elétrica com controlador integrado;
- Se o controlador não for integrado no cabo da pinça, este não deverá ter mais 9 pinos, uma vez que o robô tem uma ficha incorporada “1x D-Sub 9 pin” (Fig. 32);
- Utilização de um esticador de cabos, caso nenhuma das soluções anteriores for possível de implementar;



**Figura 32 - Base do robô com ficha elétrica "1xD-Sub 9 pin" (source [3])**

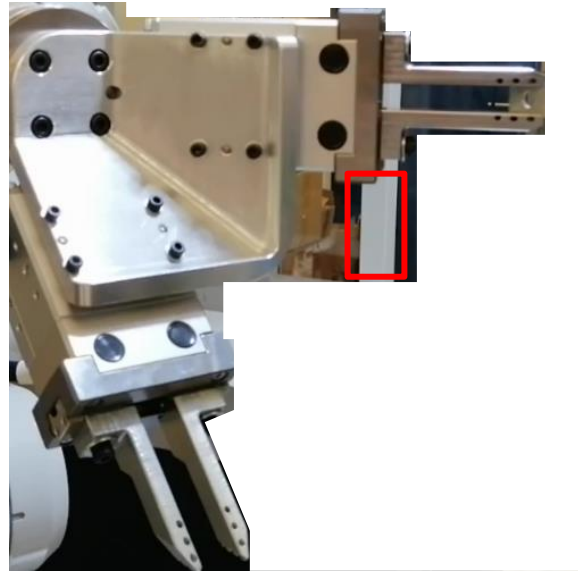
Uma outra opção é a utilização de uma garra por vácuo. Esta solução é viável para peças que, devido ao seu formato, não garantem a devida orientação em relação ao *flexfeeder*, mas esta solução pode precisar de uma câmara adicional para pequenos ajustes no posicionamento da peça.

#### **5.1.1. Orientação das pinças**

Para uma maior flexibilidade do sistema, as pinças devem estar alinhadas com a flange do robô (Fig. 33).



**Figura 33 - Pinças novas, alinhadas com a flange**



**Figura 34 - Pinças antigas, em ângulo, relativamente à flange**

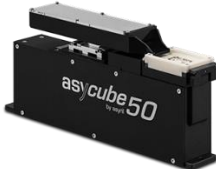
Com as pinças em ângulo, a segunda pinça, responsável por apanhar a peça processada, colidia com a estrutura da máquina, representada com um retângulo vermelho na figura 34.

Para além do problema da colisão, o robô poderá estar limitado, em orientação, relativamente ao posicionamento exigido pela peça. Havia peças em boa posição de “*picking*”, mas que o robô não conseguia aceder ao seu posicionamento, com a orientação devida.

Com as pinças alinhadas, nenhuma peça corre o risco de limitação das juntas, quer seja na posição ou orientação da mesma, exceto se aquela posição ficar fora do volume de trabalho do robô.

## 5.2. Seleção do *flexfeeder*

O *flexfeeder*, tendo em conta a marca escolhida, tem vários modelos consoante o tamanho das peças a trabalhar [8], como pode ser visto na tabela 20.

Tamanho peças	Modelo	Imagem
<0.1 a 5 mm	50	



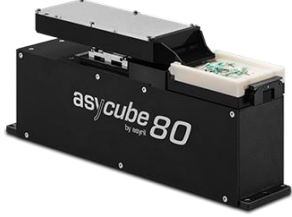



3 a 15 mm	80	
5 a 40 mm	240	
15 a 60 mm	380	
30 a 150 mm	530	

Tabela 20 - Vibradores flexíveis consoante o tamanho da peça (source [8])

### 5.2.1. Estrutura da plataforma do vibrador flexível

São disponibilizados vários tipos de plataformas pelo fornecedor (Fig. 35), de forma a obter-se uma melhor orientação e posição para a peça.

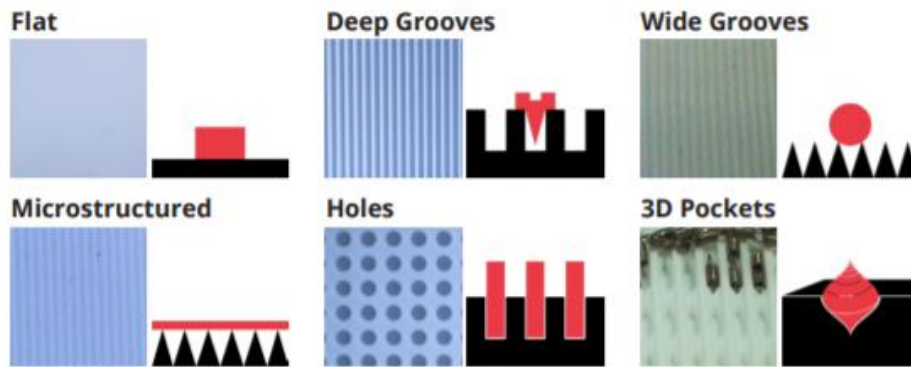


Figura 35 - Esquemático com estruturas de plataformas (source [8])

Consultado o catálogo do fornecedor [8] é possível obter algumas alternativas de plataformas, como pode ser visto nas figuras 36 e 37.



