

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Desenvolvimento de um equipamento de soldadura laser para uso laboratorial

Francisco Lima Neto



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização de Automação

Orientador: Prof. Joaquim Gabriel Magalhães Mendes

Orientador UPTEC: Rúben da Silva Madureira, MSc

Outubro de 2020

Desenvolvimento de um equipamento de soldadura laser para uso laboratorial

Francisco Lima Neto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Especialização de Automação

Outubro de 2020

Resumo

As células solares de perovskita (PSC) são uma tecnologia fotovoltaica emergente com elevado potencial. Apesar de estas serem vantajosas devido ao seu processo de fabrico menos poluente e dispendioso quando comparado com as células solares de silício e pela sua capacidade de absorver luz difusa, estas aprestam desvantagens sobretudo ao nível da sua estabilidade, sendo esta afectada pela presença de oxigénio, humidade e altas temperaturas.

Para proteger as PSC destas condições surge a necessidade de as selar hermeticamente num ambiente inerte. Existem vários métodos de selagem utilizando selantes poliméricos, no entanto, estes apresentam-se pouco duradouros ou reagem com os materiais das células. Para resolver o problema surgiu a selagem utilizando fritas de vidro. A soldadura das fritas de vidro era originalmente realizada utilizando o método termo-compressível, no entanto, as altas temperaturas que envolve tornam-no inviável para selar PSC. Como alternativa surge a selagem assistida por laser.

O objetivo desta dissertação foi a revisão de todo o projeto realizado, seleção dos componentes em falta, desenvolvimento do software de controlo, montagem e teste de todo o equipamento.

A máquina contém uma câmara estanque para permitir uma selagem num meio livre de oxigénio e humidade, que foi montada numa mesa linear 2D, acionada por motores passo a passo para fazer o alinhamento do padrão da frita de vidro com o padrão descrito pelo laser. Foi implementado um eixo vertical para a focagem do laser e um sistema rotativo para permitir alinhar padrões retangulares. A base da câmara estanque inclui um prato aquecido por 5 resistências comandadas por um controlador de temperatura. Foram ainda utilizados cilindros pneumáticos para aplicar força nos substratos, mantendo-os comprimidos. O valor da força é controlável através de uma válvula reguladora de pressão proporcional. A interface com o utilizador foi desenvolvida em *LabVIEW* e permite o controlo total da máquina, bem como todas as rotinas de segurança quer do operador, quer do equipamento.

A máquina desenvolvida foi testada e o seu comportamento caracterizado, sendo possível selar hermeticamente amostras até $120 \times 120 \text{ mm}^2$, com temperaturas até 200°C , em atmosfera inerte, com forças de compressão até 80 N. O equipamento desenvolvido está assim pronto para ser usado na produção de PSCs.

Abstract

Perovskite solar cells (PSC) are an emergent photovoltaic technology. Their manufacturing is less expensive and pollutant than the manufacturing of silicon cells. However, the stability of PSC is a concern as they present degradation when in contact with humidity, oxygen, or high temperature.

To protect PSC from these conditions, they are required to be sealed in a hermetic and inert atmosphere. Polimeric sealants are not an option as they don't have the required durability and may react with the materials of the cells. Glass frits are an option, however traditional methods as the thermocompressive method require high temperatures. Laser-assisted glass sealing is a low-temperature method.

This dissertation discloses the assembly and programming of an apparatus for this method. The existing components were verified and modified for the state of the art of the method. The programming was adapted for the final user.

The apparatus has an atmospheric chamber to create an inert atmosphere for sealing. The atmospheric chamber was mounted on top of a moving table with stepper motors for alignment of the glass frit pattern with the laser movement. A vertical axle is used for focusing the laser beam and a rotational axle permits the alignment of rectangular patterns. The base of the atmospheric chamber is also a hot plate and the temperature is controlled by a PID controller. Pneumatic cylinders were used to apply force on top of the substrates. The force value can be controlled and defined by a proportional pneumatic pressure regulator. A *LabVIEW* interface was developed to safely and remotely control the system.

The assembled machine was tested and calibrated. It's possible to seal hermetically up to $120 \times 120 \text{ mm}^2$ substrates, with temperatures up to 200°C , under an inert atmosphere and with a force up to 80 N. This apparatus is more versatile, automated, and modern.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Joaquim Gabriel, pela ajuda, pelos conhecimentos transmitidos e pela boa disposição sempre presente.

Ao meu co-orientador, Rúben Madureira, uma especial palavra de apreço pelas longas horas despendidas a ajudar no possível e impossível.

Agradeço ao Tiago Domingues e ao Tiago Lagarteira pela disponibilidade para ajudar, ao Sr. Joaquim pelas suas críticas e ajuda quando era necessário.

Agradeço ao Jorge Martins pela ajuda e sugestões fundamentais para selar células e ao professor Adélio Mendes pela cedência do laboratório e sem o qual este projeto não era possível de realizar-

Um obrigado a toda a minha família pelo carinho, apoio e sacrifícios para que todo este percurso académico fosse possível. À minha namorada, Joana, agradeço pelo suporte que me deu nas horas mais difíceis e pela motivação transmitida.

Agradeço aos meus amigos, tanto da "terrinha", Esposende, como a todos da invicta, que ao longo desta fase foram sempre um braço direito.

Para finalizar, quero também agradecer aos projetos: SolarPerovskite (NORTE - 01 - 0145 - FEDER - 028966) financiado com fundos FEDER (Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional), no âmbito do Programa Operacional Regional do Norte de Portugal (NORTE 2020) e, fundos nacionais através da FCT / MCTES (PIDDAC); WinPSC (POCI-01-0247-FEDER-017796) co-financiado pela FEDER, através do Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020; e UIDB / 00511/2020 - LEPABE (Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy) financiado com fundos nacionais através da FCT / MCTES (PIDDAC).

Muito obrigado.

Francisco Lima Neto

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Âmbito e motivações	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia	3
1.4	Estrutura da dissertação	3
2	Selagem de células fotovoltaicas	5
2.1	Células solares de perovskita	5
2.2	Selagem assistida por laser	7
2.3	Equipamentos para selagem assistida por laser	9
2.3.1	<i>LaserBox</i>	10
3	Soluções construtivas	13
3.1	Câmara estanque	14
3.2	Controlo de temperatura	14
3.3	Sistema de aplicação de força	16
3.3.1	Estrutura para aplicação de força	19
3.4	Sistema de posicionamento	20
3.5	Segurança	23
3.5.1	Disjuntores	23
3.5.2	Botoneira de emergência e baliza de Sinalização	23
3.5.3	Controlador e relés de segurança	24
3.5.4	Bloqueio da porta	25
3.6	Controlo	25
3.6.1	Seletores Rotativos	27

CONTEÚDO

3.7	Alimentação	29
3.8	Aquisição de imagens	30
3.9	Alteração de peças existentes	31
4	Montagem	33
4.1	Sistema de posicionamento e isolamento térmico	34
4.2	Sistema pneumático	38
4.3	Quadro elétrico e painel frontal	40
4.4	Resultado da montagem	45
5	Programação	47
5.1	Programação do controlador de segurança	47
5.2	Programação <i>LabVIEW</i>	48
5.2.1	Controlo dos motores	50
5.2.2	Controlo de temperatura	53
5.2.3	Controlo da força	53
5.2.4	Outros sistemas	54
5.3	<i>LabVIEW user interface</i>	55
5.4	Segurança	58
6	Resultados	59
6.1	Validação do controlo de força	59
6.2	Validação do controlo de temperatura	60
6.3	Testes de selagem assistida por laser	63
7	Conclusões e trabalhos futuros	67
	Referências	69
A	Ligações dos <i>drivers</i> IGUS	71
B	Ficha técnica dos motores	75
C	Esquemas elétricos	81
D	Configurações do controlador de temperatura	87

E	Configurações dos drivers dos motores	93
F	Comandos Modbus	107
G	Esquema pneumático	109

CONTEÚDO

Lista de Figuras

1.1	Evolução anual do consumo energético por fonte energética em milhões de toneladas de petróleo [1].	1
2.1	Estrutura de uma PSC com a estrutura n-i-p mesoscópica [4].	6
2.2	Exemplos defeitos do processo de selagem assistida e de uma célula selada decentemente [11].	7
2.3	Métodos de selagem [11].	8
(a)	Método do contorno.	8
(b)	Método quase-simultâneo.	8
2.4	Esquema da disposição do sistema galvanométrico, amostra a selar e prato quente [11].	9
2.5	<i>LaserBox</i> [11].	11
3.1	Esquema de arquitetura no qual os componentes a cheio encontravam-se já adquiridos e os componentes a tracejados foram dimensionados ao longo da dissertação.	15
3.2	Câmara atmosférica para criação de um meio inerte.	16
3.3	Controlador de temperatura <i>OMEGA Platinum</i> CN32PT - 224- C24. [12]	17
3.4	Cilindro pneumático [13] e correspondente símbolo pneumático.	17
3.5	Eletroválvula direcional pneumática [13] e correspondente símbolo pneumático. .	18
3.6	Válvula reguladora de pressão proporcional [13] e correspondente símbolo pneumático.	18
3.7	Componentes da preparação do ar [13] e respetivos símbolos pneumáticos. . . .	19
3.8	Moldura em alumínio que permite a fixação de um vidro.	19
3.9	Esquema com a representação dos eixos de movimento.	20
3.10	Mesa linear <i>IGUS</i> SHT-XY-12-AWM-150-150.	20
3.11	Eixo vertical <i>IGUS</i> SHTC-20-SWM.	21
3.12	Eixo rotativo <i>IGUS</i> Robolink RL-D-30-102-50.	21

LISTA DE FIGURAS

3.13	Motor passo a passo <i>IGUS</i> MOT-NA-S-060-020-056-M-C-AAAC [14].	22
3.14	Controlador <i>IGUS</i> para os motores passo a passo [14].	22
3.15	Disjuntor magnetotérmico (centro), disjuntor diferencial (direita) e disjuntor de disparo em caso de subtensão (esquerda)[15].	23
3.16	Componentes de segurança para interação com o utilizador[16].	24
(a)	Botoneira de emergência	24
(b)	Baliza de sinalização	24
3.17	Controlador de segurança modular da gama <i>SICK Flexi Soft</i> [17].	24
3.18	<i>Interlock SICK i14 LOCK</i> [17].	25
3.19	Módulo de aquisição de dados NI USB-6001 [18].	26
3.20	Módulo de 8 Relés <i>VELLEMAN</i> VMA436.	27
3.21	Conversor de sinal LCIS-WP-WUAA-0517-175-S.	27
3.22	Seletor Rotativo iluminado <i>Schneider</i> [16].	28
3.23	Fonte de alimentação 24 V DC [19].	29
3.24	Fonte de alimentação 5 V DC [19].	30
3.25	Câmara de vídeo <i>Logitech</i> C920.	31
4.1	Modelação 3D da máquina recorrendo ao <i>SOLIDWORKS</i>	33
4.2	Montagem do sensor fim de curso no eixo linear.	34
4.3	Esquema da transferência de calor entre a câmara estanque e a mesa linear.	36
4.4	Mesa linear e câmara atmosférica montadas.	37
4.5	Eixo vertical, eixo rotativo e respetivas peças de ligação.	38
4.6	Esquema de aplicação de força nos substratos.	39
4.7	Esquema de ligação de um interruptor a uma DAQ.	41
4.8	Esquema de contactos do relé de segurança <i>SICK</i> UE10-30S.	41
4.9	Esquema de contactos do conversor de sinal.	42
4.10	Quadro elétrico.	43
4.11	Painel de controlo.	44
4.12	<i>Laserbox</i> 4.0.	45
5.1	Diagrama de blocos implementado no controlador de segurança.	48
5.2	Sequência de funcionamento para a user interface e máquina de selagem.	49
5.3	Funções de controlo dos motores para <i>LabVIEW</i>	50

5.4	Sequência de comando dos motores	51
5.5	Sequência de comando do controlador de temperatura.	53
5.6	Página inicial da interface de controlo.	55
5.7	Página de configuração dos componentes da interface de controlo.	56
5.8	Página de alinhamento do padrão da frita da interface de controlo.	56
5.9	Página de controlo do disparo do laser da interface de controlo.	57
5.10	Página de diagnóstico da interface de controlo.	57
6.1	Nova curva característica para o sistema de aplicação de força.	60
6.2	Montagem do sistema de medição de temperatura para validação do controlo de temperatura.	61
6.3	Curva de aquecimento até 75 °C.	61
6.4	Curva de aquecimento até 200 °C.	62
6.5	Estrutura em <i>sandwich</i> que corresponde ao modelo das amostras a preparar. . . .	63
6.6	Etapas de sinterização da frita de vidro[8].	64
6.7	Resultados obtidos depois de ajustados os parâmetros da máquina.	65
6.8	Resultados finais, depois de ajustados outros parâmetros.	65

LISTA DE FIGURAS

Lista de Tabelas

3.1	Lista das entradas e saídas necessárias para o controlador.	26
3.2	Requisitos energéticos da botoneira de 24 V.	28
3.3	Requisitos energéticos da botoneira de 230 V.	28
3.4	Requisitos energéticos da fonte de alimentação de 24 V DC	29
3.5	Requisitos energéticos da fonte de alimentação de 5 V DC	30
4.1	Dados dos materiais e do sistema para cálculo da espessura de isolamento.	37
5.1	Entradas e saídas digitais do controlador de segurança.	47

LISTA DE TABELAS

Abreviaturas

F	Força [N]
m	Massa [kg]
p	Pressão [Pa]
V	Tensão [V]
I	Corrente [A]
T	Temperatura [°C]
e	Espessura [mm]
A	Área [mm ²]
k	Condutividade térmica [W/(m.K)]
h	Coeficiente convectivo [W/(m ² .K)]
R	Resistência térmica [K/W]
$\dot{Q}$	Calor [W]
PSC	Perovskite solar cell
DSC	Dye-sensitized solar cell
NA	Normalmente aberto
NF	Normalmente fechado
DAQ	Data acquisition system
PLC	Programable logic controller

Capítulo 1

Introdução

1.1 Âmbito e motivações

O crescimento rápido da população mundial e um mundo extremamente industrializado tem conduzido a um aumento do consumo energético. Atualmente, os combustíveis fósseis são a fonte de mais de 85% da energia primária mundial, Figura 1.1, e uma das principais fontes da emissão de gases de efeito estufa [1]. A utilização destes combustíveis acarreta graves consequências ambientais a nível mundial, nomeadamente as alterações climáticas.

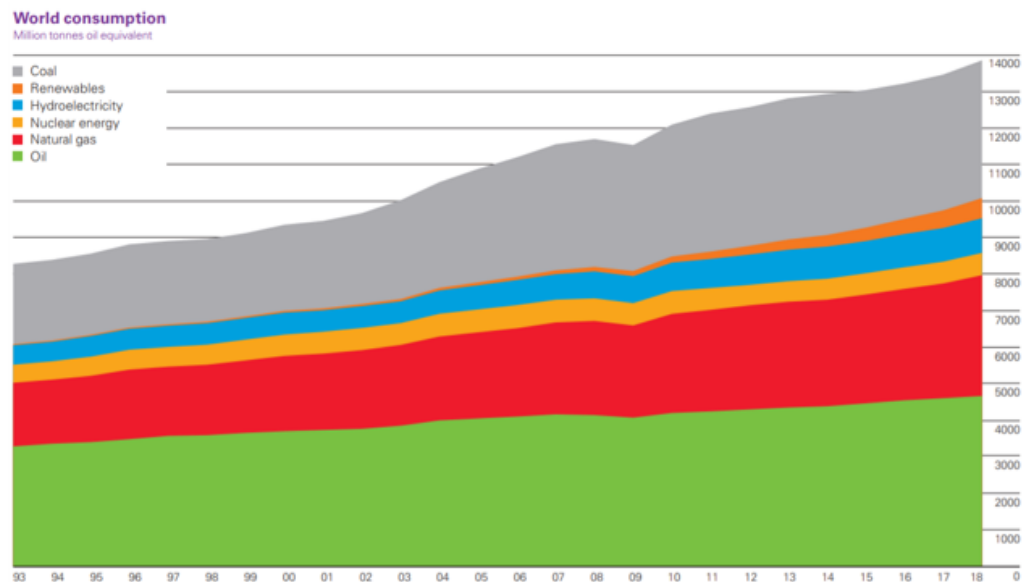


Figura 1.1: Evolução anual do consumo energético por fonte energética em milhões de toneladas de petróleo [1].

Torna-se essencial o desenvolvimento de tecnologias para transformar energia de fontes renováveis. Destas, a energia solar revela-se como uma das mais interessantes, uma vez que a

Introdução

superfície terrestre é irradiada por um valor estimado em $1,8 \times 10^{14}$ kW [2] e Portugal é um dos países da União Europeia com maior exposição solar [3].

As células solares fotovoltaicas apresentam-se como uma das tecnologias mais importantes para a rentabilização da energia do sol [2]. As tradicionais células solares com base em silício são as mais conhecidas e as únicas comercializadas em grande escala. O fabrico de células de solares de silício utiliza químicos perigosos, sendo o este complexo e nocivo para o ambiente. As células de silício apresentam baixo rendimento na captação da luz difusa, o que compromete a sua utilização em muitas situações, nomeadamente nos países do norte da Europa [4].

As *dye-sensitized solar cells* (DSC ou DSSC) constituem uma nova geração de células solares. As DSC's têm um processo de fabrico menos poluente e menos dispendioso, atingem uma eficiência de 14 %, têm melhor capacidade de captar luz difusa e podem ser semitransparente permitindo a sua implementação em sítios que não tenham exposição solar direta, nomeadamente em fachadas e em *wearables* [5].

No seguimento da investigação das DSC's surgem as células solares de perovskita (PSC). As células solares de perovskita surgiram há sensivelmente 11 anos e, desde então, a sua eficiência energética aumentou de 4 % para cerca de 25,2 % [6, 7]. O que as torna uma solução alternativa às células solares de silício. Apesar do seu grande potencial, as PSC apresentam limitações. A estabilidade das células é afetada por fatores como elevadas temperaturas, a humidade e a presença de oxigénio, surgindo assim a necessidade de isolar as células destas condições através de uma selagem hermética e durável das células. Outros equipamentos eletrónicos que necessitam de selagem recorrem a selantes poliméricos, mas estes podem reagir com os materiais da célula solar de perovskita influenciando a estabilidade das células solares. Estes apresentam-se desvantajosos também porque a sua longevidade é inferior a 20 anos [8].

A selagem utilizando frita de vidro, embora aumente a longevidade das células traz novos desafios, uma vez que o processo originalmente se realizava a temperaturas elevadas (> 380 °C), método termo-compressível, o que danifica as PSC. Surge como alternativa a selagem assistida por laser. Existem já algumas máquinas capazes de selar com frita de vidro recorrendo a radiação Laser. Dado que já existem procedimentos promissores capazes de selar hermeticamente a 50 °C, surge a necessidade de desenvolver um equipamento que permita aplicar e otimizar os processos à escala laboratorial. Neste desenvolvimento foram tidas em conta as características e as funcionalidades requeridas pelos utilizadores, bem como a sua facilidade de operação [4, 9].

Este trabalho foi desenvolvido numa parceria entre o departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e o Laboratório de Engenharia dos Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia (LEPABE).

O LEPABE é um laboratório na área da Engenharia Química, Bioengenharia e Engenharia Ambiental focado no desenvolvimento de processos e produtos inovadores para responder aos

desafios energéticos impostos pela sociedade. É neste laboratório que o grupo de Processos, Produtos e Energias, liderado pelo professor Adélio Mendes, desenvolve dispositivos fotovoltaicos com selagem hermética a laser.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um equipamento para soldadura de vidro, para uso laboratorial para selagem hermética das PSC.

O processo de selagem terá de ser automatizado, devendo poder ser controlado via computador. A máquina deverá incluir 3 sistemas distintos, sendo estes:

- **sistema de posicionamento** capaz de alinhar o padrão definido pela frita com o padrão definido pelo feixe laser;
- **sistema de controlo de força** para comprimir os dois substratos;
- **sistema de controlo de temperatura** para aquecer os substratos à temperatura de selagem.

A solução obtida deverá ser compacta de forma a adequar-se ao meio laboratorial. A interface com o utilizador deve ser intuitiva e fácil de usar.

1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos foi realizado um estudo acerca das células solares de perovskita com o intuito de obter um selagem de alta qualidade.. Foi realizado um levantamento dos equipamentos existentes no laboratório, existindo uma comunicação com responsáveis pelo processo de selagem. Isto permitiu aprofundar os conhecimentos sobre o processo e recolher as funcionalidades a implementar no *software* de controlo. Depois de realizado um levantamento dos requisitos, foi estudada uma solução construtiva tendo por base as soluções já existentes, aprimorando os aspetos menos desenvolvidos das mesmas. Depois de projetada, a máquina foi montada e programada de acordo com as necessidades. Os sistemas foram testados nas condições de funcionamento e foram realizados testes de selagem.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação desenvolvida descreve os passos realizados para o desenvolvimento de um equipamento para soldadura de vidro para uso laboratorial. É exposto o conteúdo teórico necessário

Introdução

para justificar as decisões tomadas e explicadas as tarefas práticas de montagem realizadas. No final, são apresentados os resultados obtidos na realização de testes à máquina e retiradas conclusões e apontadas melhorias a introduzir futuramente ao sistema desenvolvido.

No presente Capítulo 1 é apresentado o contexto e as motivações para a elaboração da dissertação, os objetivos, e a metodologia utilizada.

