



# Estudo e Implementação de um Sistema de Inspeção de Grades

**JOSÉ MIGUEL PINHO SOARES**

Setembro de 2023

POLITÉCNICO DO PORTO  
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

---

# Estudo e Implementação de um Sistema de Inspeção de Grades

---

José Miguel Pinho Soares

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Área de Especialização em Sistemas Autónomos



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Setembro, 2023



*Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Sistemas Autónomos.*

**Candidato:** José Miguel Pinho Soares, N.º 1181186, 1181186@isep.ipp.pt

**Orientação Científica:** André Dias, apd@isep.ipp.pt

**Empresa:** Super Bock Group, SA.

**Orientador:** Pedro Lima Santos, pedro.lima.santos@superbockgroup.com



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Setembro, 2023



*Foram várias as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste projeto, querendo deixar aqui os meus agradecimentos. Aos meus orientadores, o professor Doutor André Dias, no Instituto Superior de Engenharia do Porto, e o engenheiro Pedro Lima Santos, da Super Bock Group, por todo o apoio, acompanhamento e disponibilidade demonstrada durante todo este percurso. À Super Bock Group, quero agradecer pela oportunidade de realizar um estágio numa empresa de tão grande dimensão e experienciar um ambiente de trabalho tão acolhedor. Ao departamento de manutenção por desde o primeiro dia me terem acolhido e acompanhado durante todo o estágio. Um agradecimento especial para a minha família, amigos e namorada pelo constante apoio e preocupação, principalmente em dias menos bons, e ainda por sempre me motivarem a atingir as minhas metas.*

# Resumo

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular de TEDI (Tese/Dissertação) do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MEEC) - Especialização em Sistemas Autónomos.

O controlo de qualidade é um dos principais setores de qualquer indústria da área da produção. Na Super Bock Group, S.A. (SBG), tal não é exceção, tendo sido realizado um estágio curricular com o objetivo de implementar um sistema de inspeção de grades, de maneira a assegurar a qualidade dos seus produtos, nomeadamente, as grades de cerveja que devem estar completamente cheias antes de serem exportadas. Além disso, este sistema deveria ainda ter a capacidade de inspecionar diferentes tipos de grades com diferentes capacidades e estruturas organizacionais.

Assim, após alguma discussão e análise das possíveis soluções, optou-se pela utilização do sensor de visão 3D O3D302. Porém, dado o custo associado, decidiu-se a implementação de duas soluções:

- Solução com PLC: inspeção recorrendo a *software* comercial fornecido pela empresa do sensor. Posterior integração com um *Programmable Logic Controller* (PLC) para remoção das grades defeituosas da linha de produção, assim como a apresentação de dados relevantes numa *Human-Machine Interface* (HMI).
- CrateSense: inspeção recorrendo às funcionalidades básicas do sensor O3D302, recolhendo apenas as distâncias obtidas pelo mesmo a cada leitura realizada. Posteriormente, aplicação de diferentes *scripts* para a avaliação das grades e respetiva apresentação dos resultados.

Começando pela primeira solução, foram desenvolvidos diferentes programas de maneira a obter um sistema o mais completo possível. Primeiramente foram configuradas aplicações de *completeness check* para os diferentes tipos de grade a inspecionar (Super Bock (0,33cl), Super Bock mini (0,20cl) e Carlsberg (0,25cl)). De seguida, recorreu-se a uma ligação *Ethernet* (protocolo de comunicação *Profinet*) para a comunicação com um PLC que, após a interpretação das leituras obtidas pelo sensor, avalia a respetiva grade e ativa um dispositivo *pusher* caso seja necessária a remoção da mesma. Por último, o PLC envia ainda informações estatísticas para uma HMI para que os responsáveis pela linha de produção possam estar sempre atualizados relativamante ao estado da inspeção.

Com o *software* pronto, procedeu-se a colocação do sistema na terceira linha de produção da SBG. De maneira a posicionar corretamente o sensor, foi desenvolvido um suporte especificamente para a ocasião, tendo sido ainda montado todo o *hardware* numa caixa, para maior segurança e organização do sistema.

Posto isto, o sistema de inspeção foi devidamente testado e validado, conferindo-lhe uma elevada eficácia na deteção de grades com falta de garrafas, o que contribuiu para a sua utilização regularmente.

Relativamente à segunda solução, esta consiste na aquisição de distâncias pelo sensor O3D302, simulando um sensor *Time-of-Flight* (TOF) de baixo custo, a partir de uma ligação *Ethernet* (protocolo *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP)). Assim, a partir de diferentes *scripts* desenvolvidos, estes dados são devidamente trabalhados e transformados em *point clouds*, permitindo a utilização de técnicas de processamento de imagem na deteção de grades com falta de garrafas.

Por último, a solução deve avaliar as grades e defini-las como cheias ou *underfilled* para que, posteriormente, o *pusher* pudesse retirar as grades defeituosas da linha.

**Palavras-Chave:** controlo de qualidade, *completeness check*, HMI, ifmVisionAssistant, inspeção de grades, PLC, Python, sensor O3D302.

# Abstract

This dissertation was developed as part of the Master's Degree in Electrical and Computer Engineering - Specialization in Autonomous Systems.

Quality control is one of the key departments in any production industry. In SBG, this is no exception, and a curricular intership was carried out with the goal of implementing a crate inspection system to ensure the quality of their products, this is, beer crates that must be completely filled before being exported. Additionally, this system should be able to inspect different types of beer crates with different capacities and structural layouts.

Therefore, after some discussion and analysis of possible solutions, the decision was made to use the 3D vision sensor O3D302. However, due to the cost, two solutions were considered and implemented:

- Solution with PLC: inspection using the commercial software ifmVisionAssistant, provided by the sensor company. Subsequent integration with a PLC in order to remove underfilled crates from the production line and to present relevant data on an HMI.
- CrateSense: Inspection using only basic functionalities of the O3D302 sensor, collecting the distances obtained in each reading. Subsequently, different scripts were applied to evaluate the crates and show the results.

Starting with the first solution, different programs were developed to create the most complete system possible. Initially, completeness check applications were configured for each type of crate (Super Bock (0,33cl), Super Bock mini (0,20cl) and Carlsberg (0,25cl)). Then, an Ethernet connection (Profinet) was used to communicate with a PLC, which, after interpreting the data obtained by the sensor, the pusher will be activated if an underfilled crate was detected. Finally, the PLC also send statistical information to an HMI so that production line staff can stay updated on the inspection system status.

With the software ready, the inspection system was installed on SBG's third production line. To position the sensor correctly, a custom support was developed, and all hardware was mounted in a box for safety and system organization.

Following this, the inspection system was properly tested and validated, demonstrating high effectiveness in detecting crates with missing bottles, which contributed to this system's regular use.

As for the second solution, it involves acquiring distances from the O3D302 sensor, simulating a low-cost TOF sensor, through an Ethernet connection (TCP/IP protocol). Data from the sensor is processed and transformed into point clouds using different scripts, enabling the use of image processing techniques to detect crates with missing bottles.

Lastly, the solution must evaluate the crates and classify them as full or under-filled so that the pusher can subsequently remove defective crates from the production line.

**Keywords:** crate inspection, completeness check, HMI, ifmVisionAssistant, O3D302 sensor, PLC, Python, quality control.

# Índice

<b>Lista de Figuras</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Acrónimos</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização . . . . .	1
1.1.1 Super Bock Group, SA. . . . .	2
1.2 Definição do Problema . . . . .	3
1.3 Objetivos . . . . .	5
1.4 Organização da Dissertação . . . . .	6
<b>2 Revisão do Estado da Arte</b>	<b>7</b>
2.1 Exemplos de sistemas de inspeção de grades . . . . .	8
2.1.1 BBULL Technology . . . . .	8
2.1.2 miho Inspektionssysteme GmbH . . . . .	12
2.1.3 KHS Group . . . . .	14
2.1.4 Tipteh . . . . .	14
2.2 Artigos científicos para a inspeção automática de grades . . . . .	16
2.2.1 <i>Inspection of bottles crates in the Beer Industry through Computer Vision</i> [7] . . . . .	16
2.2.2 <i>Inspection of empty beer bottles in beer's crates</i> [25] . . . . .	21
2.3 Sensores utilizados para a inspeção de grades . . . . .	23
2.3.1 Inspeção com balança industrial . . . . .	24
2.3.2 Inspeção com sensores ultrassónicos . . . . .	26
2.3.3 Inspeção com câmaras . . . . .	27
2.3.4 Inspeção com <i>laser scanners</i> . . . . .	29
2.3.5 Inspeção com sensores de visão 3D . . . . .	30
2.4 Síntese das soluções apresentadas e decisão . . . . .	31
<b>3 Projeto</b>	<b>35</b>
3.1 Arquitetura do Sistema . . . . .	35
3.2 Fotocélula . . . . .	37

3.3	Sensor de visão 3D O3D302 . . . . .	37
3.4	<i>Programmable Logic Controller</i> (PLC) . . . . .	37
3.5	Solução paralela - CrateSense . . . . .	39
3.6	<i>Human Machine Interface</i> (HMI) . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Implementação</b>	<b>41</b>
4.1	<i>Hardware</i> . . . . .	41
4.1.1	Fotocélula - SICK WL18-2P430 . . . . .	41
4.1.2	Sensor - Sensor de visão 3D IFM O3D302 . . . . .	42
4.1.3	Suporte desenvolvido . . . . .	44
4.1.4	PLC - S7-300 CPU 314C-2 PN/DP . . . . .	46
4.1.5	HMI - SIMATIC OP 270 . . . . .	46
4.1.6	Sistema de inspeção . . . . .	47
4.2	<i>Software</i> - Solução com PLC . . . . .	49
4.2.1	Solução comercial adquirida (ifmVisionAssistant) . . . . .	49
4.2.2	Programa Ladder e configurações (Simatic Manager) . . . . .	54
4.2.3	Programa da HMI . . . . .	59
4.3	<i>Software</i> - CrateSense . . . . .	64
4.3.1	Aquisição de dados . . . . .	64
4.3.2	Processamento dos dados . . . . .	65
4.3.3	Construção de <i>point clouds</i> . . . . .	66
4.3.4	Classificação das grades . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>69</b>
5.1	Solução com PLC . . . . .	69
5.1.1	Grade Super Bock . . . . .	71
5.1.2	Grade Super Bock mini . . . . .	73
5.2	CrateSense . . . . .	76
5.2.1	Grade Super Bock . . . . .	76
5.2.2	Grade Super Bock Mini . . . . .	79
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>83</b>
	<b>Referências</b>	<b>85</b>
	<b>Anexo A Suporte 1</b>	<b>91</b>
	<b>Anexo B Suporte 2</b>	<b>97</b>

# Lista de Figuras

1.1	História da Super Bock Group. . . . .	2
1.2	Marcas comercializadas pela Super Bock Group, S.A. (SBG). . . . .	3
1.3	Diferentes grades utilizadas na produção. . . . .	4
1.4	Estruturas possíveis para a organização das garrafas. . . . .	5
2.1	Sistema de inspeção de grades BBULL COMPACT VK-L/U/I [10]. . . . .	9
2.2	Sistema de inspeção de grades BBULL COMPACT VK-G [11]. . . . .	10
2.3	Sistema de inspeção de grades BBULL TOF VK [12]. . . . .	11
2.4	Sistema de inspeção de grades BBUL IMAGE LG/LK/VK [13]. . . . .	11
2.5	Sistema de inspeção de grades miho Gauss F [15]. . . . .	12
2.6	Perigo ocular das várias classes de <i>lasers</i> [16]. . . . .	13
2.7	Exemplo de <i>layout</i> de um sistema de inspeção de grades miho [17]. . . . .	13
2.8	Sistema de inspeção de grades Innocheck VKK [19]. . . . .	14
2.9	Sistema de inspeção de garrafas da tipteh [21]. . . . .	15
2.10	Modo de funcionamento do sensor scanCONTROL 2900-50 [21]. . . . .	16
2.11	Definição das áreas de inspeção e possíveis problemas [7]. . . . .	17
2.12	Sistema utilizado [7]. . . . .	18
2.13	Câmara AVT Marlin F145C2 [22]. . . . .	18
2.14	Diferença de visibilidade nas tampas [7]. . . . .	19
2.15	Diagrama de blocos representativo do sistema [7]. . . . .	19
2.16	Diagrama de blocos representativo do algoritmo de deteção de garrafas [7]. . . . .	20
2.17	Sistema geral utilizado [25]. . . . .	22
2.18	Diagramas de blocos representativos dos algoritmos utilizados [25]. . . . .	22
2.19	Antes e depois da aplicação do filtro [25]. . . . .	23
2.20	Balança C35 AdvancedLine [27]. . . . .	24
2.21	Produtos inspecionados com balança. . . . .	25
2.22	Sensor ultrassónico UM18-218167101 [29]. . . . .	26
2.23	Modo de funcionamento de um sistema de visão <i>stereo</i> [30]. . . . .	28
2.24	Câmaras Ensenso N [32]. . . . .	28
2.25	<i>Laser scanner</i> LRS 36/6 [34]. . . . .	29
2.26	Sensor de visão 3D O3D302 [38]. . . . .	30

3.1	Arquitetura do sistema. . . . .	36
3.2	Possível arquitetura de controlo industrial [39]. . . . .	38
3.3	Exemplo da linguagem <i>Ladder Diagram</i> (LD) [40]. . . . .	38
4.1	Fotocélula SICK WL18-2P430 [41]. . . . .	42
4.2	<i>Pinout</i> do sensor O3D302 [42]. . . . .	42
4.3	Iluminação <i>Light Emitting Diode</i> (LED) presente no sensor O3D302 [42]. . . . .	43
4.4	<i>Layout</i> de comunicação 1 [42]. . . . .	43
4.5	<i>Layout</i> de comunicação 2 [42]. . . . .	44
4.6	Suportes esboçados. . . . .	45
4.7	Suporte implementado. . . . .	45
4.8	CPU 314C-2 PN/DP [44]. . . . .	46
4.9	Siemens SIMATIC OP 270 6"[45]. . . . .	46
4.10	Circuito de alimentação. . . . .	47
4.11	Interior da caixa desenvolvida. . . . .	48
4.12	Exterior da caixa. . . . .	48
4.13	Menu de aplicações. . . . .	49
4.14	Posicionamento do sensor [42]. . . . .	50
4.15	<i>Control Functionality</i> . . . . .	50
4.16	<i>Output Configuration</i> . . . . .	51
4.17	<i>Trigger &amp; Velocity</i> . . . . .	51
4.18	Definição das regiões de interesse. . . . .	52
4.19	<i>Teach</i> com grande cheia. . . . .	53
4.20	<i>Teach</i> com grande <i>underfilled</i> . . . . .	53
4.21	Aplicações utilizadas na inspeção. . . . .	54
4.22	Bloco correspondente à ativação das aplicações [46]. . . . .	55
4.23	Bloco referente a informações de <i>completeness</i> [46]. . . . .	56
4.24	Arquitetura de <i>hardware</i> definida. . . . .	57
4.25	Endereços de memória definidos. . . . .	58
4.26	Fluxograma representativo do sistema de inspeção. . . . .	58
4.27	<i>Screen</i> inicial. . . . .	60
4.28	<i>Screen</i> de seleção da aplicação. . . . .	60
4.29	Primeiro <i>screen</i> referente à garrafa Super Bock (33cl). . . . .	61
4.30	Segundo <i>screen</i> referente à garrafa Super Bock (33cl). . . . .	62
4.31	<i>Screens</i> correspondentes à garrafa Super Bock mini (20cl). . . . .	63
4.32	Fluxograma representativo da aquisição de dados. . . . .	64
4.33	Fluxograma representativo do processamento dos dados. . . . .	65
4.34	Fluxograma representativo da obtenção de <i>point clouds</i> . . . . .	66
4.35	Fluxograma representativo da classificação das grades. . . . .	67

5.1	Sistema de inspeção desenvolvido. . . . .	70
5.2	Grade Super Bock cheia. . . . .	71
5.3	Grade Super Bock com uma garrafa em falta. . . . .	71
5.4	Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lados opostos). . . . .	72
5.5	Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lado a lado). . . . .	72
5.6	Contabilização de ocorrências na Grade Super Bock. . . . .	73
5.7	Grade Super Bock mini cheia. . . . .	74
5.8	Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lado a lado). . . . .	74
5.9	Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lados opostos). . . . .	74
5.10	Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (aleatório). . . . .	75
5.11	Contabilização de ocorrências na Grade Super Bock mini. . . . .	75
5.12	Grade Super Bock cheia. . . . .	76
5.13	Grade Super Bock com uma garrafa em falta. . . . .	77
5.14	Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lado a lado). . . . .	77
5.15	Grade Super Bock com duas garrafas em falta (aleatório). . . . .	77
5.16	Avaliação das grades Super Bock inspecionadas. . . . .	78
5.17	Grade Super Bock mini cheia. . . . .	79
5.18	Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lado a lado). . . . .	79
5.19	Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (aleatório). . . . .	79
5.20	Grade Super Bock mini com três garrafas em falta. . . . .	80
5.21	Avaliação das grades Super Bock mini inspecionadas. . . . .	80



# Lista de Tabelas

2.1	Características do sensor scanCONTROL 2900-50 [20]. . . . .	15
2.2	Características da câmara AVT Marlin F145C2 [22]. . . . .	18
2.3	Características da balança C35 AdvancedLine [27]. . . . .	25
2.4	Características do sensor UM18-218167101 [29]. . . . .	27
2.5	Características das câmaras Ensenso N [32]. . . . .	29
2.6	Características do sensor LRS 36/6 [34]. . . . .	30
2.7	Características do sensor O3D302 [38]. . . . .	31
4.1	Cálculo das distâncias (Exemplos). . . . .	66
5.1	Grades inspecionadas - Super Bock. . . . .	73
5.2	Grades inspecionadas - Super Bock Mini. . . . .	75
5.3	Grades inspecionadas - Super Bock. . . . .	78
5.4	Grades inspecionadas - Super Bock Mini. . . . .	80



# Lista de Acrónimos

<b>CAD</b>	<i>Computer-Aided Design</i>
<b>CPU</b>	<i>Central Processing Unit</i>
<b>CSV</b>	<i>Comma-Separated Values</i>
<b>FBD</b>	<i>Function Block Diagram</i>
<b>FC</b>	<i>Function</i>
<b>HMI</b>	<i>Human-Machine Interface</i>
<b>HSL</b>	<i>Hue, Saturation, Lightness</i>
<b>IL</b>	<i>Instruction List</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>ISEP</b>	Instituto Superior de Engenharia do Porto
<b>LD</b>	<i>Ladder Diagram</i>
<b>LED</b>	<i>Light Emitting Diode</i>
<b>MEEC</b>	Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
<b>OB</b>	<i>Organization Block</i>
<b>PLC</b>	<i>Programmable Logic Controller</i>
<b>PN/DP</b>	<i>Profinet/Decentralized Peripherals</i>
<b>RGB</b>	<i>Red, Green, Blue</i>
<b>ROI</b>	<i>Region Of Interest</i>
<b>SBG</b>	Super Bock Group, S.A.
<b>ST</b>	<i>Structured Text</i>
<b>TCP/IP</b>	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
<b>TOF</b>	<i>Time-of-Flight</i>



## Capítulo 1

# Introdução

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de TEDI (Tese/Dissertação) do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MEEC) - Especialização em Sistemas Autónomos, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O projeto foi desenvolvido na empresa Super Bock Group, S.A. (SBG), sendo o seu principal objetivo o estudo e a implementação de um sistema de inspeção de grades, conferindo um aumento da eficiência na respetiva linha de produção.

### 1.1 Contextualização

Desde o acontecimento da Revolução Industrial no século XVIII, a automação tem vindo a registar um crescimento exponencial nas várias áreas industriais. Em virtude da constante atualização tecnológica, a automação industrial tornou-se uma necessidade para a grande maioria das empresas, conferindo-lhes algumas vantagens, nomeadamente:

- **Aumento da eficiência:** o custo e o esforço investidos na produção são menores, tal como o tempo consumido, e, ao mesmo tempo, é reduzido o número de erros existentes.
- **Aumento da satisfação e da segurança dos colaboradores:** a realização de tarefas com teor repetitivo ou com um nível de segurança baixo pode

tornar-se frustrante para os colaboradores. A substituição destes por sistemas autónomos aumenta a segurança dos mesmos e abre a possibilidade de execução de novas atividades mais apelativas.

- **Aumento da satisfação dos clientes:** com o aumento da eficiência, existe uma maior disponibilidade dos produtos num reduzido espaço de tempo. Além disso, com o aumento da satisfação dos colaboradores, existe uma consequente melhoria do atendimento ao cliente, conferindo o contentamento dos mesmos.
- **Melhoria da qualidade:** a partir da utilização de sistemas de inspeção, a qualidade dos produtos é assegurada [1, 2].

Aplicando estas vantagens ao setor da produção de cerveja, facilmente se conclui a dependência industrial existente. A segurança dos colaboradores, o aumento da eficiência e, em particular, o controlo da qualidade dos produtos, são algumas das normas fulcrais ao sucesso desta indústria. Nesse sentido, este projeto endereça a qualidade das grades de cerveja, garantindo que estas se encontram cheias [3, 4].

O propósito subjacente à conceção deste projeto é a sua integração numa linha de produção da empresa SBG.

### 1.1.1 Super Bock Group, SA.

A Super Bock Group, S.A. (SBG) é a maior empresa portuguesa de bebidas refrescantes sediada em Leça do Balio, no Porto. A sua história pode ser verificada na Figura 1.1 que apresenta alguns dos marcos mais importantes ao longo do crescimento desta empresa [5].

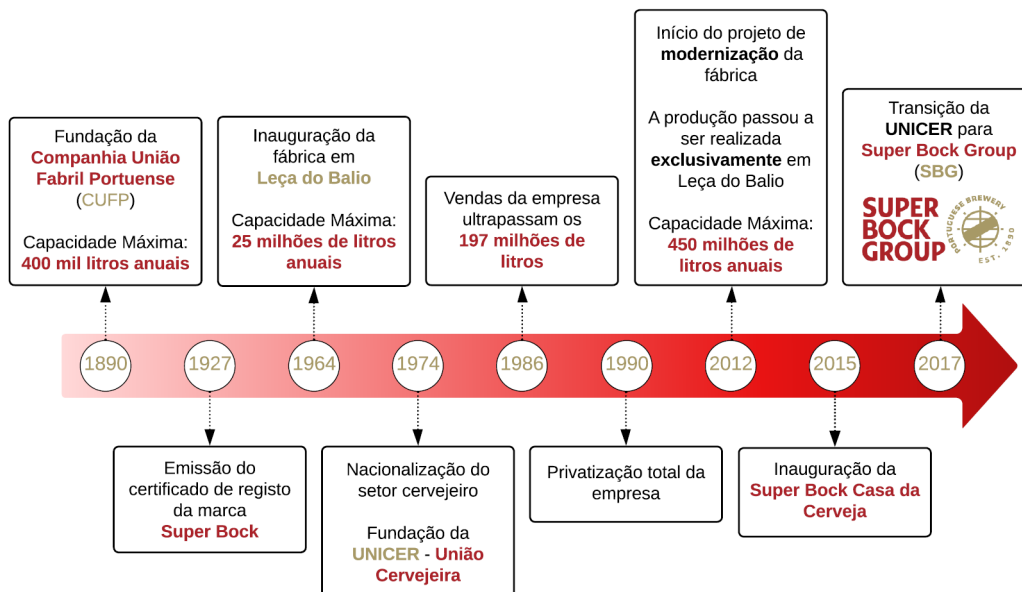


Figura 1.1: História da Super Bock Group.

Atualmente, a SBG conta já com cerca de 1300 operacionais, sendo o seu principal foco a produção de bebidas engarrafadas, maioritariamente cervejas, com presença num elevado conjunto de países distribuídos ao longo de 4 continentes (África, América, Ásia e Europa). Além da produção de bebidas, também são responsáveis pela produção e comercialização de malte, um produto da germinação controlada de cereais, utilizado na produção de cerveja.

Esta é uma empresa de capital maioritariamente português, sendo a mesma detida em 56% pelo Grupo VIACER (Portugal) e em 44% pelo Grupo Carlsberg (Dinamarca).

Apesar da fama da cerveja Super Bock, a SBG produz e comercializa muitos outros produtos distribuídos em diversas marcas (Figura 1.2) [6].

Cervejas	Águas	Sidras	Refrigerantes	Vinhos	Sangrias
					

Figura 1.2: Marcas comercializadas pela SBG.

## 1.2 Definição do Problema

A qualidade é uma das prioridades no setor da produção de qualquer empresa. Sendo a produção maioritariamente realizada de uma forma automática, existe a necessidade de um constante acompanhamento dos produtos, de maneira a garantir a qualidade dos mesmos.

No caso da terceira linha de produção da SBG, um dos possíveis produtos finais são as grades de cerveja. Existem diferentes fatores que podem ser verificados nestes produtos, seguindo-se a sua enumeração:

- Se a grade utilizada é a correta (se corresponde às garrafas contidas nessa mesma grade);
- Se existem danos na grade;

- Se a grade está completa (todas as garrafas estão presentes);
- Se todas as garrafas têm tampa e se a tampa é a correta [7].

É de salientar a existência de sistemas de inspeção na SBG que são responsáveis pela verificação de múltiplas irregularidades, incluindo algumas que foram mencionadas anteriormente. Porém, o sistema de inspeção a ser incorporado na terceira linha de produção da SBG centra-se em garantir que, de facto, as grades contêm todas as garrafas previstas.

Para tal, é necessário ter em conta que estas grades podem ter características diferentes (tamanho, capacidade e formato), sendo fulcral a adaptação automática do sistema às condições apresentadas. Na Figura 1.3, estão representadas as diferentes grades que podem surgir na linha de produção.



Figura 1.3: Diferentes grades utilizadas na produção.

Tal como observado na figura anterior, são três os tipos de grades possíveis, sendo facilmente distinguíveis pelas marcas observadas nas faces das mesmas. A nível dimensional, todas têm larguras e comprimentos semelhantes, porém, relativamente à altura, já se observam diferenças que poderão condicionar o processo de inspeção.

Na Figura 1.4 estão ainda representadas as possíveis estruturas adotadas para a organização das garrafas, podendo estas obedecer a um formato *honeycomb* (esquerda) ou *regular* (direita).