Figura 36 - Estrutura da plataforma do flexfeeder para molas (source [8])



Figura 37 - Exemplo de plataforma para rebites de plástico (source [8])

Para o caso de terminais, se o robô tiver a função de inserção do terminal, a plataforma poderá ter ranhuras de forma a que a parte superior (pega) fique com a mesma orientação da colocação.

### 5.2.2. Acoplamento mecânico do flexfeeder

Para garantir um bom desempenho de vibração [9], o flexfeeder deve ser devidamente aparafusado no suporte (Fig. 38).

A montagem incorreta do flexfeeder, câmara, robô e hooper pode comprometer o desempenho final do sistema. Para garantir o bom funcionamento do sistema, é necessário evitar que todos os dispositivos envolvidos interfiram uns com os outros.

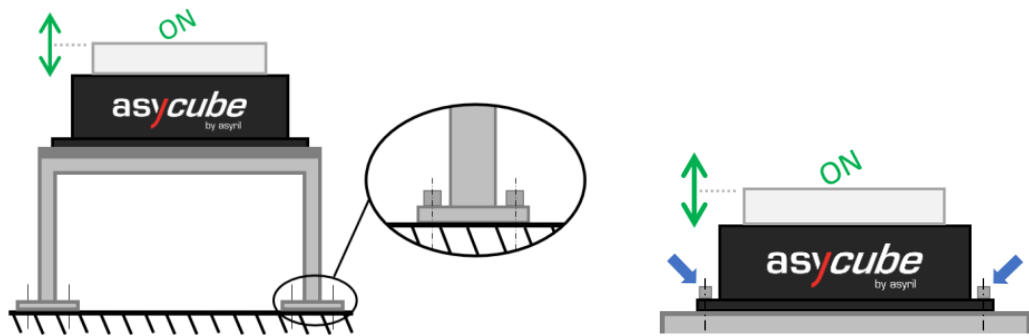


Figura 38 - Correta fixação do flexfeeder (source [9])

Se vários dispositivos móveis forem montados em paralelo e próximos uns dos outros, é necessário "desacoplar as vibrações", para evitar que a vibração perturba o comportamento de qualquer dispositivo (Fig. 39).

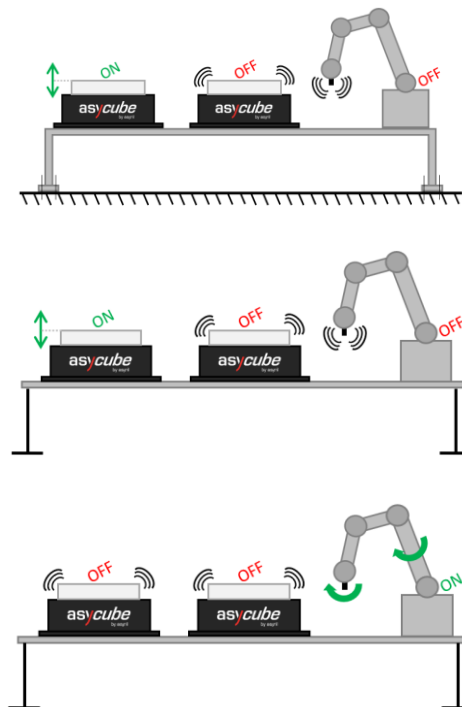


Figura 39 - Desacoplamento das vibrações dos dispositivos (source [9])

Para evitar a sobreposição de vibrações é recomendado fornecer um suporte específico para cada dispositivo (Fig. 40).

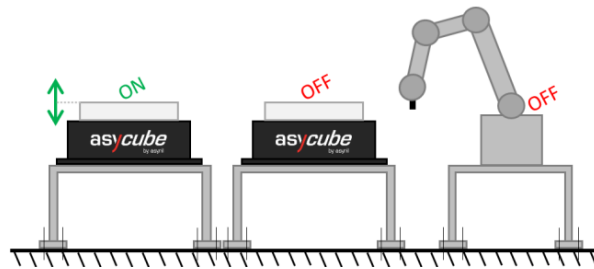


Figura 40 - Suporte específico para cada sistema. (source [9])

Quando esta solução não é aplicável, o desacoplamento de vibração pode ser alcançado por meio de tecnologias anti-vibração, por exemplo, isoladores de vibração, representado por ① na (Fig. 41).