No Capítulo 2 é apresentada a tecnologia utilizada nas células solares de perovskita e os desafios que esta apresenta. São abordadas as tecnologias existentes para a realização da tarefa pretendida e demonstrados os pontos fortes e fracos de cada uma destas.

No Capítulo 3 é demonstrada a solução construtiva desenvolvida para a máquina. São apresentados todos os componentes escolhidos para realizar as mais diversas funções, sendo estes agrupados por sistema conforme a sua função. Ao longo do capítulo são demonstradas noções teóricas necessárias à escolha dos componentes.

No Capítulo 4 são explicados os passos de montagem da máquina, expostos problemas que surgiram ao longo da montagem da máquina e as soluções encontradas para a resolução dos mesmos.

No Capítulo 5 são explicados os passos e a forma como a máquina foi programada, justificando as operações realizadas.

No Capítulo 6 são expostos os resultados obtidos na elaboração dos testes de validação do controlo de temperatura e força. São também expostos os resultados obtidos durante os testes de selagem.

No Capítulo 7, capítulo final, são tiradas conclusões acerca do sistema obtido durante a realização desta dissertação e propostos aspetos a aprimorar em trabalhos futuros.

Capítulo 2

Selagem de células fotovoltaicas

2.1 Células solares de perovskita

Antes de iniciar o estudo das características de uma máquina de selagem assistida por laser, é necessário compreender o funcionamento das células solares de perovskita (PSC) e do método de encapsulamento utilizado para uma melhor compreensão do processo.

As PSC são uma tecnologia fotovoltaica emergente [6], que apresenta um rendimento recorde de 25,2% [7]. Além do desenvolvimento promissor, apresentam vantagens económicas e ecológicas, uma vez que envolvem processos de fabrico potencialmente mais económicos e menos prejudiciais para o ambiente, quando comparados às tecnologias concorrentes baseadas em silício [4].

As células fotovoltaicas são compostas por um material semicondutor que devido ao efeito fotovoltaico é capaz de gerar energia. O efeito fotovoltaico acontece quando os eletrões de um material semicondutor são atingidos por um fóton, o que faz com que os eletrões transitem da camada de valência para uma de maior energia - camada de condução. Para que seja gerada uma diferença de potencial nas células fotovoltaicas, são colocados dois elétrodos, positivo e negativo, criando o movimento de eletrões e, consequentemente, uma corrente elétrica [2].

Perovskita, o material absorvedor presente nas PSC, constitui uma família de materiais com uma estrutura cristalina ABX_3 . O constituinte A é um catião que pode ser Metilamónio (MA), Formamidina (FA) ou Césio (Cs); o constituinte B, geralmente, é Chumbo (Pb), podendo ser substituído por Estanho (Sn) e o constituinte X é um anião halogeneto que pode ser Iodo (I), Bromo (Br), Cloro(Cl) [10]. A alteração do material permite diversas configurações possíveis com diferentes propriedades, por exemplo largura de banda, gama de luz absorvida, estabilidade [11].

Existem várias estruturas ou arquiteturas possíveis com resultados variados a nível de estabilidade e desempenho. As PSC podem ser do tipo n-i-p ou p-i-n (invertidas) e serem planares ou mesoscópicas. Existem ainda casos que a camada p ou n não são utilizadas [4]. O n e o p são semicondutores com afinidade para receber eletrões ou lacunas, respetivamente, da perovskita.

A estrutura mais comum é do tipo n-i-p mesoscópica (estrutura representada na Figura 2.1), composta por: um substrato de vidro revestido por um óxido transparente condutor (TCO) – ITO ou FTO; uma camada compacta e uma camada mesoporosa de um material transportador de eletrões (ETM) – Óxido de estanho (TiO_2) ou Óxido de Titânio (TiO_2); o material absorvedor de perovskita; um transportador de lacunas (HTM) – Spiro-Ometad, PTAA, CuSCN; e um contra elétrodo [4].

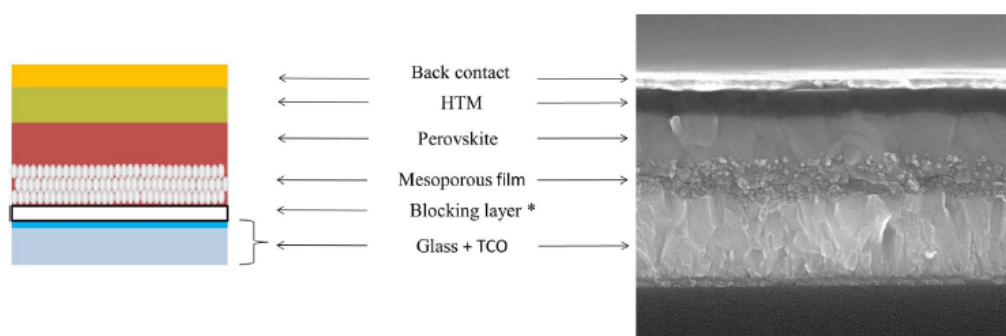


Figura 2.1: Estrutura de uma PSC com a estrutura n-i-p mesoscópica [4].

Estas são as PSC que apresentam melhores resultados de eficiência, mas também problemas de estabilidade: degradam-se na presença de humidade, temperatura e oxigénio. Para aumentar a sua estabilidade, é necessário criar uma atmosfera inerte e um encapsulamento estável que evite a exposição à humidade e ao oxigénio [4].

Diferentes estruturas de PSC apresentam diferentes estabilidades térmicas. Quando aquecida a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, a perovskita degrada-se e para outros componentes da célula a temperatura máxima é ainda inferior, como o HTM que pode ser Spiro-Ometad ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou PTAA ($85\text{ }^{\circ}\text{C}$) [8].

Uma das soluções mais comuns para o encapsulamento de células fotovoltaicas é a utilização de selantes poliméricos [8], contudo, a realização de testes de envelhecimento revelou que o tempo de vida destes selantes é reduzido (inferior a 20 anos). Por vezes, a cura deste tipo de selante, como é o caso da epóxi recorrendo a luzes UV, prejudica a performance das células. Assim, a utilização de fritas de vidro permite alargar o tempo de vida das PSC. As fritas de vidro são utilizadas no encapsulamento de várias tecnologias, como as DSC ou em microcomponentes eletromecânicos. Estas tornam-se particularmente interessantes pelo facto de não reagirem com as camadas funcionais das células fotovoltaicas e pela boa adesão que o cordão de frita apresenta entre os substratos [8].

As fritas de vidro existem sob a forma de pasta de vidro que pode ser depositada por serigrafia

e, de seguida, submetidas a um tratamento térmico. Estas pastas são uma mistura de partículas de vidro com aditivos (solventes e aglomerantes). A principal característica da frita de vidro a ter em conta para a sua utilização na selagem de PSC é a temperatura de selagem que, em geral, é superior a 380 °C. O método tradicional de adesão dos dois substratos com fritas de vidro, conhecido como método termo-compressível, implica o aquecimento dos substratos à temperatura de selagem da frita de vidro (>380 °C) e a aplicação de uma força de compressão. Esta temperatura, por ser demasiado elevada, torna este método inviável para a selagem de PSC [8].

Para evitar esse problema, foi desenvolvido um processo de “selagem assistida por laser” que consiste na utilização de um ou mais feixes laser para aquecer localmente as fritas de vidro até à sua temperatura de selagem e promover a adesão entre os dois substratos sem implicar o aquecimento da área útil do substrato [5].

2.2 Selagem assistida por laser

Como referido anteriormente, a utilização do método termo-compressível torna-se inviável para implementação na selagem de PSC devido às altas temperaturas que acarreta. Alternativamente foi desenvolvido o processo de selagem assistida por laser que recorre à utilização de um feixe que aquece localmente a frita de vidro, não comprometendo a integridade da PSC [11].

Embora a selagem propriamente dita seja realizada pelo feixe laser, é necessária uma outra fonte de calor para aquecer os substratos. Esta será fundamental para diminuir o gradiente de temperatura nos substratos e evitar o choque térmico, diminuindo a probabilidade de ocorrer fratura do substrato ou delaminação na interface, Figura 2.2 [11].

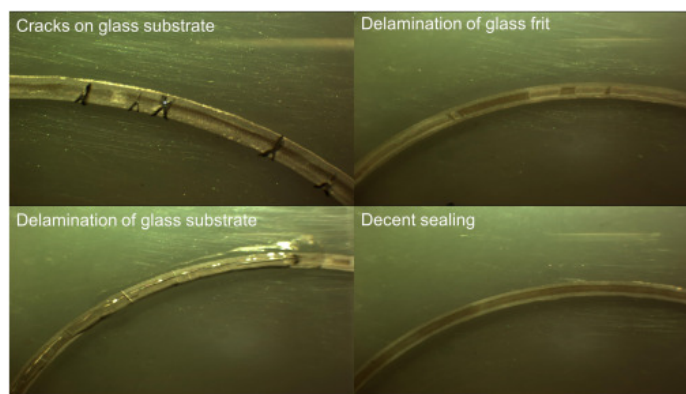


Figura 2.2: Exemplos defeitos do processo de selagem assistida e de uma célula selada decentemente [11].

No processo de selagem assistida por laser podem ser utilizados 2 métodos: método do contorno ou quase-simultâneo. O método do contorno, Figura 2.3a, faz incidir o feixe laser ao longo

do contorno do cordão de frita entre os 2 substratos de vidro soldando a frita de vidro. A soldadura realiza-se ao longo do cordão de frita e termina quando tiver sido percorrido todo o perímetro da frita de vidro. Por outro lado, o método quase-simultâneo, imagem 2.3b, faz incidir o feixe laser várias vezes a alta velocidade no cordão de frita de vidro até que aconteça soldadura. Neste processo a adesão da frita é realizada toda em simultâneo. O método do contorno adequa-se à selagem de substratos de qualquer dimensão, enquanto que o método quase-simultâneo não é adequado para grandes dimensões por estar limitado à área de trabalho do sistema galvanométrico [11].

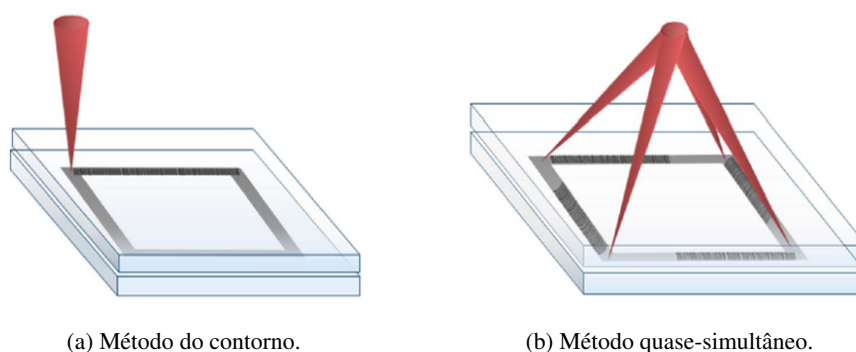


Figura 2.3: Métodos de selagem [11].

A selagem assistida por laser é possível em substratos de espessuras diferentes e em diferentes tipos de frita. O tipo de frita de vidro utilizada leva a que os parâmetros de selagem devam ser ajustados. Alguns exemplos de parâmetros são: comprimento de onda do laser, diâmetro do ponto de focagem (*spotsize*), potência do laser, temperatura a que os substratos são mantidos, preparação da frita de vidro.

Em suma, para que a utilização deste método em PSC seja viável de aplicar, é necessário que a área do dispositivo seja mantida a uma temperatura inferior à temperatura máxima admissível pelos constituintes da célula, garantir uma selagem hermética e duradoura e, por fim, ser compatível com a estrutura da PSC.

Os substratos são preparados *à priori*, antes de serem preparadas as células, segundo um procedimento pré-estabelecido e patenteado [8]. A selagem assistida por laser deverá ser realizada num equipamento apropriado. A máquina utilizada deverá possuir uma fonte laser, um sistema de aquecimento dos substratos (forno ou prato quente) e um sistema de orientação do feixe laser (cabeça galvanométrica e lente *f-theta*). A Figura 2.4 esquematiza a forma como os componentes devem estar dispostos.

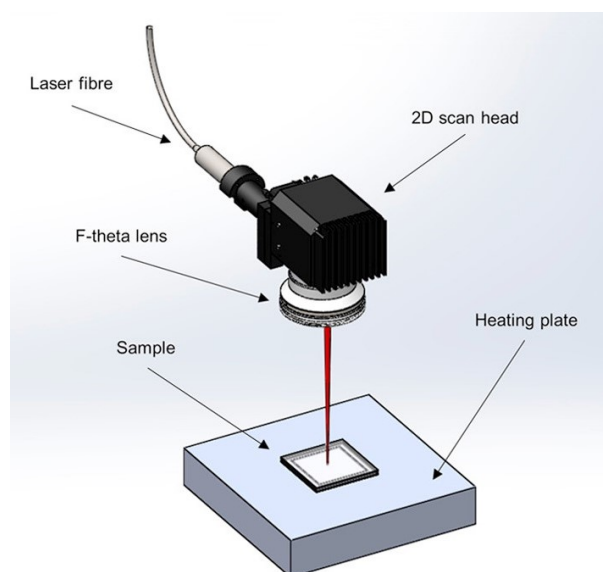


Figura 2.4: Esquema da disposição do sistema galvanométrico, amostra a selar e prato quente [11].

Antes de realizar este procedimento, a pasta de vidro é depositada por serigrafia nos substratos e de seguida sinterizada num forno. Os substratos são colocados um sobre o outro, alinhando o cordão de frita presente nos dois substratos – não se aplica quando o cordão de soldadura está presente em apenas um dos substratos. De seguida as amostras são colocadas no sistema de aquecimento presente na máquina. À semelhança do processo termo-compressivo, a aplicação de uma força de compressão adequada permite uma melhor adesão entre os substratos e as fritas de vidro – implementado por uso de pesos calibrados. De seguida, as amostras são aquecidas lentamente, para evitar rotura devido ao choque térmico. As amostras são aquecidas até que esta fique estável e homogênea. O período de estabilização varia conforme a temperatura alvo, tamanho e espessura dos substratos utilizados.

Para conseguir uma soldadura de boa qualidade, o laser tem de incidir sobre o cordão de frita de vidro, sendo assim importante dispor de um sistema de posicionamento do substrato ou do laser. Antes de disparar o laser deverão ser definidos parâmetros como potência e velocidade.

2.3 Equipamentos para selagem assistida por laser

Nesta secção serão abordados alguns equipamentos existentes para a realização de selagem assistida por laser mencionando as suas características seguidas de algumas vantagens e possíveis limitações.

As máquinas para realização de selagem assistida por laser necessitam de incorporar os seguintes componentes: uma fonte laser, um sistema de guiamento laser, uma fonte de calor externa

e um método para comprimir os substratos. É de realçar que as máquinas deverão ter incorporados em si também um conjunto de mecanismos de segurança e controlo.

Como referido na descrição da selagem assistida por laser, o laser tem como função soldar a frita de vidro aos substratos. No entanto, a fonte laser só por si não tem capacidade de orientar o feixe laser, surge assim a necessidade de implementar uma cabeça galvanométrica. A cabeça galvanométrica, também designada por *ScanHead*, permite adicionar essa capacidade de orientação do laser segundo um padrão pré-definido. Contudo, a capacidade de orientação do laser está limitada às dimensões de $150 \times 150 \text{ mm}^2$.

A fonte de calor externa permite reduzir o choque térmico nos substratos causado pelo súbito aquecimento criado pelo laser. O controlo da temperatura de aquecimento dos substratos é fundamental para garantir um aquecimento lento, adequado à fragilidade dos materiais envolvidos, assim como uma temperatura estável durante a selagem. A compressão dos substratos tem como objetivo, em primeiro lugar, manter os substratos posicionados durante o processo e, garantir o contacto entre a frita de vidro e os substratos.

Existem na Universidade do Porto, dois equipamentos capazes de realizar selagem assistida por laser, no entanto a dissertação irá se focar apenas em um: a *LaserBox*.

2.3.1 *LaserBox*

A *LaserBox*, Figura 2.5, é um equipamento desenvolvido para a realização de selagem assistida por laser de substratos que podem ter como dimensões máximas $120 \times 120 \text{ mm}^2$. Esta máquina apresenta a capacidade de realizar selagens de pequenas dimensões. A *LaserBox* apresenta uma estrutura em perfis de alumínio com uma porta na parte frontal que permite aceder à área de trabalho e ao mesmo tempo impede que o utilizador esteja exposto à radiação Laser.

A *LaserBox* é constituída por um sistema galvanométrico, um prato quente e uma mesa linear manual.

O prato quente é aquecido por um conjunto de resistências. Este encontra-se assente sobre um material cerâmico com baixa condutibilidade térmica, de forma a que a temperatura seja o mais homogênea possível em todo o prato. O controlo de temperatura é realizado por um controlador de temperatura da *Eurotherm*, com função PID integrada e comunicação série com o computador. O valor da temperatura é obtido por um termopar colocado no centro do prato de alumínio onde é posado o substrato.

A mesa linear é movimentada manualmente através de dois fusos lineares. Esta tem como principal objetivo possibilitar o alinhamento do cordão de frita com o padrão descrito pelo laser. O alinhamento manual é bastante sensível ao erro humano. Uma vez que o sistema galvanométrico

se encontra fixo na parte superior da máquina, faz também com que a distância de focagem seja fixa.

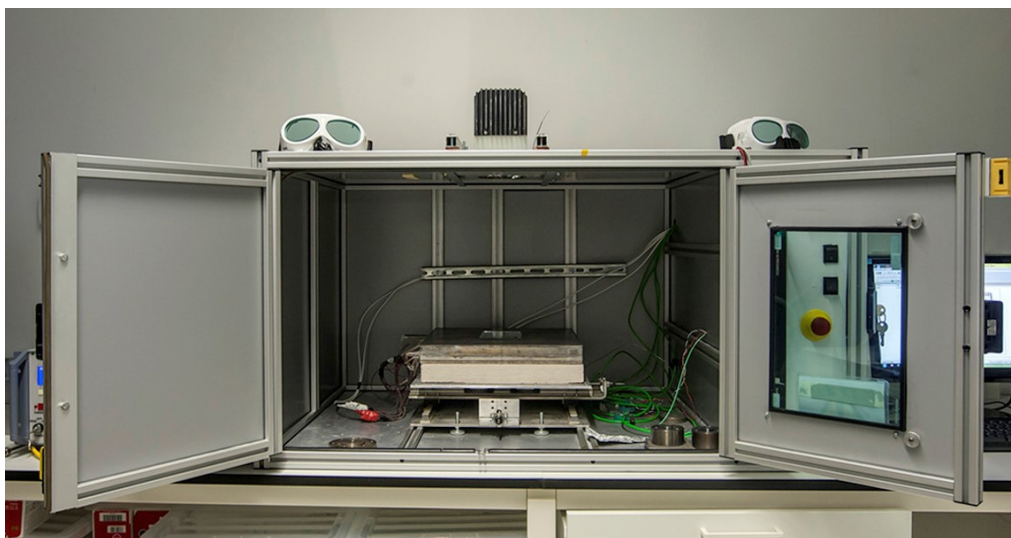


Figura 2.5: *LaserBox* [11].

O laser utilizado é do tipo “Nd:YAG” de onda contínua na gama dos infravermelhos (cerca de 1064 nm).

Encontra-se implementado na máquina um controlador de segurança *Sick* que, em conjunto com um *interlock*, permite que o laser só possa ser ativado caso as portas se encontrem fechadas e a botoneira de emergência não esteja atuada.

Capítulo 3

Soluções construtivas

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e construir um equipamento comercial para selagem assistida por laser, para uso laboratorial. Deve permitir a realização da selagem através de passos simples e intuitivos através de uma interface adequada a operadores não especializados.

A área de trabalho será de $150 \times 150 \text{ mm}^2$, o alinhamento e focagem deverão ser motorizados, a fonte de calor externa será um prato quente e deverão ser adicionados sistemas de controlo de força exercida nos substratos e da atmosfera em que se realiza a selagem.

A máquina deverá ser toda coberta, isolada do exterior, devido ao perigo de exposição à radiação laser. Deverá incorporar uma câmara para que seja possível monitorizar o processo e alinhar remotamente e, ter um vidro na porta para que seja possível observar o que está a acontecer.

A interface de controlo deverá ser simples e centralizada para permitir o seu uso por utilizadores não especializados na área.

Tendo por base estas considerações, a máquina deverá incorporar uma câmara atmosférica, um sistema de controlo de temperatura, um sistema de controlo de força, um sistema de posicionamento e alinhamento, um sistema de aquisição de imagens, um sistema de controlo do movimento do laser. Para além deste conjunto de sistemas essenciais para a realização de selagem assistida por laser é necessário implementar um sistema de segurança adequado para máquinas que incorporem equipamentos laser e uma estrutura adequada, que suporte toda a máquina.

No início desta dissertação de mestrado, já tinham sido adquiridos:

- sistema de aquecimento (controlador de temperatura, resistências de cartucho e termopar tipo K);
- sistema de aplicação de força (sistema pneumático – preparação do ar, cilindros pneumáticos, electroválvula pneumática e válvula reguladora de pressão pneumática proporcional);

- componentes de segurança (PLC de segurança, relés de segurança, *Interlock*, botoneira de emergência e baliza de sinalização);
- 3 eixos lineares e um eixo de rotação no plano horizontal, respetivos motores e controladores;
- componentes elétricos e eletrónicos (disjuntores e fonte de alimentação 24 V).

Com base nestes equipamentos e nas suas características, que serão apresentadas posteriormente, foi possível verificar que era necessário adquirir mais alguns componentes. Na Figura 3.1 está apresentado um esquema de arquitetura da máquina com as ligações ilustradas. Os sistemas rodeados por um tracejado vermelho são os componentes que foram necessário adquirir.