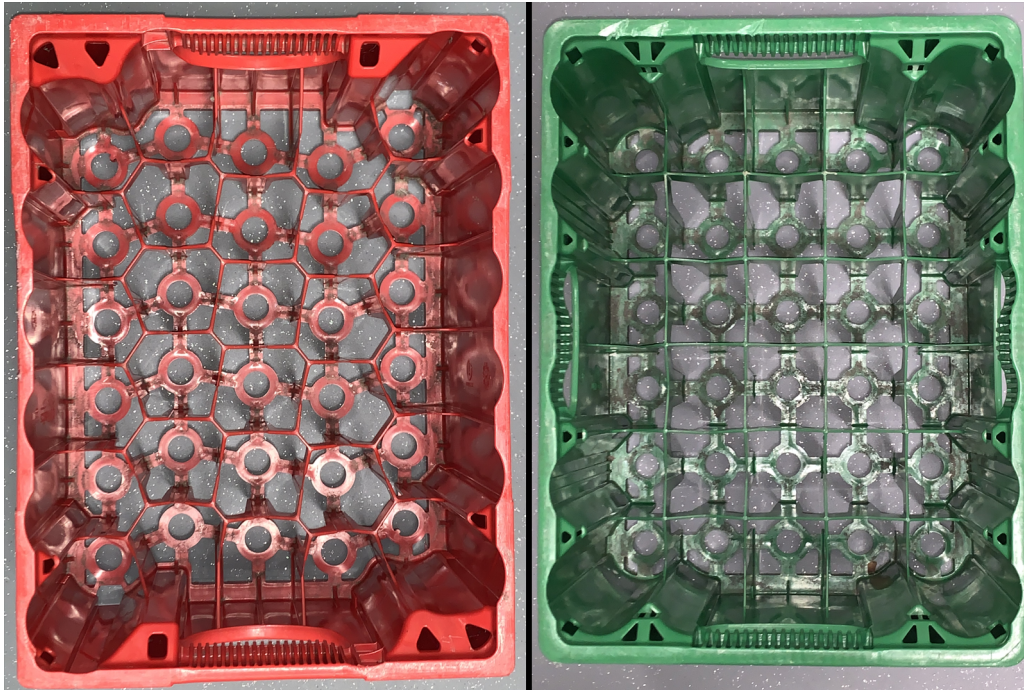


Figura 1.4: Estruturas possíveis para a organização das garrafas.

Após a inspeção da grade e subsequente avaliação da mesma, em caso de detecção de falta ou excesso de garrafas, é importante que essa informação seja passada a um *Programmable Logic Controller* (PLC), com o objetivo de remover a respectiva grade da linha de produção. Tendo isso em mente, o PLC deve enviar um sinal de maneira a que um dispositivo *pusher* seja acionado, cuja função recai sobre retirar a grade defeituosa da linha.

### 1.3 Objetivos

À luz da informação referida anteriormente, facilmente se conclui que o principal objetivo deste projeto é a implementação de um sistema de inspeção, de maneira a garantir a qualidade dos produtos, mais propriamente, das grades de cerveja, que deverão estar devidamente cheias.

No entanto, a fim deste propósito ser atingido, é imperativo que este seja dividido em diferentes etapas:

- Estudo e análise das condições do problema em causa;
- Estudo e análise de soluções existentes;
- Avaliação das vantagens e desvantagens de cada solução, tendo por base os requisitos previamente definidos;
- Discussão e seleção da arquitetura do sistema;

- Desenvolvimento do *software* de inspeção para diferentes grades de cerveja;
- Montagem do *hardware* junto da terceira linha de produção da SBG;
- Realização de testes para a validação da solução;
- Recolha de resultados.

## 1.4 Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos. No Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema do projeto, começando por uma pequena contextualização seguida da apresentação da empresa Super Bock Group, S.A. (SBG) e da sua história. De seguida é definido o problema a resolver, isto é, a motivação que leva à implementação deste sistema e, por fim, é definida uma lista de objetivos a cumprir.

No Capítulo 2 é efetuada uma revisão do estado da arte, onde são exploradas diferentes soluções que se enquadram com os requisitos do sistema de inspeção a desenvolver, sendo ainda debatidos os pontos fortes e fracos de cada uma. Após esta revisão, é feita uma síntese que justifica a seleção do método utilizado.

No Capítulo 3 é definida a arquitetura do sistema de inspeção, em que são abordados os vários componentes inseridos na mesma juntamente com as respetivas contribuições. De seguida, no capítulo 4, estes componentes são apresentados com maior detalhe e é explicado todo o *software* desenvolvido.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos após a fase de testes que permitiram validar a eficácia do sistema de inspeção. Por último, no Capítulo 6, são retiradas algumas conclusões assim como possíveis melhorias do sistema.

## Capítulo 2

# Revisão do Estado da Arte

A qualidade dos produtos é uma das principais preocupações em qualquer tipo de indústria, visto ser uma das razões que mais afetam as vendas das empresas e, conseqüentemente, a sua reputação.

Porém, erros podem ser cometidos tanto pelo ser humano como pelos robôs (com menor probabilidade) e, como resultado, pode levar à manufatura de produtos que não obedecem aos requisitos de qualidade. Neste contexto, surge a importância da inspeção industrial e da realização de testes que assegurem uma maior eficiência de todo o processo de produção [8].

Na SBG existem múltiplos sistemas autônomos de inspeção dispersos pelas várias linhas de produção que asseguram a alta qualidade dos seus produtos. No entanto, pretende-se atualizar o sistema de inspeção da linha de produção 3, no que diz respeito às grades cheias, prontas a serem expedidas. O objetivo desta inspeção centra-se na aferição relativa à capacidade da grade, sendo necessário que esta se encontre cheia e que não haja a falta ou o excesso de uma ou mais garrafas.

O sistema de inspeção que é utilizado atualmente pela SBG consiste na utilização de uma fotocélula e um conjunto de sensores ultrassônicos, dependendo do número de garrafas existentes nas grades. Assim que a fotocélula deteta movimento na linha de produção, é disparado um *trigger* que aciona os sensores ultrassônicos, dispostos em linha com o mesmo espaçamento das garrafas que se encontram nas grades. Desta forma, são detetadas as alturas das garrafas ao longo das várias linhas da grade (este valor depende da capacidade da grade) e, caso um desses valores seja inferior a um limite mínimo, é detetada a falta de uma garrafa.

Apesar de funcional, este processo não é o mais eficiente, tendo em conta que é necessária a configuração prévia do sistema mediante o tipo de grades que serão inspecionadas. Conforme foi ilustrado nas Figuras 1.3 e 1.4, é notório que as grades podem assumir diferentes dimensões, cores e formatos, o que enfatiza a extrema importância da adaptabilidade do sistema.

Considerando os desafios apresentados, foi realizada uma pesquisa de maneira a identificar possíveis soluções que possam contribuir para a resolução do problema em questão. É feita a descrição detalhada de cada uma dessas soluções sendo apresentadas as respectivas vantagens e desvantagens associadas às mesmas.

Primeiramente são abordadas algumas soluções industriais, isto é, sistemas de inspeção desenvolvidos por empresas internacionais. De seguida são descritos alguns artigos científicos que apresentam diferentes soluções para a resolução do problema descrito e, por último, são referidos diferentes sensores (e as respectivas características) que poderão ser utilizados no âmbito do projeto.

## 2.1 Exemplos de sistemas de inspeção de grades

Nesta secção são apresentadas algumas soluções oferecidas por diferentes empresas internacionais.

### 2.1.1 BBULL Technology

A empresa BBULL Technology é uma empresa alemã especializada na produção de soluções de controlo industrial [9]. Dentro destas, estão inseridas soluções de inspeção cujo objetivo coincide com a inspeção de grades. Porém, apesar de aplicações semelhantes, estes sistemas assumem diferentes metodologias, seguindo-se a descrição de alguns deles:

- **COMPACT VK-L/U/I**

O sistema de inspeção VK-L/U/I tem como principal foco a deteção da falta de garrafas nas grades, sem que esta afete o ritmo da linha de produção. A versatilidade do mesmo confere-lhe uma fácil adaptação em qualquer tipo de indústria, independentemente do tipo de grade utilizada. Para tal, são utilizados sensores ultrassónicos organizados em linha, tal como se verifica na Figura 2.1, podendo inspecionar até 6 garrafas de cada vez.

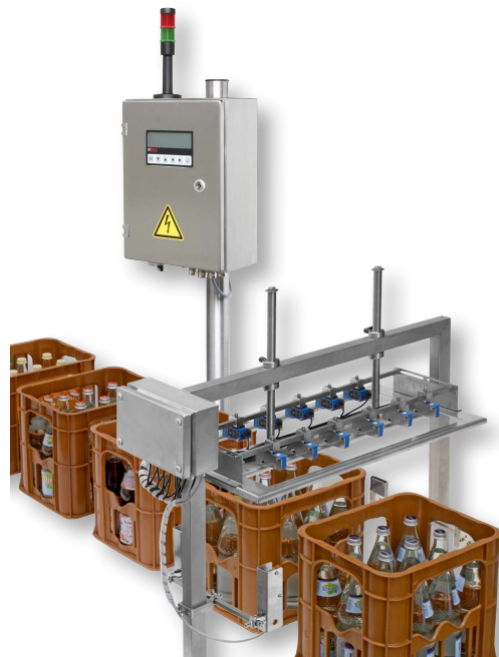


Figura 2.1: Sistema de inspeção de grades BBULL COMPACT VK-L/U/I [10].

No caso de haver grades com diferentes formatos de organização das garrafas, este sistema pode ser equipado com linhas extra de sensores, de maneira a não ser necessário o reposicionamento dos mesmos de forma manual. Desta forma, via *software*, são ativadas apenas as linhas correspondentes ao tipo de grade inserida [10].

Porém, tal como seria de esperar, os custos associados à extensão do número de linhas de sensores também aumentam, tornando esta opção impraticável para algumas indústrias.

- **COMPACT VK-G**

Tal como o sistema referido anteriormente, também o VK-G permite a deteção da falta de garrafas nas grades ou caixas inspecionadas. Porém, não recorre a sensores ultrassónicos, mas sim a raios gama (é de notar que a quantidade de energia utilizada não representa perigo para o ser humano).

Para tal, o sistema é equipado com uma fonte de raios gama, de um dos lados, e um detetor avançado, no lado oposto. Assim, a partir da quantidade de energia recebida pelo detetor, é possível determinar se existe a falta de alguma garrafa [11]. O sistema descrito está representado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Sistema de inspeção de grades BBULL COMPACT VK-G [11].

Este método tem a vantagem de permitir a inspeção em caixas fechadas, o que não é possível com sensores ultrassônicos ou câmaras. Por outro lado, o preço deste tipo de sistema é superior, o que não justifica a inspeção de grades em que o interior das mesmas é visível.

- **TOF VK**

Este método de inspeção tem por base um sensor de visão 3D que recorre à tecnologia *Time-of-Flight* (TOF), permitindo a aquisição de dados de profundidade. Este sensor é colocado por cima da linha de maneira a ser visível a grade por inteiro.

Como resultado, obtém-se uma imagem com referência à profundidade de cada pixel, isto é, a distância que cada pixel se encontra da câmara. Assim, no caso de faltar alguma garrafa, essa distância será maior levando consequentemente à remoção da respetiva grade [12]. O sistema pode ser observado na Figura 2.3.

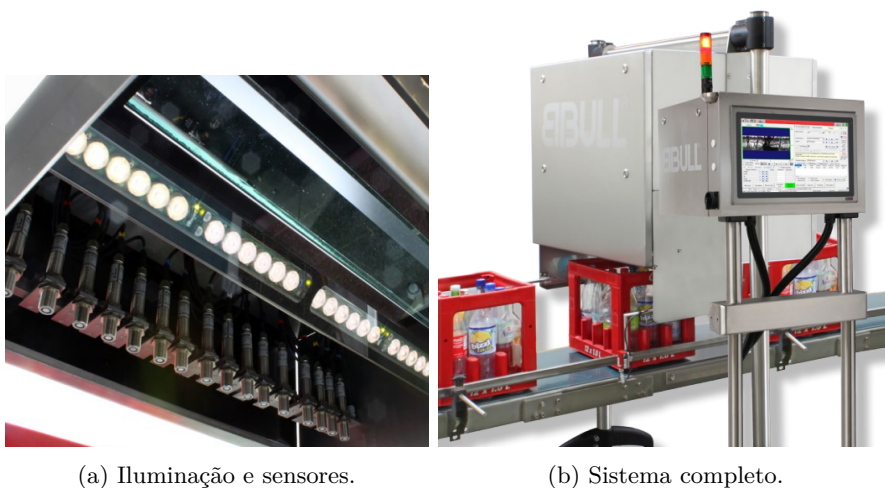


Figura 2.3: Sistema de inspeção de grades BBULL TOF VK [12].

- **IMAGE LG/LK/VK**

Este sistema acaba por ser o mais completo, visto que se encontra equipado com câmaras e sensores ultrassónicos. De maneira a ser compatível com diferentes tipos de grades ou caixas, é utilizado um *array* de sensores ultrassónicos, sendo a ativação dos mesmos dependente da grade utilizada. É também utilizada uma iluminação LED, situada acima da linha de produção de maneira a que as câmaras obtenham a melhor imagem possível.

A organização sensorial descrita pode ser visualizada na parte esquerda da Figura 2.4, enquanto que o sistema completo está representado à direita.



(a) Iluminação e sensores.

(b) Sistema completo.

Figura 2.4: Sistema de inspeção de grades BBUL IMAGE LG/LK/VK [13].

Como seria de esperar, este tipo de sistema contém múltiplas aplicações. Recorrendo a algoritmos de processamento de imagem, é possível inspecionar praticamente qualquer característica que seja visível na grade ou nas garrafas, como por exemplo as cores, danos existentes, as *labels*, entre outras [13].

Existem outros sistemas de inspeção da BBULL Technology com o mesmo propósito, mas com métodos de inspeção semelhantes aos interiores, não sendo relevante a descrição dos mesmos.

### 2.1.2 miho Inspektionssysteme GmbH

Tal como a empresa anterior, também a miho Inspektionssysteme GmbH é alemã, sendo especializada no fabrico de sistemas de inspeção para empresas de bebidas [14]. São múltiplas as aplicações dos produtos oferecidos, porém, o sistema de inspeção de grades Miho Gauss F é o que melhor se enquadra nas condições deste projeto.

Este sistema, representado na Figura 2.5, tem como objetivo o aferimento relativo à falta de garrafas numa grade ou caixa aberta, garantindo que o produto está completo antes da sua expedição. Para tal, a empresa recorreu a uma câmara laser.



Figura 2.5: Sistema de inspeção de grades miho Gauss F [15].

Sendo este um produto bastante completo, este contém um *software* próprio, possibilitando a seleção do tipo de grade, via *touchscreen*, sem ser necessária a realização de ajustes mecânicos ou o reposicionamento dos sensores [15].

Relativamente ao sensor, não são fornecidas mais informações que permitam uma melhor compreensão do modo de funcionamento do sistema. Porém, é referido que a classe do laser é a 2M (Figura 2.6), isto é, não representa grande risco para o olho humano, desde que não sejam utilizados instrumentos óticos [16].

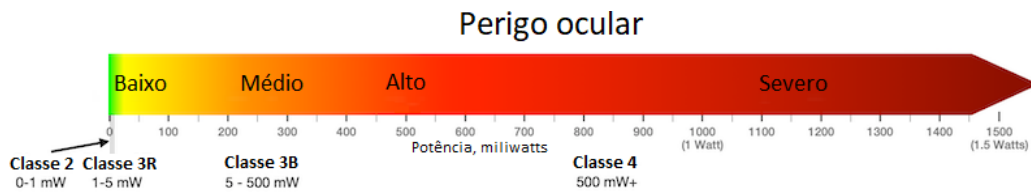


Figura 2.6: Perigo ocular das várias classes de *lasers* [16].

De maneira a completar o sistema, a empresa oferece ainda soluções pneumáticas de rejeição dos produtos defeituosos, nomeadamente o sistema de rejeição de grades miho CR 2, que consiste essencialmente num *pusher* que desvia a grade defeituosa da linha de produção. A Figura 2.7 ilustra um possível *layout* de um sistema completo de inspeção fornecido pela miho [17].

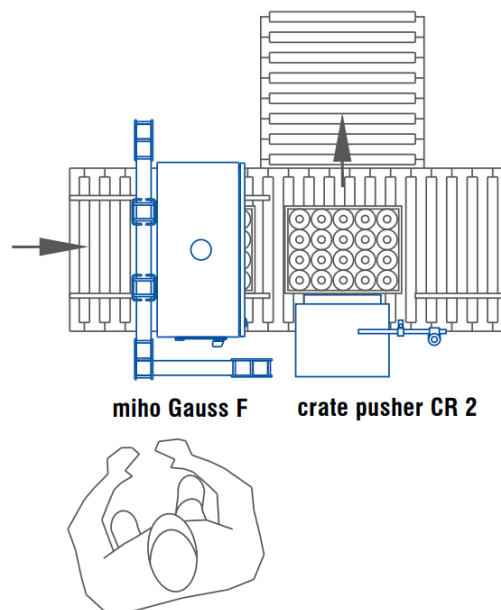


Figura 2.7: Exemplo de *layout* de um sistema de inspeção de grades miho [17].

Apesar de eficaz, este tipo de solução não seria a mais adequada para o contexto desta dissertação, visto ser um sistema independente do resto da linha de produção. Assim, teria de ser feita uma configuração extra deste sistema para a inspeção ser adequada ao tipo de grade produzida.

### 2.1.3 KHS Group

A KHS Group, também alemã, é um fabricante internacional de equipamentos industriais nas áreas de enchimento e *packaging*, estando entre eles o sistema de inspeção de grades Innocheck VKK [18].

O único propósito deste sistema é a garantia de que a grade/caixa está cheia, sendo os produtos defeituosos retirados imediatamente da linha de produção. Porém, esta solução tem duas versões, em que uma delas recorre a sensores e a outra a técnicas de processamento de imagem. Apesar disso, ambas têm a capacidade de inspecionar até 6000 grades por hora.

Os sensores utilizados não são especificados, contudo é referido que esse sistema é de menor custo e com menor complexidade. Por outro lado, o outro sistema recorre a medições óticas de alta qualidade a partir de uma câmara avançada, conferindo um maior custo mas uma maior eficácia também. A estrutura do sistema de inspeção Innocheck VKK está representada na Figura 2.8 [19].



Figura 2.8: Sistema de inspeção de grades Innocheck VKK [19].

### 2.1.4 Tipteh

A empresa tipteh, com sede na Sérvia, é uma das líderes mundiais na implementação e distribuição de sistemas industriais eletrônicos e eletromecânicos. Incluído nessas soluções, está um sistema de inspeção de garrafas que se enquadra nos requisitos deste projeto.

O problema que levou ao desenvolvimento desta tecnologia está ligado à estimativa de que mais de um terço das garrafas que chegam às cervejarias, são entregues

na grade errada. Nesse sentido, foi implementado um sistema de inspeção cujo foco é a garantia de que as garrafas presentes numa determinada grade são as corretas. Para isso, são utilizados 5 sensores *laser scanners scanCONTROL 2900-50* da Micro-Epsilon, posicionados em linha, permitindo a determinação da altura das garrafas.

As características deste sensor podem ser visualizadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Características do sensor scanCONTROL 2900-50 [20].

Peso (g)	380
Tensão de alimentação (V)	24
Corrente (A)	0,5
Classe do laser	2M
Ângulo de abertura (°)	25
Range de operação (mm) - eixo Z	70 - 120
Range de operação (mm) - eixo X	65 - 125
Frequência de funcionamento (Hz)	300 (Máx: 2000)
Interface de comunicação	<i>Ethernet</i>

Claro está que esta quantidade teria de ser adaptada ao número de linhas/colunas existentes na grade, dependendo da orientação da mesma. O *layout* mencionado está representado na Figura 2.9.



Figura 2.9: Sistema de inspeção de garrafas da tipteh [21].

O sensor utilizado segue o princípio de triangulação em linha, ou seja, em duas dimensões, sendo elas os eixos X e Z. Após a emissão de luz pelo laser, a mesma é refletida no objeto e recebida por uma matriz presente no sensor (Figura 2.10).

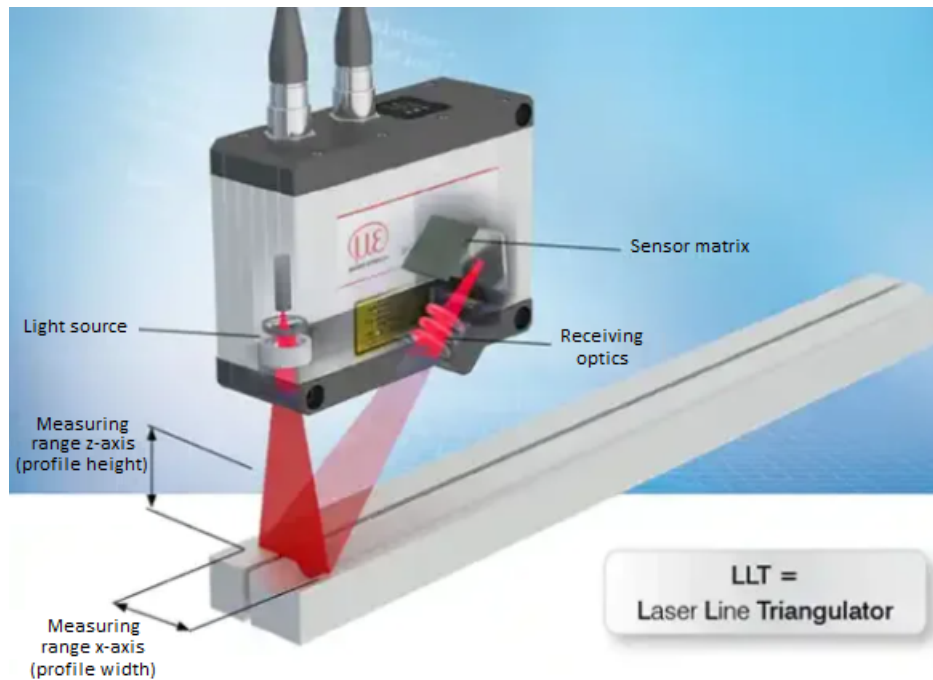


Figura 2.10: Modo de funcionamento do sensor scanCONTROL 2900-50 [21].

Da mesma maneira que é feita a leitura relativa à altura da garrafa, também é detetada a falta da mesma, visto que a discrepância entre a altura pretendida e a real seria elevada. Todavia, este tipo de sistemas encontra algumas limitações nas diferentes propriedades refletoras encontradas nas garrafas, principalmente devido a alterações da cor dos objetos [21]. É de referir ainda que o laser utilizado enquadra-se na classe 3B que, segundo a Figura 2.6, representa um perigo ocular médio.

## 2.2 Artigos científicos para a inspeção automática de grades

Neste tópico são debatidos alguns artigos que apresentam diferentes soluções na resolução de problemas associados à inspeção de grades.

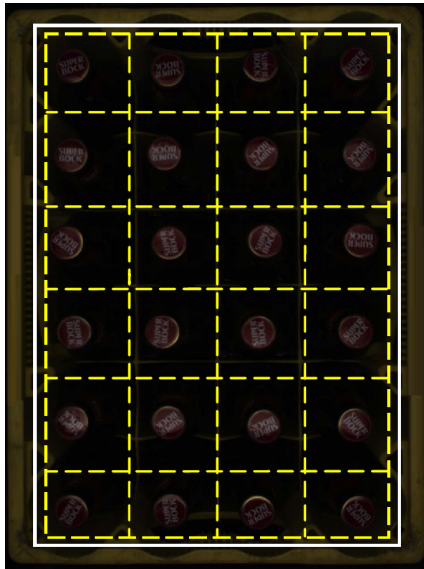
### 2.2.1 *Inspection of bottles crates in the Beer Industry through Computer Vision* [7]

Este é um trabalho de investigação desenvolvido em parceria entre o Departamento de Eletrónica Industrial da Universidade do Minho e a empresa Enermeter, Sistemas de Medição, SA., cujo objetivo centrou-se na inspeção de grades de cerveja.

Nesta inspeção foram desenvolvidos diferentes algoritmos de Visão Computacional para detetar diferentes problemas nas grades, nomeadamente se a cor da grade

era a correta, se existiam danos nas grades, se as grades estavam completamente cheias, se existiam garrafas sem tampa e ainda se a tampa colocada era a correta.

Na Figura 2.11 observam-se alguns desses problemas. Na primeira observa-se uma imagem de uma grade amarela, num ângulo superior, em que são definidas zonas de interesse (*Region Of Interest* (ROI)), também a amarelo. Na segunda verifica-se o caso de uma grade danificada e, por último, a existência de garrafas diferentes na grade, em que as tampas colocadas são as erradas.



(a) Definição das ROIs.



(b) Exemplo de uma grade partida.



(c) Exemplo de garrafas erradas.

Figura 2.11: Definição das áreas de inspeção e possíveis problemas [7].

Na Figura 2.12 está representado o *setup* do sistema de visão, isto é, o *hardware* utilizado na inspeção.

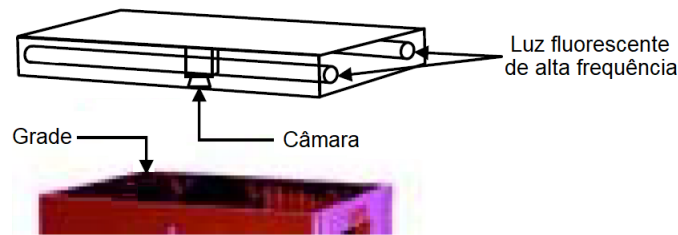


Figura 2.12: Sistema utilizado [7].

Primeiramente é colocada uma caixa com lâmpadas fluorescentes de alta frequência e, no meio desta caixa, devidamente alinhada com o centro da linha de produção, é colocada a câmara AVT Marlin F145C2 (Figura 2.13).



Figura 2.13: Câmara AVT Marlin F145C2 [22].

Esta é uma câmara digital de alta *performance* utilizada maioritariamente em aplicações industriais. Foi desenvolvida pela empresa Allied Vision Technologies (AVT), responsável pela implementação de câmaras avançadas. Na Tabela 2.2 estão representadas algumas características deste sensor. Porém, é de realçar o facto desta ter sido descontinuada pelo que a sua compra não é possível [22].

Tabela 2.2: Características da câmara AVT Marlin F145C2 [22].

Dimensões (mm)	72 x 44 x 29
Peso (g)	< 120 (Sem lente)
Tensão de alimentação (V)	Range: 8 - 36
Resolução (px)	1392 x 1040
Frame Rate (fps)	10
Interface de comunicação	IEEE 1394b
Transfer Rate (Mbit/s)	100, 200 ou 400
Número de entradas	2
Número de saídas	2

Posteriormente, a distância a que a caixa de luz e a câmara se encontravam das grades foi diminuída de maneira a reduzir o espaço ocupado pelo sistema, o que resultou numa baixa uniformidade da luz ao longo das garrafas da grade. Na

Figura 2.14 verifica-se o problema mencionado, em que a diferença de visibilidade entre uma tampa central e uma da periferia é facilmente visível.



Figura 2.14: Diferença de visibilidade nas tampas [7].

Para resolver este e outros problemas, foram desenvolvidos diferentes algoritmos, em C++ [23], recorrendo à biblioteca de processamento de imagem OpenCV [24].

Para ser possível a inspeção, primeiramente foi necessário resolver a situação da iluminação. Nesse sentido, o algoritmo desenvolvido começa por converter a imagem obtida pela câmara para o sistema de cores *Hue, Saturation, Lightness* (HSL), manipulando o fator L de maneira a que todos os *pixels* sejam afetados com o mesmo grau de luminosidade. Posteriormente, a imagem é reconvertida para o sistema de cores *Red, Green, Blue* (RGB) para, de seguida, ser realizada a deteção da cor da grade.

Na Figura 2.15 verifica-se um diagrama de blocos representativo das várias etapas a que as grades e as garrafas são submetidas durante todo o processo da inspeção.