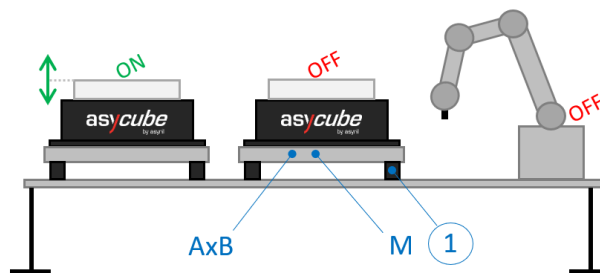


Figura 41 - Tecnologia anti-vibração (source [9])

É importante que a câmara não seja perturbada pela vibração do flexfeeder ou por qualquer outro dispositivo móvel. Se o sistema de visão for “perturbado”, por vibrações residuais, as coordenadas enviadas ao robô não serão confiáveis comprometendo a precisão de todo o sistema (Fig. 42).

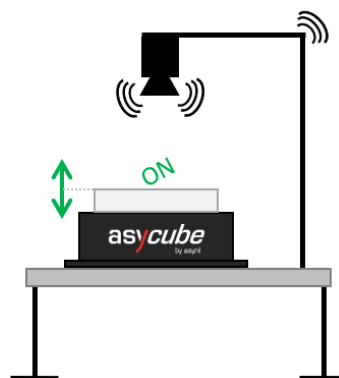


Figura 42 - Câmera e flexfeeder no mesmo suporte, má instalação (source [9])

É recomendado não instalar o *flexfeeder* e a câmara no mesmo suporte. Quando esta solução não for aplicável, é recomendado fixar a câmara em um suporte rígido e pesado o suficiente para evitar a influência das vibrações provenientes dos dispositivos ao redor (Fig. 43).

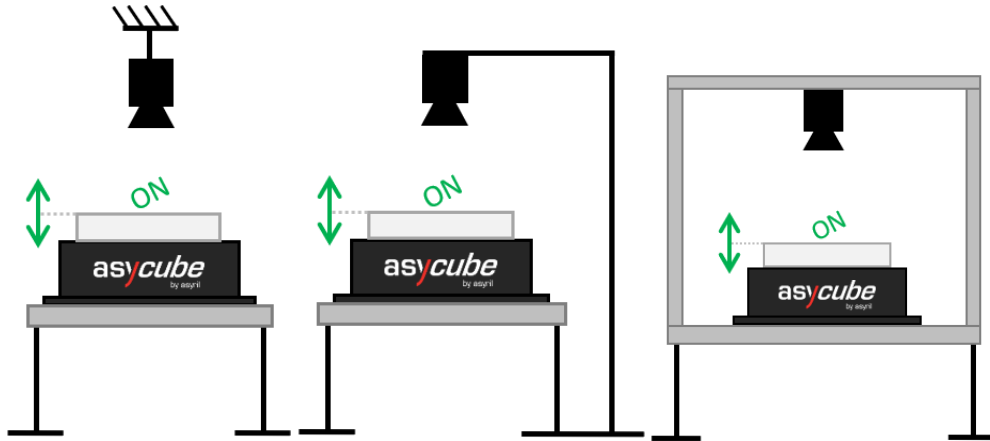


Figura 43 - Exemplos de boas fixações da câmara (source [9])

Para o caso de o projeto necessitar de dois *flexfeeder's*, é necessária uma distância mínima ( $\geq C$ ) que separe os dois dispositivos (Fig. 44).

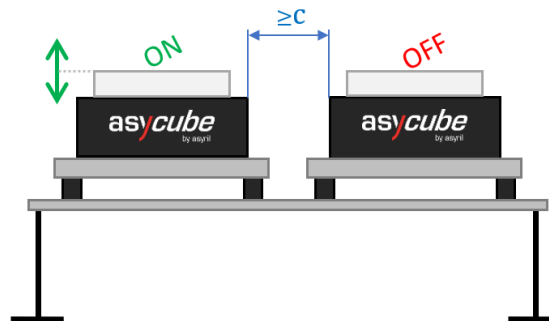


Figura 44 - Distância mínima entre dois *flexfeeder's* (source [9])

### 5.3. Sistema de visão

O sistema de visão é composto fundamentalmente por dois componentes principais: câmara e lente. A combinação de ambas as características irão ditar a resolução, as tolerâncias, o erro associado e a distância a que o sistema de visão deverá ser colocado do mecanismo.

### 5.3.1. Seleção da câmara

Para a correta seleção da câmara, há vários pontos a serem levados em consideração, conforme seguidamente se enuncia.

#### 5.3.1.1. Monocromática ou policromática

Se a cor não for um parâmetro determinante, uma câmara monocromática é a melhor solução [10]. As câmaras monocromáticas são mais sensíveis e fornecem imagens mais detalhadas. O tempo de processamento destas câmaras é inferior, uma vez que não é necessária a interpolação numérica de 3 cores.

#### 5.3.1.2. Tipo de sensor: CMOS ou CCD

O sensor tipo *CCD* (*Charge Coupled Device*) [10] é mais sensível em aplicações com pouca luminosidade. Criam imagens mais nítidas, consomem mais energia e não possuem tão bons resultados em aplicações com muita luminosidade.