Foram excluídos do esquema de arquitetura as fontes de alimentação, botoneiras para ligar e desligar os componentes e os disjuntores.

Será abordado neste capítulo, em pormenor, os sistemas da máquina, bem como os componentes que os incluem, descrevendo a sua função e suas características.

3.1 Câmara estanque

Para que as células solares possam ser seladas numa atmosfera inerte, sem oxigénio e humidade, foi projetada uma câmara estanque. Trata-se de uma caixa maquinada em alumínio, como representado na Figura 3.2, com:

- A. furos roscados para fazer as ligações ao sistema de gases inertes;
- B. furos roscados para montar os cilindros pneumáticos;
- C. tampa com um vidro de $150 \times 150 \text{ mm}^2$ para permitir a passagem do laser;
- D. porta para colocar as células no interior;
- E. janelas para permitir a iluminação, incluindo uma com uma lâmpada;
- F. prato amovível para posicionar as células solares;
- G. ranhuras para montar as resistências;

3.2 Controlo de temperatura

Para atenuar os efeitos do choque térmico é necessário aquecer os substratos. Desta forma, o sistema de aquecimento necessita de um controlador de temperatura. Foi implementado um controlador de temperatura *OMEGA Platinum* CN32PT – 224 – C24, representado na Figura 3.3. A temperatura é medida recorrendo a um termopar do tipo K. O controlo é realizado através de

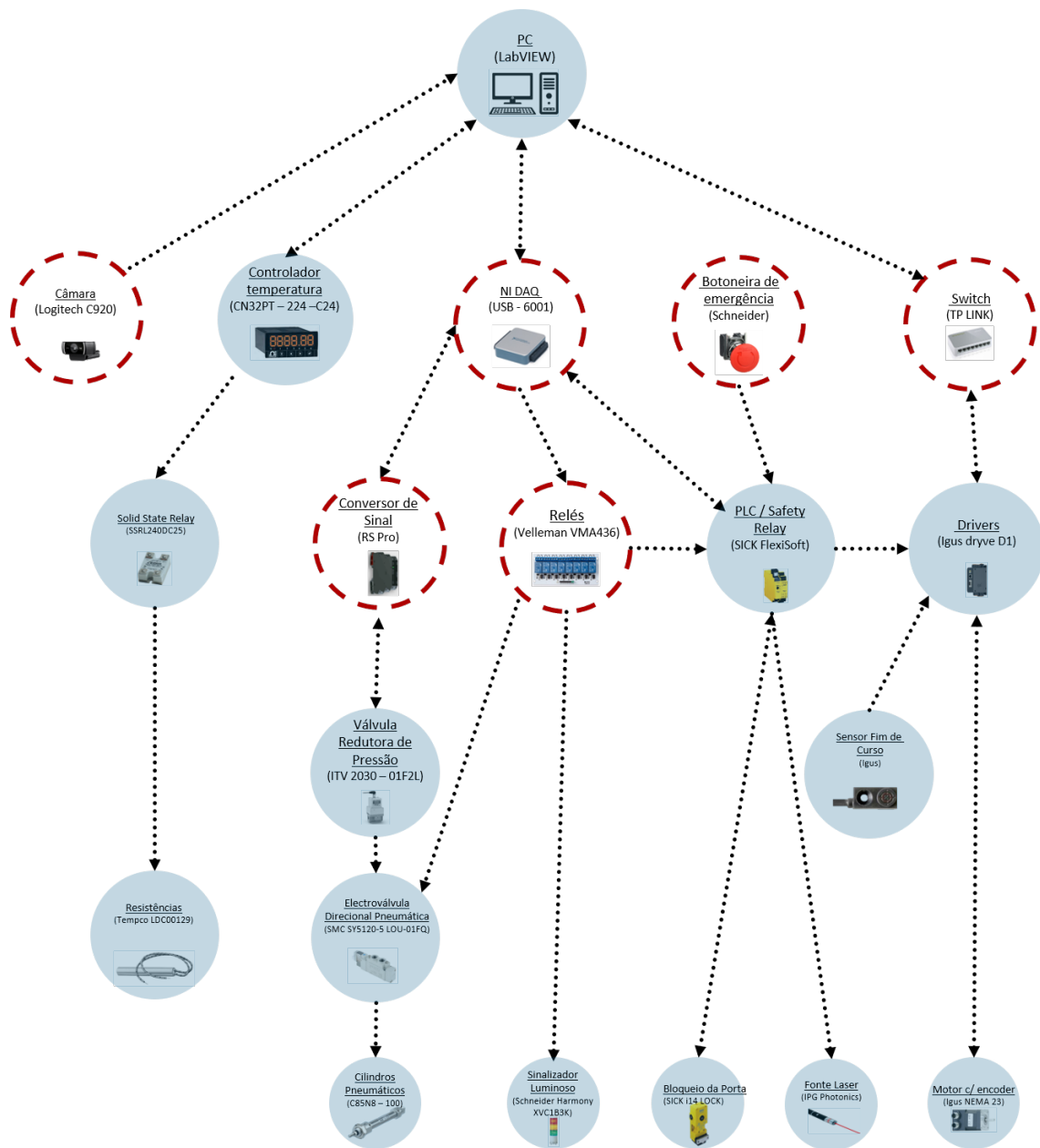


Figura 3.1: Esquema de arquitetura no qual os componentes a cheio encontravam-se já adquiridos e os componentes a tracejados foram dimensionados ao longo da dissertação.

um PID integrado no dispositivo que atua a bobine de um relé. O relé por sua vez vai fechar um contacto (NA) e irá atuar 5 resistências de 400 W cada, que vão aquecer o prato e, portanto, os substratos.

O controlador de temperatura incorpora algumas funções relevantes para o controlo pretendido: permite o controlo via Modbus e tem um PID integrado. A utilização da comunicação Modbus permite que o controlo seja realizado via computador, especificamente em *LabVIEW*, utilizando uma biblioteca própria do fabricante adaptada para o efeito. Para garantir um aqueci-

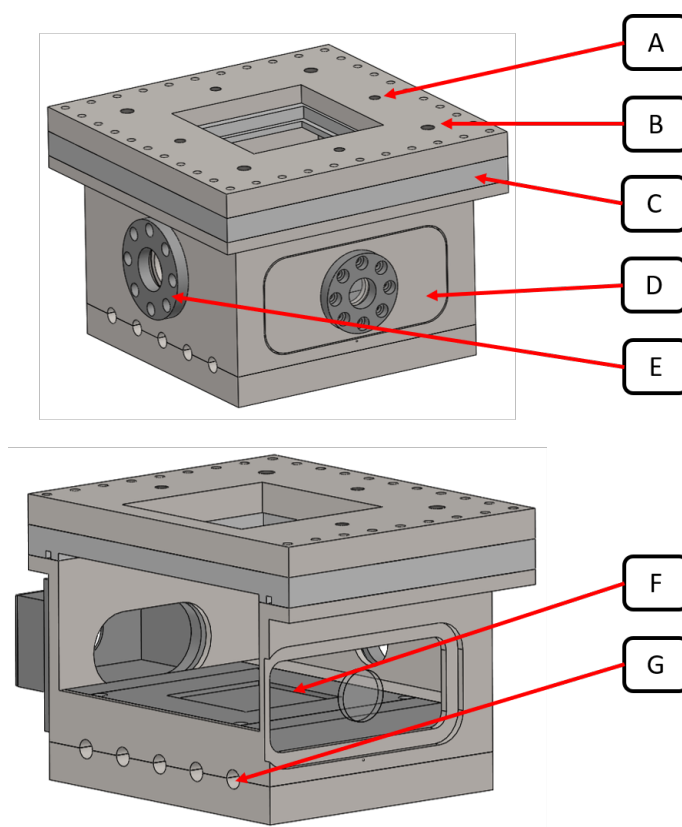


Figura 3.2: Câmara atmosférica para criação de um meio inerte.

mento lento e homogêneo e evitar defeitos devido ao choque térmico ou tensões residuais, foram definidas rampas e patamares de aquecimento.

3.3 Sistema de aplicação de força

É necessário implementar um sistema que permita comprimir um substrato contra o outro para que durante a selagem tenham um melhor contacto e adesão. A operação manual de colocar os pesos tende a desalinhar os substratos entre si e é uma operação pouco prática, pouco tecnológica e que não permite alterar a força ao longo do processo. Surge assim, a necessidade de implementação de um sistema pneumático capaz de aplicar uma força variável nos substratos. O valor da força exercida pelos cilindros pneumáticos não deve ser influenciado pela altura dos substratos. Este sistema deve garantir o mínimo atravancamento dimensional possível no interior da câmara atmosférica bem como não deve interferir com o movimento da mesma. A força exercida não deve ultrapassar os 80 N.

Assim, foi desenvolvido um sistema pneumático constituído por 4 cilindros pneumáticos, uma eletroválvula direcional, uma válvula reguladora de pressão, estranguladores unidirecionais e um sistema de preparação do ar.



Figura 3.3: Controlador de temperatura *OMEGA Platinum* CN32PT - 224- C24. [12]

Os atuadores pneumáticos selecionados foram os cilindros pneumáticos *SMC* C85N8 - 100 – XB6, Figura 3.4. Este é um cilindro pneumático de duplo efeito assimétrico com diâmetro de êmbolo de 8 mm e curso de 100 mm. Este cilindro pode ser operado em pressões compreendidas entre 0,1 e 1 MPa e temperatura de trabalho entre os -10 e os 150 °C. Em conjunto com o cilindro serão implementados estranguladores unidirecionais na entrada e saída de ar do cilindro com o objetivo de controlar a velocidade de avanço e recuo.

O avanço dos cilindros baixa a plataforma de vidro que exerce força sobre os substratos, o movimento de recuo sobe-a.



Figura 3.4: Cilindro pneumático [13] e correspondente símbolo pneumático.

A válvula utilizada para o controlo dos atuadores pneumáticos é a electroválvula *SMC* SY5120-5 LOU-01FQ, Figura 3.5. Esta é uma electroválvula direcional monoestável, de 5 vias e 2 posições, pilotada e atuação manual auxiliar. Esta válvula tem a capacidade de trabalhar em pressões compreendidas entre os 0,15 e os 0,7 MPa, necessitando de uma pressão mínima uma vez que é pilotada.

De forma a ser possível controlar a força exercida pelos atuadores pneumáticos, foi incluída no sistema pneumático uma válvula pneumática reguladora de pressão proporcional *SMC* ITV2030 – 01FL, Figura 3.6. A válvula permite o controlo da pressão entre 0,005 e 0,5 MPa. A definição do valor da pressão é feita através da alimentação em corrente de uma entrada da mesma entre 4 e 20 mA sendo que a relação entre a corrente fornecida e a pressão tem um ganho linear, segundo a equação 3.1. A válvula tem uma saída em tensão (entre 1 e 5 V DC) que dá o *feedback* da pressão do sistema.

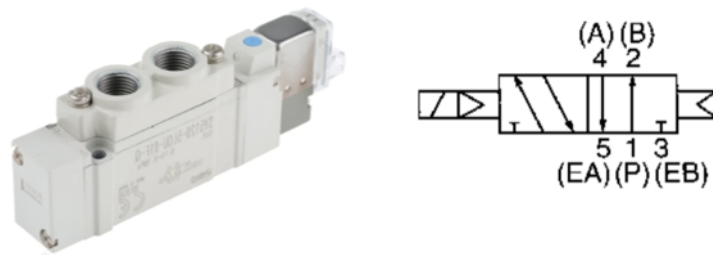


Figura 3.5: Eletroválvula direcional pneumática [13] e correspondente símbolo pneumático.

$$P = 0,025 \times I - 0,1 \quad [\text{MPa}] \quad (3.1)$$

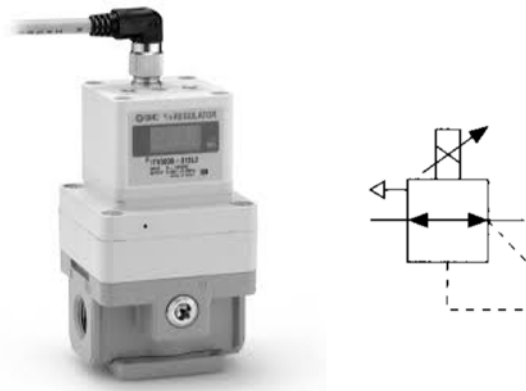


Figura 3.6: Válvula reguladora de pressão proporcional [13] e correspondente símbolo pneumático.

Com o intuito de ter a capacidade de cortar o fornecimento de ar ao sistema pneumático, de reduzir a pressão máxima e filtrar o ar fornecido ao sistema pneumático foi implementada uma válvula *SMC* VHS20 – F01B e um regulador e filtro *SMC* AW20 – F01B – B. A válvula é uma válvula de 3 vias e duas posições com atuação por botoneira rotativa, com encravamento e retorno por mola. A pressão pode ser regulada entre 0 e 0,9 MPa através da válvula reguladora de pressão. O filtro e a válvula reguladora de pressão encontram-se numa versão combinada que inclui também um indicador de pressão como observado na Figura 3.7.

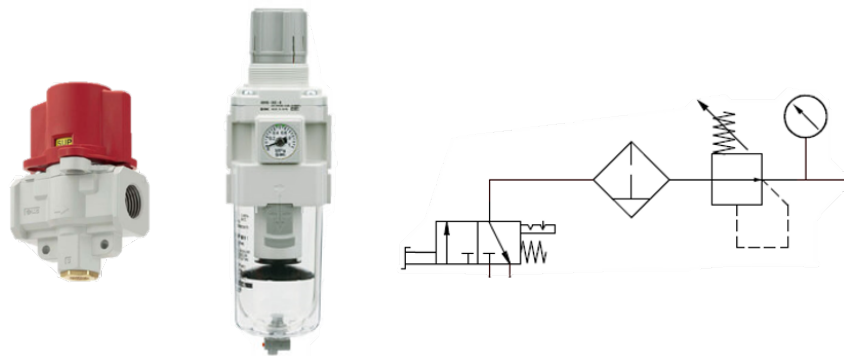


Figura 3.7: Componentes da preparação do ar [13] e respetivos símbolos pneumáticos.

3.3.1 Estrutura para aplicação de força

A aplicação de uma força de compactação não pode ser realizada diretamente pelos cilindros sobre os substratos uma vez que as hastes dos cilindros poderiam criar uma barreira ao laser.

Para o funcionamento dos cilindros não interferir com o processo de selagem estes estão colocados nos extremos da câmara atmosférica. Surge assim a necessidade de desenvolver uma estrutura que consiga aplicar a força dos cilindros na célula fotovoltaica a selar de forma homogênea.

Foi projetada uma estrutura constituída por uma moldura de alumínio, Figura 3.8, que permite fixar no centro um vidro, resistente à temperatura de 4 mm de espessura. O vidro é transparente à radiação laser e ao mesmo tempo resistente o suficiente para exercer a força necessária. A moldura de alumínio é dividida em duas partes que quando aparafusadas devem garantir a estabilidade do vidro. Foi adicionada uma película de *teflon* na zona de contacto da moldura com o vidro para evitar concentração de tensões.

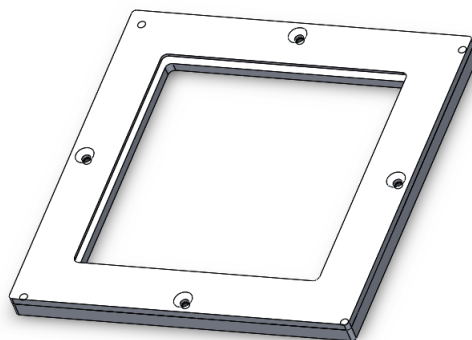


Figura 3.8: Moldura em alumínio que permite a fixação de um vidro.

3.4 Sistema de posicionamento

É necessário alinhar o padrão de frita de vidro nas células com o padrão que o laser irá realizar e movimentar o sistema galvanométrico no sentido de alterar a distância da lente à frita de vidro e de rodar a lente de forma a possibilitar ajustes auxiliares.

Para possibilitar o alinhamento do padrão de frita estão implementados 4 eixos: uma mesa para movimentar a câmara atmosférica em 2 direções (X e Y), um sistema para permitir alterar a focagem (Z) e um sistema para rodar o sistema galvanométrico no plano horizontal (θ), sendo estes representados na Figura 3.9.

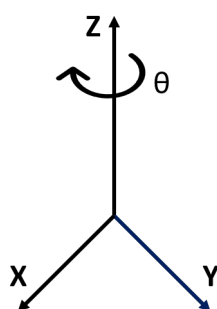


Figura 3.9: Esquema com a representação dos eixos de movimento.

Para realizar os movimentos da câmara atmosférica foi utilizada uma mesa SHT-XY-12-AWM-150-150 da *IGUS*, Figura 3.10, isto é, uma mesa linear com guiamento acionada por fuso com um curso de 150 mm nas direções X e Y. Esta mesa apresenta uma carga máxima de 1600 N, uma temperatura máxima de funcionamento de 250 °C e 2 mm de passo do fuso.

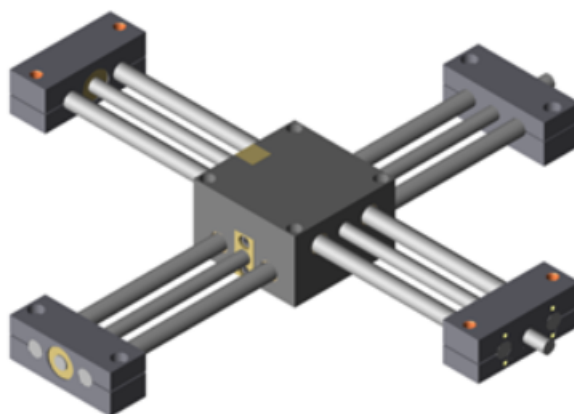


Figura 3.10: Mesa linear *IGUS* SHT-XY-12-AWM-150-150.

Para realizar o movimento vertical da lente foi adquirido um eixo linear SHTC-20-SWM da *IGUS*, Figura 3.11. De forma a ser possível utilizar toda a gama de focagem da lente, este eixo tem um curso de 600 mm, sendo constituído por duas carruagens (uma carruagem motora e uma carruagem solidária) espaçadas por 200 mm de forma a possibilitar fixar uma estrutura para suportar o sistema galvanométrico. Este eixo apresenta uma capacidade máxima de carga de 1600 N axialmente, de 6400 N radialmente e um passo de 4 mm.

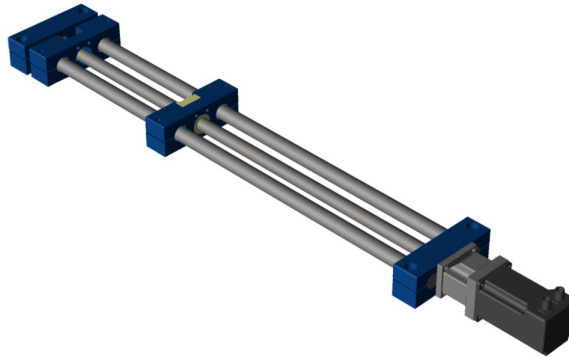


Figura 3.11: Eixo vertical *IGUS* SHTC-20-SWM.

Para permitir rodar o sistema galvanométrico foi implementado um eixo rotativo Robolink RL-D-30-102-50 da *IGUS*, Figura 3.12. Este sistema tem uma capacidade de carga máxima axial de 700 N e uma razão de transmissão de 1:50.

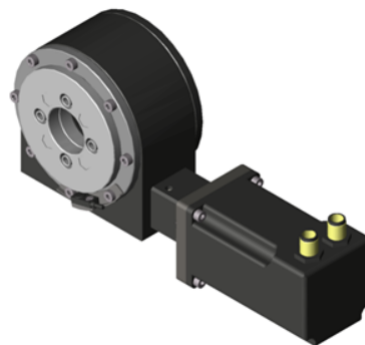


Figura 3.12: Eixo rotativo *IGUS* Robolink RL-D-30-102-50.

O motor utilizado para movimentar os eixos é o MOT-NA-S-060-020-056-M-C-AAAC da *IGUS*. Este motor é um motor passo a passo com codificador incremental, com um binário máximo de 2,0 N.m. Mais informações acerca dos motores, estão expostas no Anexo B.



Figura 3.13: Motor passo a passo *IGUS* MOT-NA-S-060-020-056-M-C-AAAC [14].

O comando dos motores é realizado pelo *Driver D1* da *IGUS*, Figura 3.14. Este controlador permite o controlo da velocidade, aceleração, desaceleração do movimento e posição do eixo. O motor pode ser controlado enviado sinais através das portas lógicas, portas analógicas ou então através de comunicação *Modbus* ou *CanOPEN*. Para além disso, o controlador apresenta um conjunto de entradas e saídas digitais que possibilitam implementar fins de curso, paragens de emergência e diagnosticar o estado do motor.



Figura 3.14: Controlador *IGUS* para os motores passo a passo [14].

3.5 Segurança

3.5.1 Disjuntores

Para ser possível desligar e proteger o circuito elétrico está implementado um disjuntor *Schneider* Acti 9 iC60 A9F78220. Este disjuntor é bipolar e contém proteção térmica e magnética. Tem uma tensão nominal de 20 A e uma curva de disparo do tipo B. Para tornar o circuito mais seguro foram adicionados dois módulos suplementares, um disjuntor diferencial e um de proteção de subtensão. O disjuntor *Schneider* Acti 9 Vigi IC60 A9Q11240 é um disjuntor diferencial com uma corrente nominal de 40 A e uma sensibilidade de fuga à terra de 30 mA. O disjuntor *Schneider* Acti 9 IMN A9A26960 dispara em caso de falha de alimentação assegurando que o sistema não se liga quando voltar a ser alimentado sem ordem do utilizador. Os dois módulos adicionais desativam o sistema ao atuarem mecanicamente o disjuntor bipolar termomagnético. Os módulos encontram-se representados na Figura 3.15.