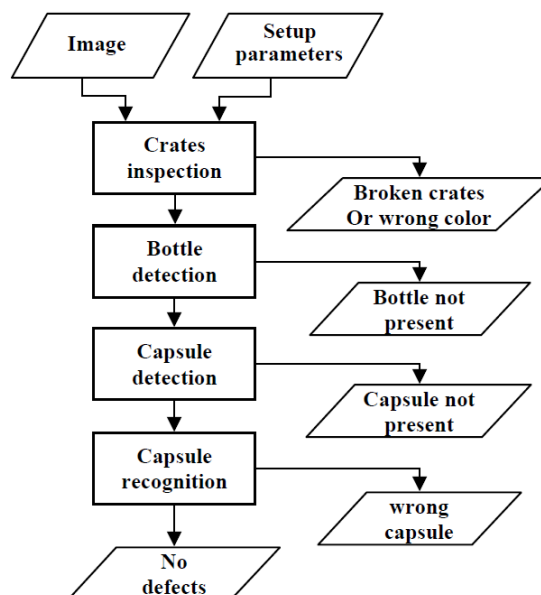


Figura 2.15: Diagrama de blocos representativo do sistema [7].

No conjunto dos algoritmos desenvolvidos, o de maior interesse é o que permite o reconhecimento da falta de garrafas na grade. Para tal, o método começa por adquirir a imagem da grade, estando já esta devidamente alinhada e centrada. O procedimento é aplicado no canal vermelho (*red*), sendo que a imagem está no sistema de cores RGB.

O algoritmo começa por aplicar um filtro morfológico na imagem, em que são realizadas 7 iterações de um *close-up* com um elemento circular de dimensão 3x3, reduzindo conseqüentemente algum ruído existente na imagem.

Da mesma maneira, também foi aplicado um filtro morfológico a uma imagem de referência em que a grade está vazia. Este filtro consistiu na aplicação de 15 dilatações, utilizando também um elemento circular de dimensão 3x3.

De seguida, a imagem de referência é subtraída à imagem da grade supostamente cheia. Assim, para cada ROI (demonstrado na Figura 2.11a), é feita uma binarização e a área do *blob* resultante é tida em conta. Caso a área seja superior ao *threshold* predefinido, então conclui-se que, de facto, essa ROI contém uma garrafa. Este algoritmo está descrito no diagrama de blocos representado na Figura 2.16.

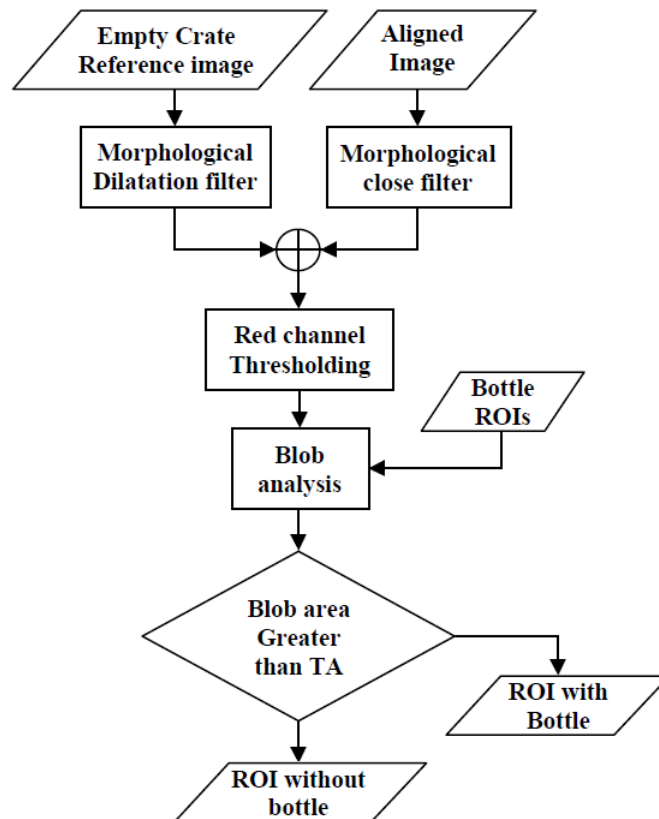


Figura 2.16: Diagrama de blocos representativo do algoritmo de deteção de garrafas [7].

Após o desenvolvimento e a realização de testes para cada um dos algoritmos implementados, o sistema foi incorporado na linha de produção de uma indústria de

cerveja. Os resultados foram bastante satisfatórios, obtendo-se uma falsa rejeição de 0.74% com o sistema geral, em cerca de 26000 grades inspecionadas. Especificando para o caso da detecção de garrafas, isto é, se havia a falta de alguma garrafa nas grades, o resultado obtido foi uma falsa rejeição de apenas 0.14% [7].

### 2.2.2 *Inspection of empty beer bottles in beer's crates* [25]

Este trabalho de investigação foi desenvolvido na Universidade de Belgrado (Sérvia), cujo objetivo foca-se na inspeção de garrafas vazias que estão dispostas em grades, de maneira a descobrir se existe a falta de alguma ou se existem garrafas diferentes.

O projeto descrito neste artigo diferencia-se do abordado nesta dissertação pelo facto da inspeção ser prévia à produção, isto é, antes do processo de enchimento. Assim, o foco centra-se na garantia de que as grades que chegam à indústria têm todas as garrafas e que são todas iguais. O problema que levou à implementação deste sistema surgiu a partir do levantamento dos dados históricos relativos a essas mesmas grades, conferindo-se que 2% das garrafas totais estavam em falta.

O método proposto centra-se na utilização de *laser scanners*, em que a medição baseia-se na triangulação do laser, obtendo-se como resultado *features* geométricas que permitem determinar se existe uma garrafa ou se a sua estrutura é diferente à de referência.

O processo *laser scanning* é um método de *machine vision* bastante utilizado na obtenção de dados 3D do objeto inspecionado. Relativamente ao modo de funcionamento, este já foi referido anteriormente na Subsecção 2.1.4, sendo demonstrado na Figura 2.10, até porque o *laser scanner* empregado neste artigo é exatamente o mesmo que foi utilizado no sistema de inspeção de grades da Tipteh, o scanCONTROL 2900-50 da Micro-Epsilon.

A partir de relações trigonométricas e das próprias características da lente utilizada pelo sensor, é possível obter a distância a que o sensor se encontra do objeto, permitindo a sua classificação.

Na Figura 2.17 observa-se o sistema utilizado, estando o sensor estrategicamente colocado sobre a grade e a linha de produção. É de notar que o sistema utilizado apenas permite a leitura de uma coluna, sendo necessária a utilização de sensores adicionais de maneira a cobrir as restantes colunas.



Figura 2.17: Sistema geral utilizado [25].

O sensor permite ainda diferentes modos de operação, no entanto, a escolha recaiu sobre dois deles. O primeiro é o modo de funcionamento contínuo, isto é, realiza constantemente leituras enviando as mesmas para um computador. Além disso, a presença de uma fotocélula permite o envio de sinais que avisam o início e o fim de cada grade, tornando relevante apenas a informação existente entre ambos os sinais.

Relativamente ao segundo método, este requer a definição prévia do número de leituras, recolhendo essa informação assim que a grade é detetada. Como resultado, o sensor fornece um mapa 3D da informação recolhida, ou seja, uma imagem de cada grade inspecionada, tornando esta a melhor opção.

Na Figura 2.18 estão representados dois diagramas de blocos referentes aos algoritmos utilizados.

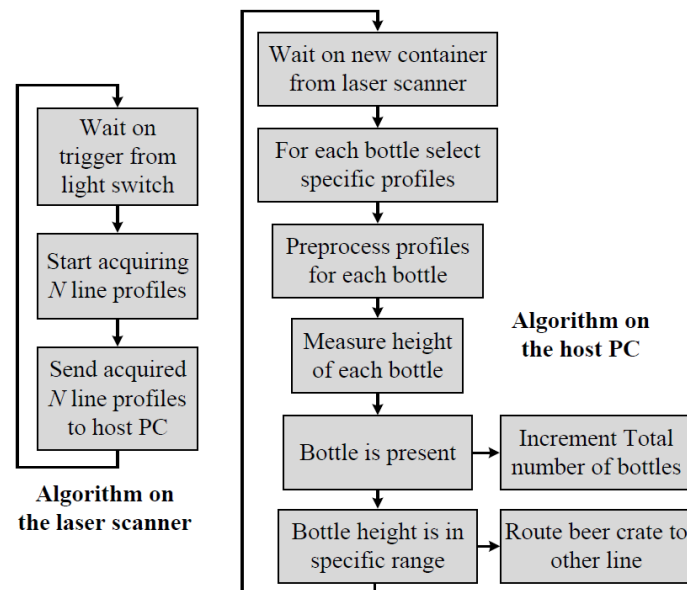


Figura 2.18: Diagramas de blocos representativos dos algoritmos utilizados [25].

O processo de *scanning* tem início após a detecção da grade pela fotocélula, seguindo-se a aquisição de um número predefinido de leituras e o envio das mesmas, via *Ethernet*, para o computador. Sendo que, neste caso, todas as grades têm a mesma dimensão e, conseqüentemente, o mesmo número de garrafas, e sendo conhecida ainda a velocidade do tapete da linha de produção, é possível calcular quais são as leituras correspondentes a cada linha de garrafas, sendo as restantes irrelevantes.

Como resultado, são obtidas medições com as correspondentes coordenadas nos eixos Y e Z, levando à construção de um gráfico representativo. No entanto, é ainda necessária a aplicação de filtros de maneira a reduzir algum ruído existente nas leituras realizadas. Na Figura 2.19 observa-se o caso das leituras obtidas em duas garrafas antes e após a filtragem de ruído [25].

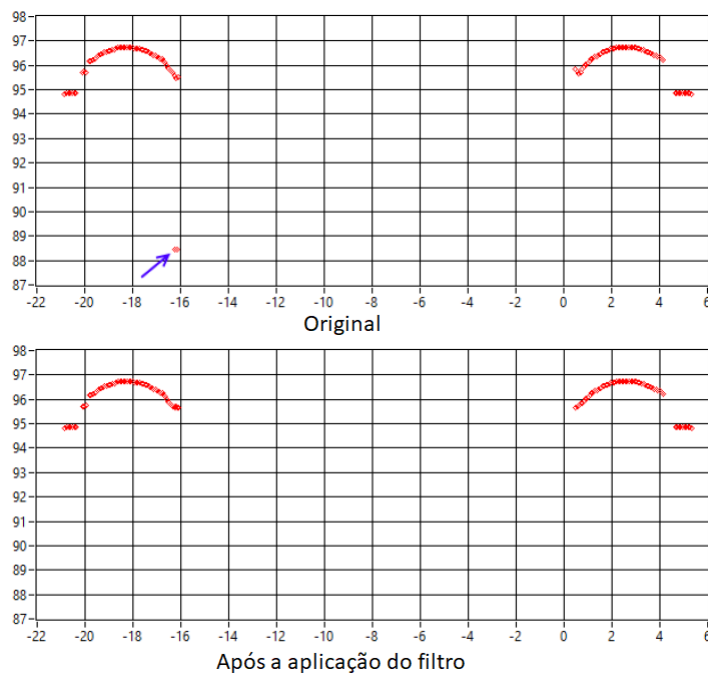


Figura 2.19: Antes e depois da aplicação do filtro [25].

Com base nestes dados, torna-se viável a conclusão acerca da carência de garrafas nas grades inspecionadas. Contudo, é de referenciar que as garrafas inspecionadas não têm tampas, logo a superfície de reflexão do laser é menor, ao contrário do caso abordado nesta dissertação.

## 2.3 Sensores utilizados para a inspeção de grades

Como foi descrito ao longo deste capítulo, são múltiplas as possibilidades que permitem garantir a integridade das grades. Aqui são apresentados os modos de funcionamento e as características de diferentes sensores que também podem ser utilizados no âmbito desta dissertação. Estes podem ser divididos em diferentes métodos sendo

eles a inspeção com balanças, sensores ultrassônicos e ainda com métodos visuais (câmaras, *laser scanners* e sensores de visão 3D).

### 2.3.1 Inspeção com balança industrial

A pesagem de produtos é um dos métodos de inspeção mais rápidos considerando outras operações de controlo de qualidade. Tendo em conta que na saída de uma linha de produção todos os produtos devem ser idênticos, a partir da análise do respetivo peso é possível determinar a existência de anomalias que, posteriormente, resultam na remoção desse mesmo produto da linha.

Geralmente, estes sistemas de inspeção comparam o valor medido com um valor de referência que deve ser predefinido mediante o tipo de produto a ser analisado. Além disso, é necessário ter em conta o erro associado a cada leitura realizada pela balança, sendo imprescindível a utilização de um limite máximo e um limite mínimo para descarte do produto [26].

Um exemplo disso, é a balança C35 AdvancedLine (Figura 2.20) desenvolvida pela empresa americana Mettler Toledo, fornecedora internacional de balanças para uso industrial.



Figura 2.20: Balança C35 AdvancedLine [27].

Esta é uma balança de grande nível com *software* próprio que permite uma fácil configuração do respetivo modo de funcionamento. Possui ainda múltiplas interfaces que lhe conferem a possibilidade de funcionamento paralelo com outros tipos de sistemas, nomeadamente, deteção de metais, inspeção visual e raio-x [27].

Algumas das suas características são visíveis na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Características da balança C35 AdvancedLine [27].

<i>Weighing range</i> (g)	3 - 10000
Precisão (g)	$\pm 0.01$
Número de pesagens por minuto	< 600

Contextualizando no setor cervejeiro, a balança industrial mostra-se promissora para múltiplas etapas da produção desde a manufaturação das garrafas e das grades até ao produto final prévio à sua expedição.

No âmbito desta dissertação, este tipo de sistema provar-se-ia eficaz na deteção da falta ou excesso de garrafas nas grades, sendo que o respetivo peso iria ser menor ou maior, respetivamente, do que os limites definidos. Entre os múltiplos sistemas de inspeção existentes na SBG, são também utilizadas balanças para assegurar a qualidade dos produtos finalizados, como os barris e as caixas de cerveja (Figura 2.21).



(a) Barril.



(b) Caixa.

Figura 2.21: Produtos inspecionados com balança.

Porém, existe um motivo para a utilização deste tipo de sistema na inspeção dos barris e das caixas mas não nas grades. Isso deve-se à desvantagem associada à aplicação de uma balança industrial, sendo esta o elevado custo.

Considerando as características externas de cada um destes produtos, é facilmente observável uma grande diferença que é o facto da grade ser aberta. Assim, não há a necessidade de investimento num sistema de pesagem quando existem alternativas que, à partida, terão menores custos, como sistemas ultrassónicos ou visuais.

### 2.3.2 Inspeção com sensores ultrassônicos

Como foi referido anteriormente, o sistema de inspeção de grades atualmente utilizado pela SBG recorre a sensores ultrassônicos, cujo *trigger* de ativação provém de uma fotocélula estrategicamente posicionada na linha de produção. Apesar de algumas limitações previamente mencionadas, nomeadamente a recorrente necessidade de reconfiguração mediante o tipo de produto a analisar, este método deve ser igualmente discutido e considerado.

Tendo ainda em consideração a Figura 1.4 presente na Secção 1.2, facilmente se verifica que as grades podem assumir diferentes cores, alturas e formatos de organização. Porém, no que diz respeito aos sensores ultrassônicos, a cor não tem qualquer influência nas medições, logo o problema recai apenas sobre as restantes características referidas.

Nas secções 2.1 e 2.2 foram abordadas diferentes soluções, sendo que algumas recorrem a métodos ultrassônicos. Tipicamente, este método recai sobre o uso de múltiplos sensores, organizados em linhas. Como as grades assumem diferentes organizações de garrafas, teriam de ser colocadas duas linhas diferentes de sensores, sendo apenas ativada uma dependendo do tipo de grade inspecionada.

Aplicando ao caso desta dissertação, teriam de ser utilizados, no total, 10 sensores ultrassônicos, sendo uma linha de 5 utilizada para inspecionar as grades da Super Bock e da Carlsberg e a outra linha de 5 para a inspeção das Super Bock mini.

Existem várias opções de sensores ultrassônicos no mercado com diferentes preços cujas características se enquadram nas pretendidas. Na Figura 2.22 é apresentada uma possível solução, sendo ela o sensor ultrassónico UM18-218167101, desenvolvido pela Sick, uma empresa alemã especializada na implementação e fornecimento de soluções para o controlo e segurança industriais [28].



Figura 2.22: Sensor ultrassónico UM18-218167101 [29].

Na Tabela 2.4 são descritas algumas das características que diferenciam este sensor.

Tabela 2.4: Características do sensor UM18-218167101 [29].

Dimensões (mm)	18 x 18 x 52,7
Peso (g)	15
Tensão de alimentação (V)	Range: 15 - 30 (Típico: 24)
Potência (W)	1,2
Número de saídas	1 analógica (12 bits)
Frequência do sinal (kHz)	200
Resolução (mm)	0,2
Range operacional (mm)	120 - 1000
Tempo de saída (ms)	20
Tempo de resposta (ms)	80

É de realçar que este tipo de sensores fornecem apenas um conjunto de medidas, sendo estas distâncias entre os mesmos e os objetos analisados. Assim, seria necessária a utilização de uma unidade de processamento que permitisse a respetiva análise dos dados e, conseqüentemente, a decisão relativa à falta de garrafas na grade. Além disso, teria de ser utilizada ainda uma fotocélula de maneira a ser ativado o sistema de inspeção apenas quando a grade está corretamente alinhada com os sensores.

### 2.3.3 Inspeção com câmaras

Relativamente às câmaras, o princípio de funcionamento é bastante simples, tendo já sido abordado no artigo da Subsecção 2.2.1. São ainda referidas algumas características da câmara AVT Marlin F145C2, um possível sensor a ser utilizado neste contexto.

Tal como o caso dos sensores ultrassônicos, também seria necessária a utilização de uma fotocélula para que a câmara seja apenas utilizada quando a grade se encontrar devidamente posicionada. Assim, no exato momento que a grade está alinhada com a câmara, esta faz uma aquisição de imagem e envia a mesma para uma unidade de processamento onde são aplicados diferentes algoritmos de processamento de imagem, dependendo do objetivo da inspeção. Tendo em conta o requisito deste projeto, estes algoritmos recaem sobre a deteção de cada ROI, de maneira a ser identificada a falta de garrafas.

Existe ainda a possibilidade da utilização de mais câmaras de maneira a ser criado um sistema de visão *stereo*. Este tipo de sistema baseia-se no princípio da visão humana em que, apesar de ambos os olhos verem o mesmo objeto, cada um tem a sua perspetiva, o que resulta na perceção de profundidade do ambiente. A Figura 2.23 demonstra este princípio em que são identificados os centros de projeção (câmaras) e os respetivos campos de visão.

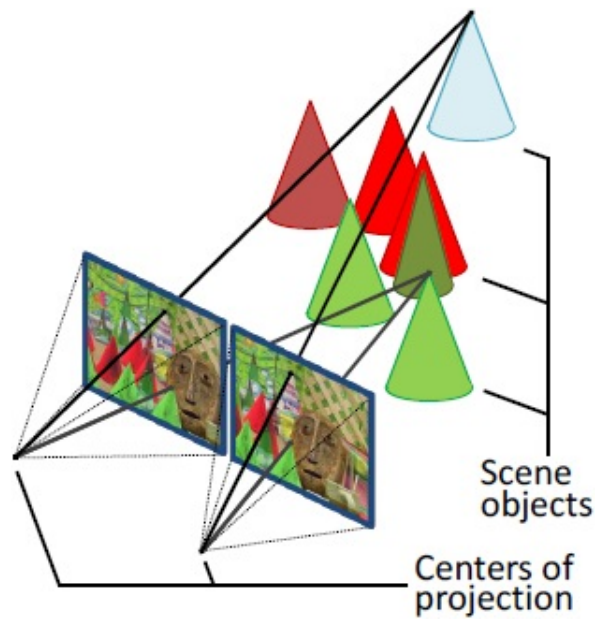


Figura 2.23: Modo de funcionamento de um sistema de visão *stereo* [30].

A partir da identificação de *features* em ambas as imagens capturadas pelas câmaras, são utilizados algoritmos que permitem o *match* entre as *features* correspondentes, isto é, do mesmo objeto. Assim, e tendo ainda em consideração os parâmetros de calibração das câmaras, é possível obter dados de profundidade, ou seja, a distância a que o objeto se encontra das câmaras [30].

Um exemplo deste sistema é a série de câmaras Ensenso N (Figura 2.24), desenvolvidas pela empresa alemã IDS Imaging Development Systems GmbH, sendo esta especializada no fabrico de câmaras para uma vasta área de aplicações industriais [31].



(a) Ensenso N3x.



(b) Ensenso N4x.

Figura 2.24: Câmaras Ensenso N [32].

Na Tabela 2.5 são apresentadas algumas das características destas câmaras, estando estas divididas em dois grupos, as Ensenso N3x e as Ensenso N4x.

Tabela 2.5: Características das câmaras Ensenso N [32].

	Ensenso N3x	Ensenso N4x
Dimensões (mm)	192 x 50 x 52	193 x 52 x 60
Peso (g)	650	550
Tensão de alimentação (V)	<i>Range: 12 - 24</i>	<i>Range: 12 - 24</i>
Imagens por segundo	10	10
Revestimento	Alumínio	Plástico
Interface de comunicação	<i>Ethernet</i>	<i>Ethernet</i>
Distância de operação (mm)	270 - 3000	330 - 3000
Ângulo de <i>vergence</i> (°)	2, 4, 6, 8 ou 10	2 ou 4

### 2.3.4 Inspeção com *laser scanners*

No caso dos *laser scanners*, tipicamente são utilizados de forma semelhante aos sensores ultrassónicos, isto é, recorre-se a múltiplos sensores de maneira a inspecionar cada linha existente na grade. Este facto foi já referido na Subsecção 2.1.4 juntamente com a explicação do respetivo modo de funcionamento.

Um exemplo de *laser scanner* é o sensor scanCONTROL 2900-50 que também foi abordado na mesma subsecção e ainda na Subsecção 2.2.2, o que demonstra o seu forte contributo na inspeção de grades. As suas características estão presentes na Tabela 2.1.

Existem muitos outros sensores semelhantes a este, como por exemplo o LRS 36/6 (Figura 2.25) da Leuze, uma empresa alemã focada no desenvolvimento de sensores para o setor da automação industrial [33].



Figura 2.25: *Laser scanner* LRS 36/6 [34].

As características deste sensor são visíveis na Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Características do sensor LRS 36/6 [34].

Peso (g)	620
Tensão de alimentação (V)	Range: 18 - 30
Classe do laser	2M
Range de operação (mm) - eixo Z	200 - 800
Range de operação (mm) - eixo X	150 - 600
Número de saídas digitais	6
Tempo de resposta (ms)	10
Interface de comunicação	Ethernet
Preço em Março de 2023 (€)	Cerca de 2770 [35]

### 2.3.5 Inspeção com sensores de visão 3D

Existem ainda outros sensores que recorrem a métodos de visão 3D como é o caso do sensor de visão O3D302, que foi desenvolvido pela ifm electronic S.A., uma empresa especializada no desenvolvimento e produção de soluções relacionadas com automação industrial [36]. Este recorre à metodologia TOF, o que lhe permite medir a distância entre o sensor e os objetos que se encontram no respetivo campo de visão. Esta tecnologia possibilita a medição de distâncias por meio da análise do intervalo temporal desde a emissão de um sinal até à receção do mesmo após ser refletido numa superfície ou objeto [37]. O princípio TOF confere ainda a capacidade de operação eficiente em ambientes mais difíceis, nomeadamente em condições de baixa luminosidade.

Aplicando este princípio ao sensor em causa, o sinal é emitido sob a forma de quatro focos de luz infravermelha, sendo posteriormente o sinal refletido e recebido pela lente, tornando assim possível a perceção de profundidade. Estes componentes podem ser observados na Figura 2.26, com a lente no centro e os focos nos cantos frontais.



Figura 2.26: Sensor de visão 3D O3D302 [38].

O sensor contém ainda quatro *Light Emitting Diodes* (LED) com informações relativas à alimentação, à ligação Ethernet e ainda ao estado de duas saídas digitais.

É fornecido ainda pela empresa um *software* próprio para a configuração das características do sensor e ainda das próprias aplicações, sendo elas:

- Dimensionamento de objetos;
- Detecção de *overflow* e *underfill* em caixas ou grades;
- Inspeção de nível;
- Medição de distâncias;
- Inspeção de volumetria [38].

Aplicando ao contexto desta dissertação, verifica-se uma elevada compatibilidade, tendo em consideração que uma das aplicações deste sensor foca-se na deteção de grades *underfilled* ou *overfilled*.

Na Tabela 2.7 verificam-se algumas das características mais importantes associadas a este sensor.

Tabela 2.7: Características do sensor O3D302 [38].

Dimensões (mm)	72 x 65 x 82,6
Peso (g)	772,35
Tensão de alimentação (V)	<i>Range</i> : 20,4 - 28,8 (Típico: 24)
Corrente (A)	Típico: 1,6; Pico: 2,4
Potência (W)	10
Número de entradas	2 digitais
Número de saídas	3 digitais (1 analógica)
<i>Range</i> de operação (mm)	300 - 8000
Resolução (px)	176 x 132
Ângulo de abertura (°)	60 x 45
Frequência máxima de leitura (Hz)	25
Interface de comunicação	<i>Ethernet</i>
Preço em Março de 2023 (€)	1450,50

## 2.4 Síntese das soluções apresentadas e decisão

Após a realização de uma pesquisa das diversas soluções existentes, procede-se uma análise e síntese das mesmas. Para tal, deve-se considerar um conjunto de fatores que condicionam esta escolha, nomeadamente as características dos sensores e os próprios requisitos deste sistema.

As principais características que diferenciam os sensores apresentados, são:

- Método de funcionamento: dependendo das características dos produtos a inspecionar, o método de inspeção pode ser um fator crucial na sua escolha.
- Condições do ambiente de inspeção: a luminosidade e a humidade são dois fatores que podem condicionar o funcionamento de determinados sensores;
- Dimensões: as dimensões físicas dos sensores podem ser um entrave dependendo do espaço disponível na zona de inspeção;
- Custo associado: o preço tem um grande peso na escolha do sensor, especialmente quando há alguma indecisão entre soluções.

Todas estas características devem ser consideradas na escolha da solução. Porém, existem outros requisitos para além da escolha do sensor, nomeadamente:

- Implementação de sistema de inspeção com elevada eficácia;
- Integração do sensor com unidade de processamento para controlo das grades com falta de garrafas;
- Desenvolvimento de interface gráfica para constante registo do estado do sistema;
- Necessidade de flexibilidade do sistema para a inspeção de diferentes tipos de grades;

Tendo em conta estes conceitos, foram descartadas de imediato algumas opções, nomeadamente sensores de raios gama e balanças, considerando a sua baixa eficiência para o caso deste projeto. As razões que levam a esta conclusão são o custo associado, comparativamente às restantes soluções, e o respetivo método de funcionamento. Sendo a grade destapada, o uso de outros tipos de sensores, tais como câmaras, sensores TOF, *lasers* ou sensores ultrassónicos, é mais favorável.

Neste ponto, estes sensores foram apresentados e debatidos junto da empresa, optando-se pelo sensor O3D302, referido anteriormente. Dadas as restantes opções, esta não é a mais eficiente devido ao custo associado. Porém, o mesmo encontrava-se em armazém na empresa e, dada a grande compatibilidade das suas aplicações com os requisitos definidos, a sua escolha foi a melhor opção.