O sensor tipo *CMOS* (*Complementary Metal-Oxide Semi-conductor*) [10] consome menos energia e é mais barato. Não produzem imagens tão nítidas e não trabalham bem em situações de pouca luz, trazendo mais ruído para as imagens.

#### 5.3.1.3. Velocidade de processamento da câmara

Também descrito por “imagens por segundo” ou “*fps*”, a taxa de *frames* descreve o número de imagens que o sensor pode capturar e transmitir por segundo. Quanto mais alto o “*fps*”, mais rápido será o sensor, mais imagens adquire por segundo e maior o volume de dados.

#### 5.3.1.4. Resolução da câmara

A resolução da câmara é calculada pela multiplicação do número de pixéis na horizontal pelo número de pixéis na vertical [10]. Para a câmara de 2592x1944 existem 2592 pixéis na horizontal e 1944 pixéis na vertical, a resolução é de 2592x1944=5MP (Megapixéis). Para determinar a resolução do detalhe, ou seja, quantos milímetros deteta um pixel, o cálculo é expresso pela equação 1.

$$\text{Resolução [px]} = \frac{\text{HFOV [mm]}}{\text{detalhe [mm/px]}} \quad (1)$$

$c/ HFOV$  = dimensão horizontal do espaço físico da imagem

Para o exemplo de um *asycube* 530, utilizado no projeto, com dimensão 427x371 mm, o cálculo de detalhe é expresso pelas equações 2 e 3.

$$1944 = \frac{371}{detalhe_V} \Leftrightarrow detalhe_V = 0,191 [mm/px] \quad (2)$$

$$2592 = \frac{427}{detalhe_H} \Leftrightarrow detalhe_H = 0,165 [mm/px] \quad (3)$$

Deste modo, considerando que a câmara apenas captura a área do *flexfeeder*, cada pixel mede 0,191 mm (é sempre considerado o resultado superior). Para selecionar qual a câmara mais adequada para o projeto, basta inverter a equação 1, em ordem ao detalhe, e considerar que o número de pixéis da câmara, a usar, terá que ser superior ou igual ao valor calculado.

### 5.3.1.5. Tamanho do *pixel*

Seguidamente, na (Fig. 45), serão apresentadas a especificação do tamanho do *pixel*.

Sensor Size	5.7 mm x 4.3 mm
Resolution (HxV)	2592 px x 1944 px
Resolution	5 MP
Pixel Size (H x V)	2.2 $\mu$ m x 2.2 $\mu$ m

**Figura 45 - Especificação do tamanho do pixel (source [4])**

Para calcular a dimensão física do sensor da câmara (Fig. 45), segundo uma determinada direção [11], é multiplicado o número de pixéis pelo tamanho de cada pixel (Eq. 4).

$$TamanhoSensor_H = Resolu\c{c}o_H * TamanhoPixel \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow TamanhoSensor_H = 2592 * 2,2 * 10^{-3}$$

$$TamanhoSensor_H = 5.7024 [mm]$$

Por vezes o tamanho do sensor não é descrito nas especificações, sendo apenas a resolução e o tamanho do pixel.

### 5.3.1.6. Seleção da Interface

A interface [10] serve como ligação entre a câmara e o PC (*Personal Computer*) transferindo os dados da imagem do *hardware* (sensor da câmara) para o *software* (processador de imagem). Estes tipos de tecnologia estão representados na (Fig. 46).



Figura 46 - Tecnologias de comunicação com um sistema de visão (source [10])

*GigE Vision*, *USB3 Vision* e *Camera Link* [10] são tecnologias mais recentes e, portanto, as mais encontradas no mercado. Estas tecnologias diferem quanto à largura de banda, comprimentos de cabo, entre outras características.

*FireWire* e *USB 2.0* [10] são tecnologias mais antigas que, devido às suas limitações, não são recomendadas para os novos sistemas de visão.

As características de cada tipo de tecnologia está expresso na (Fig. 47).

Interface	Cable length in m	Bandwith max. in MB/s	Multi-camera	Cable costs	"Real-time"	"Plug & Play"
 USB 2.0	5M	40				
 FireWire	4.5M	64				
 GIGE VISION	100M	100				
 USB VISION	8M	350				
 CAMERA Link	10M	850				

Figura 47 - Comparação de interfaces de comunicação (source [10])



### 5.3.2. Seleção da lente

#### 5.3.2.1. Tipo de lente

Uma lente de comprimento focal fixo [11], também conhecida como lente convencional ou etnocêntrica, é uma lente com um campo de visão angular fixo (AFOV).

Lentes de distância focal fixa devem ser usadas numa única e específica distância de trabalho. Como exemplos temos as lentes de foco fixo, conhecidas como as vulgares lentes telecêntricas e objetivas de microscópio. Estas lentes são desenhadas para uma menor distorção na imagem.