Figura 3.15: Disjuntor magnetotérmico (centro), disjuntor diferencial (direita) e disjuntor de disparo em caso de subtensão (esquerda)[15].

3.5.2 Botoneira de emergência e baliza de Sinalização

Está implementada também uma botoneira de emergência *Schneider Harmony* XB4BS8445, Figura 3.16a. Esta é uma botoneira de cabeça de cogumelo, com 1 contacto normalmente aberto e um normalmente fechado, com encravamento e desencravamento por rotação. Esta terá a função de interromper o funcionamento da máquina em caso de emergência: desligar o laser, parar os motores, desatuar os cilindros pneumáticos, desligar as resistências e destrancar a porta. Esta capacidade é alcançada comutando um circuito de 24 V ligado a uma entrada do PLC de segurança.

Com o objetivo de informar o utilizador do estado da máquina existe uma baliza de sinalização *Schneider Harmony* XVC1B3K, Figura 3.16b. Esta é constituída por 3 indicadores: verde (indica

que a máquina está pronta a ser utilizada), laranja (indica que a câmara estanque está a uma temperatura elevada, perigosa para o utilizador) e vermelha (indica que o laser está ativo).



Figura 3.16: Componentes de segurança para interação com o utilizador[16].

3.5.3 Controlador e relés de segurança

A máquina incorpora mecanismos perigosos para o utilizador. Para que seja possível desativar todos os sistemas da máquina em caso de emergência ou permitir que estes apenas sejam ativados quando se reúnam as condições necessárias, serão implementados um controlador de segurança e um módulo de relés de segurança. O controlador de segurança modular é constituído pelo módulo principal *SICK Flexi Soft FX3-CPU0* e pelo módulo *I/O SICK Flexi Soft XTIO*, ilustrados na Figura 3.17. Estes permitem associar uma lógica de funcionamento ao sistema de segurança da máquina. O controlador será responsável por permitir a abertura da porta e por atuar um módulo de relés de segurança *SICK UE10-30S*. Este último módulo permite a desativação do laser, desativa as resistências, desativa o sistema pneumático e interrompe o funcionamento do sistema de posicionamento, em caso de emergência.



Figura 3.17: Controlador de segurança modular da gama *SICK Flexi Soft* [17].

3.5.4 Bloqueio da porta

A máquina possui um laser de classe 4 que é perigoso para o utilizador. Para evitar acidentes é necessária a implementação de medidas e dispositivos de segurança. O *interlock SICK i14 LOCK*, da Figura 3.18, é um desses dispositivos: permite que o laser só seja operado com a porta fechada, mantendo-a trancada durante o funcionamento da máquina. Este modelo inclui 3 contactos (2 NA e 1 NF), comutados através do fecho da porta. Se não estiver a ser fornecida corrente à bobina do *interlock* a porta mantém-se trancada.



Figura 3.18: *Interlock SICK i14 LOCK* [17].

3.6 Controlo

O controlo da válvula reguladora de pressão proporcional, da eletroválvula direcional, da baliza de sinalização, bem como, a comunicação com o controlador de segurança levam à necessidade de incorporar um controlador na máquina.

As opções analisadas foram: uma placa de desenvolvimento, um controlador lógico programável (PLC) e uma placa de aquisição de dados (DAQ).

Na escolha do controlador foi considerado o seu custo, o número e características (analógicas ou digitais, resolução, tensão e corrente nominais) das interfaces adequadas aos componentes do sistema e a facilidade de desenvolver uma interface simples e facilmente customizável.

A Tabela 3.1 apresenta as entradas e saídas, analógicas e digitais, que o controlador deverá ter.

Uma placa de desenvolvimento é uma aplicação de baixo custo e de fácil implementação. O seu funcionamento modular permite elevada flexibilidade e adaptabilidade aos requisitos do sistema. No entanto, não é suficientemente robusto para a fiabilidade pretendida.

Tabela 3.1: Lista das entradas e saídas necessárias para o controlador.

	Tipo	Descrição
Inputs	Analógica 1-5 [V DC]	<i>Feedaback</i> da pressão do sistema pneumático
	Digital 24 [V DC]	Indicação do estado da botoneira de emergência
Outputs	Analógica 4-20 [mA]	Definir a pressão no sistema pneumático
	Digital 24 [V DC]	Dá indicação de que o sistema está pronto a ser utilizado
	Digital 24 [V DC]	Destrancar a porta
	Digital 24 [V DC]	Ligar a luz laranja
	Digital 24 [V DC]	Ligar a luz vermelha
	Digital 24 [V DC]	Ligar a luz verde
	Digital 24 [V DC]	Ativar a eletroválvula pneumática

A utilização de um PLC é uma solução comum a nível industrial uma vez que é robusta e incorporam diversas capacidades para o controlo automático. Das opções analisadas é aquela que implica um maior custo, sendo necessário acrescentar módulos de expansão com capacidade analógica aos modelos de custo compatível, bem como adicionar um modulo de expansão I/O.

Desta forma, foi escolhido o módulo de aquisição de dados NI USB-6001, da *National Instruments*, Figura 3.19, por ser de baixo custo e simples implementação. Utiliza o *LabVIEW*, um software bastante utilizado dentro da comunidade científica e conhecido entre os utilizadores alvo deste equipamento que permite um compromisso de flexibilidade e durabilidade adequado para o ambiente científico em que será aplicado. A DAQ escolhida apresenta um conjunto de entradas analógicas diferenciais, saídas analógicas, e um conjunto de portas digitais que podem ser configuradas como entradas ou saídas.



Figura 3.19: Módulo de aquisição de dados NI USB-6001 [18].

No entanto, as portas digitais não têm a capacidade de trabalhar na gama de tensões em que funcionam alguns dos componentes que deve controlar, uma vez que a tensão nominal das saídas e entradas digitais da DAQ é de 5 V DC enquanto que os componentes que controla são de 24 V DC. Surge assim a necessidade de integrar um módulo de relés cuja tensão de nominal das bobinas seja

de 5 V DC e cuja corrente necessária seja compatível com a DAQ. Os relés quando atuados vão fechar um circuito de 24 V e atuar o componente a que estão ligados.

Foi escolhida uma placa *VELLEMAN* VMA436 que incorpora 8 relés, Figura 3.20. Estes relés tem uma tensão de atuação compreendida entre 5 e 12 V e uma corrente de comutação entre 5 e 25 mA. A tensão e corrente máximas nos contactos são de 10 A a 230 V AC ou de 10 A a 30 V DC.



Figura 3.20: Módulo de 8 Relés *VELLEMAN* VMA436.

O controlador deverá ter uma saída em corrente que satisfaça o intervalo 4 – 20 mA com o objetivo de controlar a válvula reguladora de pressão. Os controladores com esta capacidade apresentam um custo elevado e, desta forma, a solução escolhida foi um conversor de sinal LCIS-WP-WUAA-0517-175-S da *RS PRO*, Figura 3.21. Este conversor de sinal irá converter o sinal em tensão de 0 – 5 V DC num sinal em corrente de 4 – 20 mA.



Figura 3.21: Conversor de sinal LCIS-WP-WUAA-0517-175-S.

3.6.1 Seletores Rotativos

Existem 2 seletores rotativos *Schneider Harmony* XB4BK125M5, Figura 3.22, presentes no painel frontal da máquina. Cada um destes seletores rotativos laranja iluminados possui um contacto normalmente aberto (NO) e um normalmente fechado (NF). A função desta é ligar uma luz presente na câmara estanque e iluminar o espaço de trabalho da máquina com o intuito de facilitar a análise do processo de selagem.

É necessário acrescentar mais dois seletores rotativos iluminados, um com uma tensão nominal de 230 V AC e outro com uma tensão nominal de 24 V DC. O seletor rotativo de 24 V DC será verde e liga os componentes alimentados com uma tensão de 24 V, à exceção do controlador de segurança que deverá manter-se ligado, e liga os componentes alimentados com uma tensão de 5 V. O seletor rotativo de 230 V AC será vermelho e liga o controlador de temperatura. A corrente máxima que estes terão de suportar é de 8,23 A no de 24 V DC e de 0,03 A no de 230 V AC, como se verifica na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3. Desta forma, os seletores escolhidos são os seletores *Schneider Harmony* XB4BK123B5 e XB4BK124M5.

Tabela 3.2: Requisitos energéticos da botoneira de 24 V.

Componente	Corrente [A]	Potência [W]
<i>Interlock</i>	0,29	7,00
Válvula reguladora de pressão	0,12	2,88
Eletroválvula pneumática	0,02	0,40
Luz da botoneira	0,02	0,43
Baliza de sinalização	0,30	21,60
<i>Drivers</i> dos motores	6,80	163,20
Conversor de sinal	0,08	2,00
Total	7,63	197,51

Tabela 3.3: Requisitos energéticos da botoneira de 230 V.

Componente	Corrente [A]	Potência [W]
Controlador de temperatura	0,02	4
Luz da botoneira	0,014	3,22
Total	0,03	7,22

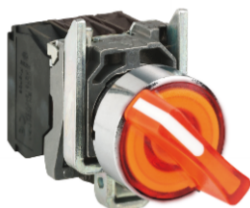


Figura 3.22: Seletor Rotativo iluminado *Schneider* [16].

3.7 Alimentação

A máquina incorpora componentes cujas tensões nominais são diferentes. Existe conjunto de componentes que são alimentados a 230V em corrente alternada enquanto outros serão alimentados a 24 V ou 5 V em corrente contínua.

Já estava adquirida para a máquina uma fonte de alimentação *MeanWELL* NDR-482-24, Figura 3.23. Esta é uma fonte de alimentação comutada de 24 V DC com uma potência máxima de 480 W para montagem em calha DIN.



Figura 3.23: Fonte de alimentação 24 V DC [19].

Todos os componentes eletrônicos alimentados a 24 V DC prefazem uma potência máxima de 303 W, sendo na Tabela 3.4 listados os requisitos energéticos dos componentes de 24V.

Tabela 3.4: Requisitos energéticos da fonte de alimentação de 24 V DC

Componente	Corrente [A]	Potência [W]
<i>Interlock</i>	0.29	7.00
Valvula reguladora de pressão	0.12	2.88
Eletroválvula direcional	0.02	0.40
Luz da botoneira	0.02	0.43
Controlador de segurança	5.00	120.00
Baliza de sinalização	0.30	7.20
<i>Drivers</i> dos motores	6.80	163.20
Conversor de sinal	0.08	2.00
Total	12.63	303.11

Na tabela foi considerado que no máximo podem estar 2 motores a funcionar em simultâneo, uma vez que será programado tendo isto em conta.

O sistema apresenta também componentes com uma tensão nominal de 5 V DC. Assim, foi adicionada uma fonte de 5 V DC. À semelhança da fonte de alimentação anterior é necessário realizar um levantamento dos requisitos energéticos dos componentes a ser alimentados, descritos na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Requisitos energéticos da fonte de alimentação de 5 V DC

Componente	Corrente [A]	Potência [W]
Switch	0,60	3,00
Relés	0,20	1,00
Total	0,80	4,00

Com base na informação obtida foi escolhida a fonte de alimentação *MeanWELL* HDR-15-12, Figura 3.24. Esta é uma fonte de alimentação de 5 V DC com uma potência máxima de 12 W para montagem em calha DIN.



Figura 3.24: Fonte de alimentação 5 V DC [19].

3.8 Aquisição de imagens

O utilizador não deve ter contacto direto com a radiação laser utilizada no processo de selagem, pelo que foi necessário adquirir uma câmara de vídeo (*webcam*) para observar o funcionamento da máquina.

Foi escolhida uma câmara *Logitech c920*. A escolha da câmara utilizada baseou-se no facto de ser uma solução comercial de baixo custo, cuja resolução de 1080p a 30fps é suficiente para a aplicação de alinhamento, não se justificando o investimento numa câmara de gama industrial.



Figura 3.25: Câmara de vídeo *Logitech C920*.

3.9 Alteração de peças existentes

Originalmente, a máquina foi dimensionada para 150 °C. Como, no entanto, foram desenvolvidos novos métodos de selagem, com diferentes materiais envolvidos, esta especificação foi alterada para 200 °C.

O controlador de temperatura adquirido, bem como a mesa linear são compatíveis com a nova temperatura máxima pretendida. No entanto, os cilindros pneumáticos não, estes apresentam uma temperatura máxima de trabalho de 150 °C.

Para tal, foi necessário realizar alterações à câmara estanque existente. O componente C representado na Figura 3.2 era originalmente construído em alumínio, tendo sido substituído por uma peça igual, mas em *teflon*. Foi utilizado este material pois apresenta um valor de condutividade térmica muito inferior ao do alumínio.

Capítulo 4

Montagem

Com o objetivo de que a máquina em questão tenha uma estrutura modular foram utilizados perfis de alumínio da *Bosch Rexroth* com 40×40 mm.

Para fazer uma previsão das alterações a fazer nas dimensões da máquina e do local onde devem ser montados os vários componentes, procedeu-se à modelação 3D da máquina recorrendo ao *software SOLIDWORKS*. A modelação obtida está representada na Figura 4.1.

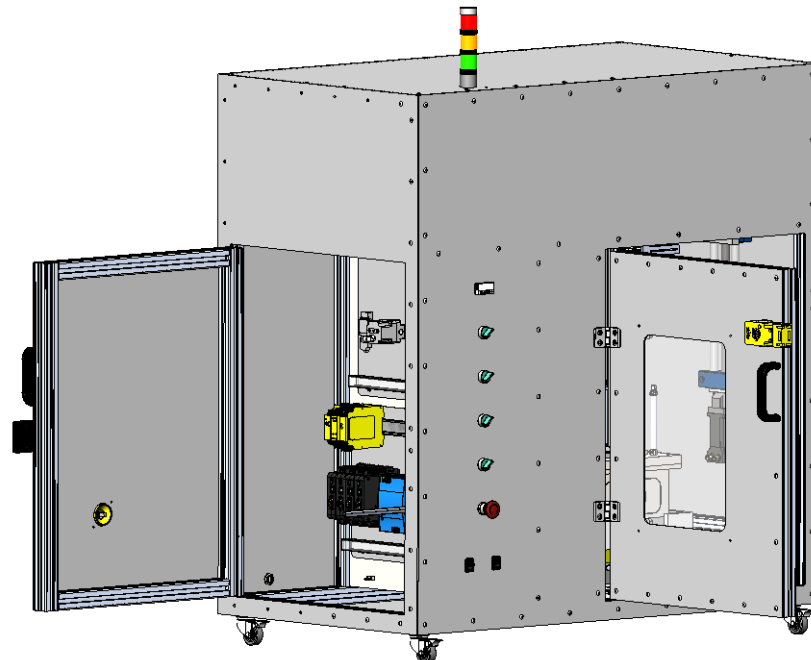


Figura 4.1: Modelação 3D da máquina recorrendo ao *SOLIDWORKS*.

Neste capítulo é apresentada estrutura da máquina bem como a justificação das escolhas adotadas.

Montagem

Inicialmente foi montada uma estrutura com 1200 mm de comprimento, 680 mm de largura e 1200 mm de altura, com os perfis de alumínio descritos anteriormente para servir de estrutura base para a montagem da máquina. Na parte frontal da máquina foi posicionada uma porta com $790 \times 590 \text{ mm}^2$ para permitir o acesso à zona de trabalho e na parte lateral foi montada outra porta com as mesmas dimensões, para permitir o acesso ao quadro elétrico.

4.1 Sistema de posicionamento e isolamento térmico

A mesa linear foi montada na área de trabalho numa posição que permitisse o seu funcionamento sem que esta colidisse com os equipamentos ao seu redor. Numa das extremidades dos eixos lineares foram montados sensores fim de curso, Figura 4.2, que permitem calibrar o zero absoluto do eixo.

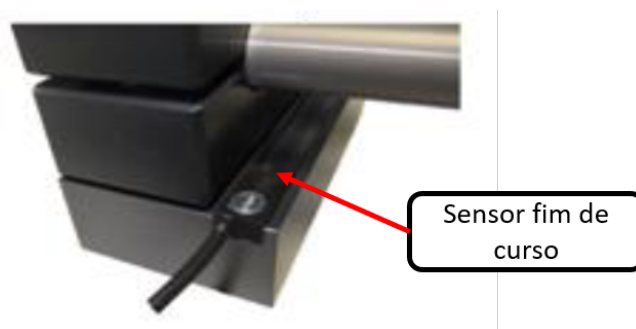


Figura 4.2: Montagem do sensor fim de curso no eixo linear.

A variação térmica da câmara estanque é incompatível com a utilização de parafusos, uma vez que a rosca seria danificada devido às variações de temperatura. O facto de a câmara estanque apresentar uma massa de cerca de 20 kg e de as velocidades utilizadas serem reduzidas, leva a que estando simplesmente pousada a sua posição sobre a mesa linear seja mantida. Foi então projetada uma plataforma fixa à mesa linear, através de 4 parafusos, na qual será apoiada a câmara atmosférica.

O prato quente da câmara atmosférica deverá funcionar a uma temperatura máxima de 200°C , temperatura máxima projetada para a máquina. A mesa linear tem capacidade de suportar temperaturas máximas de 250°C , no entanto, os motores não devem funcionar a temperaturas superiores a 50°C . Foram realizados testes de temperatura em que se aqueceu o prato quente a temperaturas sucessivamente maiores e se mediu a temperatura nos motores e nos eixos da mesa linear, utilizando um sistema de aquisição de dados e termopares. Verificou-se então que para temperaturas de 85°C os motores ficavam à sua temperatura máxima de funcionamento. Foi então dimensionada uma camada de isolamento entre a câmara atmosférica e a chapa que a suporta. O isolamento foi dimensionado para que a temperatura da chapa de alumínio não ultrapasse os 50°C .

Por baixo da câmara estanque existe uma estrutura em *teflon* cuja função é diminuir a transferência de calor por condução. A escolha do *teflon* baseia-se no facto de este ser um polímero de elevada estabilidade térmica a temperaturas elevadas, ser um material rígido, maquinável e com baixa condutividade térmica. A estrutura em *teflon* tem 300 mm de comprimento, 300 mm de largura e 35 mm de espessura. No entanto, esta revela-se insuficiente para realizar o isolamento necessário. Foram consideradas duas hipóteses, aumentar a espessura da estrutura de *teflon* ou adicionar uma camada de lã de rocha.

Tendo por base os princípios apresentados anteriormente, foi realizado o estudo de possíveis isolantes e da espessura necessária para cumprir os requisitos.

A resistência térmica de condução é dada pela equação 4.1 e a resistência térmica de convecção é dada pela equação 4.2 [20]. A resistência térmica de condução depende da espessura - e , da condutividade térmica do material - k e da área - A . Enquanto, a resistência térmica de convecção depende do coeficiente convectivo - h e da área - A .

$$R_{\text{condução}} = \frac{e}{k \times A} \quad [\text{K/W}] \quad (4.1)$$

$$R_{\text{convecção}} = \frac{1}{h \times A} \quad [\text{K/W}] \quad (4.2)$$

Verifica-se pelo esquema representado na Figura 4.3 que as resistências estão em série. Foi utilizada a Lei de Fourier, equação 4.3 para calcular a resistência equivalente do sistema.

$$R_{\text{equivalente}} = \sum_i R_i \quad [\text{K/W}] \quad (4.3)$$

Sabe-se então que a potência calorífica é dada pela equação 4.4.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \quad [\text{W}] \quad (4.4)$$

Na Tabela 4.1 encontram-se listadas as informações relativamente aos materiais considerados no estudo a realizar e as condições existentes.

Utilizando a equação 4.4 e tendo como objetivo determinar um isolamento para que T_4 não ultrapasse 50 °C, obtêm-se as equações 4.5 e 4.6 que representam o calor equivalente do sistema

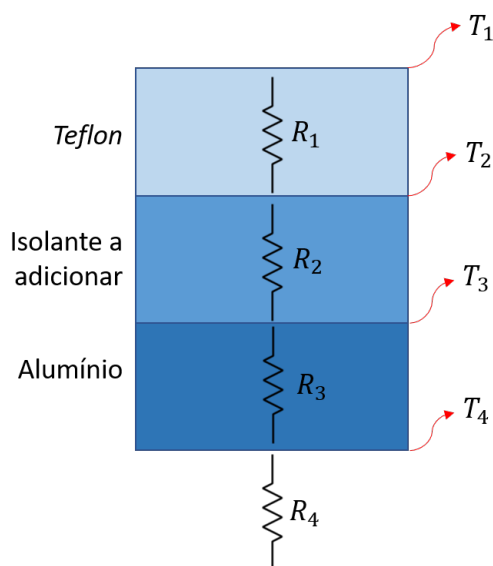


Figura 4.3: Esquema da transferência de calor entre a câmara estanque e a mesa linear.

e o calor transferido por condução, respetivamente.

$$\dot{Q}_{equivalente} = \frac{25 - 200}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (4.5)$$

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 3} = \frac{50 - 200}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4.6)$$

Considerando que a potência calorífica que atravessa qualquer corpo é igual à potência calorífica equivalente. Igualando o calor transferido entre o corpo 1 e 3 ao calor equivalente obtém-se a equação 4.7.

$$\frac{25 - 200}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{50 - 200}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4.7)$$

Desenvolvendo a equação 4.7 e substituindo R_2 pelas suas parcelas, obtém-se a equação 4.8 que permite obter o valor da espessura necessária para as condições descritas em função da condutividade térmica do material em questão.

$$e_{isolante} = (6 \times R_4 - R_1 - R_3) \times k \times A \quad (4.8)$$

Substituindo k pela condutividade térmica do *teflon* e da lã de rocha obtém-se que no caso do *teflon* é necessário adicionar 115 mm de material enquanto que caso se utilize Lã de Rocha é necessário adicionar 16,1 mm de material. Seria inviável adicionar 115 mm de material uma vez

Tabela 4.1: Dados dos materiais e do sistema para cálculo da espessura de isolamento.