No entanto, se o sensor O3D302 estivesse indisponível na empresa, certamente seria tomado outro rumo. Num ponto de vista comparativo, propôs-se a implementação de um sistema de inspeção paralelo, recorrendo-se apenas às funcionalidades básicas do sensor O3D302, de maneira a simular um sensor TOF de baixo custo.

Em suma, deverão ser implementadas duas soluções de inspeção. A primeira, que deverá ser incorporada na terceira linha de produção da SBG, recorrerá ao *software* comercial ifmVisionAssistant para a identificação de garrafas em falta nas grades inspecionadas.

Relativamente à segunda solução, apelidada de **CrateSense**, esta deverá avaliar as grades inspecionadas, tendo apenas como ponto de partida um conjunto de distâncias provenientes do sensor.



## Capítulo 3

# Projeto

Neste capítulo é apresentada a arquitetura do sistema a implementar, seguindo-se a análise e descrição das funcionalidades de cada componente inserido na mesma.

### 3.1 Arquitetura do Sistema

O sistema a desenvolver visa a inspeção de grades na terceira linha de produção da SBG, de maneira a assegurar a qualidade dos seus produtos, isto é, a garantia de que todas as garrafas estão presentes.

Considerando o sensor escolhido (IFM O3D302), foram debatidas diferentes arquiteturas junto da empresa, de maneira a que o sistema fosse o mais eficiente possível e, ao mesmo tempo, de baixa complexidade, de modo a ser de fácil compreensão para aos vários técnicos da linha de produção, facilitando ainda a manutenção do mesmo. Na Figura 3.1 observa-se a arquitetura selecionada.

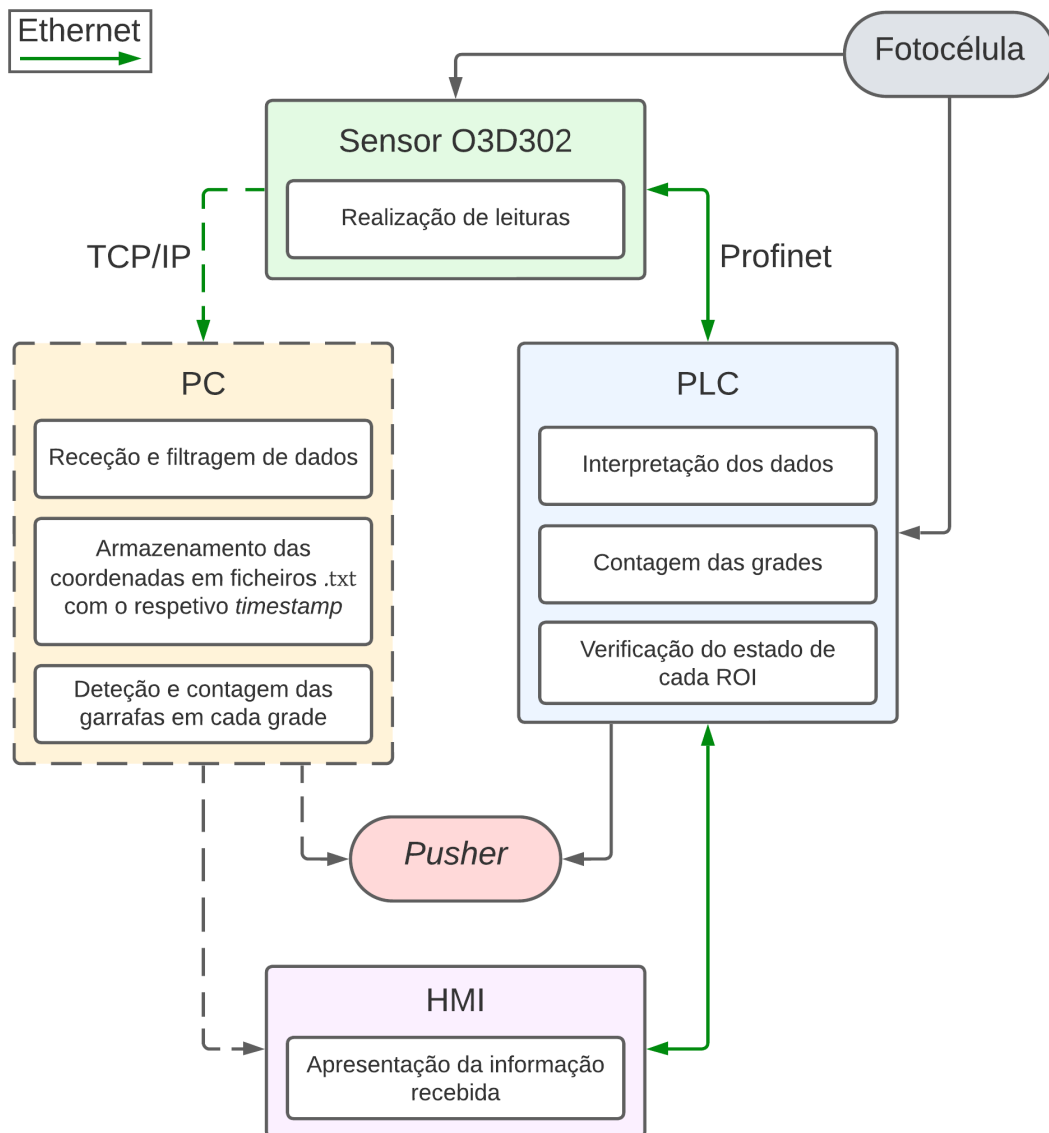


Figura 3.1: Arquitetura do sistema.

De maneira a facilitar a compreensão do sistema, foram definidos diferentes blocos, com as respetivas funções subsequentes, que garantem o bom funcionamento da inspeção. O processo inicia-se na fotocélula responsável pelo envio do sinal de *trigger* que, conseqüentemente, dá início a cada leitura obtida pelo sensor O3D302. Neste ponto, há uma divisão no sistema, visto que se pretende desenvolver duas soluções. A da direita, recorre a um PLC para a interpretação dos dados enviados pelo sensor e pela inspeção das grades. Esta solução deverá ser incorporada na linha de produção da SBG. Por outro lado, deve ser desenvolvida ainda uma solução paralela de menor custo para efeitos comparativos (CrateSense). Esta consiste num PC que recebe as coordenadas obtidas pelo sensor e a partir de uma série de algoritmos deteta se existe falta de garrafas nas grades inspecionadas. Posteriormente, ambas as soluções enviam toda a informação relevante para uma HMI, onde fica

exposta aos técnicos e restante pessoal que se encontra na linha de produção. No final, existe ainda um atuador *pusher* responsável por retirar as grades defeituosas da linha, sendo controlado pelo PLC ou pelo PC, mediante o sistema que estiver em funcionamento.

## 3.2 Fotocélula

Este tipo de sensor é bastante comum em praticamente todas as indústrias, não sendo exceção na SBG. De maneira a tornar os vários processos existentes na linha de produção totalmente autónomos, um dos requisitos será a localização dos produtos. Com a utilização de uma fotocélula, é detetada a presença de objetos quando estes passam na frente do sensor, permitindo assim o correto funcionamento dos restantes mecanismos envolventes. No contexto desta dissertação, a utilização deste sensor é de grande importância, funcionando como um *trigger* para a recolha de leituras pelo sensor de visão.

## 3.3 Sensor de visão 3D O3D302

Assim como referido no capítulo anterior, juntamente com as respetivas características, optou-se pela utilização do sensor O3D302 da empresa IFM. Para a comunicação entre PLC e sensor, recorreu-se a uma ligação Ethernet, mais especificamente o protocolo de comunicação Profinet. Optou-se por este método tendo por base um programa exemplo fornecido pela própria empresa para PLCs Siemens.

Porém, para ser possível a utilização do sensor na linha de produção, é necessário que o mesmo fique devidamente posicionado relativamente às grades, isto é, alinhado com o centro das mesmas, e suspenso a uma determinada altura. Assim, deve ser desenvolvido um suporte enquadrado com estes requisitos.

## 3.4 *Programmable Logic Controller (PLC)*

O PLC é um dos componentes mais importantes na área industrial, sendo este responsável pelo controlo de todos os processos que ocorrem nos diversos setores existentes. Na Figura 3.2 verifica-se uma possível arquitetura envolvendo o PLC e um conjunto de sensores e atuadores.

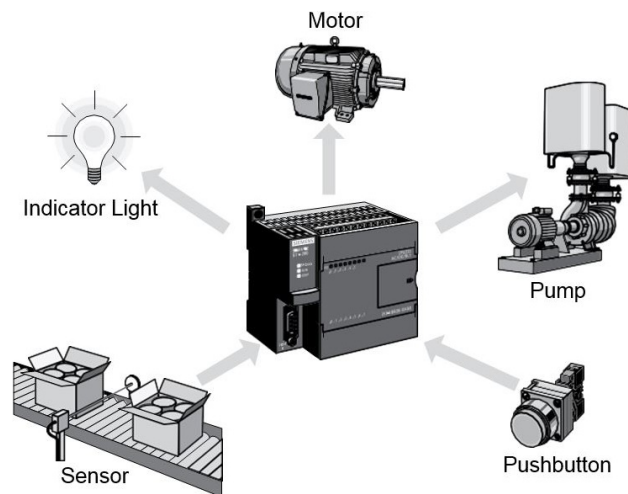


Figura 3.2: Possível arquitetura de controlo industrial [39].

No entanto, para o correto funcionamento deste componente, é imprescindível a sua configuração, na qual são especificadas as entradas e saídas do sistema, bem como um conjunto de ações desejadas. Para tal, existem múltiplas linguagens de programação compatíveis, sendo listadas, de seguida, algumas das mais utilizadas:

- *Structured Text* (ST)
- *Instruction List* (IL)
- *Function Block Diagram* (FBD)
- *Ladder Diagram* (LD)

A linguagem LD é, atualmente, a mais utilizada e amplamente reconhecida. O facto de ser uma linguagem gráfica confere-lhe uma intuitividade significativa, reforçando assim a sua utilização [40]. Na Figura 3.3 está presente um exemplo deste tipo de linguagem.

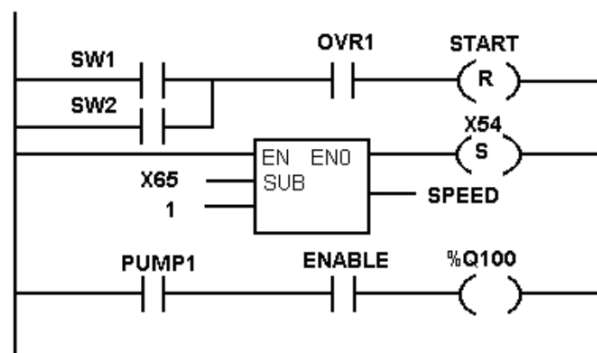


Figura 3.3: Exemplo da linguagem *Ladder Diagram* (LD) [40].

No contexto deste projeto, a função do PLC será o controlo dos vários componentes utilizados, assim como das tarefas necessárias à inspeção. Este deve ser capaz

de interpretar a informação proveniente do sensor e atuar segundo a mesma, isto é, decretar a falta de garrafas em grades defeituosas. Além disso, este deve ainda recolher dados estatísticos de maneira a serem posteriormente utilizados para um aumento da eficiência ou simplesmente para informar os técnicos que se encontram na linha.

### 3.5 Solução paralela - CrateSense

O sistema a incorporar a SBG consiste, essencialmente na comunicação entre o sensor de visão e o PLC. Porém, a empresa IFM disponibiliza um *software* que permite a configuração de diferentes parâmetros, nomeadamente o tipo de aplicação que se pretende utilizar. Este é um ponto forte que levou à sua escolha, visto que uma das possíveis aplicações é a inspeção de grades e a verificação da presença de garrafas nas mesmas. Após a configuração destas aplicações, o sensor está apto a fazer a inspeção, passando as informação para o PLC.

Assim, foi proposto o desafio de desenvolver uma solução paralela sem a necessidade de recorrer ao *software* fornecido pela empresa e, assim, comparar ambos os métodos. A principal diferença está no custo, tendo em conta que a nova solução apenas requer a utilização de uma *point cloud*, algo que pode ser recolhido por um sensor TOF de baixo custo. Pretende-se, assim, recolher resultados de ambas as soluções e retirar algumas conclusões acerca das mesmas.

Tendo isto em conta, a cada leitura obtida pelo sensor, devem ser enviadas as coordenadas da *point cloud* obtida, sem qualquer processamento dos dados, a partir de uma ligação Ethernet com o protocolo *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP). De seguida, com um conjunto de algoritmos, os dados recebidos devem ser devidamente trabalhados de maneira a detetar o número de garrafas presentes em cada grade e, conseqüentemente, determinar se existem ou não garrafas em falta.

### 3.6 *Human Machine Interface* (HMI)

De forma a apresentar os dados com maior relevância, pretende-se a utilização de uma *Human-Machine Interface* (HMI), uma interface globalmente utilizada em ambientes industriais. A utilização deste componente permite a apresentação de diferentes informações acerca do sistema de inspeção, nomeadamente o número de grades inspecionadas, o número de grades defeituosas, quais as posições da grade onde há a falta de garrafas, entre outras. Assim, a partir de uma ligação Ethernet ao PLC, todos estes dados são devidamente interpretados e expostos.



## Capítulo 4

# Implementação

De forma semelhante ao Capítulo 3, também este aborda os diferentes componentes existentes na arquitetura apresentada. Porém, são abordados os passos realizados no desenvolvimento de cada um deles e as razões que levaram a seguir determinada metodologia. Para uma melhor compreensão, primeiramente é abordado todo o *hardware* envolvido no projeto seguido do *software* desenvolvido.

### 4.1 *Hardware*

Relembrando a arquitetura do sistema, foram desenvolvidas duas soluções para a inspeção das grades. Sendo o *hardware* envolvido essencialmente o mesmo, retirando a unidade de processamento, os vários componentes são apresentados de seguida.

#### 4.1.1 Fotocélula - SICK WL18-2P430

Para a deteção de grades, utilizou-se a fotocélula SICK WL18-2P430 (Figura 4.1) cujo princípio de funcionamento é a reflexão de uma barreira de luz, havendo comutação quando o feixe é interrompido.

Com o propósito de iniciar cada leitura recolhida pelo sensor, a fotocélula foi posicionada de maneira a detetar a presença de todas as grades, tendo em atenção as diferenças físicas existentes.



Figura 4.1: Fotocélula SICK WL18-2P430 [41].

#### 4.1.2 Sensor - Sensor de visão 3D IFM O3D302

Para a inspeção das grades optou-se então pelo sensor de visão 3D O3D302. Tendo já sido referidas as suas características anteriormente (Secção 2.3.5), segue-se alguma informação relativa à sua configuração, assim como os vários passos realizados até o mesmo se encontrar completamente funcional. Começando pelas ligações, na Figura 4.2 encontra-se a face posterior onde são visíveis as interfaces de comunicação e alimentação.

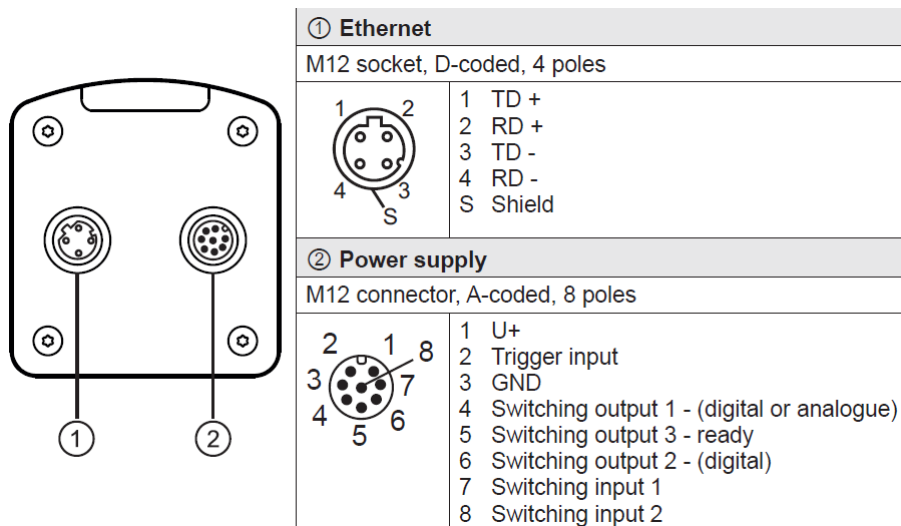


Figura 4.2: *Pinout* do sensor O3D302 [42].

A ligação *Ethernet* é utilizada na configuração do dispositivo, nomeadamente das aplicações necessárias à inspeção. Além disso, posteriormente pode ser utilizada para troca de informações com o PLC, como por exemplo o número total de produtos inspecionados juntamente com os declarados como defeituosos.

Relativamente à outra ligação, a mesma diz respeito à alimentação do sensor e às respetivas entradas e saídas disponibilizadas. O sensor está ainda equipado

com quatro LEDs, dois verdes e dois amarelos, tal como demonstrado na Figura 4.3 juntamente com o respetivo significado.

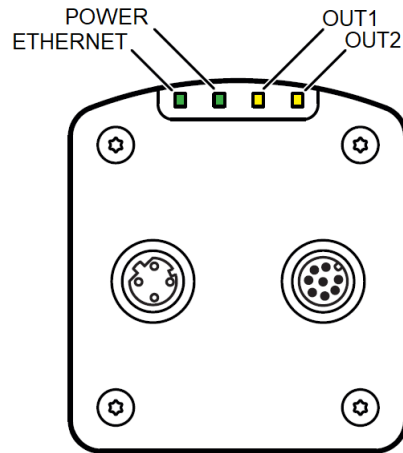


Figura 4.3: Iluminação LED presente no sensor O3D302 [42].

No contexto de controlo das aplicações existentes no sensor, existem dois *layouts* possíveis na comunicação entre o mesmo e o PLC. Ambas permitem o correto funcionamento do sistema porém, diferem na quantidade de informação disponibilizada.

A primeira arquitetura dispensa a utilização de qualquer ligação *Ethernet*, recorrendo apenas à leitura das saídas e do controlo das entradas do sensor para a inspeção das grades (Figura 4.4).

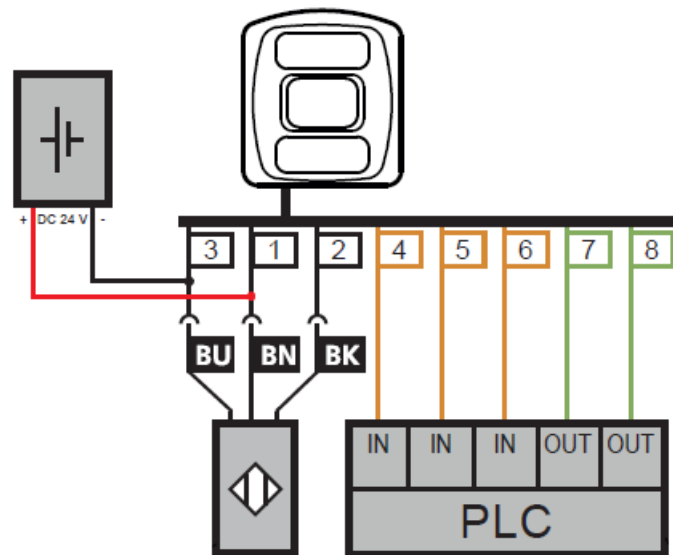


Figura 4.4: *Layout* de comunicação 1 [42].

Com as entradas do sensor (7 e 8), é possível selecionar a aplicação que se pretende utilizar, a partir da combinação dos valores lógicos (máximo de quatro aplicações). Relativamente às saídas do sensor, apenas seriam utilizadas as saídas 4 e 6 (OUT1 e OUT2, respetivamente) visto estarem diretamente relacionadas com

as situações de *underfill* e *overflow*. Desta forma, assim que uma das saídas contenha o valor lógico 1, é responsabilidade do PLC acionar o *pusher* de maneira a retirar a respetiva grade da linha de produção.

Porém esta arquitetura possui algumas limitações como:

- No caso da existência de mais do que quatro aplicações, torna-se impossível a seleção das mesmas a partir da combinação dos valores lógicos das entradas;
- Informações como o número de grades inspecionadas, o número de situações de *underfill* ou *overflow* encontradas, quais as regiões de interesse com maior número de ocorrências, entre outras, não são recolhidas.

Por outro lado, a segunda possibilidade, adotada nesta dissertação, recorre a uma ligação *Ethernet* para a troca de informações e comandos entre o sensor e o PLC (Figura 4.5).

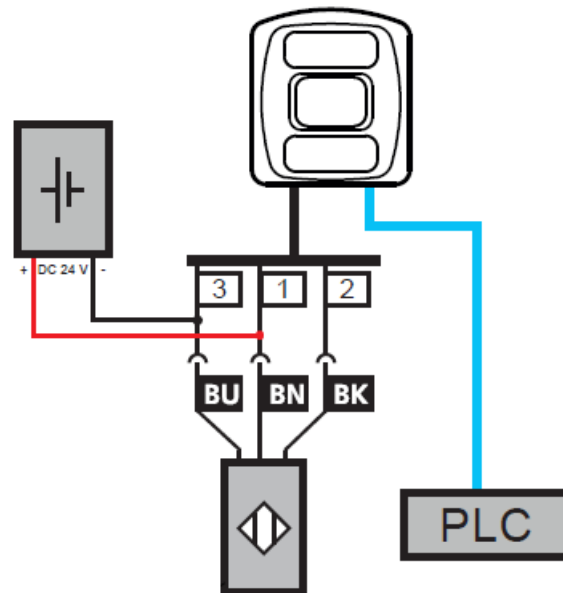


Figura 4.5: *Layout* de comunicação 2 [42].

Assim como a situação anterior, também é necessária a utilização de uma fotocélula para acionar a leitura do sensor. Por outro lado, as restantes entradas e saídas não são utilizadas, sendo o sensor controlado via *Ethernet*. Na secção de *software* são demonstradas as vantagens da adoção deste *layout* relativamente ao anterior.

### 4.1.3 Suporte desenvolvido

Para o correto funcionamento do sensor O3D302 na inspeção das grades, o mesmo deve estar devidamente posicionado e alinhado com a linha de produção. Para tal, recorreu-se ao *software Computer-Aided Design* (CAD) 3D SolidWorks [43] onde foram esboçados diferentes suportes, sendo os favoritos visíveis na Figura 4.6.

Nos Anexos A e B verificam-se as características de ambos os suportes com maior detalhe.

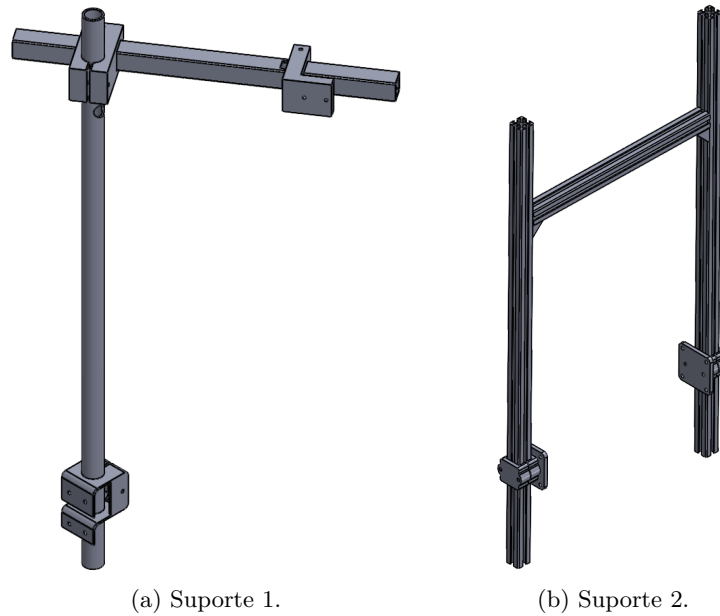


Figura 4.6: Suportes esboçados.

Após o contacto com diferentes fornecedores acerca dos orçamentos para cada um dos suportes, optou-se pela utilização do segundo (Figura 4.6b). Na Figura 4.7 verifica-se o mesmo já montado na zona de inspeção.

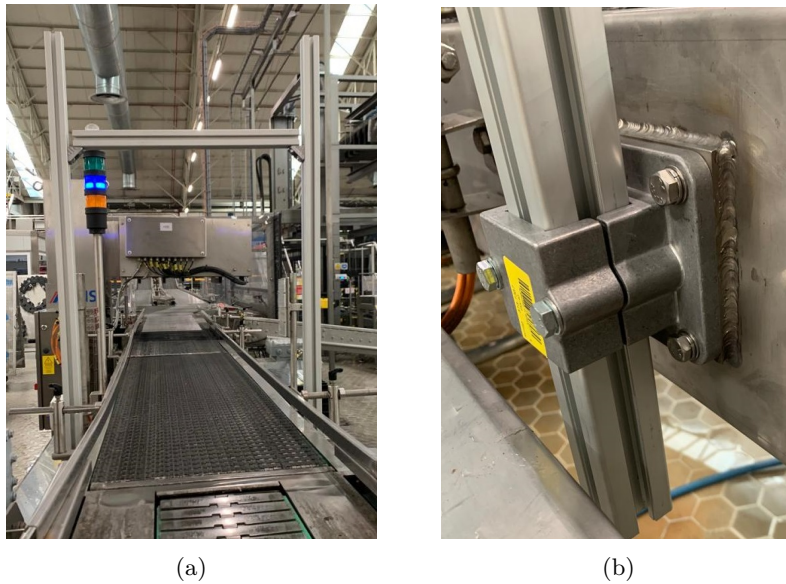


Figura 4.7: Suporte implementado.

#### 4.1.4 PLC - S7-300 CPU 314C-2 PN/DP

Relativamente ao cérebro do sistema, o PLC utilizado para o controlo dos processos envolvidos na terceira linha de produção da SBG trata-se de um Siemens S7-300 com uma *Central Processing Unit (CPU) 317-2 Profinet/Decentralized Peripherals (PN/DP)*. Porém, foi sugerida pela empresa a independência do sistema de inspeção relativamente aos restantes processos, sendo necessária outra CPU. Tendo em conta a comunicação entre o sensor e PLC, optou-se então por uma CPU com suporte de comunicação Profinet, sendo a 314C-2 PN/DP (Figura 4.8) a de menor custo.

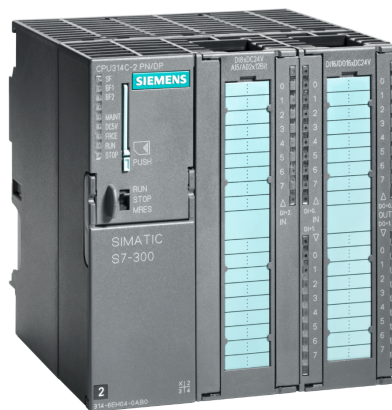


Figura 4.8: CPU 314C-2 PN/DP [44].

#### 4.1.5 HMI - SIMATIC OP 270

Relativamente à interface gráfica, uma HMI é um conceito bastante familiar na área de automação industrial, permitindo uma fácil interação entre os técnicos e os processos autónomos envolventes. Foram consideradas diferentes opções para este componente, tendo em conta as interfaces existentes em armazém da SBG. Como resultado, optou-se pela utilização da HMI Siemens SIMATIC OP 270 6" (Figura 4.9).



Figura 4.9: Siemens SIMATIC OP 270 6"[45].