#### 5.3.2.2. Distância focal – lentes de comprimento focal fixo

A distância focal ( $f$ ) é medida a partir do plano principal posterior da lente, que raramente está localizado na parte traseira mecânica de uma lente de imagem (representado na Fig. 48). Por este motivo, a distância de trabalho usando as equações 5, 6, 7 e 8 revelam um valor aproximado. A forma de obter a distância de trabalho com precisão é através de simulação por computador, ou consultando as especificações dos fornecedores de lentes [11].

Existem ferramentas online para ajudar na distância de trabalho da lente, como a “Cognex Lens Advisor” [12].

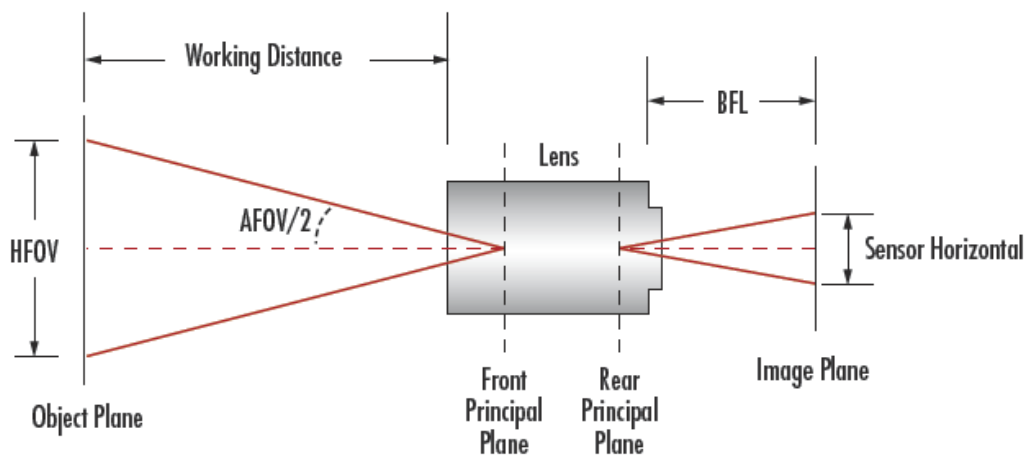


Figura 48 - Parâmetros da lente (source [11])

Dos termos, em inglês apresentados na figura 48:

- *Working Distance* (WD): Distância de trabalho (mm);
- AFOV: Campo de visão angular [°];
- HFOV: Campo de visão horizontal [mm];
- BFL (f): Comprimento focal, representado com f nos catálogos de lentes [mm];
- Sensor Horizontal (h): Dimensão horizontal do sensor [mm];

Para o cálculo dos parâmetros, tendo em conta que a variável “f” está geralmente disponível nos catálogos, podem utilizar-se as equações 5, 6, 7 e 8 [11].

$$AFOV[^\circ] = 2 * \tan^{-1} \left( \frac{h}{2f} \right) \quad (5)$$

$$AFOV[^\circ] = 2 * \tan^{-1} \left( \frac{HFOV}{2*WD} \right) \quad (6)$$

$$HFOV[mm] = 2 * WD * \tan \left( \frac{AFOV}{2} \right) \quad (7)$$

$$f = h * \frac{WD}{HFOV} \quad (8)$$

Ao usar lentes de comprimento focal fixo, existem três modos de alterar o campo de visão:

- alterando a distância de trabalho da lente ao objeto
- trocar a lente que está sendo usada por uma de comprimento focal diferente (quanto maior a WD, maior o HFOV);
- mudar o tamanho do sensor que está sendo usado (um sensor maior, produzirá um campo de visão maior, para a mesma distância de trabalho).

A distância focal de uma lente define o ângulo do campo de visão (AFOV) da lente. Para um determinado tamanho de sensor, quanto menor for o comprimento focal, maior será o campo angular da lente. Além disso, quanto menor a distância focal da lente, menor será a distância necessária para obter o mesmo campo horizontal (HFOV) em comparação com uma lente de maior distância focal.

### 5.3.2.3. Distorção

Distorção [13] [14] (figura 49 e 50) é definido como a mudança na representação geométrica de um objeto na imagem e geralmente afeta maioritariamente os cantos da imagem.

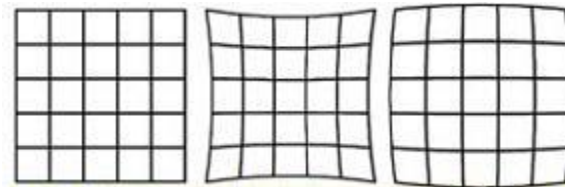


Figura 49 - Diferentes tipos de distorção (source [13])

Na figura 49, a primeira representa o objeto original, a segunda representa uma distorção tipo almofada e a terceira tipo barril. Há ainda a distorção complexa [13] (ver Fig. 50), que é uma mistura das anteriores.