Área	0,09	[m ²]
Condutividade térmica do teflon	0,25	[W/(m.K)]
Condutividade térmica da lã de rocha	0,035	[W/(m.K)]
Condutividade térmica do alumínio	238	[W/(m.K)]
Coeficiente convectivo do ar (25 °C)	10	[W/(m ² .K)]
Temperatura do prato quente	200	[°C]
Espessura da placa de teflon	35	[mm]
Temperatura ambiente	25	[°C]

que aumentaria excessivamente a altura da câmara atmosférica, sendo então escolhido adicionar lã de rocha.

Tendo em conta a disponibilidade deste material, foi escolhida uma placa de lã de rocha comercial de espessura 30 mm.

Depois de montada a mesa linear, as camadas de isolamento e a câmara atmosférica, como exposto na Figura 4.4, realizou-se a montagem do eixo linear vertical. No extremo superior deste eixo foi montado ainda um sensor fim de curso.

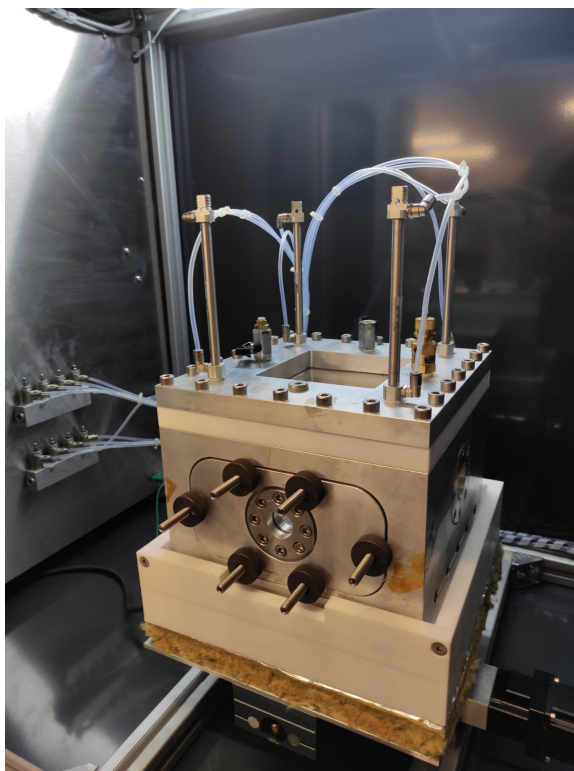


Figura 4.4: Mesa linear e câmara atmosférica montadas.

A estrutura é composta por um conjunto de peças em alumínio: i) adaptador de rotação-sistema galvanométrico/câmara de vídeo (Figura 4.5 a); ii) adaptador eixo vertical - rotação (Fi-

Montagem

gura 4.5 a). A peça i) centra e fixa o sistema galvanométrico ao sistema de rotação, cujo centro deve coincidir com o centro da mesa linear. Para isso e para acomodar alterações na estrutura, a peça ii) foi alterada, tornando-a mais comprida.

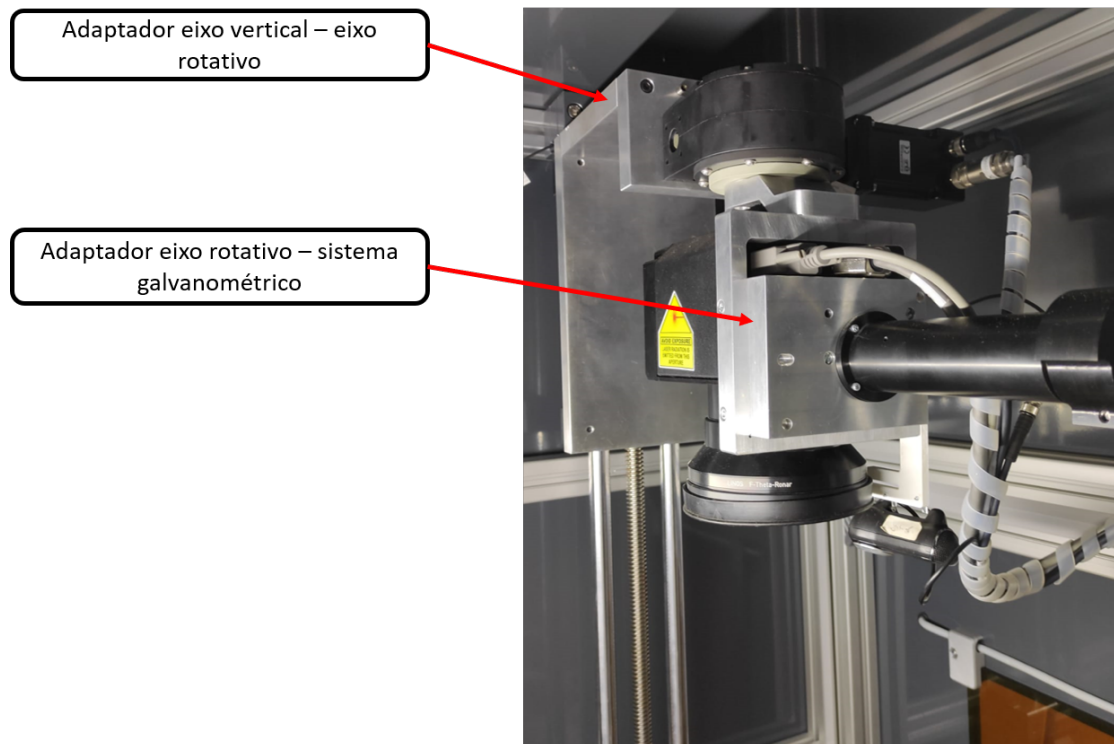


Figura 4.5: Eixo vertical, eixo rotativo e respectivas peças de ligação.

4.2 Sistema pneumático

O esquema pneumático projetado encontra-se representado no Anexo G.

Os cilindros pneumáticos foram montados nos furos roscados existentes na câmara atmosférica e a ligação foi vedada utilizando *teflon*. Nos cilindros pneumáticos foram montados engates rápidos para tubo de 4 mm. Os tubos utilizados aguentam temperaturas até 150°C.

Foram montados dois distribuidores de ar na chapa que separa o quadro elétrico da zona de trabalho. Os distribuidores permitem conectar as ligações A e B da eletroválvula direcional pneumática aos cilindros. Na ligação dos distribuidores aos cilindros foram incorporados estranguladores pneumáticos unidirecionais. Estes foram ajustados para que os cilindros avancem e recuem todos à mesma velocidade. Sendo o avanço lento e suave para não partir os substratos.

A electroválvula pneumática e a válvula reguladora de pressão foram colocadas na zona do quadro elétrico, acessíveis pela porta lateral. Estas foram colocadas nesta zona de forma a facilitar as conexões elétricas que requerem.

A válvula reguladora de pressão proporcional define a pressão nos cilindros. Esta válvula tem a capacidade de controlar a pressão entre os 0 e os 0,5 MPa (0- 5 bar). Para a área das células a selar foi considerada que a força máxima a utilizar será de 80 N, no entanto, caso necessário, esta pode ser aumentada até 100 N. Tendo por base este valor foi calculada a pressão máxima que a válvula deverá fornecer ao sistema.

Sabe-se que o diâmetro da haste dos cilindros é de 8 mm sendo assim a área é de 50,27 mm². Para o cálculo da pressão do sistema tem de ser considerada a força exercida por todos os cilindros, ou seja, a área a considerar deverá ser a área dos 4 cilindros em conjunto.

Sabe-se que a pressão corresponde à força por unidade de área, como representado na equação 4.9.

$$P = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}] \quad (4.9)$$

Substituindo a força pelos 80 N pretendidos e a área pela área dos 4 cilindros obtém-se uma pressão de 400000 Pa ou 0,4 MPa. Utilizando o valor obtido configurou-se a válvula reguladora de pressão para que controle a pressão entre 0 e 0,4 MPa. A pressão será dada em função da corrente fornecida.

A unidade de preparação do ar foi montada no exterior da porta lateral da máquina. Esta foi colocada numa posição de fácil acesso e que permite ao utilizador despressurizar o sistema caso seja necessário. A pressão de entrada foi limitada pela válvula limitadora de pressão, para um máximo de 0,6 MPa.

A estrutura de aplicação da força (Figura 3.8) foi montada no interior da câmara atmosférica sendo roscada nas hastes dos cilindros. Na Figura 4.6 é representado, em corte, a forma como é aplicada a força dos cilindros pneumáticos nos substratos.

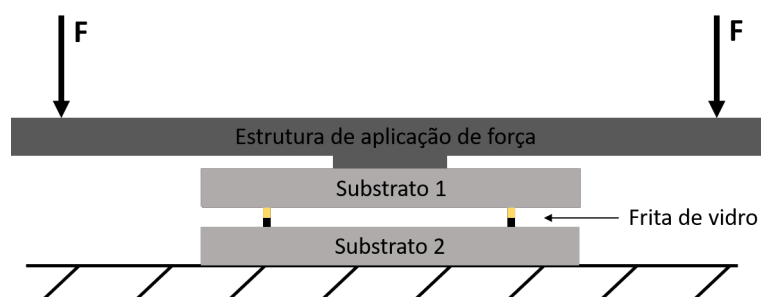


Figura 4.6: Esquema de aplicação de força nos substratos.

4.3 Quadro elétrico e painel frontal

O quadro elétrico foi montado no interior da máquina. Foram fixados 2 perfis de alumínio na vertical para suportar uma chapa de aço que separa a zona onde é realizada a selagem do quadro elétrico e que ao mesmo tempo serve de suporte aos vários componentes do quadro elétrico.

Antes de proceder à montagem do quadro elétrico, foi projetado um circuito elétrico para a máquina, no Anexo C, no qual estão representadas todas as ligações existentes entre os componentes. Para o desenvolvimento do mesmo foram tidas em conta as interações necessárias representadas no esquema de arquitetura da máquina, Figura 3.1, e os aspetos de segurança e de funcionalidade do sistema.

Para a alimentação das resistências e do controlador de temperatura, foram adicionados fusíveis para cada um destes componentes dimensionados de acordo com as recomendações dos fabricantes. O controlo da iluminação é realizado por intermédio de dois seletores rotativos (laranjas) e a alimentação do controlador de temperatura por intermédio de outro seletor rotativo (vermelho).

O controlador de segurança deve manter-se ativo sempre que a máquina tenha corrente e, desta forma deve estar diretamente ligado à fonte de alimentação 24 V DC. A alimentação dos restantes componentes 24 V DC é controlada por um seletor rotativo verde presente no painel frontal. Ao seletor rotativo verde, foi adicionado um contacto NA que permite que este controle a alimentação dos componentes com uma tensão nominal de 5 V DC.

A botoneira de emergência dá um sinal de 24 V DC ao controlador de segurança quando desatuada. Os relés são responsáveis por comutar circuitos 24 V DC comandados pelo módulo de aquisição, NI USB-6001. Os relés possibilitam a atuação: das luzes da baliza de sinalização, de duas entradas digitais do controlador de segurança (para destrancar a porta e para dar informação de que o programa *LabVIEW* foi iniciado), da electroválvula pneumática e do laser.

Uma das saídas do PLC de segurança é responsável por destrancar a porta e outras duas responsáveis por atuar os relés de segurança.

O esquema de contactos do relé de segurança encontra-se representado na Figura 4.8 e, é fundamental para perceber as ligações realizadas a este. Nos relés de segurança, nas ligações 13-14, 23-24, 33-34 encontram-se ligados, em série, os circuitos que atuam, respetivamente, a electroválvula pneumática, o laser e o relé que liga as resistências. A ligação Y1-Y2 estabelece o controlo de uma porta digital dos *drivers* que controlam os motores. Quando atuada, os motores são desativados. Para que a DAQ receba informação de que a botoneira de emergência foi atuada estabeleceu-se a ligação segundo o esquema da Figura 4.7, em que terminais 41-42 do relé de segurança tem a função do interruptor representado.

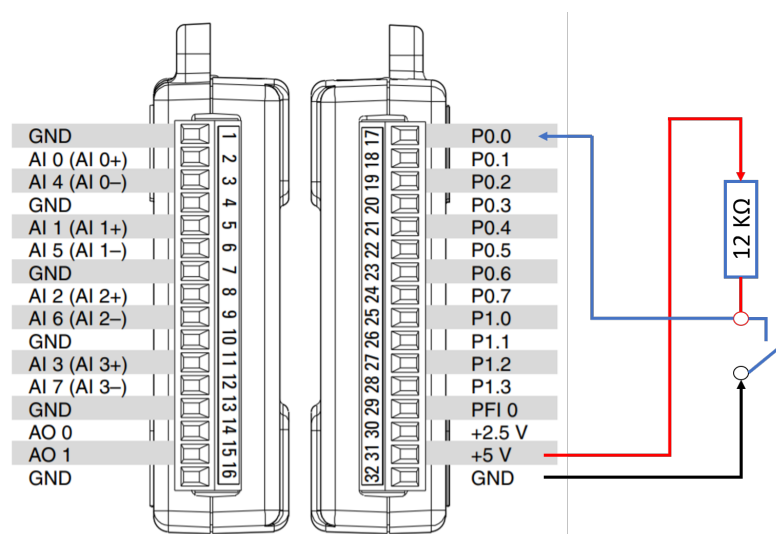


Figura 4.7: Esquema de ligação de um interruptor a uma DAQ.

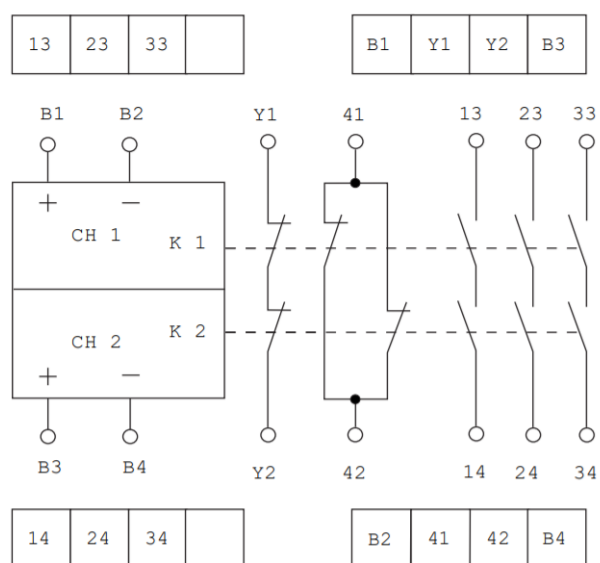


Figura 4.8: Esquema de contactos do relé de segurança *SICK* UE10-30S.

Uma das saídas analógicas da DAQ foi ligada ao conversor de sinal, sendo este sinal compreendido entre 0 e 5 V DC. As ligações do conversor de sinal foram estabelecidas segundo as indicações do fornecedor, sendo representadas na Figura 4.9. A saída do conversor de sinal, por sua vez, foi ligada à entrada da válvula reguladora de pressão proporcional que define a pressão do sistema. O conversor de sinal foi configurado através de um conjunto de micro *switches* para converter um sinal de 0 – 5 V DC de entrada num sinal de saída de 4 – 20 mA.

No esquema elétrico não estão representadas as ligações Ethernet, nem USB.

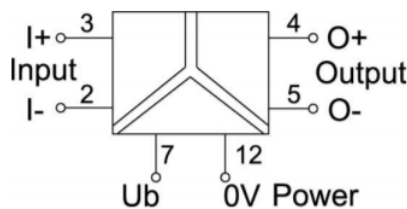


Figura 4.9: Esquema de contactos do conversor de sinal.

O controlador de temperatura *OMEGA* controla a temperatura do prato quente durante o processo de selagem. O valor da temperatura objetivo pode ser definido utilizando o seu painel de controlo, fornecendo um valor de referência analógico ou ligado a um computador por porta série. Para ser ligado ao computador pela porta micro-USB. A comunicação do controlador de temperatura com o computador realiza-se através de Modbus RTU. Este consiste num protocolo de comunicação em série do tipo mestre-escravo. Nesta comunicação o dispositivo mestre inicia um pedido e aguarda até receber uma resposta do dispositivo escravo.

Para que a comunicação se realize, é necessário que os dois dispositivos estejam configurados de forma coerente, para tal é necessário que o endereço do escravo esteja definido, o *baud rate*, o número de bits, a paridade e os *stop bits* apresentem a mesma configuração.

Ao controlador foi ligado também um relé de estado sólido, que liga e desliga as resistências e, um termopar do tipo K.

Depois de realizadas as ligações necessárias, foi utilizado o programa *Platinum Monitor*, fornecido pela *Omega*, para configurar o controlador de temperatura. Nesta configuração foi definida a temperatura máxima, o estado do controlador quando é ligado e, por fim, foi realizado um *auto-tune* do PID.

Foi montado no quadro elétrico um HUB-USB, para permitir a ligação da câmara, da DAQ e do controlador de temperatura ao computador.

Os *drivers* dos motores permitem o controlo do movimento realizado pelos motores. Os motores são controlados remotamente através do LabVIEW, usando uma comunicação ModBus TCP/IP sobre ethernet. Os *drivers* apresentam um endereço IP que permite a configuração através do *software* nativo acessível por um *browser* de *internet*.

A ligação dos motores aos drivers é feita por 2 cabos, um faz o acionamento do motor passo a passo e outro fornece o *feedback*. A ligação dos cabos do motor e dos sensores fim de curso ao driver foi realizado segundo a informação cedida pelo fornecedor dos motores e *drivers*. Mais informação pode ser consultada no Anexo A.

Cada *driver* foi configurado através do *browser*. Na configuração dos motores foi definido o

tipo de motores utilizado, o curso dos eixos lineares que movimenta, o passo do motor utilizado, o passo do fuso, o número e tipo de sensores fim de curso utilizados e o local onde estes se encontram (extremidade positiva ou negativa dos eixos).

Foi também necessário definir um endereço IP fixo, o número de porta e o número de dispositivo para cada *driver* e selecionar que estes serão controlados via Modbus. As configurações realizadas para os motores podem ser consultadas no Anexo E.

No quadro elétrico estão presentes todos os componentes eletrónicos necessários ao controlo do funcionamento da máquina enquanto que no painel frontal foram colocados os botões e o *display* de temperatura. A posição que os diversos componentes ocupam no quadro elétrico e no painel frontal foram planeadas de forma intuitiva e funcional para o utilizador.

Na Figura 4.10 e Figura 4.11 encontram-se enumerados os componentes do quadro elétrico e do painel de comando. Sendo os componentes do quadro elétrico legendados de seguida.

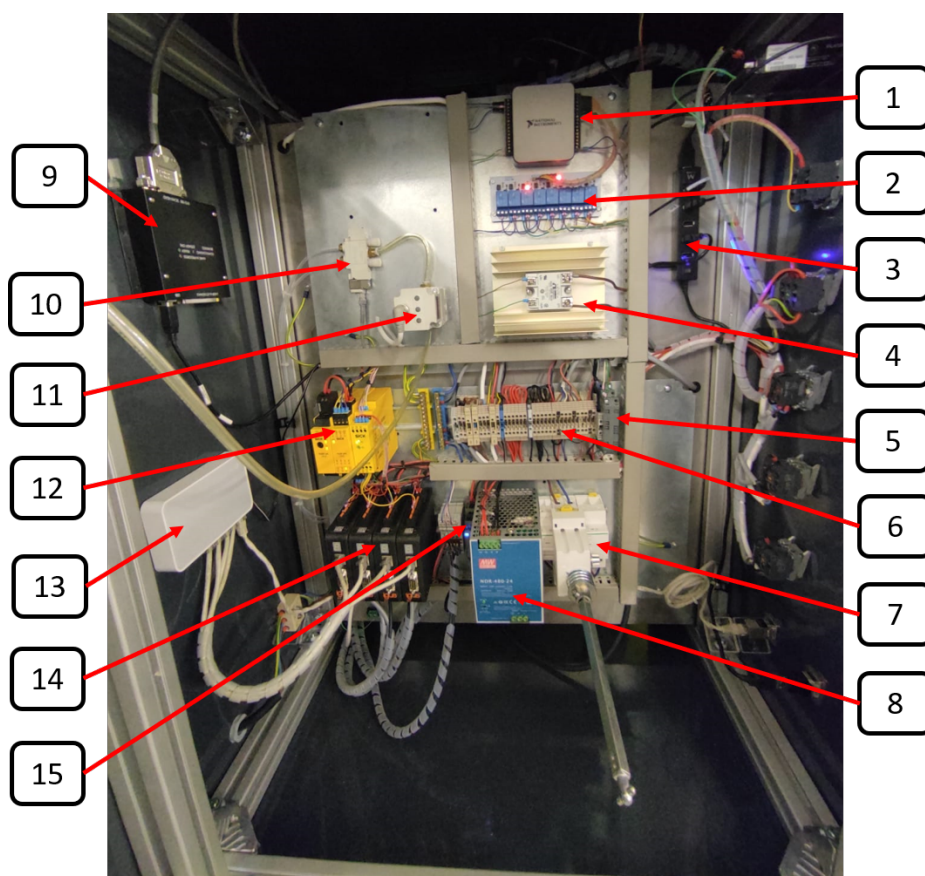


Figura 4.10: Quadro elétrico.