### 4.1.6 Sistema de inspeção

Considerando todos os componentes apresentados, foi necessária a utilização de uma caixa de maneira a facilitar as ligações entre os mesmos e ainda posicionar a HMI a uma altura que permita uma fácil leitura das informações expostas. Para isso, chegou-se ao seguinte circuito elétrico (Figura 4.10).

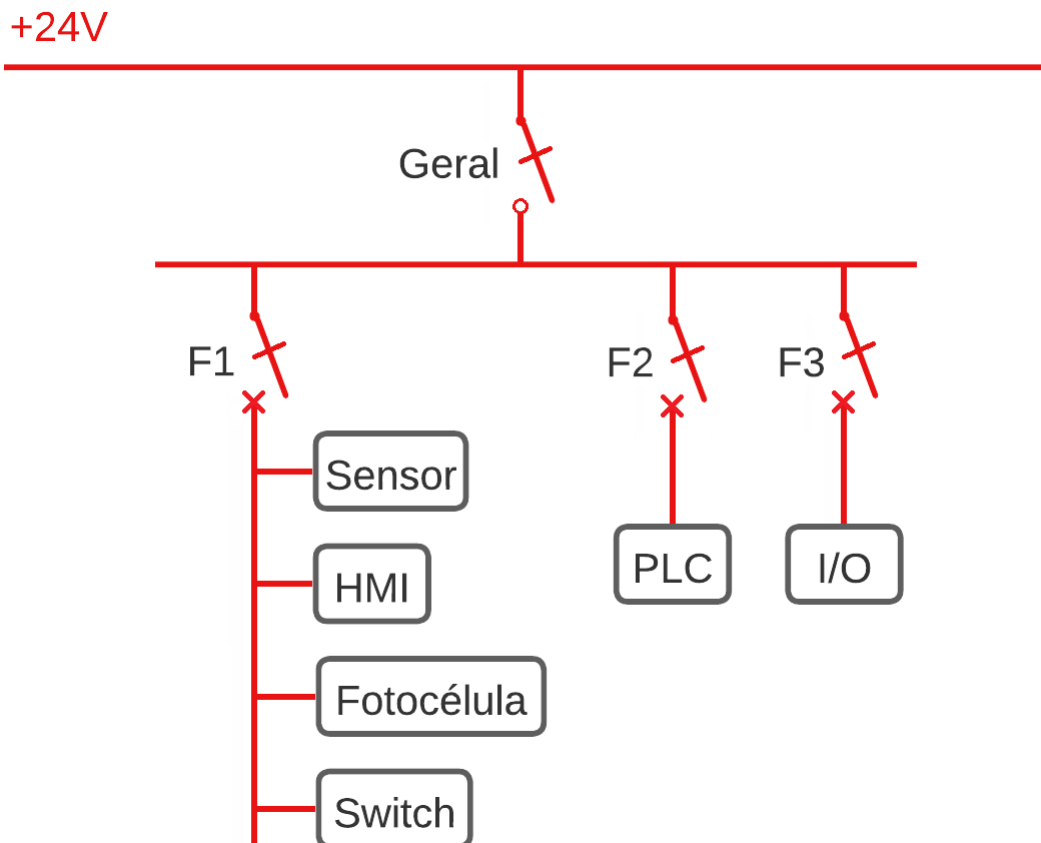


Figura 4.10: Circuito de alimentação.

Este circuito contém um interruptor geral que deve ser de fácil acesso, de maneira a cortar a alimentação de todo o sistema. De seguida, são utilizados 3 disjuntores que alimentam diferentes partes do sistema. O primeiro (F1) é responsável pela alimentação dos periféricos do sistema, isto é, o sensor O3D302, a HMI, a fotocélula e ainda um *switch* para a rede *Ethernet*. O disjuntor F2 alimenta o PLC e o F3 as respetivas entradas e saídas.

Este circuito foi implementado numa caixa que estava em armazém, obtendo-se o resultado observado nas Figuras 4.11 (interior) e 4.12 (exterior).



Figura 4.11: Interior da caixa desenvolvida.

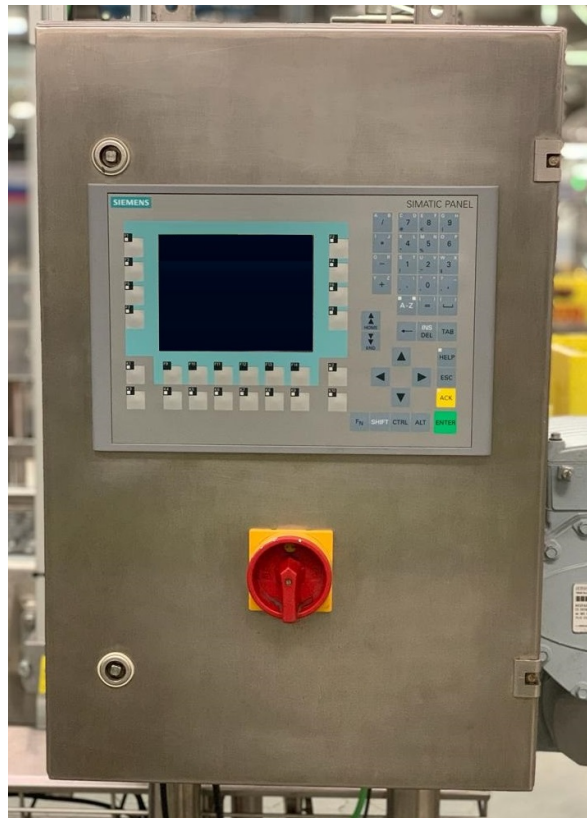


Figura 4.12: Exterior da caixa.

## 4.2 Software - Solução com PLC

Passando para o *software* desenvolvido, aqui deve ser feita uma distinção clara entre ambas as soluções implementadas. Começando pela solução implementada na linha de produção, foi necessário recorrer a diferentes *softwares*, nomeadamente a aplicação de configuração do sensor (ifmVisionAssistant), programa do PLC (Simatic Manager) e ainda o programa da interface gráfica (WinCC).

### 4.2.1 Solução comercial adquirida (ifmVisionAssistant)

Uma vez alimentado e conectado ao computador via *Ethernet*, procede-se a configuração do sensor, isto é, das aplicações imprescindíveis ao processo de inspeção das diferentes grades. O menu de aplicações disponibilizadas pelo *software* pode ser observado na Figura 4.13.

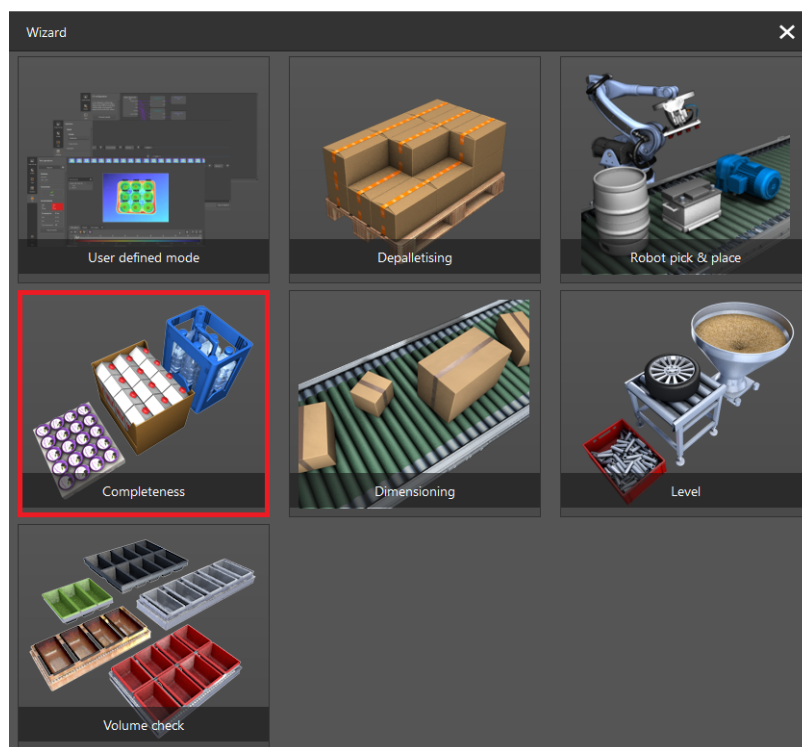


Figura 4.13: Menu de aplicações.

Tendo em conta o objetivo deste projeto, a aplicação com maior compatibilidade é a *Completeness Monitoring*, sinalizada na figura anterior por um quadrado vermelho. A configuração da mesma consiste em diferentes passos:

#### 1. *Mounting*

Esta primeira etapa consiste essencialmente na colocação do sensor na posição pretendida, de forma a que toda a grade seja visível pelo mesmo (Figura 4.14).

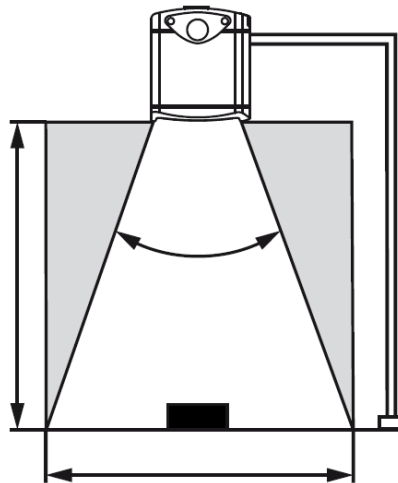


Figura 4.14: Posicionamento do sensor [42].

## 2. Control Functionality

Neste passo são definidas as situações que se pretende verificar sendo elas *underfill* e *overflow*, ou seja, se o objetivo é verificar a falta ou excesso de garrafas, respetivamente (Figura 4.15). Após a discussão deste assunto junto da empresa, optou-se apenas pela deteção de situações *underfill* (Figura 4.15).

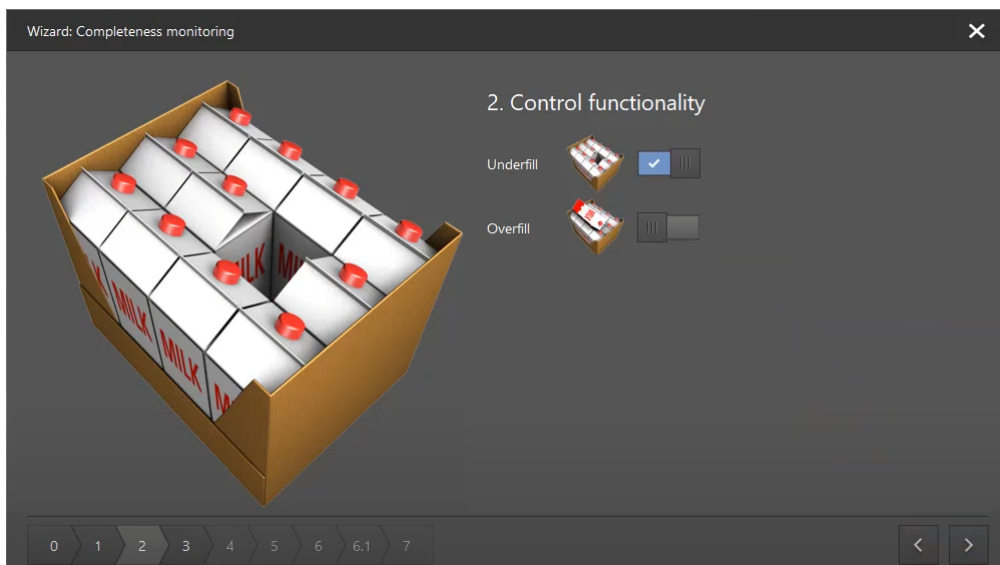


Figura 4.15: Control Functionality.

## 3. Output Configuration

A configuração das saídas permite a seleção do valor lógico apresentado nas saídas para as situações referidas no passo anterior. Além disso também é possível definir o tipo de sinal na saída, podendo este ser *static*, isto é, mantém

o valor lógico até ser realizada a medição seguinte, ou então *pulsed* que mantém o sinal lógico durante um período predefinido (Figura 4.16).

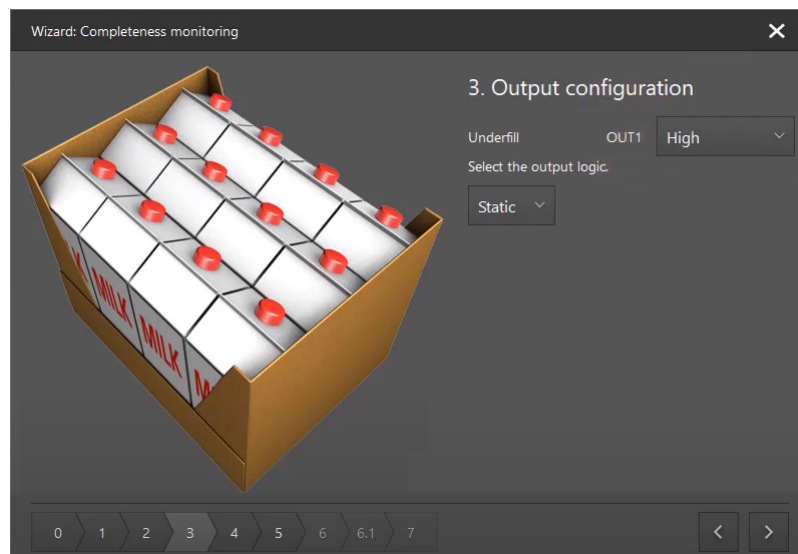


Figura 4.16: *Output Configuration.*

#### 4. *Trigger & Velocity*

Nesta etapa é possível selecionar o tipo de *trigger* utilizado, sendo os métodos disponíveis visíveis na Figura 4.17.

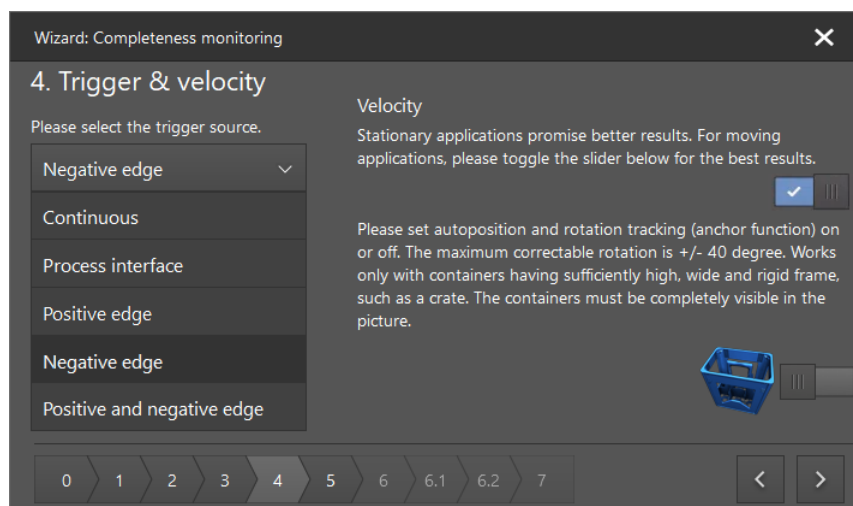


Figura 4.17: *Trigger & Velocity.*

O primeiro (*continuous*) consiste na realização de leituras contínuas, o *process interface* permite ativar cada leitura a partir de um sinal enviado pelo PLC e os restantes permitem acionar o sensor mediante o sinal enviado, ou seja, *positive edge* quando o sinal lógico enviado passa de 0 para 1, *negative edge*

quando o sinal lógico passa de 1 para 0 e *positive and negative edge* quando há uma variação do estado lógico enviado.

É possível ainda selecionar outras *features*, nomeadamente a opção que permite a realização de medições com a linha em movimento e ainda a opção que encontra as ROIs de forma automática, mesmo que as grades assumam diferentes posições e orientações. Porém, é de notar que a ativação desta última resulta num aumento do tempo necessário nas medições.

### 5. *Region of Interest*

As regiões de interesse resultam num conjunto de áreas retiradas do produto completo. No contexto da dissertação, estas regiões tratam-se de cada garrafa individual permitindo assim determinar a comparência da mesma na grade. Nesta etapa são definidas as regiões, começando pela definição do tipo de organização existente na grade. Posteriormente, ocorre a caracterização dessas áreas, nomeadamente a forma das mesmas juntamente com o número de linhas e colunas que compõem a grade. Caso necessário, é ainda possível a manipulação manual de cada ROI. Na Figura 4.18 verifica-se a configuração realizada para as grades Super Bock.

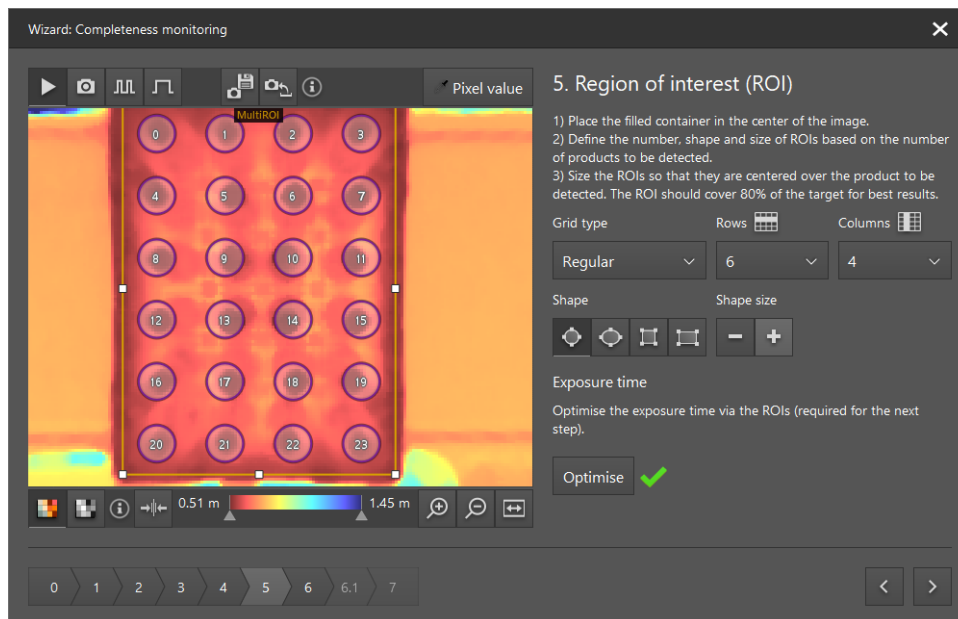
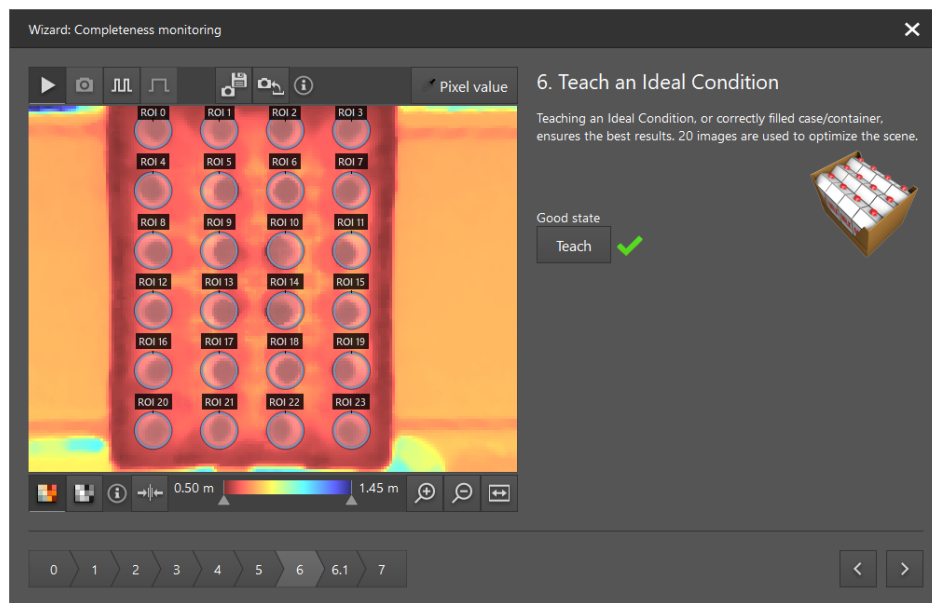


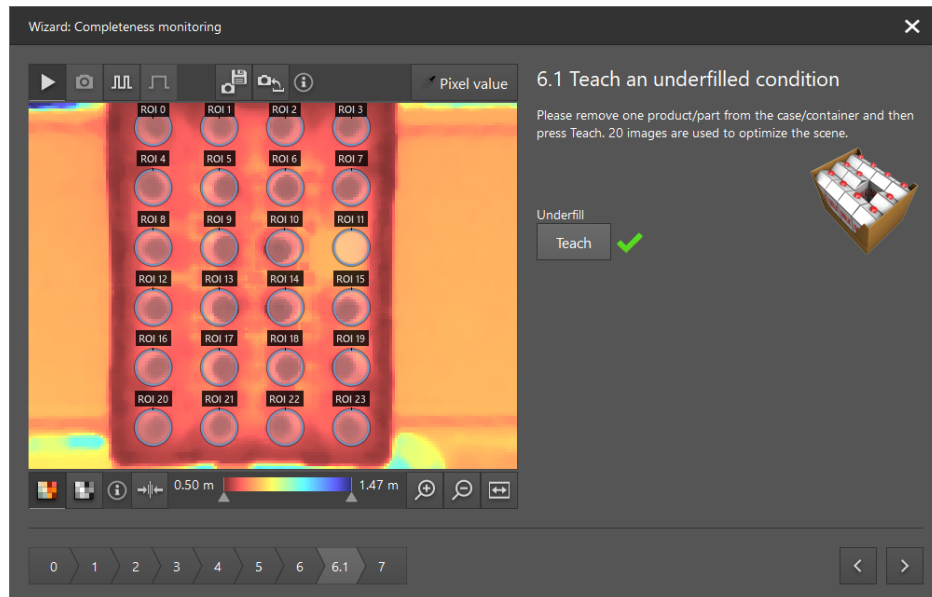
Figura 4.18: Definição das regiões de interesse.

### 6. *Teach an Ideal Condition*

O processo de treino é necessário de maneira a serem definidos os valores de *threshold* que declaram a falta de garrafas na grade inspecionada. Assim, são examinadas duas situações em que a primeira é ideal com todas as garrafas presentes (Figura 4.19).

Figura 4.19: *Teach* com grande cheia.

De seguida é observada a situação de *underfill* em que se deve retirar uma das garrafas, permitindo ao algoritmo reconhecer diferenças nas alturas observadas em cada ROI (Figura 4.20).

Figura 4.20: *Teach* com grande *underfilled*.

## 7. Test

Por último, existe uma fase que permite o teste do algoritmo. A partir da observação de diferentes cenários nas grades (*underfill*, garrafas com diferentes alturas, entre outros), é possível redefinir os valores de *threshold* definidos automaticamente pelo *software*.

Concluído este passo, a aplicação está pronta a inspecionar a *completeness* das respetivas grades.

Como já foi referido ao longo desta dissertação, devem ser inspecionados diferentes tipos de grades, diferenciadas principalmente pela estrutura organizacional das garrafas. Assim, deve existir uma adaptação do sistema de forma a assegurar a inspeção de qualquer grade que surja na linha de produção. Para isso, foram então definidas três aplicações, uma para cada tipo de grade (Super Bock, Carlsberg e Super Bock mini), sendo as mesmas visíveis na Figura 4.21.

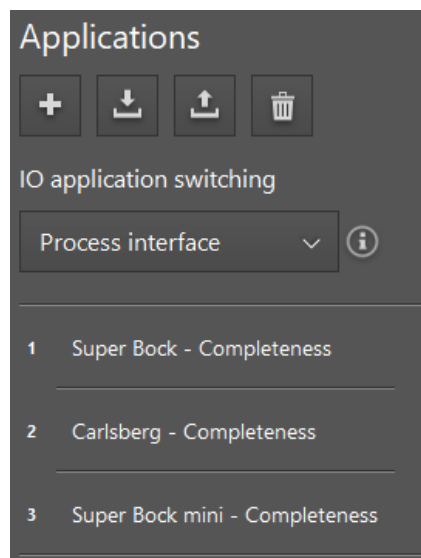


Figura 4.21: Aplicações utilizadas na inspeção.

### 4.2.2 Programa Ladder e configurações (Simatic Manager)

Para a integração do sensor O3D302 com o *software* Siemens Simatic Manager, é utilizada a biblioteca *ifm-O3D3xx\_PN*, disponibilizada pela própria empresa. Esta fornece diversos blocos referentes às diferentes aplicações existentes e ainda a outros comandos de controlo, nomeadamente a aquisição de qualquer informação referente ao processo de inspeção e ainda a seleção da aplicação até um número máxima de 32 aplicações.

Desta forma, não é apenas feito o controlo do sensor e a correta inspeção das grades, como também são recebidos dados estatísticos que permitem aumentar ainda

mais a eficiência do sistema. Aplicando este argumento a um caso prático, ao ser passada a informação referente às ROIs com falta de garrafas, se o problema persistir numa só zona, é de prever que o mesmo esteja relacionado com o sistema de colocação das garrafas nas grades. Este tipo de problema não seria reconhecido automaticamente com apenas os valores lógicos das entradas e saídas do sensor, conferindo a vantagem inerente à adoção desta arquitetura.

Seguidamente é feita a descrição dos blocos pertencentes à biblioteca que foram utilizados neste projeto:

### ActivateApp

O bloco presente na Figura 4.22 permite o acionamento da aplicação escolhida.

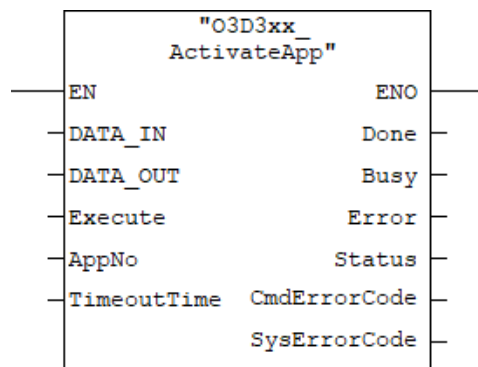


Figura 4.22: Bloco correspondente à ativação das aplicações [46].

Sendo que se desenvolveram três aplicações, uma para cada tipo de grade, este bloco prova-se de grande utilidade garantindo uma troca de aplicação simples e rápida. De seguida são enumeradas as variáveis observadas na figura juntamente com a definição das mesmas.

Parâmetros de entrada:

- **DATA\_IN**: Esta variável não tem um tipo de dados definido sendo essencialmente definida com um apontador de memória que indica a localização da informação enviada pelo sensor para o PLC;
- **DATA\_OUT**: Da mesma maneira que a variável anterior, também não tem um tipo de dados definido. Esta contém um apontador de memória para a localização dos dados que são enviados para o sensor pelo PLC;
- **Execute**: Esta é uma variável booleana. Quando verdadeira, a tarefa representada pelo bloco é ativada. Do mesmo modo, quando falsa, a tarefa é desativada;
- **AppNo**: Definida como INT, esta variável deve ser igualada ao número da aplicação (1-32) que se pretende ativar.

- **TimeoutTime**: Variável do tipo TIME que deve ser igualada ao tempo máximo de espera para cada resposta do sistema. Não sendo necessária, deve ser igualada a 0.