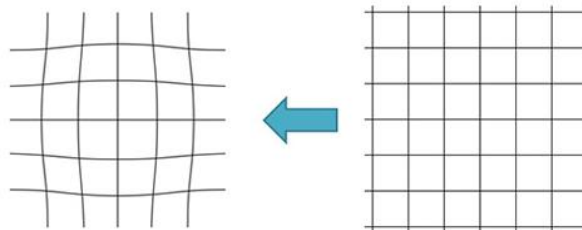


Figura 50 - Distorção complexa (source [13])

Lentes de distância focal curta, normalmente têm maior distorção. A distorção pode afetar o AFOV real e causar variação no ângulo, em relação à distância de trabalho “WD”. As lentes com distância focal curta afetam câmaras com tamanho de sensor médio ou grande.

Por este motivo, a lente escolhida deve permitir que a distância de trabalho “WD” seja aproximadamente duas a quatro vezes maior que o campo de visão “HFOV” de forma a maximizar o desempenho e minimizar o custo e a complexidade.

A distância de trabalho da câmara ao sistema deve ser possível de ajustar, pois os cálculos, acima apresentados, são apenas aproximações de primeira ordem e também não consideram os efeitos da distorção.

#### 5.3.2.4. Lentes Anti-Choque e Anti-Vibração

Num sistema *flexfeeder*, a vibração é um fator determinante. Para que a vibração seja atenuada no sistema de visão, existem soluções de lentes antichoque e anti-vibração [15] (ver Fig. 51).

##### Antichoque

No caso de lentes de visão de máquina comuns, os deslocamentos do eixo ótico ocorrem quando os elementos da lente se movem de sua posição inicial devido a choques. Isso afeta o desempenho de medição preciso da lente.

##### Anti-vibração

As lentes de visão de máquina comuns têm problemas de resistência em ambientes de trabalho com vibração. Para lentes com esta característica, existem normas que asseguram esta característica, como a norma IEC60068-2-6.

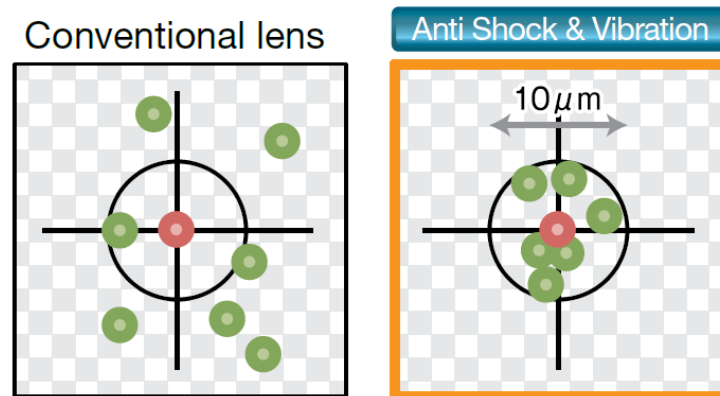


Figura 51 - Lentes convencionais vs anti-choque/vibração (source [15])

#### 5.3.3. Seleção da Iluminação

A cor do *led* escolhida depende da aplicação [16]. *Led* branco é usado quando o objeto a inspecionar tem várias cores. Para evidenciar uma cor do objeto é usado iluminação com cor similar ao detalhe (ver Tab. 21). As três cores padrão são vermelho, verde e azul (*RGB* – *red, green, blue*). Para cores diferentes, poderá ser usado *led*'s *RGB* para, das três combinações, obter a cor similar ao detalhe e conseqüentemente o contraste pretendido.






				
Original	Luz branco	Luz vermelho	Luz azul	Luz verde

Tabela 21 - Contraste da peça consoante luz utilizada (source [16])

Já se o objeto de inspeção for metálico (Fig. 52), em tons de cinza, a cor da iluminação não afeta a imagem.

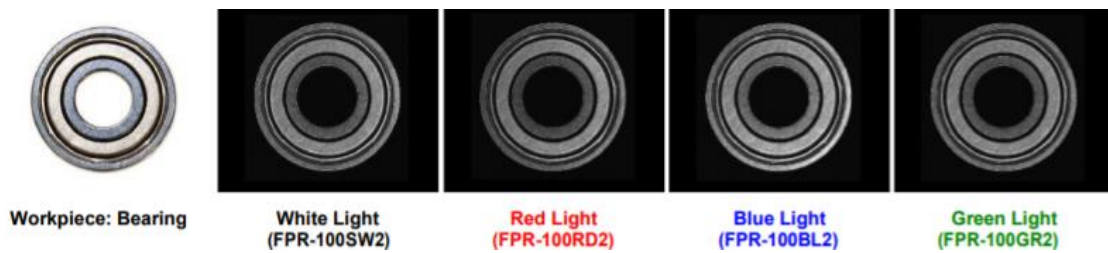


Figura 52 - Peça metálica e influências de luzes RGB (source [16])

Quando é necessário detalhe de peças transparentes [17], comprimentos de onda não visíveis, a solução passa por iluminação UV (ultravioleta) e IF (infravermelho). Este tipo de iluminação não é vulgarmente usado em sistemas de vibradores flexíveis.