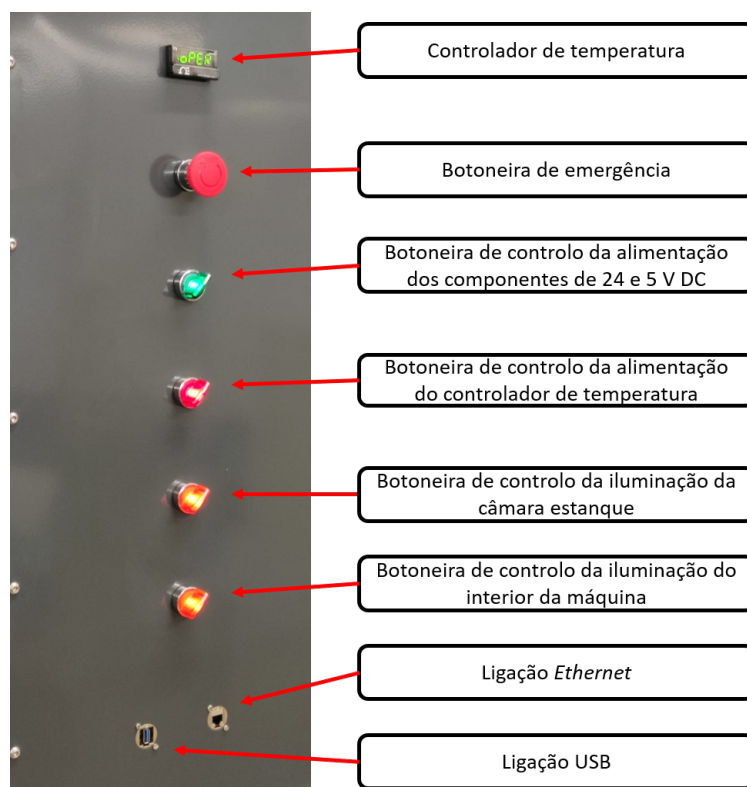


Figura 4.11: Painel de controlo.

1. NI DAQ USB-6001;
2. Relés;
3. Hub USB;
4. Relé de estado sólido;
5. Conversor de sinal;
6. Bornes de ligação e fusíveis;
7. Disjuntor e módulos adicionais de proteção;
8. Fonte de alimentação de 24 V DC;
9. Controlador do sistema galvanométrico;
10. Eletroválvula direcional pneumática;
11. Válvula reguladora de pressão proporcional;
12. Controlador de segurança;
13. Switch;
14. Drivers dos motores;
15. Fonte de alimentação de 5 V DC.

4.4 Resultado da montagem

Finalizada a montagem dos diversos sistemas e respetivos componentes que os constituem. Foram montadas chapas lacadas para isolar o interior do exterior, e montado um vidro com proteção adequada para a radiação utilizada para permitir a visualização do interior da máquina. Por fim, foram montadas rodas na base da máquina para facilitar a sua movimentação. Na Figura 4.12 está exposta a máquina montada que passará a designar-se de *Laserbox 4.0*.



Figura 4.12: *Laserbox 4.0*.

Montagem

Capítulo 5

Programação

Para controlar os vários sistemas da máquina foi necessário desenvolver um programa e uma interface em *LabVIEW*. Foi também desenvolvido um programa para o controlador de segurança.

Este capítulo será focado na explicação do funcionamento da máquina e na programação implementada para alcançar esse objetivo.

5.1 Programação do controlador de segurança

Para programar o PLC de segurança foi utilizado o programa *Flexi Soft Designer* fornecido pela *SICK*. Este programa permite a monitorização do controlador de segurança bem como a programação do mesmo.

O PLC de segurança incorpora um módulo I/O com entradas e saídas digitais. A Tabela 5.1 lista as entradas digitais do módulo de expansão.

Tabela 5.1: Entradas e saídas digitais do controlador de segurança.

	Nome	Descrição
INPUTS	I1	Sinal da botoneira de emergência
	I2	Sinal de que o programa em <i>LabVIEW</i> está operacional
	I3	Sinal para desbloquear a porta
OUTPUTS	Q2	Atua o <i>interlock</i> que desbloqueia a porta
	Q3	Atua o relé de segurança K1
	Q4	Atua o relé de segurança K2

Antes de se realizar a programação, foram definidos alguns aspetos fundamentais, tais aspetos são:

- A atuação da botoneira de emergência deve desativar os vários sistemas da máquina e des-trancar a porta;
- O não funcionamento da DAQ desencadeia um comportamento semelhante ao da botoneira de emergência;
- O destrancamento da porta deve ter um atraso de 2 segundos.

Tendo por base os requisitos listados obteve-se as seguintes equações lógicas:

$$Q2 = \overline{I1} + I3 \quad (5.1)$$

$$Q3 = I1 \quad (5.2)$$

$$Q4 = I1 \cdot I2 \quad (5.3)$$

De notar que nas equações anteriores não se encontra implementada a condição de atraso especificada para o desbloqueio da porta. A lógica pretendida foi implementada utilizando um diagrama de blocos, sendo o resultado da sua implementação representado na Figura 5.1

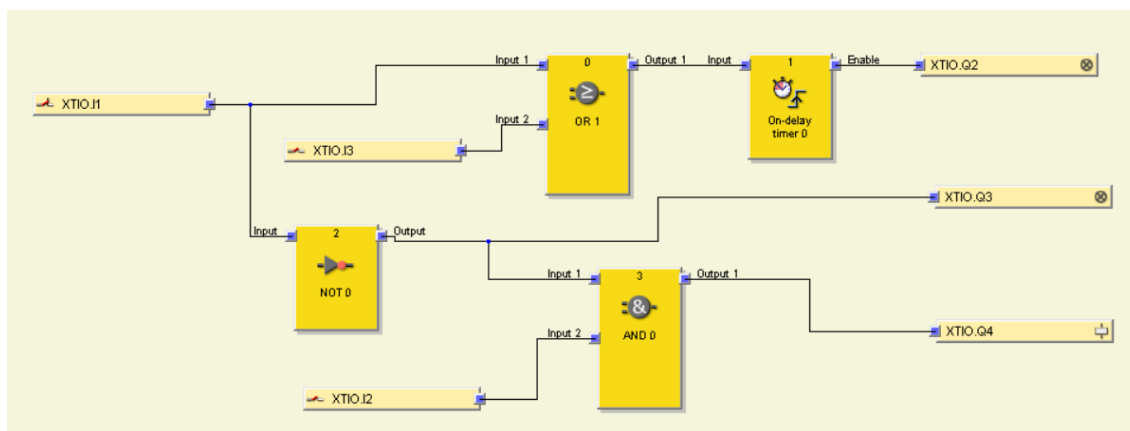


Figura 5.1: Diagrama de blocos implementado no controlador de segurança.

5.2 Programação *LabVIEW*

Depois de configurado o controlador de segurança, passou-se ao desenvolvimento de uma interface de controlo recorrendo ao programa *LabVIEW*. De realçar que no funcionamento da máquina, as ações desencadeadas pelo controlador de segurança prevalecem sobre as executadas pelo programa a desenvolver, uma vez que tal consideração foi tida em conta no desenvolvimento do esquema elétrico.

Foi realizado um levantamento dos requisitos que o programa a implementar deveria realizar:

- Definir a temperatura objetivo e velocidade bem como ativar e desativar o controlador de temperatura;
- Adquirir imagens do interior da máquina;
- Controlar os motores no sentido de alinhar o padrão de frita de vidro;
- Definir o valor da força a aplicar, bem como ativar e desativar a aplicação de força;
- Abrir o programa de controlo do sistema do galvanométrico, definir o padrão a selar e iniciar/parar o movimento do sistema galvanométrico;
- Ativar e desativar o feixe laser bem como definir a sua potência;
- Controlar a ativação das luzes da baliza de sinalização;
- Ativar o sinal que indica ao controlador de segurança de que o programa está a funcionar.

Foi traçado um fluxograma de funcionamento para a máquina que cumprisse os objetivos do processo de selagem assistida por laser. A interface da máquina deve funcionar segundo a sequência representada na Figura 5.2.

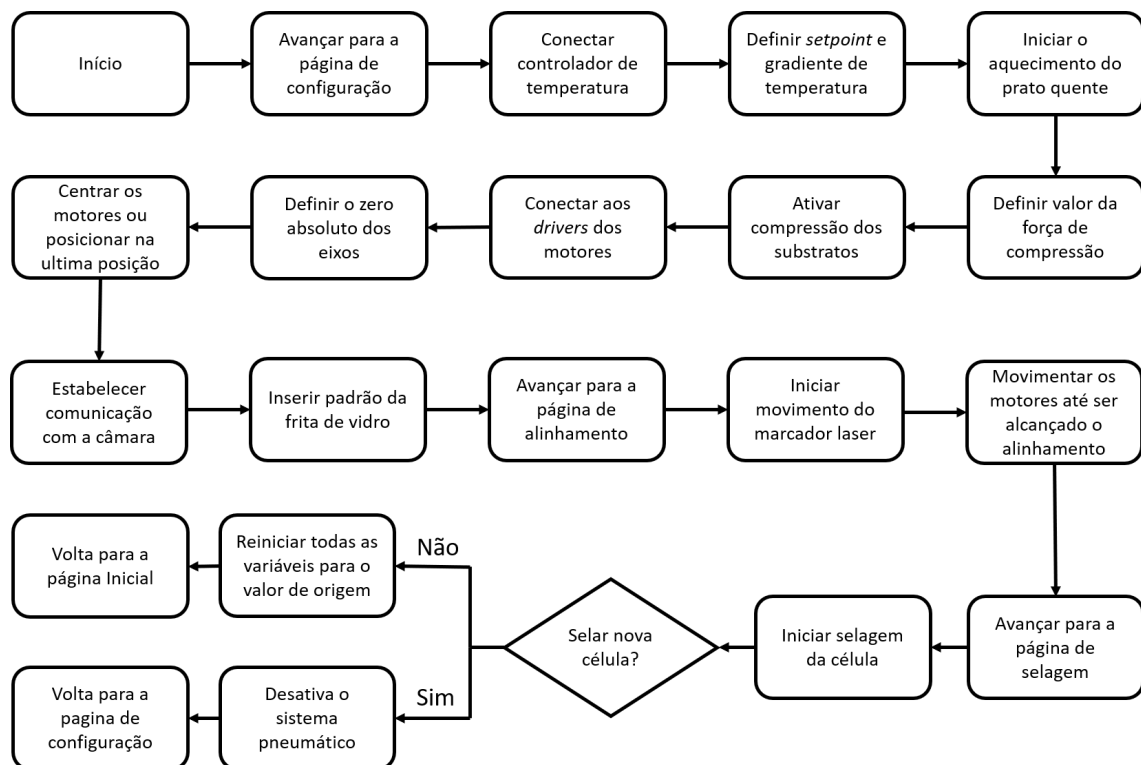


Figura 5.2: Sequência de funcionamento para a user interface e máquina de selagem.

5.2.1 Controlo dos motores

O controlo dos motores exige o estabelecimento de comunicação Modbus entre os *drivers* do motor e o programa e, depois os comandos devem seguir sob a forma de mensagens especificadas pelo fornecedor. Para a programação dos mesmos foi adquirida uma biblioteca de funções já preparadas para os *drivers* D1 da *IGUS*. É possível visualizar as funções utilizadas na Figura 5.3.

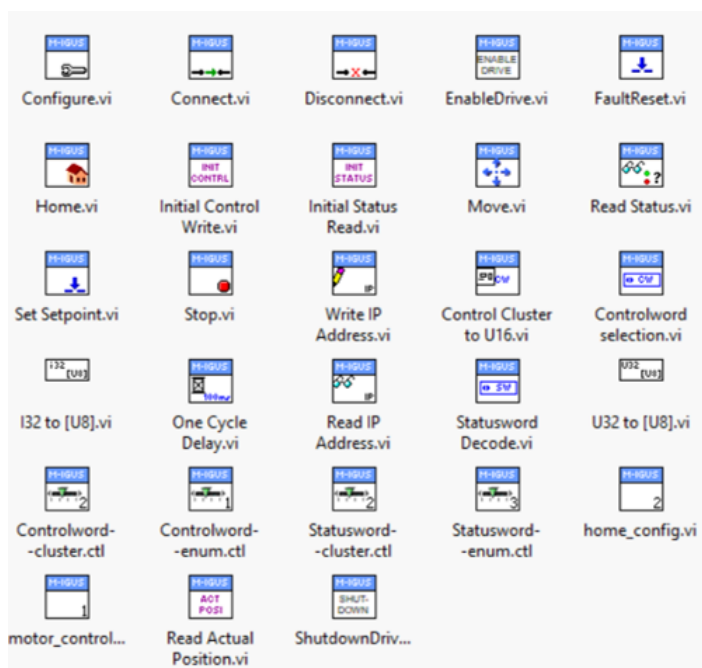


Figura 5.3: Funções de controlo dos motores para *LabVIEW*.

Na programação do controlo dos motores foi primeiro programada a capacidade de o programa estabelecer comunicação com os *drivers*, sendo especificado o endereço IP e porta de cada um deles. Depois de estabelecer comunicação, o programa desativa os motores, lê o estado dos mesmos e diagnostica existência de erros.

Foram programadas rotinas para:

- calibrar o zero absoluto dos eixos;
- centrar a mesa;
- levar os eixos para a última posição gravada;
- alterar a posição dos eixo;
- corrigir erros.

Em todos os movimentos realizados por qualquer motor foram definidas sequências de funcionamento. Estas rotinas foram definidas segundo as recomendações do fornecedor para inicializar o movimento dos motores e para diminuir a probabilidade de ocorrerem erros. A sequência de

funcionamento, representada na Figura 5.4, consiste em o programa enviar um conjunto de ordens sequencialmente até ligar o motor e entre elas requisitar informação do estado do motor, sendo esta informação representada sob a forma de uma mensagem relativamente ao estado do motor e através de um conjunto de variáveis lógicas. Depois de iniciado o movimento do motor, o programa aguarda que este complete o seu movimento para o desativar e guardar a sua posição.

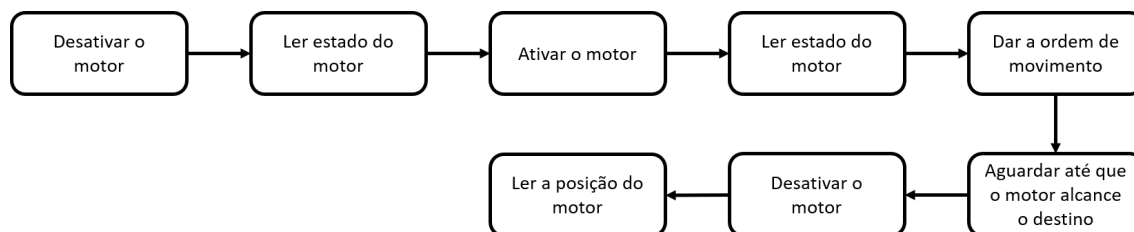


Figura 5.4: Sequência de comando dos motores

A leitura do estado do motor consiste em requisitar ao driver informação sobre o seu estado, podendo esta ser sob a forma de mensagem de texto ou variáveis lógicas. As variáveis lógicas permitem receber informações variada, como: se o motor alcançou o destino, se foi calibrado, se está ligado, entre outras.

Os motores são ativados quando o utilizador pretende calibrar a posição dos eixos lineares ou durante o processo de alinhamento. Para a realização destes movimentos, são utilizadas funções da biblioteca *IGUS* distintas.

A primeira função implementada foi a função de definir o zero absoluto dos eixos, isto é, definir o zero dos codificadores. Esta é necessária porque os *drivers* dos motores perdem a informação da posição quando são desligados. Esta função consiste em movimentar os motores numa direção predefinida na qual está presente um sensor fim de curso. Quando o estado do sensor se altera, o driver assume automaticamente que aquela será uma posição extrema para esse eixo. O valor associado ao extremo de cada eixo não é o mesmo, sendo -75 mm para o caso dos eixos da mesa linear (o 0 é considerado no centro da mesa), -45° no eixo rotativo e 400 mm para o eixo vertical.

Para que não ocorram colisões entre o sistema galvanométrico e os cilindros pneumáticos, o movimento de calibrar é iniciado pelo eixo linear vertical que se posiciona no extremo superior do eixo. Quando este estiver calibrado, inicia-se o movimento do eixo rotativo e, por fim, os dois eixos lineares da mesa movem-se em simultâneo.

O movimento de centrar e de movimentar para a última posição são apenas possíveis se os motores tiverem sido calibrados. Nestas funções, os motores não se movimentam no sentido de encontrar um sensor, mas movimentam-se para uma posição imposta pelo programa. O movimento de centrar coloca a mesa linear alinhada com o sistema galvanométrico e coloca o eixo rotativo nos 0° , não alterando a altura do sistema galvanométrico. No movimento para a última

posição, os motores movem-se para a última posição em que se encontravam na última selagem. A última posição é guardada sempre que um motor é movimentado no sentido de alinhar as células, não sendo alterada durante as outras funções.

O movimento da mesa linear e do eixo rotativo foi programado de forma a funcionar como um *offset* relativamente à posição em que o motor se encontra, ou seja, o valor da posição pretendida é calculado somando o *offset* definido com o valor da posição atual do motor. O movimento do eixo vertical é realizado definindo uma distância. No alinhamento só é permitido o movimento de um motor de cada vez.

A definição da posição alvo para a qual o motor deve movimentar os eixos é definida enviando um valor entre 0 e 1000000 (dependendo da aplicação) ao *driver*, mais informações podem ser encontradas no Anexo F. Este valor é função do *encoder* do motor e da razão de transmissão mecânica. Como o valor máximo não é igual para todos os eixos, descobrir este valor foi um processo iterativo. Para os eixos da mesa linear o valor máximo é de 500000, para o eixo rotativo é de 87000 e para o eixo vertical é de 700000. Foi então criada uma relação entre o número a enviar aos *drivers* de acordo e a posição que se pretende. Foram então obtidas as seguintes equações:

$$X = \frac{500000 \times \text{Offset } X}{150} + \text{Posição atual} \quad (5.4)$$

$$Y = \frac{500000 \times \text{Offset } Y}{150} + \text{Posição atual} \quad (5.5)$$

$$Z = \frac{700000 \times \text{Altura de trabalho}}{400} \quad (5.6)$$

$$\theta = \frac{87000 \times \text{Offset } \theta}{90} + \text{Posição atual} \quad (5.7)$$

Ao longo do processo de programação dos motores, foi necessário testar vários valores de velocidade para diferentes movimentos dos diferentes eixos. No processo de calibrar são utilizadas velocidades reduzidas com o intuito de este ser o mais preciso possível.

O *reset* aos motores para eliminar erros só é possível caso um dos *drivers* indique que tem um erro.

Durante a programação dos motores foram criados vários *SubVis* (subprogramas *LabVIEW*) para realizar tarefas de cálculo e para definir sequências de funcionamento (iniciar movimento, calcular a posição em milímetros) que foram utilizados várias vezes no programa. A implementação destes permitiu a simplificação do programa.

5.2.2 Controle de temperatura

O controle da temperatura exige o estabelecimento de comunicação Modbus entre o controlador de temperatura e o computador. Para a programação dos mesmos foi adquirida uma biblioteca de funções já preparadas para o controlador de temperatura da gama *OMEGA Platinum*.

Como no controle dos motores, o primeiro passo foi o estabelecimento de comunicação. A seleção da porta série, na qual o controlador está conectado, deve ser feita pelo utilizador, os restantes parâmetros são definidos *a priori* e não deverão ser alterados.

Após o estabelecimento de comunicação com o controlador de temperatura, o programa inicia a leitura de temperatura a que o prato quente se encontra. Esta leitura de temperatura apenas é interrompida quando o utilizador pretende realizar outras funções como iniciar o aquecimento do prato ou parar o controlador de temperatura. Esta interrupção da leitura de temperatura é fundamental de forma a não sobrepor mensagens a enviar e poder criar conflitos de comunicação.

O controlador de temperatura foi programado para aquecer o prato quente segundo uma rampa a definir pelo utilizador e depois mantê-lo a essa temperatura o tempo que for necessário. Para a definição do tempo da rampa de aquecimento e do valor da temperatura objetivo, foi implementada uma sequência de ordens e informações a enviar ao controlador e a executar no programa. A sequência de ordens encontra-se representada na Figura 5.5.

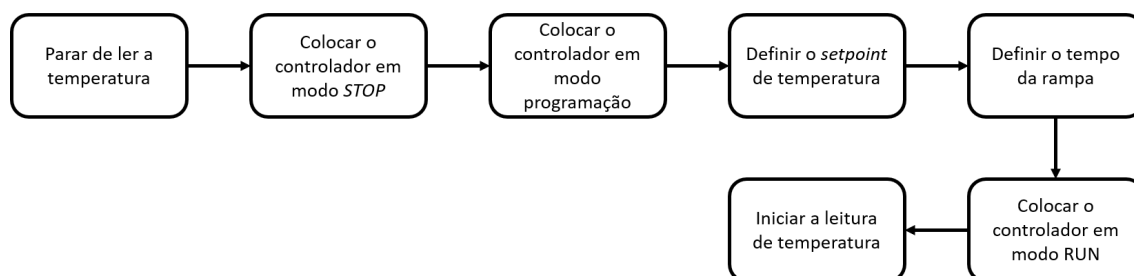


Figura 5.5: Sequência de comando do controlador de temperatura.