Parâmetros de saída:

- **Done**: Variável do tipo booleana que quando verdadeira indica que a tarefa foi executada sem qualquer erro;
- **Busy**: Variável do tipo booleana que quando verdadeira indica que a tarefa está em execução;
- **Error**: Variável do tipo booleana que quando verdadeira indica que houve um erro na execução da tarefa;
- **Status**: Variável do tipo *word* que contém informação relativa ao estado do sistema;
- **CmdErrorCode**: Variável do tipo Dint que contém informação relativa a erros associados ao comando enviado para o sensor;
- **SysErrorCode**: Variável do tipo Dint, que contém informação associada a erros do sensor.

### Completeness

O bloco de *completeness* demonstrado na Figura 4.23 permite a interpretação dos dados provenientes do sensor.

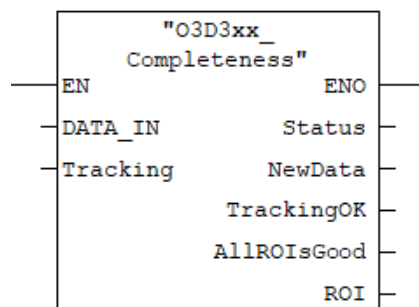


Figura 4.23: Bloco referente a informações de *completeness* [46].

Assim é possível adquirir um conjunto de informações relevantes ao projeto como a situação geral das ROIs e ainda dados individuais relativos ao estado de cada uma destas. Relativamente aos parâmetros representados na figura, os que não foram apresentados anteriormente são descritos de seguida.

Parâmetros de entrada:

- **Tracking:** Variável do tipo booleana que deve ser verdadeira caso a opção de *tracking* estiver ativada na aplicação em causa.

Parâmetros de saída:

- **NewData:** Variável do tipo booleana que é verdadeira quando o PLC recebe um novo conjunto de dados do sensor;
- **TrackingOK:** Variável do tipo booleana que é verdadeira quando o *tracking* é feito de forma correta;
- **AllROIsGood:** Variável do tipo booleana que é verdadeira quando o estado de todas as ROIs é positivo, isto é, não há qualquer problema na grade;
- **ROI:** Ao contrário das variáveis anteriores, este é um *array* que contém o estado e o valor (em milímetros) de cada ROI.

A partir destes blocos e os *default* deste *software*, foi possível então implementar o sistema de inspeção. Começando pela arquitetura que foi definida no *hardware* do programa, o mesmo pode ser visualizado na Figura 4.24.

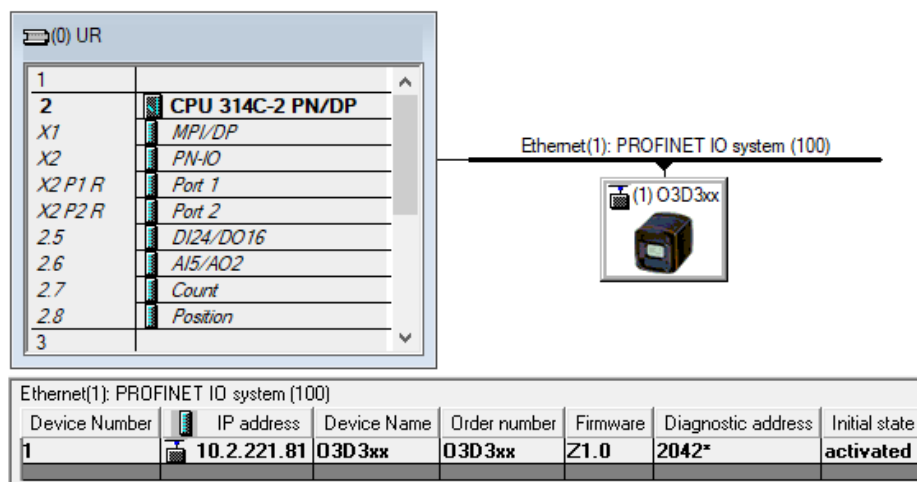


Figura 4.24: Arquitetura de *hardware* definida.

Do lado esquerdo da imagem, encontram-se todas as ligações suportadas pela CPU, sendo utilizada a ligação *Profinet* para ligar ao sensor. Foi também atribuído um *Internet Protocol* (IP) a cada componente, de maneira a estarem inseridos na mesma rede:

CPU	10.2.221.80
Sensor	10.2.221.81
HMI	10.2.221.82

Posteriormente foram selecionados os endereços de memória do PLC que irão conter os dados de entrada e saída do sensor (Figura 4.25).

Slot	Module	Order number	I Address	Q address	Diagnostic Address
0	0.3D.3xx	0.3D.3xx			2042*
	PROFINET-IO	Interface			2041*
	PORT 1	FX145 10/100 MBit/s			2040*
1		450 bytes I	256...705		
2		8 bytes Q		0...7	

Figura 4.25: Endereços de memória definidos.

O passo seguinte foi o desenvolvimento do programa de inspeção que, devido à sua extensão, foi elaborado um fluxograma que sintetiza o funcionamento do mesmo, representado na Figura 4.26.

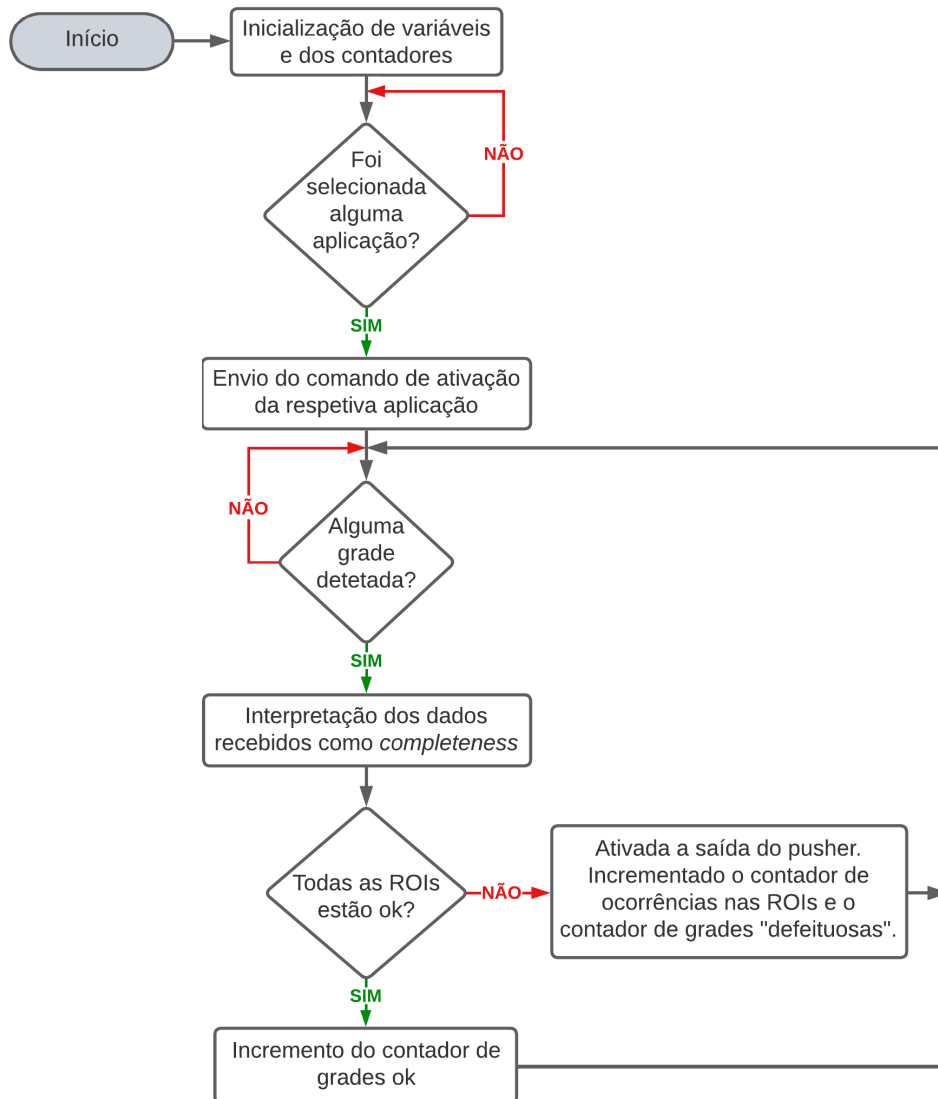


Figura 4.26: Fluxograma representativo do sistema de inspeção.

Assim que o sistema é alimentado são executadas as funções existentes no bloco *Organization Block* (OB)100 que é executado cada vez que acontece um *complete restart* do PLC. Estas funções focam-se na inicialização de variáveis e dos contadores utilizados ao longo do programa.

De seguida é chamado o bloco OB1 cuja execução é repetida ciclicamente. Neste bloco são chamados dois blocos: *Function* (FC)1 e FC2. É neste primeiro bloco onde a logística da inspeção se encontra enquanto que no bloco FC2 constam os contadores de ocorrências nas diferentes ROIs.

Assim que é seleccionada uma aplicação, como será demonstrado na secção seguinte, é enviado um comando para o sensor que ativa a aplicação com o respetivo número, dando início ao processo da inspeção. A partir da análise do sinal proveniente da fotocélula, é possível determinar quando existem grades na zona do sensor, procedendo-se a recolha de dados. Estes são então interpretados com recurso ao bloco de *completeness* (Figura 4.23).

Tal como foi explicado na apresentação deste bloco, a variável de saída *AllROIsGood* permite determinar se existem ocorrências nas ROIs, isto é, se existe alguma garrafa em falta. Caso isto aconteça, é ativada a saída correspondente ao *pusher* que posteriormente irá retirar essa grade da linha de produção. Além disso, são ainda incrementados os contadores associados às ROIs com as garrafas em falta e o contador de grades com defeito.

Por outro lado, caso a variável booleana *AllROIsGood* seja verdadeira, é incrementado o contador de grades completas e o programa aguarda pela próxima grade.

### 4.2.3 Programa da HMI

Como complemento ao programa descrito anteriormente, segue-se o programa desenvolvido para a interface gráfica. Primeiramente foi desenvolvida uma página inicial com a respetiva identificação do sistema utilizado (Figura 4.27).



Figura 4.27: *Screen* inicial.

Começando pelo topo da página, além da identificação da empresa e da data, encontra-se um botão de definições. Este botão, também acessível pela tecla F7, contém uma proteção via *password* e permite o acesso ao menu de configurações da HMI. Dada a sua importância, este está presente em todos os *screens* desenvolvidos.

De seguida é feita a identificação do sistema juntamente com a aplicação que se encontra em curso, caso exista, sendo no caso partilhado a aplicação da inspeção das grades com garrafas Super Bock mini (20cl).

Por último, verificam-se dois botões, um que leva até uma página para seleção da aplicação e outro que leva diretamente até às informações associadas à aplicação que se encontra ativa.

Começando pela janela de seleção da aplicação, a mesma é visível na Figura 4.28.



Figura 4.28: *Screen* de seleção da aplicação.

Igualmente ao ecrã inicial, também este descreve a aplicação que se encontra em funcionamento, reforçando essa mesma ideia ao colocar o respetivo botão de seleção da cor verde, sendo neste caso a grade com garrafa Super Bock (33cl). Juntamente com este, encontram-se outros cinco botões, o de seleção da aplicação das garrafas Super Bock mini, Carlsberg e ainda outros três botões que podem ser configurados posteriormente, caso seja necessária a adição de novas aplicações.

Ao selecionar uma das aplicações ou ao pressionar o segundo botão da Figura 4.27, surge um primeiro *screen* estatístico (Figura 4.29).



Figura 4.29: Primeiro *screen* referente à garrafa Super Bock (33cl).

Tal como visualizado, a garrafa é facilmente identificável no lado esquerdo assim como a capacidade de cada grade desse tipo.

Passando para a informação existente na parte central da janela, a mesma corresponde à contagem de grades, havendo contadores parciais e totais. Na primeira linha ("Número de grades inspeccionadas"), é feita a contagem de todas as grades que são inspeccionadas pelo sistema, isto é, que são lidas pelo sensor. Na segunda linha ("Grades inspeccionadas sem defeito") são contabilizadas as grades que foram inspeccionadas sem qualquer ocorrência, ou seja, em que todas as garrafas estavam presentes na grade. Por último, na linha "Grades inspeccionadas com defeito", é apresentado o número de grades onde foi detetada a falta de uma ou mais garrafas.

Relativamente à separação destes contadores entre regime parcial e total, o mesmo deve-se à relevância da avaliação do sistema em curtos espaços de tempo ou após a resolução de algum problema. Enquanto que os contadores totais contabilizam todas as grades desde que o programa foi iniciado, os contadores parciais podem ser reiniciados a partir do botão de *reset*.

De seguida, verifica-se um esquema, representado no lado direito do painel, que assume um formato idêntico ao da grade que se encontra em circulação. Sendo que, para este caso, as grades possuem 24 garrafas, cada uma destas possui uma ROI associada. Tal como identificado nas legendas, caso a garrafa esteja presente, o círculo encontra-se verde e, para o caso contrário, é definido com a cor vermelha.

Além do botão de *reset*, verificam-se outros dois, sendo o primeiro o botão *home* que direciona até à página inicial (Figura 4.27) e o segundo que leva até um segundo ecrã estatístico (Figura 4.30).



Figura 4.30: Segundo *screen* referente à garrafa Super Bock (33cl).

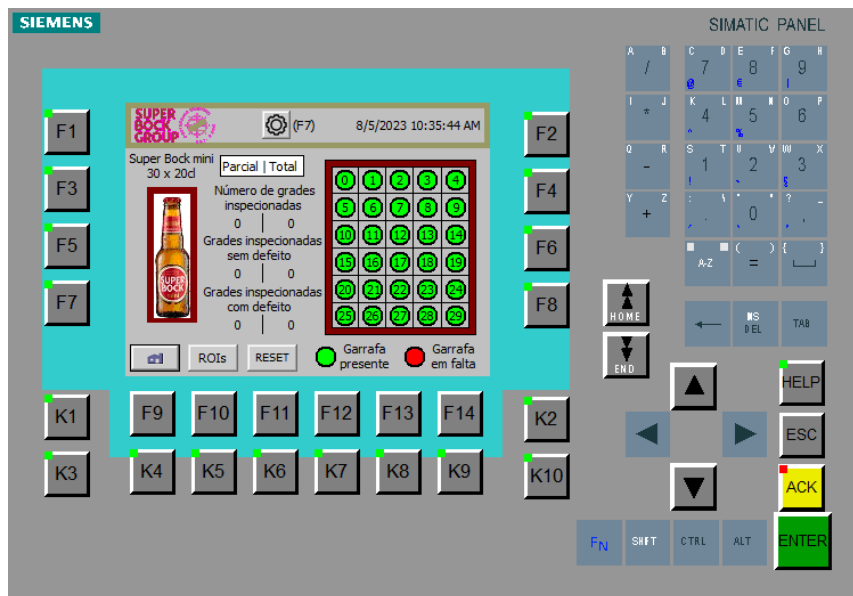
Começando pela tabela visível no lado esquerdo, esta contém essencialmente duas colunas divididas em 3 partes de maneira a que a informação seja visualmente mais acessível ao utilizador. Na coluna do lado esquerdo encontra-se o identificador de cada ROI seguindo-se uma *tag* associado ao contador de ocorrências para cada uma dessas zonas, isto é, o número de vezes que houve a falta de garrafas numa determinada zona desde o início da produção.

Relativamente à estrutura posicionada no lado direito do ecrã, cada um dos círculos deverá assumir a cor verde caso não tenha ocorrido qualquer incidente nessa zona ou, no caso contrário, a cor vermelha.

De forma semelhante à janela apresentada anteriormente, também esta contém um botão de *reset*, neste caso para os contadores de ocorrências, um botão *home* para a página inicial e um botão que leva até à página anterior.

Na Figura 4.31 verificam-se os ecrãs associados à garrafa Super Bock mini. São de notar algumas alterações, nomeadamente a estrutura representativa da grade, visto

que esta tem uma capacidade de 30 garrafas, tal como a Carlsberg, ao contrário da Super Bock que apenas suporta 24.



(a)



(b)

Figura 4.31: Screens correspondentes à garrafa Super Bock mini (20cl).

### 4.3 Software - CrateSense

Relativamente à solução paralela, esta foi desenvolvida com um intuito comparativo, tendo como objetivo a construção de um sistema igualmente eficiente mas com um menor custo.

Assim, recorreu-se ao funcionamento básico do sensor O3D302, isto é, este foi utilizado como um simples sensor TOF que fornece apenas um conjunto de distâncias. Para tal, foi necessária a configuração de uma nova aplicação no *software ifmVisionAssistant* de maneira a que, a cada sinal da fotocélula, fossem enviadas essas distâncias por via TCP/IP. Com isto, o lado do servidor da ligação está pronto a transmitir a informação.

#### 4.3.1 Aquisição de dados

Para concluir a ligação, foi implementado o lado do cliente num *script* em Python cuja lógica pode ser verificada no fluxograma presente na Figura 4.32.

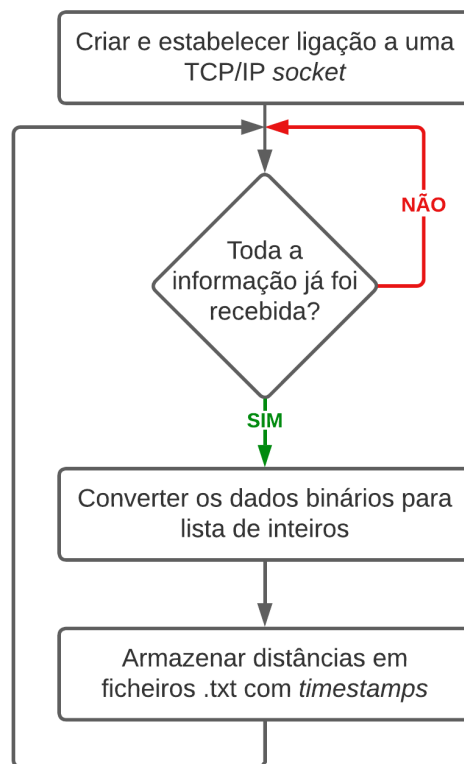


Figura 4.32: Fluxograma representativo da aquisição de dados.

Este *script* começa por criar uma *socket* tendo em conta o IP e a porta a que está ligado o sensor. É de notar que para a ligação ser possível, o computador utilizado deve estar inserido na mesma rede que o sensor.

Estabelecida a ligação, a informação irá então ser armazenada em ficheiros de texto. Tendo em conta que cada leitura executada pelo sensor necessita de enviar

46520 *bytes* de dados e são recebidas tramas de apenas 1024 *bytes* de cada vez, a cada ciclo é verificado se toda a informação já foi recebida. Posto isto, estando em formato binário, os dados são convertidos para uma lista de inteiros sendo posteriormente armazenados em ficheiros *.txt*, tendo ainda em conta o *timestamp* da leitura.

### 4.3.2 Processamento dos dados

Após a receção dos dados verificou-se que nem toda a informação presente é relevante para o objetivo do sistema, sendo necessária uma filtragem da mesma. Neste *script*, os dados são trabalhados de maneira a que os ficheiros de texto adquiridos anteriormente conttenham apenas as distâncias pretendidas, estando a sua lógica refletida no fluxograma da Figura 4.33.

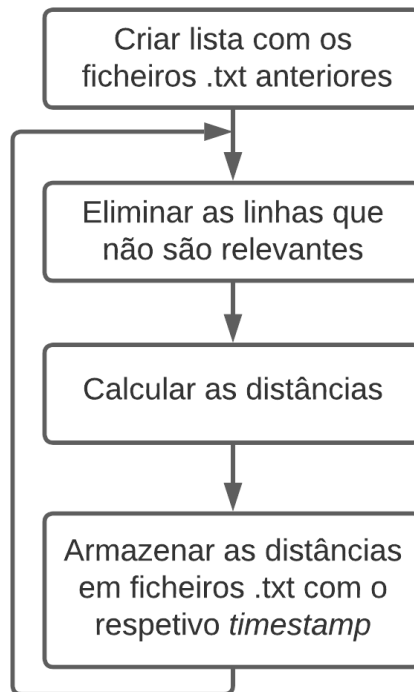


Figura 4.33: Fluxograma representativo do processamento dos dados.

De maneira a determinar as linhas irrelevantes, foi realizada uma análise minuciosa das mesmas, concluindo-se que as 68 linhas iniciais e as 2 finais não continham qualquer distância. Assim, estas foram eliminadas de todos os documentos deixando apenas dados relevantes ao sistema. Porém, as distâncias foram enviadas no formato de 8 *bits*, isto é, com valor máximo de 255. Posto isto, cada *pixel* contém dois valores associados, recorrendo-se à Equação 4.1 para determinar a distância respetiva.

$$valor_1 = valor_1 + valor_2 * 256 \quad (4.1)$$

Na Tabela 4.1, estão alguns exemplos retirados de um dos ficheiros de dados.

Tabela 4.1: Cálculo das distâncias (Exemplos).

Valor 1	Valor 2	Distância (mm)
200	0	200
81	2	593
231	5	1511

Com as distâncias corretamente determinadas, as mesmas são novamente armazenadas em ficheiros de texto com o respetivo *timestamp* associado.

### 4.3.3 Construção de *point clouds*

Com as distâncias devidamente calculadas, implementou-se um *script* que recebe os ficheiros de texto e, a partir de uma série de técnicas de processamento de imagem, devolve uma imagem que apresenta as garrafas presentes e ainda indica as zonas onde faltam garrafas, tal como descrito no fluxograma da Figura 4.34.

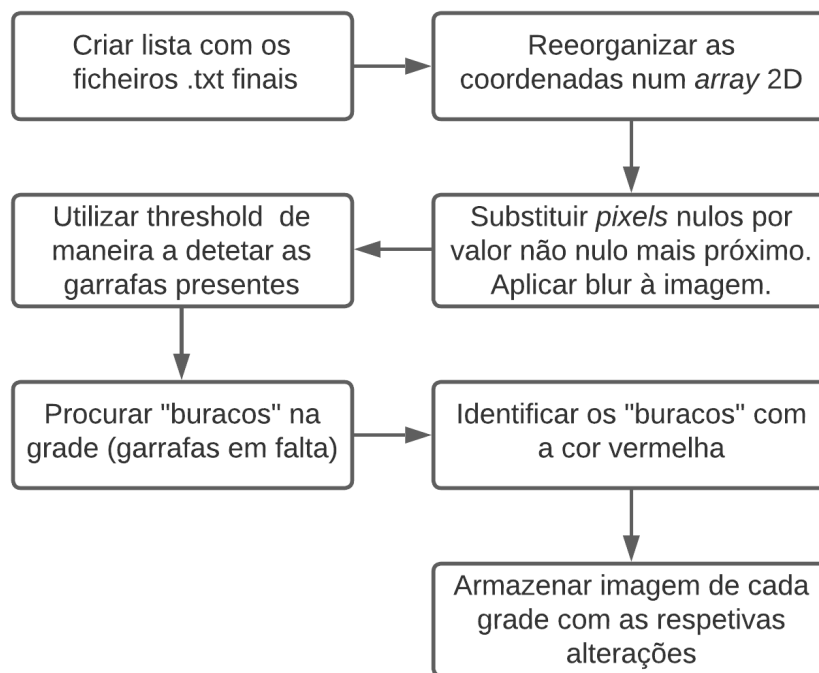


Figura 4.34: Fluxograma representativo da obtenção de *point clouds*.

Este *script* começa por importar os ficheiros de texto e por dispor as distâncias num *array* 2D de tamanho 176x132, a resolução da imagem originalmente obtida pelo sensor. De seguida é utilizada uma interpolação para remover *pixels* com distância nula, sendo substituídos pelas distâncias dos *pixels* não nulos que estão mais próximos. Foi ainda aplicado um *blur* gaussiano para remover algum ruído existente.

Com a imagem já trabalhada, segue-se o reconhecimento de garrafas ao ser utilizado um *threshold* que define um valor mínimo e máximo nas distâncias existentes, restando apenas as bordas das grades e o topo das garrafas, que têm alturas semelhantes. Após a aplicação da *mask*, são apenas apresentadas nas imagens estas distâncias, facilitando bastante o reconhecimento das garrafas.

Posto isto, para determinar se existem garrafas em falta, são verificadas as zonas pretas dentro da grade (*pixels* com distâncias fora dos limites definidos na *mask*). Caso dentro destas zonas possa ser colocado um círculo de raio semelhante ao das restantes garrafas, verifica-se um caso de grade *underfilled*. De maneira a expor estes casos nas imagens, as zonas sem garrafas são colocadas com a cor vermelha.

#### 4.3.4 Classificação das grades

Tendo em consideração as imagens obtidas anteriormente, resta apenas a sua classificação que posteriormente resultaria na utilização do *pusher* para retirar grades defeituosas da linha de produção. Na Figura 4.35 encontra-se um fluxograma associado a este *script* onde também são armazenados os resultados num ficheiro *Comma-Separated Values* (CSV).

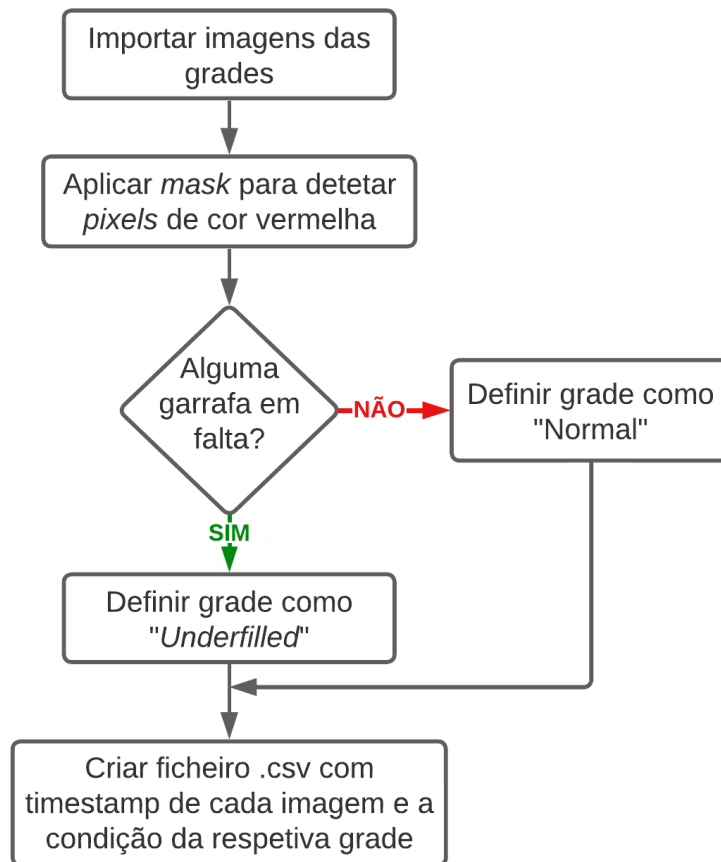


Figura 4.35: Fluxograma representativo da classificação das grades.

Este *script* começa por importar as imagens processadas e por definir um *threshold* para filtrar a cor vermelha. Caso esta cor exista na imagem, é detetada uma grade com falta de garrafas sendo a mesma definida como ***Underfilled***. Para o caso oposto, em que não é detetado qualquer *pixel* vermelho, conclui-se que a grade está cheia, caracterizando-a como **Normal**.