#### 5.4. Seleção do robô

Dos vários tipos de robôs presentes no mercado apenas serão abordados, neste estudo, dois tipos: articulado e SCARA. De entre as outras tipologias comuns, salienta-se o robô cartesiano que opera na zona de trabalho, onde se posiciona a câmara e não possui rotação da posição, a menos que adicionada. O robô colaborativo tem velocidades muito baixas para este tipo de projetos. E, finalmente o robô delta que tem reduzidos volumes de trabalho e que por esse motivo não é indicado para projetos com grandes volumes de trabalho.

Comparando os robôs, articulado e SCARA, o robô articulado tem 6 ou 7 eixos, o que permite 6 graus de liberdade (GDLs) e pode ser usado em projetos que necessitem de muitos graus de liberdade. Para projetos em que não seja necessária tal condição, uma tipologia SCARA é a solução mais indicada.

#### 5.4.1. Especificações do robô

As especificações técnicas do robô são expressas por:

- Carga útil do robô: Carga máxima que o robô pode carregar em trabalho;
- Número de eixos: Relacionado com os graus de liberdade do robô. Para aplicações simples é recomendado robôs de 4 eixos. Para aplicações que sejam precisos mais graus de liberdade terão de ser utilizadas tipologias com 6 ou 7 graus de liberdade (Fig. 53).

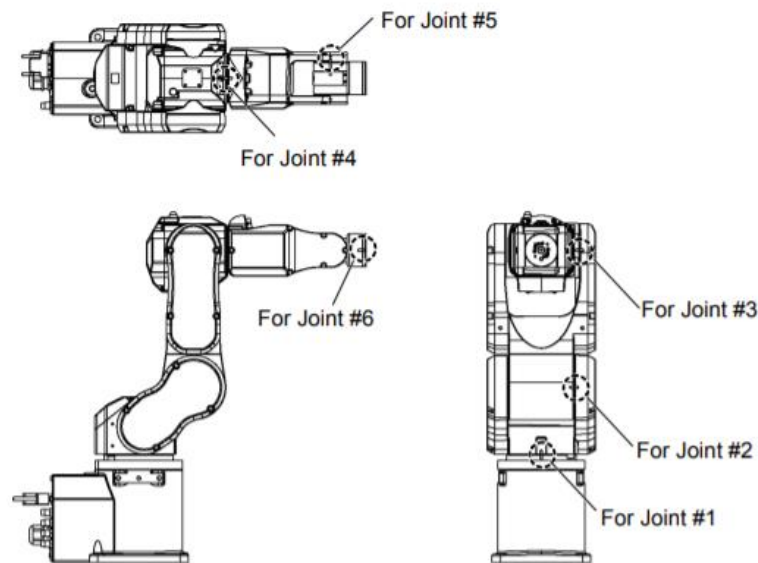


Figura 53 - Eixos de um robô articulado (source [3])

- Volume de trabalho: É a característica relacionada com a distância máxima que o robô abrange. O alcance vertical máximo é a medida entre o ponto mais baixo que o robô pode alcançar e a altura máxima de alcance. O alcance horizontal é medido entre o centro da base do robô até ao ponto mais distante, na horizontal (Figs. 5 a 8).
- Repetibilidade: Definido como o erro máximo de posicionamento do robô ao longo de vários ciclos de funcionamento. Para aplicações muito exigentes em precisão no posicionamento, a repetibilidade tem de ser reduzida. Em vibradores flexíveis, a repetibilidade tem de ser baixa, tanto para a fixação da peça na posição fornecida pela câmara, como para a entregar na zona de trabalho;

- Rapidez: também denominada de velocidade máxima, é uma especificação dos fornecedores, mas pode ser vulgarmente configurada, em percentagem, consoante a aplicação. A velocidade é definida em °/s (graus por segundo) podendo ser também configurada como velocidade linear em mm/s.
- Peso do robô: Peso, ou massa, é também uma especificação do fornecedor, sendo importante para definir o suporte mais adequado;
- Travão: habitualmente todos os eixos estão dotados de um travão para impedir que o robô saia de posição quando perde a energia motriz.
- Classificação IP: classificação de proteção contra objetos sólidos e líquidos.

## CONCLUSÃO

Este projeto foi um projeto piloto que irá servir de estudo de referência para outros que venham a ser desenvolvidos, no futuro, com idêntica tecnologia. Adicionalmente, este projeto teve também o objetivo específico de ser integrado numa linha de produção e, portanto, objeto de validação experimental. O objetivo final parecia difícil de superar, mas com esforço e dedicação foram encontrados os meios para o fazer. Foram realizadas duas máquinas com *flexfeeder* e em ambas o projeto foi bem-sucedido, apesar de no presente relatório apenas uma delas ter sido abordada.