5.2.3 Controle da força

O controle da força é realizado ao definir a pressão dos cilindros pneumáticos. O valor da pressão é definido por um sinal analógico de corrente fornecido à válvula reguladora de pressão através de um conversor de sinal. A equação 5.8 caracteriza o funcionamento da válvula em conjunto com o conversor de sinal nas condições para a qual foram configurados.

$$p = 0,08 \times V \text{ [MPa]} \quad (5.8)$$

Considerando, novamente, a equação 4.9 obtém-se a equação 5.9 que caracteriza a força aplicada em função da tensão fornecida.

$$F = 16,08 \times V \text{ [N]} \quad (5.9)$$

No programa, o utilizador define um valor de força e, através desse valor e do valor da área dos êmbolos dos cilindros pneumáticos é calculada a pressão necessária para o sistema. Conhecendo o valor da pressão necessária e a equação característica da válvula é definido o valor da tensão que a saída analógica da DAQ deverá fornecer ao conversor de sinal.

Para além disso, foi integrado no programa um botão que permite ativar e desativar o sistema de aplicação de força.

5.2.4 Outros sistemas

Foi necessário programar outros sistemas: aquisição de imagens utilizando uma câmara, controlo do sistema galvanométrico e o controlo da DAQ.

Foram utilizadas bibliotecas do *LabVIEW* que permitem seleccionar e operar uma câmara de vídeo que, neste caso, permite visualizar o interior da câmara atmosférica. Para esta monitorização foi necessária a instalação do subprograma de aquisição de imagens para *LabVIEW - NI-IMAQ Images*.

Quanto ao sistema galvanométrico, o programa desenvolvido em *LabVIEW* quando se inicia deve abrir automaticamente o *SAMLight*. O *SAMLight* é o software que permite controlar o sistema galvanométrico. Este programa permite importar ou desenhar o padrão a realizar pelo laser e configurar os parâmetros óticos (por exemplo, correcções da curvatura da lente) e de funcionamento (por exemplo, velocidade do movimento do feixe laser).

O programa desenvolvido deve ser dotado de 2 funções: importar o padrão da frita de vidro e iniciar/parar o movimento do sistema galvanométrico. Para a implementação destas funções foi utilizada uma biblioteca apropriada para controlo do *SAMLight* via *LabVIEW*. Para além disso, é possível ler variáveis do *SAMLight* de forma a saber o estado do sistema galvanométrico.

Por fim, foi configurada a DAQ usando a função *DAQ Assistant*, através da qual foi possível definir as linhas de I/O digitais e analógicas a utilizar.

5.3 LabVIEW user interface

Para o controlo da máquina de selagem assistida por laser foi desenvolvida e programada uma interface em *LabVIEW*, que permite, ao utilizador, a monitorização e o controlo da máquina.

A interface é constituída por duas zonas. A zona A representada na Figura 5.6, é constituída por um conjunto de separadores que avançam ao longo do processo de selagem para que seja possível controlar e realizar determinadas tarefas em determinado ponto do processo. A zona B exposta na Figura 5.6, mantém-se visível ao longo de todo o processo e incorpora os botões que permitem parar o programa, abrir ou fechar a porta e um conjunto de indicadores que permitem ao utilizador perceber o estado da máquina.

O funcionamento da interface inicia-se, sempre, pelo separador representado na Figura 5.6. Neste são apresentados alguns avisos acerca dos perigos inerentes à utilização da máquina e algumas informações para seu uso. Ao ser pressionado o botão *Start*, é dado o sinal ao controlador de segurança que o programa está a ser utilizado, é iniciado o programa de controlo do sistema galvanométrico e a interface avança para o próximo separador.



Figura 5.6: Página inicial da interface de controlo.

O separador representado na Figura 5.7, tem como principal objetivo a configuração e preparação de todos os sistemas. A janela foi organizada segundo a ordem pela qual as ações devem ser executadas. Para funcionamento do, foi programado o funcionamento dos botões de acordo com o estado do sistema. Para o controlador de temperatura e motores, só é possível executar tarefas depois de ser estabelecida comunicação. No caso dos motores, depois de estabelecida comunicação ficará disponível o botão que os permite inicializar os *drivers* dos motores definindo o zero absoluto dos eixos. Neste separador estão ainda presentes um conjunto de sinalizadores luminosos que indicam o estado dos diversos sistemas.

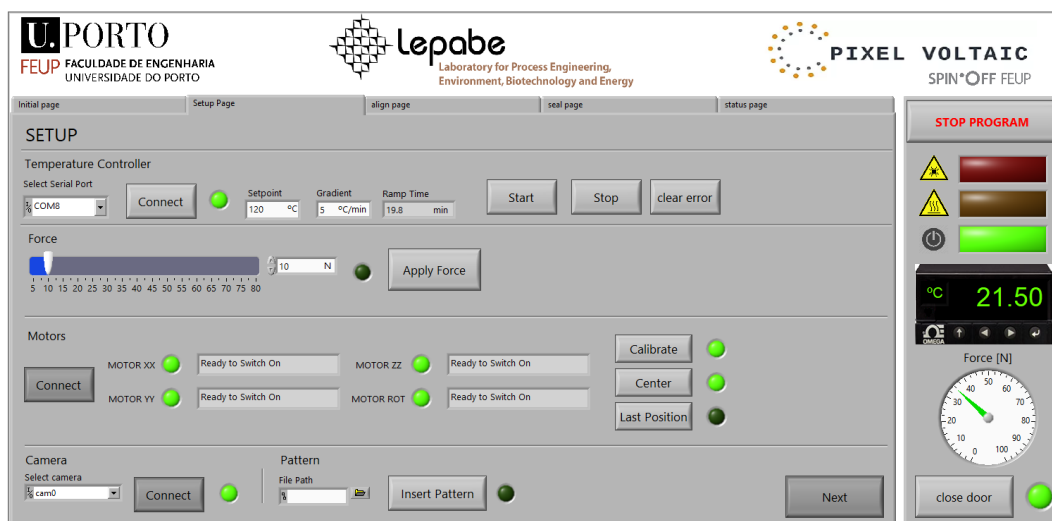


Figura 5.7: Página de configuração dos componentes da interface de controlo.

O terceiro separador, representado na Figura 5.8, tem como objetivo o alinhamento do padrão da frita de vidro com o padrão definido pelo laser. Neste é possível iniciar e parar o sistema galvanométrico e controlar o movimento dos motores utilizando o botão *Move* associado a cada um deles. Neste separador, está associado a cada motor um sinalizador luminoso que indica se o motor atingiu a posição objetivo e uma imagem, em tempo real, do interior da máquina para facilitar o alinhamento. O utilizador consegue ainda fazer *zoom* na imagem para conseguir observar melhor o processo.

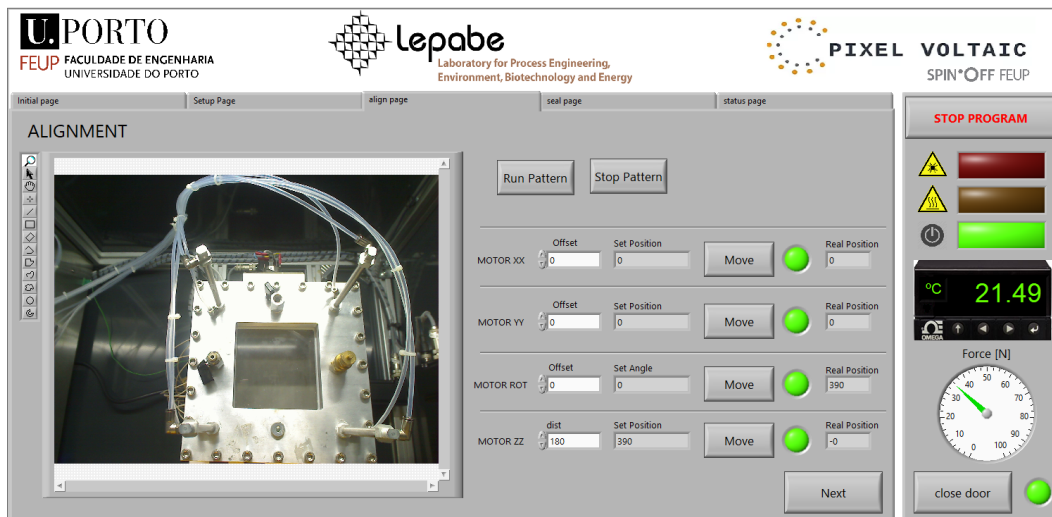


Figura 5.8: Página de alinhamento do padrão da frita da interface de controlo.

No quarto separador, Figura 5.9, foi implementada a capacidade de visualizar o processo e foi adicionada a capacidade de iniciar a selagem. Este separador foi preparado para a implementação do controlo da fonte do laser, no entanto, não foi terminada a programação devido a não se saber

qual era o sistema que seria adquirido. Nesta página, o utilizador tem a possibilidade de ou selar uma nova célula ou desligar o sistema. Caso decida selar uma nova célula, a interface volta para a página de configuração e apenas desatua o sistema de aplicação de força. Caso o utilizador decida parar o programa, todos os sistemas são desligados e a aplicação é terminada

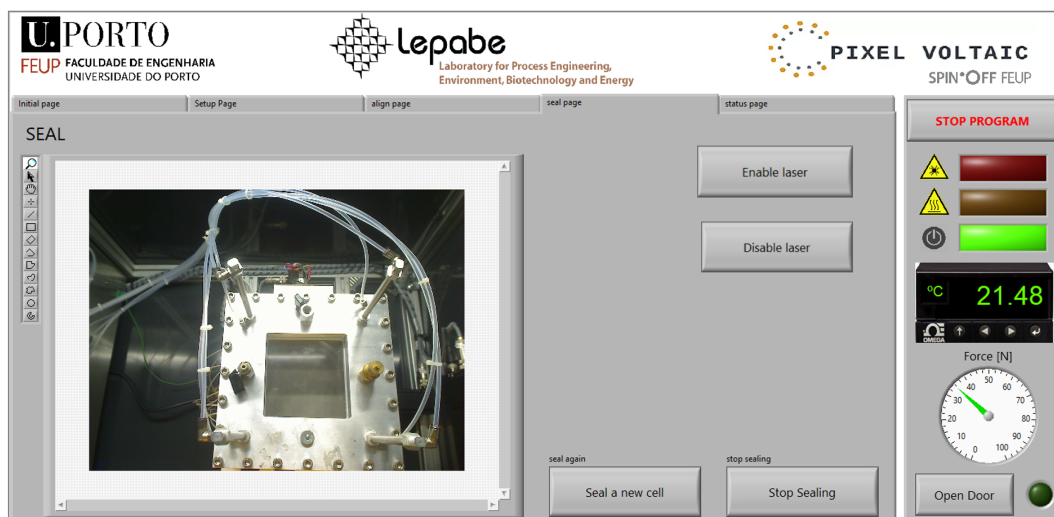


Figura 5.9: Página de controlo do disparo do laser da interface de controlo.

Por fim, foi desenvolvido um separador de *status*, Figura 5.10, que fornece informações complementares sobre os sistemas da máquina e onde estão presentes gráficos com o registo da pressão e temperatura. Para além disso, quando a botoneira de emergência é atuada, a interface automaticamente transita para esta página, sendo apenas possível sair dela quando a botoneira de emergência for desatuada.

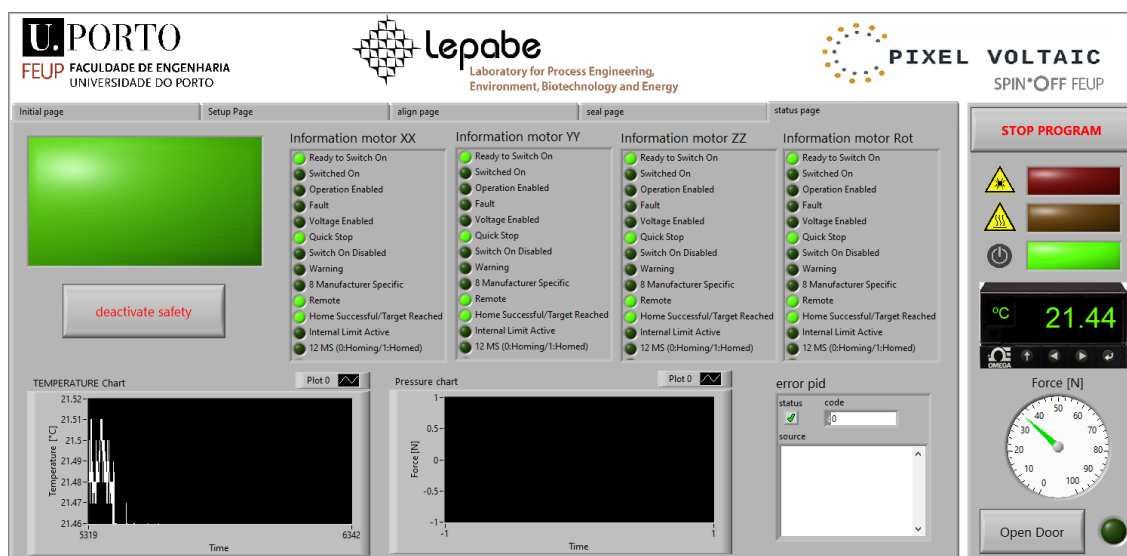


Figura 5.10: Página de diagnóstico da interface de controlo.

5.4 Segurança

Depois de programados os sistemas da máquina foram programadas algumas medidas de segurança no sistema. Foram implementados fins de curso virtuais para os eixos lineares e rotativo, o que limita o movimento dos eixos dentro de um intervalo de valores. Quando ultrapassado esse valor os botões que ativam os motores ficam desativados, voltando a ativar-se quando o valor voltar a estar contido nos intervalos de movimentação definidos

Quando a interface entra no separador que permite ativar o feixe laser, Figura 5.9, automaticamente, é trancada a porta e o botão que a permite abrir desativado.

Quando é detetada a atuação da botoneira de emergência, o sistema desativa todos os sistemas para que, quando esta seja desatuada, os sistemas não voltem a funcionar sem que o utilizador volte a dar essa ordem.

No início do programa, todas as variáveis são reiniciadas.

Capítulo 6

Resultados

Neste capítulo, serão apresentados os testes realizados aos sistemas da máquina e ao processo de selagem. Numa fase inicial será testado o sistema de aplicação de força e o sistema de controlo de temperatura para verificar o seu funcionamento.

6.1 Validação do controlo de força

O sistema construído controla a força exercida nos substratos através do controlo da pressão do sistema pneumático, sendo imposto um valor no início do processo. Para validar o sistema desenvolvido, foi utilizada uma célula de carga do tipo S. A célula de carga foi colocada na zona onde serão colocados os substratos. A célula de carga utilizada tem a capacidade de medir até 25 kg e tem uma sensibilidade de 2 mV/V. Para obter uma melhor sensibilidade, a célula de carga foi alimentada com uma tensão de 15 V DC. Para a aquisição dos valores de diferença de potencial dada pela célula de carga, foi utilizada a DAQ NI USB-9211. Os valores da pressão imposta pela válvula reguladora de pressão (pressão real) serão obtidos através da visualização do *display* que esta contém.

A estimativa da força é obtida através da equação 6.1.

$$F = \frac{25 \times 9,81 \times V}{30} \quad [\text{N}] \quad (6.1)$$

Foi alterado o *setpoint* de força para 30, 40, 50, 60, 70 e 80 N e registados os valores de força medida pela célula de carga e o valor de pressão imposta pela válvula reguladora de pressão.

Os valores da diferença de potencial medidos são negativos devido a ser aplicada uma força de compressão sob a célula de carga.

Resultados

Verificou-se que o valor da pressão imposta pela válvula redutora de pressão coincide com o valor teórico de pressão necessário para que os cilindros apliquem a força pretendida. No entanto, verifica-se que os valores da força obtidos através da célula de carga são ligeiramente diferentes dos valores de força objetivo. Verifica-se que o erro a partir dos 50 N encontra-se abaixo de 1 %, no entanto, na aplicação de 30 e 40 N verifica-se que os erros são superiores a este valor.

O erro relativo superior para menores valores de força é normal, devido a efeitos de atrito e não linearidades do sistema. Pode ser necessário substituir um dos cilindros, uma vez que foi observado que parte do erro pode ser devido a um defeito na haste. Para permitir o uso do sistema, como está, foi implementada uma correcção para os valores, que pode ser visto pela curva representada na Figura 6.1.

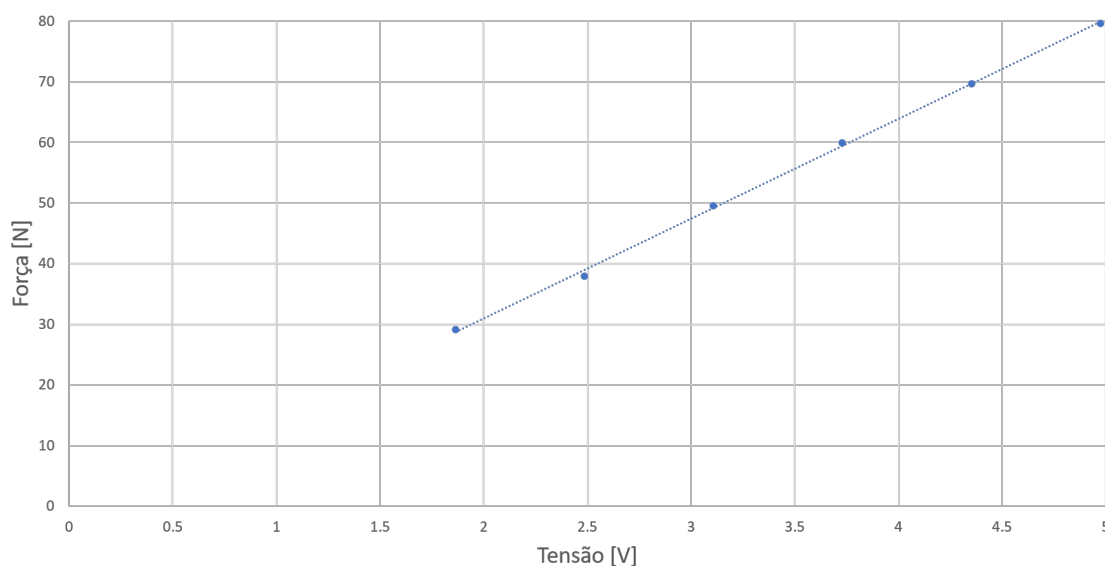


Figura 6.1: Nova curva característica para o sistema de aplicação de força.

A nova curva característica para o sistema de aplicação de força é dada pela equação 6.2.

$$F = 16,462 \times V - 1,9977 \quad [\text{N}] \quad (6.2)$$

6.2 Validação do controlo de temperatura

O sistema de controlo de temperatura é responsável pelo aquecimento do prato quente e por manter essa temperatura durante o processo de selagem assistida por laser. Para validar que o prato aquece segundo o gradiente de temperatura definido até à temperatura objetivo foram realizadas medições de temperatura. Neste está deverá ser verificada uma diferença entre as medições devido à diferença de posições dos termopares. Para medir a temperatura foram utilizados termopares do

tipo K ligados a uma DAQ NI USB-9211, posicionados no topo do prato amovível, componente F da Figura 3.2, de acordo com a montagem da Figura 6.2. O sistema de aquisição de dados utilizado faz a compensação da temperatura ambiente. A medição da temperatura pelo controlador é realizada por um termopar do tipo K que está inserido no interior da estrutura da câmara estanque.

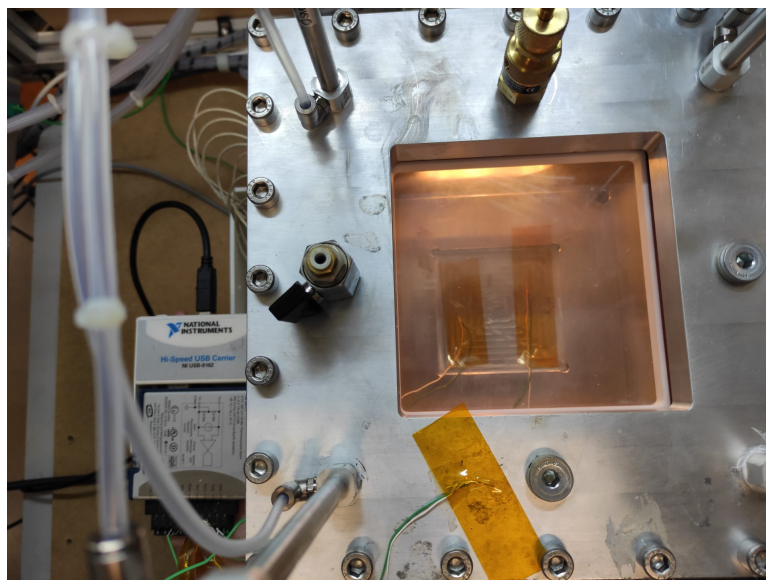


Figura 6.2: Montagem do sistema de medição de temperatura para validação do controlo de temperatura.

Foram realizados testes de aquecimento do prato quente para diferentes temperaturas. As Figuras 6.3 e 6.4 representam os gráficos com a variação da temperatura ao longo do tempo para os aquecimentos até 75 °C e 200 °C, respetivamente, com um gradiente de temperatura de 5 °C/min.