Estando todas as grades devidamente classificadas, os resultados são expostos num ficheiro CSV com o devido *timestamp*, facilitando a avaliação dos algoritmos desenvolvidos.

## Capítulo 5

# Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para ambas as soluções desenvolvidas. É de notar que apenas foram recolhidos resultados para as grades com garrafas Super Bock e Super Bock mini, não tendo sido possível o registo para as grades com garrafas Carlsberg. O mesmo deve-se ao facto da produção deste tipo de cerveja ser de menor frequência que as restantes. No entanto, é de notar que a inspeção destas foi igualmente testada, conferindo-lhe o mesmo performance que nas outras duas grades.

### 5.1 Solução com PLC

Após a instalação deste sistema na linha de produção, apresentado na sua totalidade na Figura 5.1, seguiram-se algumas semanas de testes que permitiram o aperfeiçoamento deste método, conferindo-lhe uma elevada eficiência no processo de inspeção, tal como demonstrado nos resultados expostos.



Figura 5.1: Sistema de inspeção desenvolvido.

### 5.1.1 Grade Super Bock

Começando pela grade com garrafas Super Bock, serão apresentadas diferentes situações acompanhadas das correspondentes alterações na HMI. É importante ressaltar que, de maneira a que os resultados obtidos fossem os melhores, foram testadas todas as situações possíveis.

Na Figura 5.2 verifica-se o caso ideal, isto é, em que a grade está completamente cheia.



Figura 5.2: Grade Super Bock cheia.

É de notar que todos os círculos inseridos na estrutura da Figura 5.2b têm a cor verde, sendo detetada a presença de todas as garrafas. Além disso, foram ainda incrementados os contadores totais e parciais das grades inspeccionadas e das grades cheias.

Na Figura 5.3 verifica-se um caso *underfilled*, isto é, em que uma garrafa foi retirada da grade.



Figura 5.3: Grade Super Bock com uma garrafa em falta.

Olhando para a Figura 5.3b, observa-se que um dos círculos foi alterado para vermelho, mais propriamente, o círculo associado à ROI 0 que, observando a Figura 5.3a, corresponde à região em que falta uma garrafa. Assim, é detetada uma grade *underfilled*, incrementando por consequência o contador de grades com defeito, além do contador de grades inspecionadas.

São ainda apresentados dois outros casos em que são retiradas duas garrafas em cada. No entanto, na Figura 5.4, as garrafas retiradas encontram-se em lados opostos da grade enquanto que na Figura 5.5 estão lado em lado.



Figura 5.4: Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lados opostos).



Figura 5.5: Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lado a lado).

Para os resultados apresentados, segue-se o ponto de situação consequente do segundo ecrã estatístico, onde são contabilizadas as ocorrências em cada ROI (Figura 5.6).

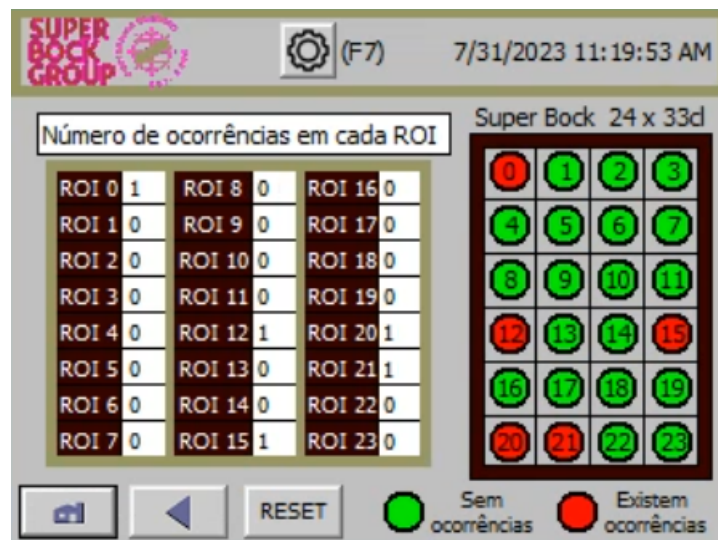


Figura 5.6: Contabilização de ocorrências na Grade Super Bock.

Aquando a recolha destes resultados, o sistema foi submetido a um período de avaliação com duração de cerca de uma hora, durante o qual foram registados os dados presentes na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Grades inspecionadas - Super Bock.

	Grades cheias	Grades <i>underfilled</i>
Número real	1100	69
Número detetado	1100	69

Em 1169 grades inspecionadas, o sistema reconheceu com sucesso todas as que tinham falta de garrafas, registando-se assim uma eficácia de 100%. É de notar que, geralmente, o número de grades *underfilled* não é tão elevado tendo em conta a amostra total de grades inspecionadas, sendo que se retirou algumas garrafas propositadamente para a validação do sistema.

Considerando o funcionamento contínuo da inspeção, foram ainda registados resultados para amostras na ordem das dezenas de milhares de grades inspecionadas (tal como demonstrado nos contadores totais das figuras), porém, não havendo vigilância contínua, não faz sentido a apresentação desses resultados visto que não há provas de que de facto todas as grades foram inspecionadas corretamente.

### 5.1.2 Grade Super Bock mini

Nas grades com garrafas Super Bock mini, os resultados foram igualmente positivos, tendo, mais uma vez, sido testadas todas as situações possíveis. Na Figura 5.7 é apresentada uma grade cheia e o respetivo *screen* associado.

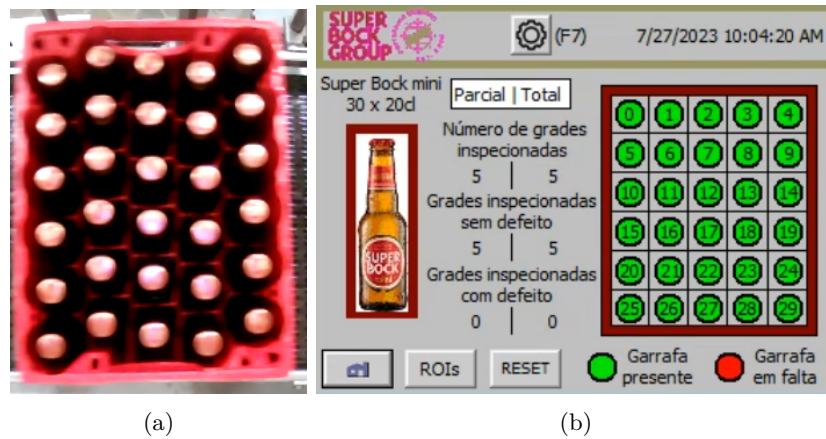


Figura 5.7: Grade Super Bock mini cheia.

De seguida são apresentadas três situações de grades *underfilled* nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10.



Figura 5.8: Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lado a lado).



Figura 5.9: Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lados opostos).



Figura 5.10: Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (aleatório).

Para as situações apresentadas, segue-se o respetivo segundo ecrã estatístico (Figura 5.11).



Figura 5.11: Contabilização de ocorrências na Grade Super Bock mini.

Da mesma forma que nas grades Super Bock, também foi testada a eficácia da inspeção deste tipo de grades durante cerca de uma hora, verificando-se os valores apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Grades inspecionadas - Super Bock Mini.

	Grades cheias	Grades <i>underfilled</i>
Número real	1615	76
Número detetado	1615	76

Das 1691 grades inspecionadas, todas foram corretamente avaliadas, atingindo novamente uma eficácia de 100%.

## 5.2 CrateSense

Ao contrário do sistema apresentado anteriormente, este não foi incorporado na linha de produção pelo que não foi testado em tempo real. No entanto, houve uma recolha de dados a partir do sensor O3D302, que posteriormente foram utilizados para validar os algoritmos desenvolvidos.

### 5.2.1 Grade Super Bock

Na Figura 5.12 observa-se o resultado obtido, a partir de um conjunto de distâncias, para uma grade Super Bock cheia.

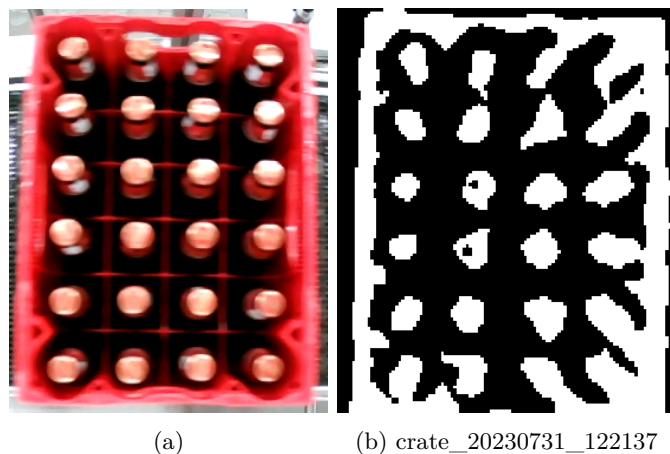


Figura 5.12: Grade Super Bock cheia.

Analisando a Figura 5.12b, é possível identificar zonas circulares brancas, associadas às tampas das garrafas visíveis na Figura 5.12a. Isto deve-se à *mask* aplicada que filtra todas as distâncias que não são necessárias. É ainda de notar o *timestamp* existente na legenda da segunda figura, sendo relevante para a apresentação final dos resultados.

Na Figura 5.13 é exposta uma situação *underfilled* em que se retirou uma garrafa da zona central da grade. Para serem facilmente identificáveis, as zonas com falta de garrafas são coloridas com a cor vermelha.

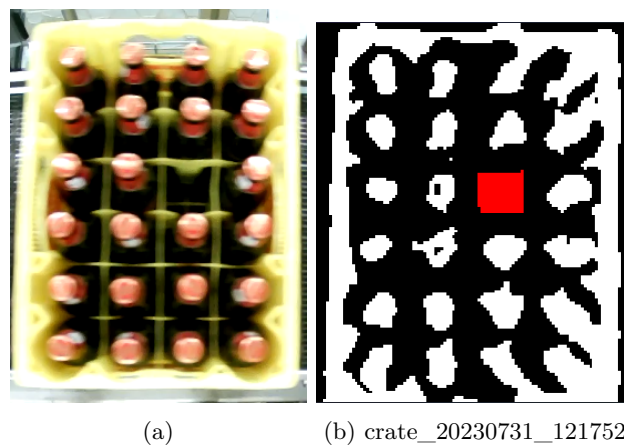


Figura 5.13: Grade Super Bock com uma garrafa em falta.

De forma semelhante aos resultados apresentados na solução anterior, seguem-se duas situações em que foram retiradas duas garrafas das grades inspecionadas, tal como demonstrado nas Figuras 5.14 e 5.15.

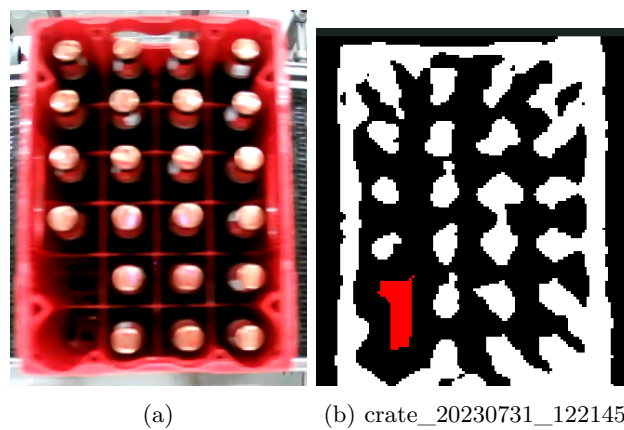


Figura 5.14: Grade Super Bock com duas garrafas em falta (lado a lado).

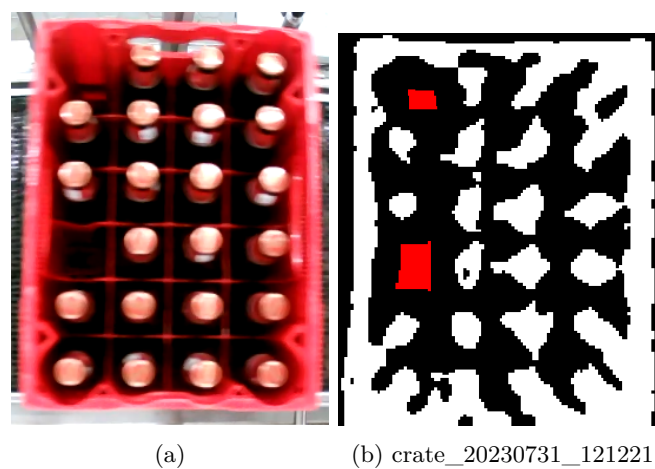


Figura 5.15: Grade Super Bock com duas garrafas em falta (aleatório).

Após a inspeção, o algoritmo avalia as grades inspecionadas e armazena os dados num ficheiro CSV tendo em conta os respetivos *timestamps*. Na Figura 5.16 são apresentadas secções desse mesmo ficheiro, sendo marcadas a vermelho as linhas correspondentes às grades partilhadas anteriormente.

Line	Timestamp	Status	Line	Timestamp	Status
124	31/07/2023 12:12:19	Normal			
125	31/07/2023 12:12:20	Normal	426	31/07/2023 12:21:29	Normal
126	31/07/2023 12:12:21	Underfilled	427	31/07/2023 12:21:30	Normal
127	31/07/2023 12:12:23	Normal	428	31/07/2023 12:21:31	Underfilled
128	31/07/2023 12:12:24	Normal	429	31/07/2023 12:21:33	Normal
129	31/07/2023 12:12:25	Normal	430	31/07/2023 12:21:34	Normal
130	31/07/2023 12:12:27	Normal	431	31/07/2023 12:21:36	Normal
			432	31/07/2023 12:21:37	Normal
317	31/07/2023 12:17:49	Normal	433	31/07/2023 12:21:38	Normal
318	31/07/2023 12:17:50	Normal	434	31/07/2023 12:21:40	Normal
319	31/07/2023 12:17:51	Underfilled	435	31/07/2023 12:21:41	Normal
320	31/07/2023 12:17:52	Underfilled	436	31/07/2023 12:21:44	Normal
321	31/07/2023 12:17:54	Normal	437	31/07/2023 12:21:45	Underfilled
322	31/07/2023 12:18:10	Normal	438	31/07/2023 12:21:46	Normal
323	31/07/2023 12:18:11	Normal	439	31/07/2023 12:21:48	Normal
324	31/07/2023 12:18:12	Normal	440	31/07/2023 12:21:49	Normal
325	31/07/2023 12:18:14	Normal	441	31/07/2023 12:21:50	Normal

Figura 5.16: Avaliação das grades Super Bock inspecionadas.

Para testar a eficácia deste método, foram recolhidas 770 leituras de grades Super Bock, pelo que, após a aplicação dos *scripts* implementados, obtiveram-se os resultados da Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Grades inspecionadas - Super Bock.

	Grades cheias	Grades <i>underfilled</i>
Número real	744	26
Número detetado	744	26

Da amostra de grades inspecionadas, todas foram avaliadas corretamente, atingindo uma eficácia de 100%. Porém, é de notar que apenas foram testadas 770 grades, podendo este valor diminuir ligeiramente para amostras com dezenas de milhares de grades inspecionadas.

### 5.2.2 Grade Super Bock Mini

Na Figura 5.17 verifica-se o resultado obtido para uma grade com garrafas Super Bock mini cheia.

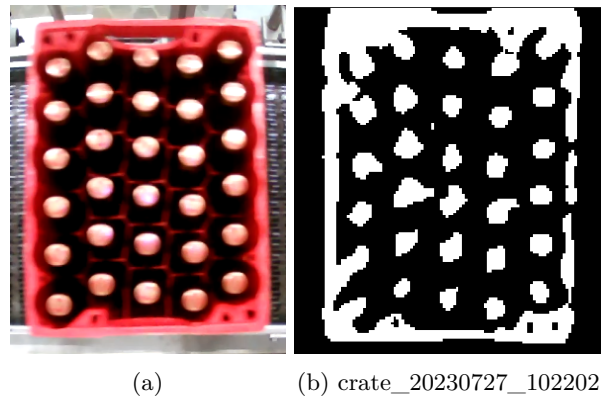


Figura 5.17: Grade Super Bock mini cheia.

Seguem-se duas grades *underfilled*, em que foram retiradas duas garrafas lado a lado na Figura 5.18 e duas garrafas em posições aleatórias na Figura 5.19.

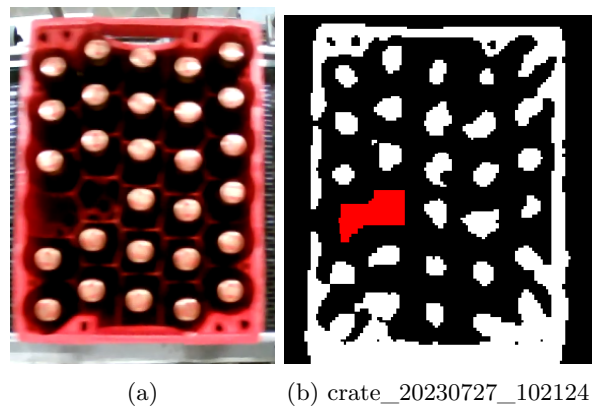


Figura 5.18: Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (lado a lado).

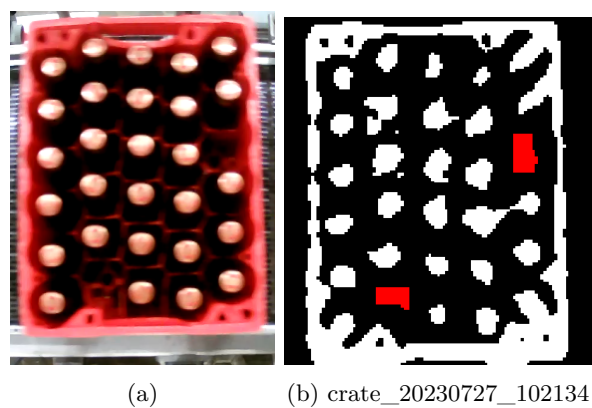


Figura 5.19: Grade Super Bock mini com duas garrafas em falta (aleatório).

Por último, na Figura 5.20, é apresentado um caso em que se retiraram 3 garrafas.

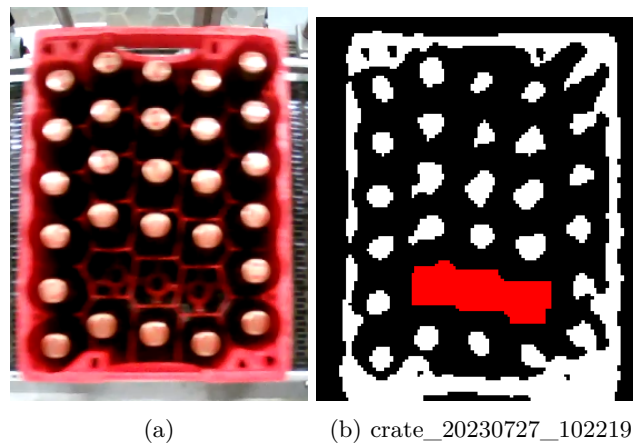


Figura 5.20: Grade Super Bock mini com três garrafas em falta.

Considerando as situações previamente apresentadas e os *timestamps* associados, o respetivo ficheiro CSV é apresentado na Figura 5.21.

crate_conditions	
33	27/07/2023 10:21:23,Normal
34	27/07/2023 10:21:24,Underfilled
35	27/07/2023 10:21:25,Normal
36	27/07/2023 10:21:26,Normal
37	27/07/2023 10:21:27,Normal
38	27/07/2023 10:21:34,Underfilled
39	27/07/2023 10:21:36,Normal
40	27/07/2023 10:21:37,Normal
41	27/07/2023 10:21:38,Normal
42	27/07/2023 10:21:39,Normal
43	27/07/2023 10:21:41,Normal
44	27/07/2023 10:21:49,Normal
45	27/07/2023 10:21:50,Underfilled
46	27/07/2023 10:21:52,Normal
47	27/07/2023 10:21:53,Underfilled
48	27/07/2023 10:21:54,Normal
49	27/07/2023 10:21:55,Normal
50	27/07/2023 10:22:01,Normal
51	27/07/2023 10:22:02,Normal
52	27/07/2023 10:22:03,Normal
53	27/07/2023 10:22:05,Normal
54	27/07/2023 10:22:06,Normal
55	27/07/2023 10:22:07,Normal
56	27/07/2023 10:22:16,Normal
57	27/07/2023 10:22:17,Normal
58	27/07/2023 10:22:18,Normal
59	27/07/2023 10:22:19,Underfilled
60	27/07/2023 10:22:21,Normal

Figura 5.21: Avaliação das grades Super Bock mini inspeccionadas.

Na Tabela 5.4 encontram-se os resultados obtidos aquando a aplicação deste método em 313 grades. Infelizmente, não foi possível a aquisição de leituras adicionais visto que ocorreram alguns problemas que condicionaram a linha de produção na data da recolha.

Tabela 5.4: Grades inspeccionadas - Super Bock Mini.

	Grades cheias	Grades <i>underfilled</i>
Número real	273	40
Número detetado	273	40

Das 313 grades inspecionadas, todas foram avaliadas corretamente, aferindo-lhe uma eficácia de 100%. Porém, deve-se ter em conta novamente a dimensão da amostra que pode condicionar ligeiramente esta percentagem.



## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

O controlo da qualidade é uma das prioridades de qualquer empresa, visto que é a qualidade dos seus produtos que maior impacto tem nas respetivas vendas. Assim, a SBG propôs a implementação de um sistema de grades para garantir que as grades de cerveja da terceira linha de produção estejam cheias antes de serem exportadas. É de notar que anteriormente já existia um inspetor de grades na empresa. A partir de um conjunto de sensores ultrassónicos, o sistema era capaz de detetar garrafas em falta pelas alturas de cada zona inspecionada. Porém, como as grades têm características diferentes, os sensores tinham que ser reajustados frequentemente, tornando esta opção pouco eficiente.

No decorrer da dissertação, foram então propostas duas soluções, dando-se sempre prioridade ao sistema que ia de facto incorporar a linha de produção, ou seja, a solução com PLC. Após a realização de testes e de ajustes, esta solução provou-se bastante eficaz na inspeção de todas as grades, tal como demonstrado nos resultados do Capítulo 5. De igual forma, também a outra solução se provou eficaz na inspeção de todas as grades, embora que em menores amostras.

Em suma, ambas as soluções foram bem-sucedidas, sendo que a solução com PLC já se encontra em funcionamento na SBG. Relativamente à CrateSense, os seus resultados vieram comprovar que seria possível a implementação de um sistema de inspeção de grades com uma eficácia bastante semelhante mas com um custo bastante menor. Assim, todos os objetivos desta dissertação foram então cumpridos.

Deve ser ainda referido que, para possibilitar a manutenção do sistema instalado na linha de produção da SBG, foram ainda desenvolvidos dois manuais de utilizador.

O primeiro foca-se no *software* ifmVisionAssistant, fornecendo todas as informações necessárias para que os técnicos o possam utilizar na reconfiguração das aplicações desenvolvidas ou no acréscimo de outras caso surjam novas grades com características diferentes das existentes. O segundo tem como objetivo explicar todos os *screens* existentes no programa da HMI, de maneira a que todos os técnicos da linha possam tirar maior proveito das suas capacidades.

Relativamente a possíveis melhorias ao projeto desenvolvido, numa perspetiva futura, seriam interessantes as seguintes tarefas:

- Utilizar um sensor TOF de baixo custo e instalar a solução CrateSense na linha de produção para retirar melhores conclusões acerca do performance de ambos os sistemas;
- Recolher resultados de ambas as soluções para as grades com garrafas Carlsberg completando assim as conclusões retiradas;

# Referências

- [1] C. Enright, “Why automation is vital for the future of business - PhixFlow Low-Code,” Sept. 2020. <https://www.phixflow.com/why-automation-is-vital-for-the-future-business/>. [Citado na página 2]
- [2] P. Mart, “What is the Importance of Automation in Industries?,” Jan. 2020. <https://blog.thepipingmart.com/b2b/importance-automation-industries/>. [Citado na página 2]
- [3] L. Gilbank, “8 benefits of automation in the food and beverage industry.” <https://www.columbusglobal.com/en-gb/blog/8-benefits-of-automation-in-the-food-and-beverage-industry>. [Citado na página 2]
- [4] wphungerford, “Vision Inspection in the Food & Beverage Industry | Packaging Integration,” Apr. 2021. <https://callipm.com/blog/vision-inspection-in-the-food-and-beverage-industry/>. [Citado na página 2]
- [5] “Casa da Cerveja.” <https://www.superbockcasadacerveja.pt/historia-da-superbock/>. [Citado na página 2]
- [6] “Super Bock Group.” <https://www.superbockgroup.com/>. [Citado na página 3]
- [7] M. Campos, M. Ferreira, T. Martins, and C. Santos, “Inspection of bottles crates in the beer industry through computer vision,” in *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1138–1143, Nov. 2010. ISSN: 1553-572X. [Citado nas páginas v, vii, 4, 16, 17, 18, 19, 20 e 21]
- [8] “Role of Inspection and Testing in maintaining Product Quality – IspatGuru.” <https://www.ispatguru.com/role-of-inspection-and-testing-in-maintaining-product-quality/>. [Citado na página 7]
- [9] “BBULL Technology.” <https://www.bbull.com/en/start-en/>. [Citado na página 8]

- [10] “BBULL TECHNOLOGY - BBULL FULL CRATE INSPECTION COMPACT VK L/U/I - Full Crate Inspection with Sensor Technology (Diffuse Reflection Sensor, Ultrasound, Initiator).” [https://www.bbull-india.com/binternet/englisch/sites\\_e/pro\\_details\\_e/full\\_crate\\_full\\_case\\_inspection\\_e/vk\\_l\\_u\\_i\\_e.htm](https://www.bbull-india.com/binternet/englisch/sites_e/pro_details_e/full_crate_full_case_inspection_e/vk_l_u_i_e.htm). [Citado nas páginas vii e 9]
- [11] “BBULL TECHNOLOGY - BBULL FULL CRATE INSPECTION AND FULL CASE INSPECTION COMPACT VK-G - Gamma-Full Crate/Full Case Inspection to be installed after the Packer on the Conveyor for Crates, Cartons, Trays and Six Packs.” [https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites\\_e/pro\\_details\\_e/full\\_crate\\_full\\_case\\_inspection\\_e/vk\\_g\\_e.htm](https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites_e/pro_details_e/full_crate_full_case_inspection_e/vk_g_e.htm). [Citado nas páginas vii, 9 e 10]
- [12] “BBULL TECHNOLOGY - BBULL FULL CRATE INSPECTION AND FULL CASE INSPECTION COMPACT TOF / VK - Full Case Inspection and Full Crate Inspection by 3D-Image Processing.” [https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites\\_e/pro\\_details\\_e/full\\_crate\\_full\\_case\\_inspection\\_e/tof\\_vk\\_e.htm](https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites_e/pro_details_e/full_crate_full_case_inspection_e/tof_vk_e.htm). [Citado nas páginas vii, 10 e 11]
- [13] “BBULL TECHNOLOGY - BBULL IMAGE LG / LK / VK - Case Inspection by IMAGE processing in compact mechanical design.” [https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites\\_e/pro\\_details\\_e/empties\\_inspection\\_e/image\\_lg\\_lk\\_vk\\_e.htm](https://www.centro-kontrollsysteme.de/binternet/englisch/sites_e/pro_details_e/empties_inspection_e/image_lg_lk_vk_e.htm). [Citado nas páginas vii, 11 e 12]
- [14] “Home.” <https://www.miho.de/en/en-home/>. [Citado na página 12]
- [15] “miho Gauss F - miho.” <https://www.miho.de/en/products/crate-and-pack-inspection/full-crate-inspection-miho-gauss-f/>. [Citado nas páginas vii e 12]
- [16] “Laser classification table - Laser Safety Facts.” <https://www.lasersafetyfacts.com/laserclasses.html>. [Citado nas páginas vii, 12 e 13]
- [17] “miho CR 2.” <https://www.miho.de/en/products/crate-and-pack-inspection/crate-reject-system-miho-cr-2/>. [Citado nas páginas vii e 13]
- [18] “KHS – Filling and Packaging worldwide | KHS Group.” <https://www.khs.com/en/>. [Citado na página 14]