As “lições aprendidas” serão seguramente aplicadas em projetos futuros. A lição principal deste projeto é que, se o objetivo crítico for um tempo de ciclo curto, então a distância, entre o ponto de início e o ponto de entrega, tem também de ser curta. Neste projeto, a distância entre o *flexfeeder* e a estação era longa, pelo que não foi possível atingir tempos de ciclo mais reduzidos, apesar do critério de tempo de ciclo mínimo ter sido atingido.

Apesar de ter sido o primeiro projeto neste âmbito, o objetivo foi superado. A produção semanal que era de 55.000 peças foi alcançada.

Com este projeto foi possível compreender os fatores chave na construção de um futuro *flexfeeder*, desde a câmara correta a utilizar, a lente, a distância de trabalho, até ao contexto do robô. Relativamente à temática do robô, foi possível avaliar as diferentes gamas de robôs, qual o projeto indicado para cada aplicação e também qual o vibrador flexível a utilizar, tendo em conta o tamanho da matéria prima.

Foi feito, como último capítulo, um procedimento de referência para consulta em projetos futuros. O objetivo é, seguindo o documento, que se consiga realizar uma máquina mais eficiente sem cometer os mesmos tipos de erros. Assim, um próximo projeto terá necessariamente algumas mudanças do ponto de vista de projeto pois só assim será possível atingir uma melhor eficiência.

Para trabalhos futuros, a sequência do *Hooper* deverá ser melhorada e, poderá ser experimentado uma interação entre a câmara e a sequência de vibração de modo a obter-se uma maior eficiência das vibrações.



## Referências bibliográficas

- [1] TE Connectivity. Sobre a TE. <https://www.te.com/usa-en/about-te/our-company.html> (acesso nov. 2020)
- [2] MIGUEL, A.S. (2010), Manual de Higiene e Segurança do Trabalho, 11Ed. Porto Editora
- [3] EPSON. C4 series Manipulator Manual - Rev.20
- [4] BaslerWeb. acA2500-14gm. <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/aca2500-14gm/> (acesso fev. 2021)
- [5] EPSON. Epson CV2 Vision Guidance. <https://epson.com/For-Work/Robots/Epson-CV2-Vision-Guidance/p/R12NZ900TU> (acesso fev. 2021)
- [6] IAI. RCP2/RCP4/RCD Series, *Gripper Type*, Catalogue No. 0514-E.
- [7] IAI. PCON-CB/CFB Controller, Position Controller for RCP6/RCP5/ RCP4 (PowerCon Applicable) /RCP3/RCP2.
- [8] AsyriL. Asycube Series, <https://www.asyriL.com/en/products/asycube-flexible-feeders.html> (acesso mai. 2021)
- [9] AsyriL. Asycube mechanical integration guidelines. Version A (2020).
- [10] BaslerWeb. Camera Selection – How can I find the right camera for my image processing system. <https://www.baslerweb.com/en/vision-campus/vision-systems-and-components/camera-selection/> (acesso mai. 2021)
- [11] Edmundoptics. Understanding focal length and field of view, <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/understanding-focal-length-and-field-of-view/> (acesso mai. 2021)
- [12] Cognex. Lens Advisor, <https://www.cognex.com/resources/interactive-tools/lens-advisor> (acesso mai. 2021)
- [13] Adept Turnkey. Optics Distortion as applied to Machine vision, [http://www.adept.net.au/news/newsletter/200606-june/optics\\_distortion%20.shtml](http://www.adept.net.au/news/newsletter/200606-june/optics_distortion%20.shtml) (acesso mai. 2021)
- [14] Vision systems. Understanding distortion in machine vision lenses, <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16736016/understanding-distortion-in-machine-vision-lenses> (acesso mai. 2021)
- [15] Fujinon. Fujinon machine vision lens catalog.
- [16] 1stVision. CCS Illumination Wavelength guide Whitepaper, Rev. 0
- [17] 1stVision. Specifying UV LED Curing Systems Whitepaper.

### Anexo I – M155, segunda máquina com *flexfeeder*

A máquina M155 (ver figura 55) tem um *flexfeeder* cuja função é apanhar terminais do *flexfeeder* e inseri-los na base do relé.



Figura 54 - Fotografia da máquina M155 com um *flexfeeder*

A pinça está localizada a 90° em relação à flange (ver figura 56), o que restringe a quantidade de peças a apanhar no *flexfeeder*.



Figura 55 - Robô na zona do *flexfeeder* e outra na zona de inserção

Relativamente ao programa do robô, ambos partilham o mesmo algoritmo, diferenciando as posições e a inserção do terminal na base. Na M145 o robô apenas tem a função de *pick&place*, ao contrário desta aplicação que tem a função de inserção do terminal na base. Com isto, teve de ser adotado algumas alterações no programa. Foi implementado o comando “*TCLim*” cuja função é limitar o torque nas juntas. Isto deve-se ao facto de o robô necessitar de calibração das juntas após uma colisão. Este problema acontece maioritariamente na junta 5. Com a implementação do comando “*TCLim*”, o problema ficou reduzido.