- [19] “Innocheck FCC full crate inspector | KHS Group.” <https://www.khs.com/en/products/machines-equipment/detail/innocheck-fcc-full-crate-inspector>. [Citado nas páginas vii e 14]
- [20] M.-E. M. info@micro-epsilon.de, “Compact laser scanner for high precision | Micro-Epsilon.” [https://www.micro-epsilon.com/2D\\_3D/laser-scanner/scanCONTROL-2900/](https://www.micro-epsilon.com/2D_3D/laser-scanner/scanCONTROL-2900/). [Citado nas páginas xi e 15]
- [21] I. Likar, “Laser control of bottles with non-contact laser sensors,” June 2020. <https://tipteh.com/sensors/high-precision-sensors/laser-control-of-beer-bottles/>. [Citado nas páginas vii, 15 e 16]
- [22] “Allied-Vision Marlin F-145C2 | Sony ICX205, 1/2 inches CCD-C-Mount color 1392x1040 10fps 12 Bit ADC IRC filter.” [https://www.spectratech.gr/en/product/27403/Allied-Vision\\_Marlin\\_F-145C2](https://www.spectratech.gr/en/product/27403/Allied-Vision_Marlin_F-145C2). [Citado nas páginas vii, xi e 18]
- [23] “Home - cPlusPlus.” <https://cplusplus.com/>. [Citado na página 19]
- [24] “Home - OpenCV.” <https://opencv.org/>. [Citado na página 19]
- [25] M. C. Barjaktarović and S. J. Petričević, “Inspection of empty beer bottles in beer’s crates,” *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications*, vol. 12, pp. 48–54, Feb. 2018. Publisher: OAM-RC. [Citado nas páginas v, vii, 21, 22 e 23]
- [26] J. Rodriguez, “Quality Control Weighing Systems,” Dec. 2019. <https://www.michelli.com/quality-control-weighing-systems/>. [Citado na página 24]
- [27] M.-T. I. I. a. r. reserved, “C35 AdvancedLine Checkweigher.” [https://www.mt.com/hk/en/home/products/Product-Inspection\\_1/checkweighing/C35.html](https://www.mt.com/hk/en/home/products/Product-Inspection_1/checkweighing/C35.html). [Citado nas páginas vii, xi, 24 e 25]
- [28] “About SICK | SICK.” <https://www.sick.com/at/en/about-sick/w/about-sick/>. [Citado na página 26]
- [29] “UM18-218167101 | Distance sensors | SICK.” <https://www.sick.com/pl/en/distance-sensors/ultrasonic-sensors/um18/um18-218167101/p/p654044>. [Citado nas páginas vii, xi, 26 e 27]
- [30] “Ensenso Operating - IDS Imaging Development Systems GmbH.” <https://en.ids-imaging.com/ensenso-3d-camera-operating.html>. [Citado nas páginas vii e 28]
- [31] “About us - IDS Imaging Development Systems GmbH.” <https://en.ids-imaging.com/about-us.html>. [Citado na página 28]

- [32] “3D Camera Ensenso N Series - IDS Imaging Development Systems GmbH.” <https://en.ids-imaging.com/ensenso-3d-camera-n-series.html>. [Citado nas páginas vii, xi, 28 e 29]
- [33] “About Leuze | Company Profile | History.” <https://www.leuze.com/en-sg/company/about-leuze>. [Citado na página 29]
- [34] “LRS 36/6 | 50111330.” <https://www.leuze.com/en-sg/lrs-36-6/50111330>. [Citado nas páginas vii, xi, 29 e 30]
- [35] “Leuze LRS 36/6: Line Profile Sensors - 50111330.” <https://trimantec.com/products/leuze-lrs-366-line-profile-sensors-50111330>. [Citado na página 30]
- [36] “Homepage.” <https://www.ifm.com/pt/pt>. [Citado na página 30]
- [37] Admin\_Terabee, “Time-of-Flight principle (ToF): Brief overview, Technologies and Advantages,” Feb. 2022. <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>. [Citado na página 30]
- [38] “O3D302 - Sensor 3D - ifm.” <https://www.ifm.com/site/pt/pt/product/O3D302>. [Citado nas páginas vii, xi, 30 e 31]
- [39] V. Baractari, “The basics of Siemens PLC’s and programming in Simatic Step7,” Jan. 2017. [https://isd-soft.com/tech\\_blog/basics-siemens-plcs-programming-simatic-step7/](https://isd-soft.com/tech_blog/basics-siemens-plcs-programming-simatic-step7/). [Citado nas páginas viii e 38]
- [40] “AMCI: Advanced Micro Controls Inc :: What is a PLC?.” <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-plc/>. [Citado nas páginas viii e 38]
- [41] “WL18-2P430 | SICK.” <https://www.sick.com/br/pt/wl18-2p430/p/p1143>. [Citado nas páginas viii e 42]
- [42] “Operating instructions 3D sensor - IFM Electronic.” <https://www.ifm.com/mounting/706398UK.pdf>. [Citado nas páginas viii, 42, 43, 44 e 50]
- [43] “3D CAD Design Software | SOLIDWORKS.” <https://www.solidworks.com/home-page-2021>. [Citado na página 44]
- [44] “CPU 314C-2 PN/DP.” <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/6ES7314-6EH04-0AB0>. [Citado nas páginas viii e 46]
- [45] “6AV6542-0CA10-0AX0.” <https://www.jc-electronics.com/6av6542-0ca10-0ax0>. [Citado nas páginas viii e 46]

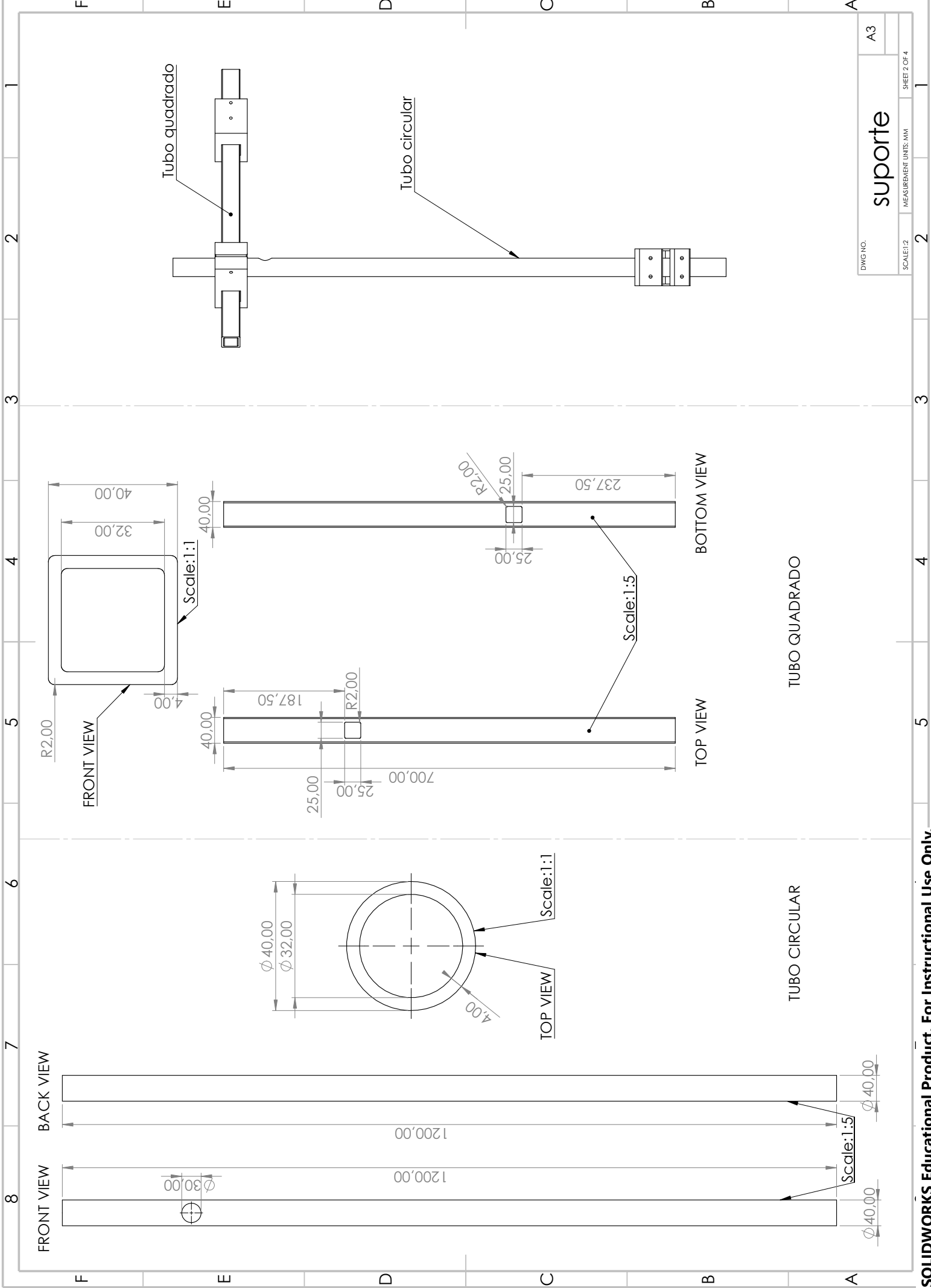
- 
- [46] IFM Electronics, “Description Siemens S7-300/S7-400 library ifm-O3D3xx\_PN.” [Citado nas páginas viii, 55 e 56]



Anexo A

# Suporte 1

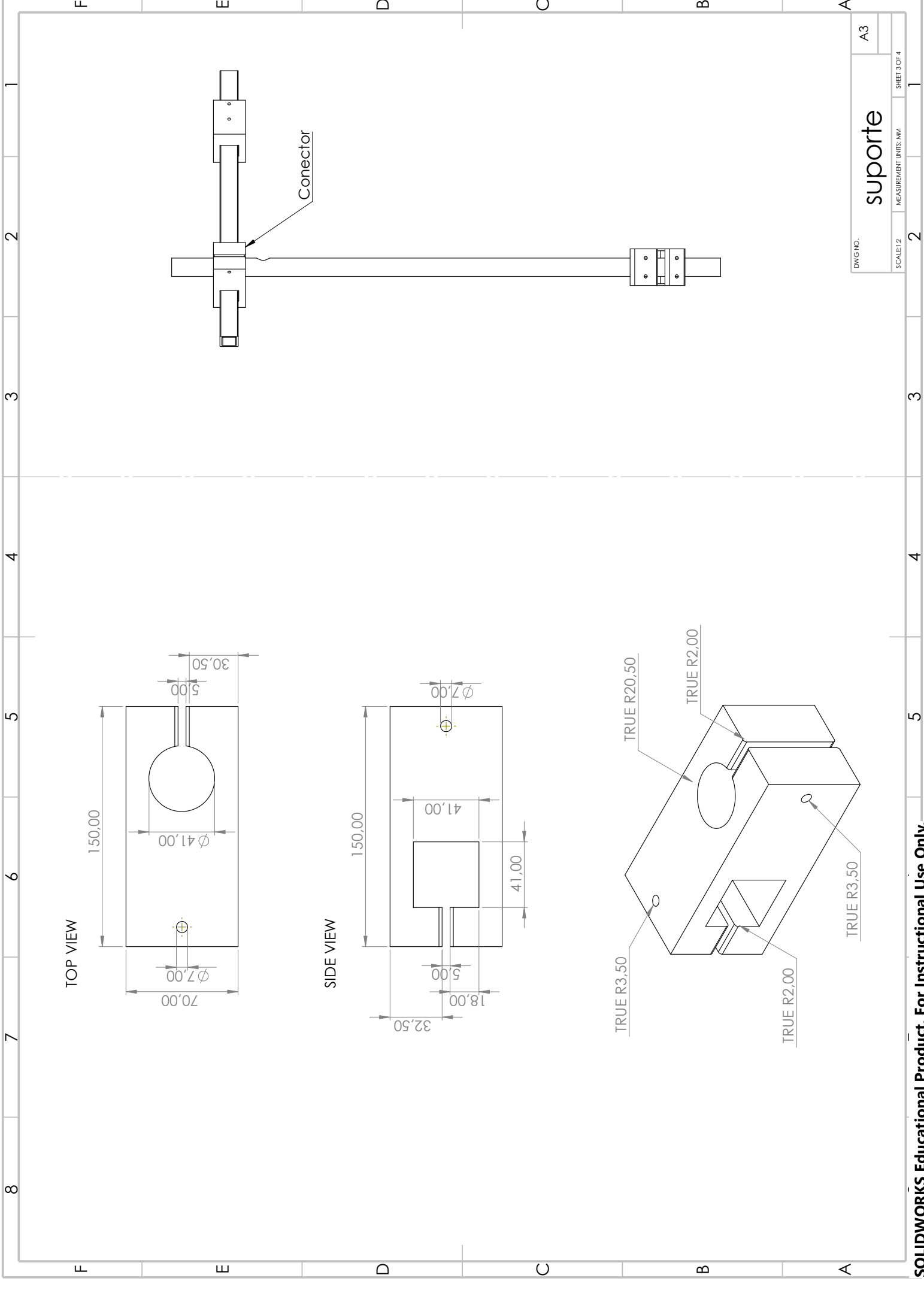




DWG NO. **suporte**

A3

SCALE: 1:2 MEASUREMENT UNITS: MM SHEET 2 OF 4

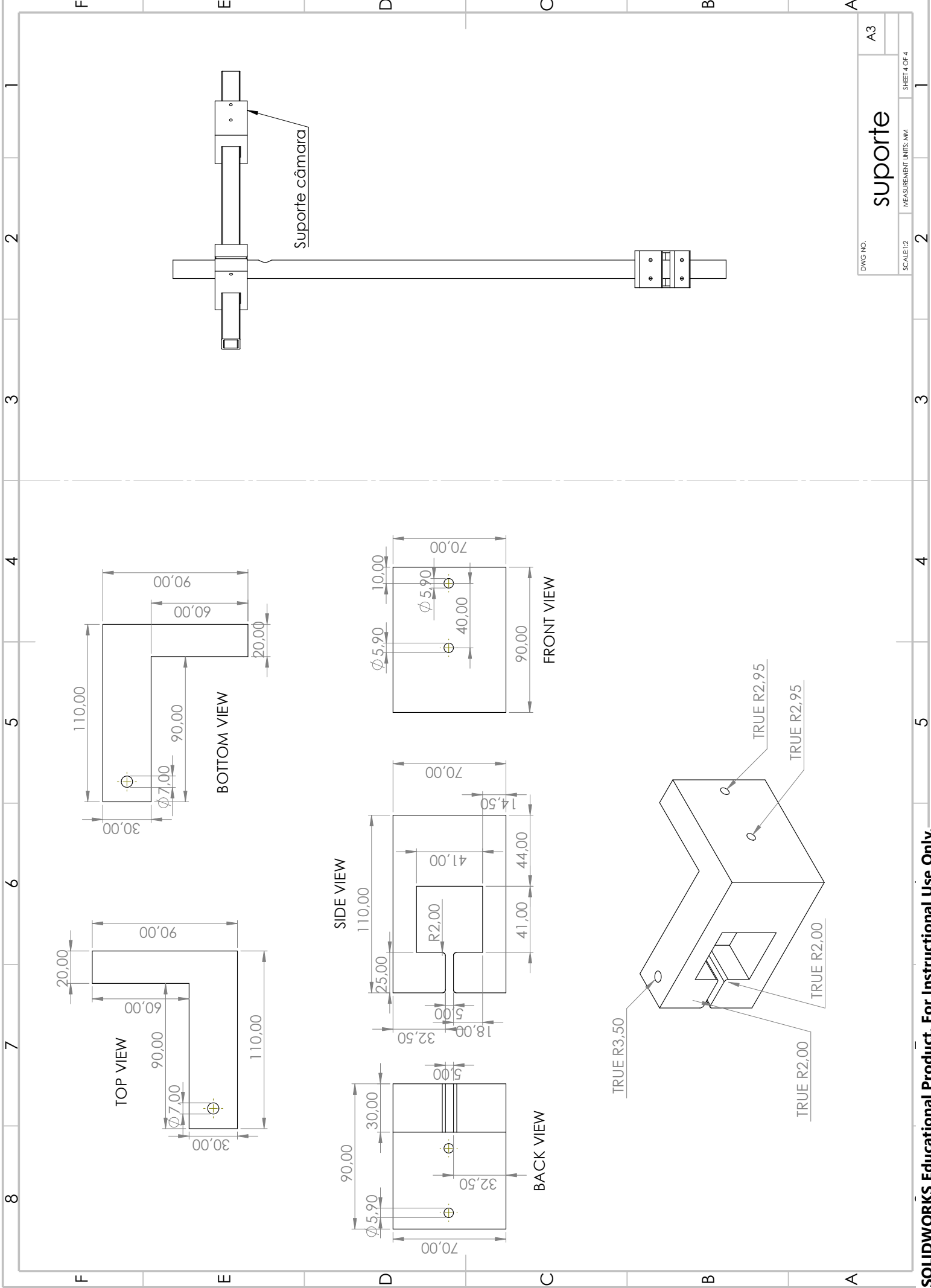


suporte

DWG NO.

A3

SCALE: 1:2 MEASUREMENT UNITS: MM SHEET 3 OF 4



DWG NO. A3

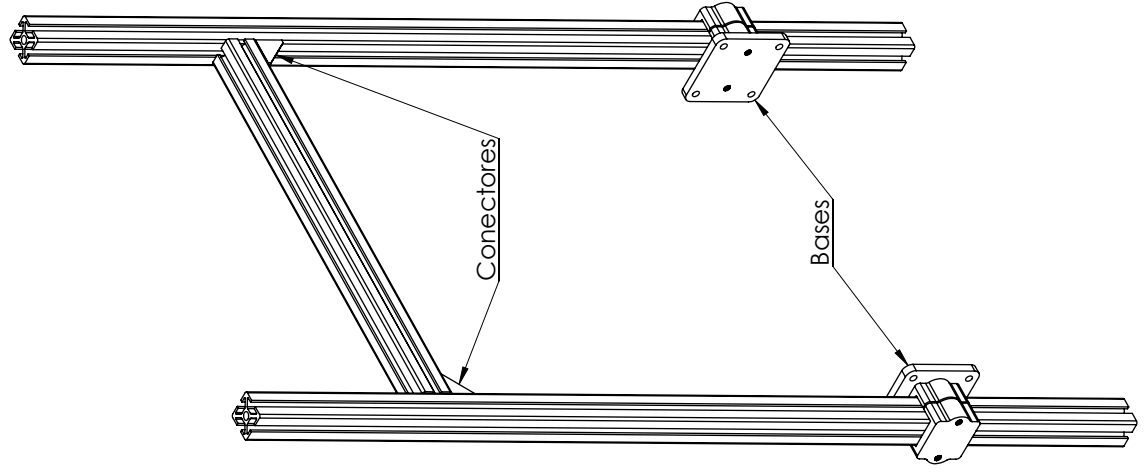
suporte

SCALE: 1:2 MEASUREMENT UNITS: MM SHEET 4 OF 4



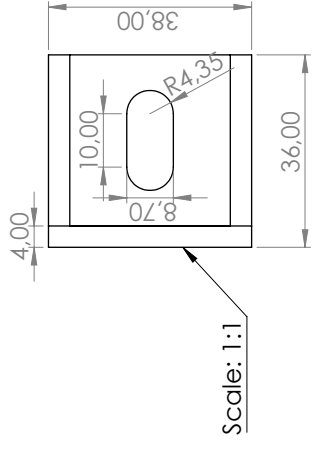
Anexo B

## Suporte 2

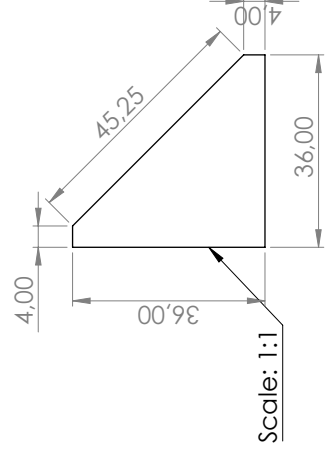


CONECTORES

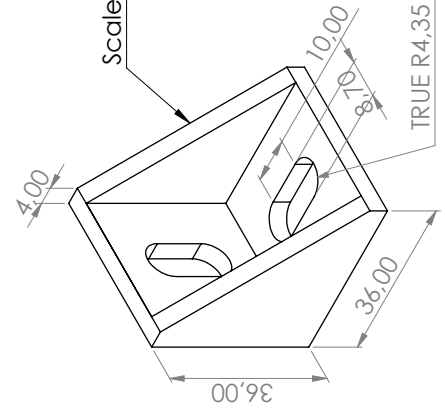
TOP VIEW



SIDE VIEW

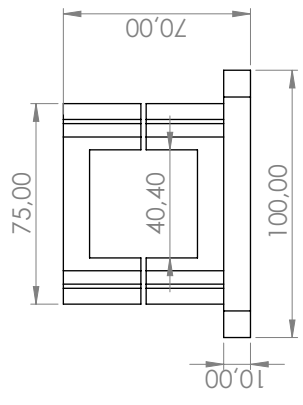


Scale: 1:1

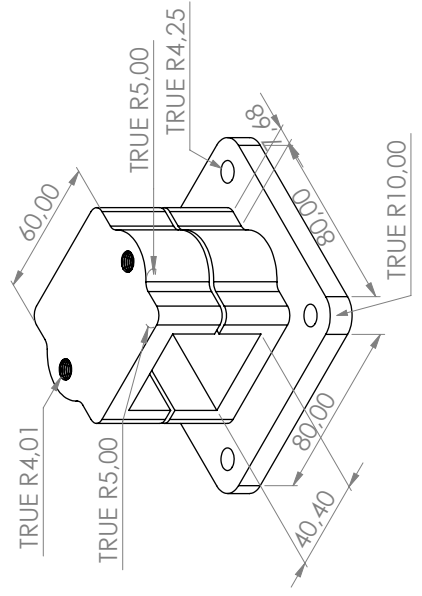
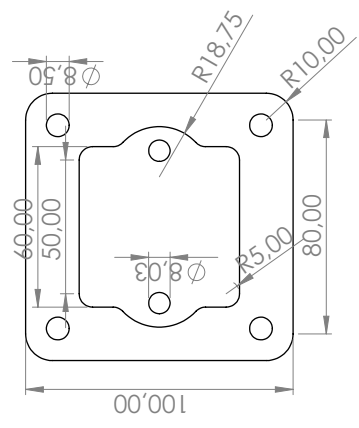


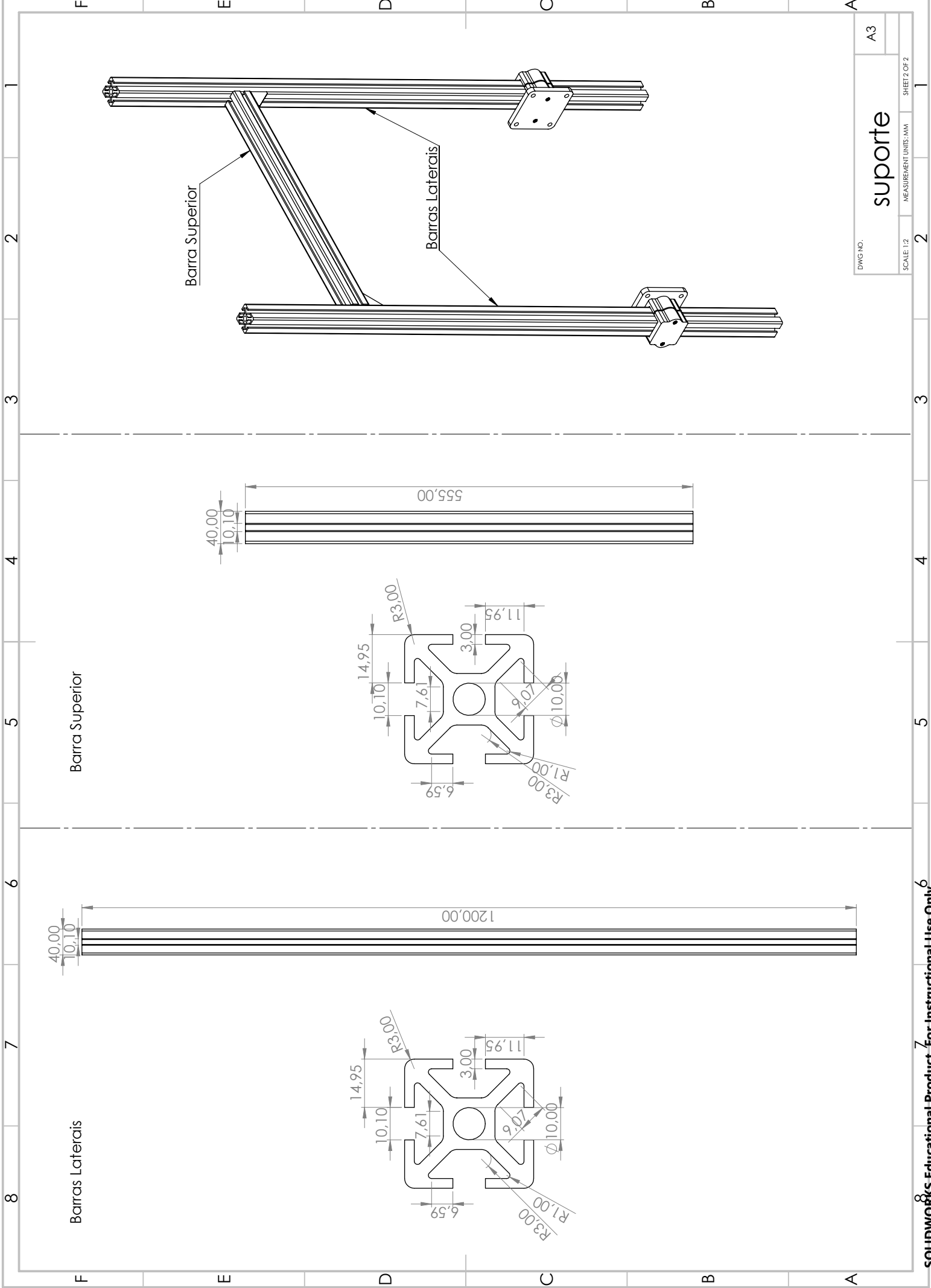
BASES

TOP VIEW



FRONT VIEW





DWG. NO.	A3
<b>suporte</b>	
SCALE: 1:2	SHEET 2 OF 2