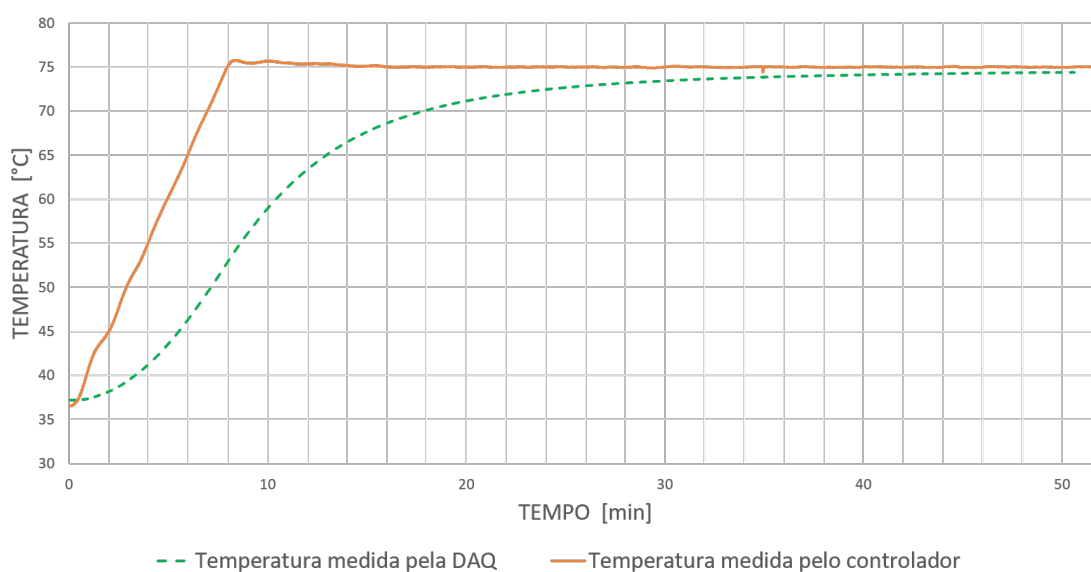


Figura 6.3: Curva de aquecimento até 75 °C.

Resultados

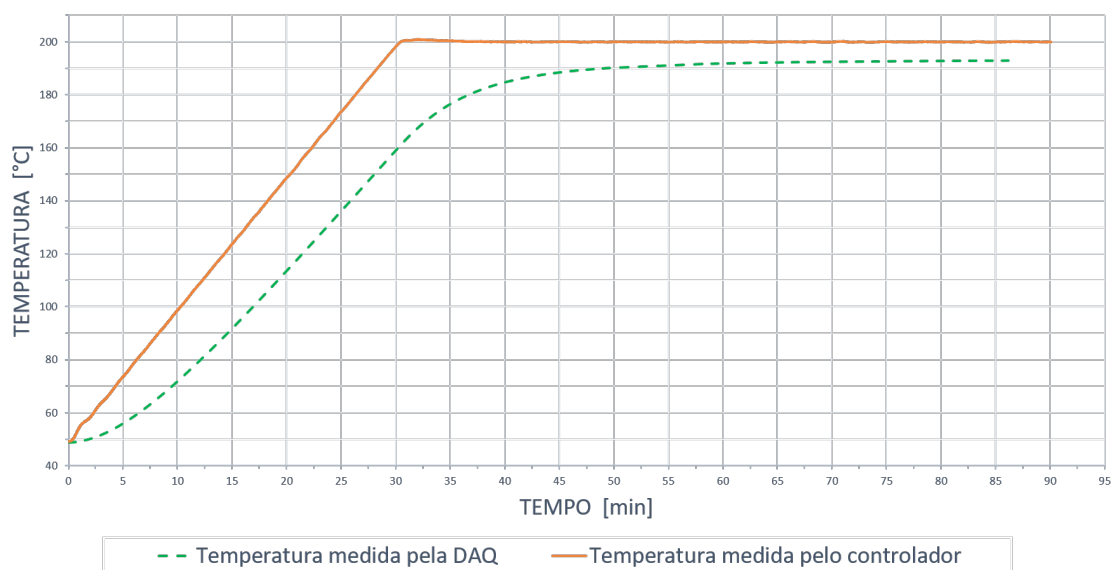


Figura 6.4: Curva de aquecimento até 200 °C.

Analisando as curvas de temperatura medidas pelo controlador de temperatura, verifica-se que o aquecimento tem um comportamento linear segundo o gradiente de aquecimento definindo. Depois de atingir a temperatura objetivo, o controlador mantém a temperatura constante ao longo do tempo.

Confirmou-se que, para as diferentes temperaturas de teste, o gradiente de temperatura medido é inferior ao definido. Quando o controlador atinge a temperatura objetivo, a superfície do prato encontra-se a uma temperatura inferior. O tempo de estabilização da temperatura do prato amovível aumenta com o aumento da temperatura alvo. A temperatura medida pela DAQ depois de ultrapassado o tempo de estabilização, mantém-se em valores inferiores aos pretendidos, aumentando essa diferença com o aumento da temperatura alvo.

As diferenças de temperaturas medidas devem-se ao facto de o termopar do controlador de temperatura se encontrar mais próximo da extremidade do prato quente enquanto que o termopar ligado ao sistema de aquisição de dados encontra-se na superfície do prato amovível, onde deverá ser encaixado o substrato da célula solar. O aumento da diferença entre a temperatura pretendida e a temperatura da superfície deve-se ao facto de, com o aumento da temperatura, a transferência de calor por convecção aumenta.

O termopar do controlador de temperatura não é posicionado no prato amovível por razões construtivas, uma vez que a introdução de um fio no interior de estrutura poderia resultar em problemas na estanquidade da câmara atmosférica.

6.3 Testes de selagem assistida por laser

Depois de validar o sistema de controlo de temperatura e de controlo de força foram realizados testes de selagem.

Antes de realizar a selagem é necessário preparar amostras. Estas foram preparadas segundo um processo específico descrito a seguir.

As amostras a selar constituem uma estrutura em *sandwich*, como representado na Figura 6.5. Esta estrutura apresenta um substrato superior e um inferior e, um cordão de frita de vidro ou combinações de fritas de vidro que soldado deverá garantir um encapsulamento hermético.

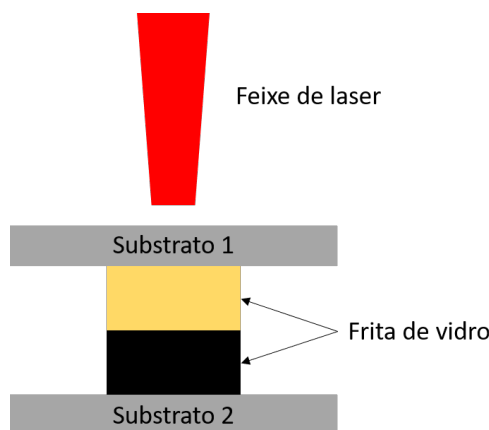


Figura 6.5: Estrutura em *sandwich* que corresponde ao modelo das amostras a preparar.

Inicialmente, os substratos (geralmente vidro de 2,2 mm de espessura) são cortados em retângulos de $20 \times 50 \text{ mm}^2$ e lavados com água destilada e detergente de forma a retirar todas as impurezas que possam existir na superfície. De seguida, é depositada a pasta de vidro com 1 mm de espessura através de *screen printing*. A pasta de vidro poderá ser depositada segundo vários padrões, no entanto, será apenas abordado neste caso o perfil circular de 20 mm de diâmetro.

Os substratos com a pasta de vidro são depois levados a um forno para um processo de sinterização. Este processo é constituído por 3 etapas: remoção do solvente, remoção do aglomerante e vitrificação. As temperaturas e tempos para cada etapa do processo podem ser verificados no gráfico presente na Figura 6.6. [11]

Resultados

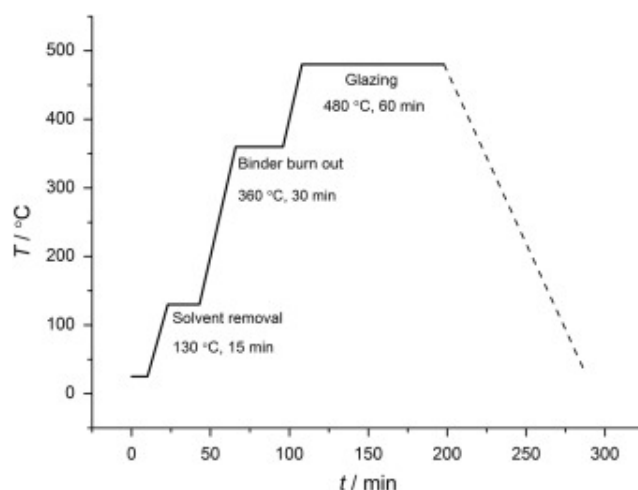


Figura 6.6: Etapas de sinterização da frita de vidro[8].

A realização dos testes passou por um processo iterativo de ajuste de parâmetros até que fosse possível obter substratos bem selados. Foram realizadas várias tentativas surgindo erros repetidos e redundantes, desta forma, serão apenas expostos os resultados que melhor representam os passos realizados que tiveram por base os parâmetros utilizados nas máquinas já existentes.

Os testes foram realizados em frita de vidro com padrão circular com 20 mm de diâmetro. Para iniciar os testes de selagem, o sistema galvanométrico foi posicionado de forma a selar com um *spotsizes* superior ao *spotsizes* mínimo das lentes *f-theta*.

Foi importado para o *SAMLight* o padrão circular da frita a selar e, depois de alinhado o padrão da frita de vidro com o padrão definido pelo laser, foram ajustados os parâmetros ópticos. A potência de laser utilizada foi sendo aumentada sucessivamente até se verificar a ocorrência de soldadura do vidro.

Foi possível verificar ao longo do processo de testes que ocorreu delaminação, *cracks* e fratura dos substratos. A análise das amostras obtidas ao longo do processo permitiu ajustar os valores de potência, ajustar o *spotsizes* e os parâmetros óticos. Depois de se realizarem as alterações necessárias foram obtidos os resultados expostos na Figura 6.7.

Os resultados obtidos depois de serem ajustados os vários parâmetros melhoraram a qualidade da soldadura obtida. Nos substratos da Figura 6.7 verifica-se que os substratos não partiram nem apresentam *cracks*. No entanto, verifica-se na Figura 6.7 B a ocorrência de delaminação. Os defeitos de selagem existentes devem-se essencialmente a falhas nos parâmetros definidos. Para melhorar a qualidade da selagem é necessário otimizar o valor da potência do feixe laser, melhorar o alinhamento dos padrões e alterar os ganhos do sistema galvanométrico.

Posto isto, foram realizados um conjunto de testes de selagens até se obter os parâmetros que permitissem obter uma soldadura do vidro de qualidade, representada na Figura 6.8.

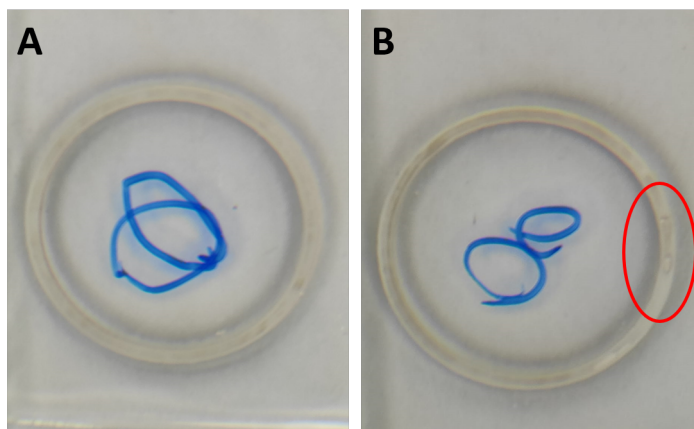


Figura 6.7: Resultados obtidos depois de ajustados os parâmetros da máquina.

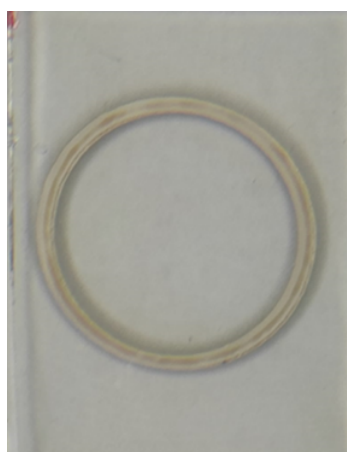


Figura 6.8: Resultados finais, depois de ajustados outros parâmetros.

Resultados

Capítulo 7

Conclusões e trabalhos futuros

A dissertação realizada tinha como objetivo a montagem e programação de um equipamento de soldadura laser, para uso laboratorial, para selagem hermética de PSC. Este deveria ser um equipamento comercial para selagem assistida por laser em escala laboratorial cujas funcionalidades deviam ser simples e intuitivas para utilizadores não especializados.

A obtenção de uma selagem hermética é afetada pela distância do sistema galvanométrico à frita de vidro, alinhamento do padrão da frita de vidro com o padrão descrito pelo laser, temperatura dos substratos e pela força de compressão dos substratos.

Para a criação de uma atmosfera inerte foi fabricada uma câmara estanque. Esta é movimentada por uma mesa linear motorizada que possibilita o alinhamento dos padrões. Existe um eixo vertical que movimenta o sistema galvanométrico para alterar o *spotsize* do laser. A base da câmara atmosférica funciona como um prato quente, sendo a temperatura controlada por um controlador de temperatura. A força de compressão dos substratos é aplicada por uma estrutura em vidro (transparente à radiação do laser) que transmite a força aplicada pelos cilindros. A força dos cilindros é dependente da pressão do sistema pneumático sendo controlada por uma válvula reguladora de pressão proporcional.

A interface com o utilizador foi desenvolvida em *LabVIEW* e permite o comando e monitorização da máquina. O controlo será feito por computador, sendo incorporado um sistema de aquisição de imagens. A interface incorpora também um conjunto de indicadores que permite ao utilizador perceber o estado da máquina.

Para validação da máquina foram realizados testes ao sistema de aplicação de força, ao sistema de controlo de temperatura e de selagem. Este foi testado utilizando uma célula de carga. Os testes realizados permitiram corrigir o valor da força aplicada.

Os testes de temperatura revelaram que a superfície do prato apresenta um diferencial face

Conclusões e trabalhos futuros

ao controlador de temperatura, devido à diferença de localização dos termopares de medição, aumentando esta diferença com o aumento da temperatura objetivo. O tempo de estabilização da temperatura será tanto maior quanto maior for o valor da temperatura definida para o prato quente.

Os testes de selagem realizados permitiram em simultâneo verificar o funcionamento da máquina e para ajustar os parâmetros necessários para alcançar uma selagem hermética. Numa fase inicial foram obtidas selagens de baixa qualidade devido a erros de alinhamento, potência do feixe laser, tamanho do padrão definido pelo laser e *spotsizes* do laser. Com os ajustes aos parâmetros foi possível obter substratos selados corretamente.

Os objetivos para esta dissertação foram alcançados, e a máquina desenvolvida encontra-se já vendida a um grupo de investigação.

A máquina desenvolvida para selagem assistida por laser deve, no entanto, manter-se num processo de otimização. No sentido de controlar a atmosfera deverá ser desenvolvido um circuito para alimentação do gás inerte para a câmara atmosférica e adicionados os componentes necessários para que este seja automático.

A máquina apresenta capacidade de controlar o aquecimento dos substratos, futuramente pode ser de interesse adicionar a capacidade de controlar o arrefecimento.

Por fim, no sentido de tornar o processo de alinhamento mais intuitivo e reduzir a influência do erro humano no processo de selagem sugere-se a programação de um sistema de alinhamento automático.

Referências

- [1] Bp statistical review of world energy 2019, 2019. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>.
- [2] N.L. Panwar, S.C. Kaushik, and Surendra Kothari. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3):1513 – 1524, 2011. doi:10.1016/j.rser.2010.11.037.
- [3] O futuro passa pelo cÉu, 2014. URL: https://www.pontoverde.pt/recicla_detalhe.php?id=23&pagina=1&table=planetaverde.
- [4] Isabel Mesquita, Luísa Andrade, and Adélio Mendes. Perovskite solar cells: Materials, configurations and stability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:2471 – 2489, 2018. doi:10.1016/j.rser.2017.09.011.
- [5] Kenji Kakiage, Yohei Aoyama, Toru Yano, Keiji Oya, Jun-ichi Fujisawa, and Minoru Hanaya. Highly-efficient dye-sensitized solar cells with collaborative sensitization by silyl-anchor and carboxy-anchor dyes. *Chem. Commun.*, 51:15894–15897, 2015. doi:10.1039/C5CC06759F.
- [6] Akihiro Kojima, Kenjiro Teshima, Yasuo Shirai, and Tsutomu Miyasaka. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131(17):6050–6051, 2009. PMID: 19366264. doi:10.1021/ja809598r.
- [7] Best research-cell efficiency chart, 2020. Disponível em <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- [8] Seyedali Emami, Jorge Martins, Ruben Madureira, Daniel Hernandez, Gabriel Bernardo, Joaquim Mendes, and Adélio Mendes. Development of hermetic glass frit encapsulation for perovskite solar cells. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(7):074005, dec 2018. doi:10.1088/1361-6463/aaf1f4.
- [9] Fernando Ribeiro, José Maçaira, Rui Cruz, Joaquim Gabriel, Luísa Andrade, and Adélio Mendes. Laser assisted glass frit sealing of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 96:43 – 49, 2012. doi:10.1016/j.solmat.2011.09.009.
- [10] Henry Snaith. Perovskites: The emergence of a new era for low-cost, high-efficiency solar cells. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 4:3623–3630, 10 2013. doi:10.1021/jz4020162.

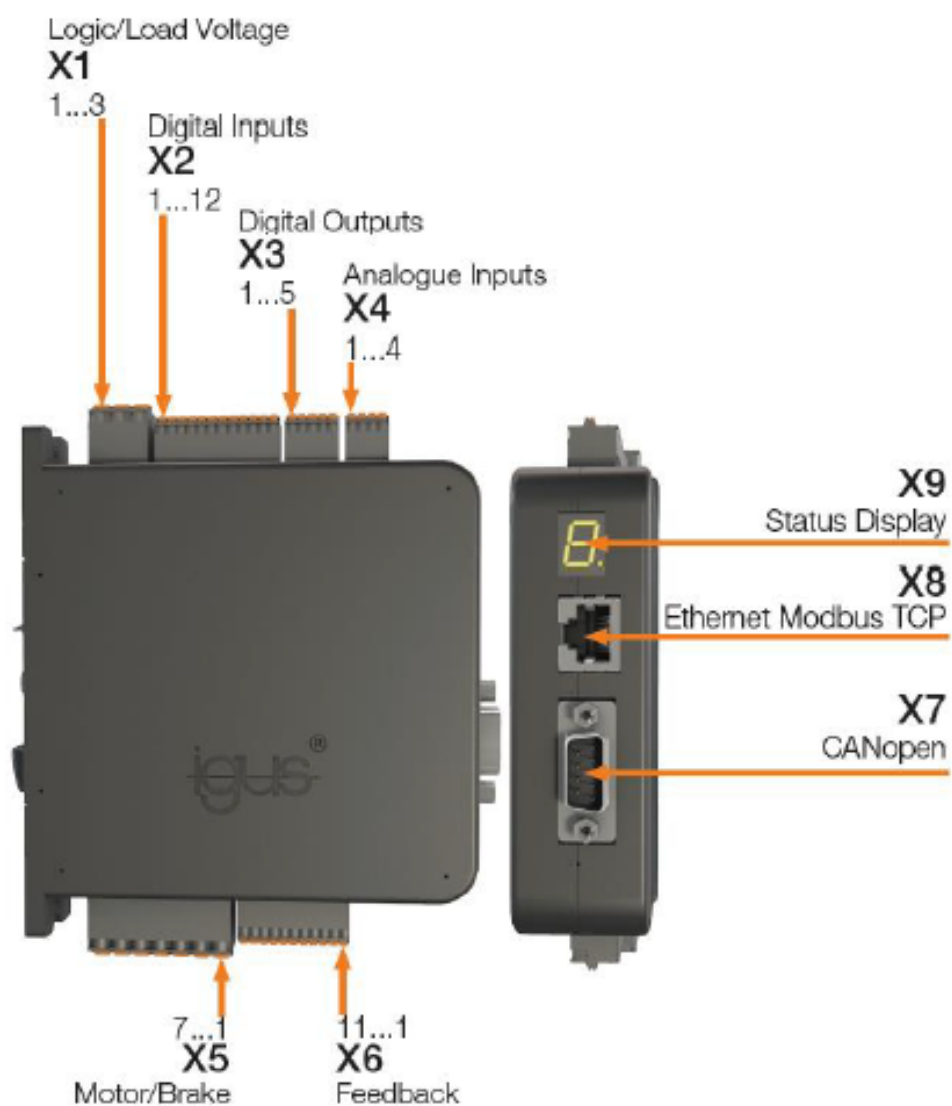
REFERÊNCIAS

- [11] Seyedali Emami, Jorge Martins, Luísa Andrade, Joaquim Mendes, and Adélio Mendes. Low temperature hermetic laser-assisted glass frit encapsulation of soda-lime glass substrates. *Optics and Lasers in Engineering*, 96:107 – 116, 2017. doi:10.1016/j.optlaseng.2017.04.006.
- [12] OMEGA. Platinum series controllers user's guide. URL: <https://assets.omega.com/manuals/M5451.pdf>.
- [13] SMC. URL: <https://www.smc.eu/pt-pt>.
- [14] IGUS. URL: <https://www.igus.pt/>.
- [15] Schneider Electric. Acti9 catalogue 2013. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SE7856+Acti9+Launch+Catalogue.pdf&p_Doc_Ref=SE7856.
- [16] Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/pt/pt/>.
- [17] SICK. URL: <https://www.sick.com/ag/en/>.
- [18] National Instruments. URL: <https://www.ni.com/pt-pt.html>.
- [19] MEAN WELL. URL: <https://www.meanwell.com/>.
- [20] Incropera Frank P. *Fundamentals of heat and mass transfer*. J. Wiley & Sons, Hoboken (N.J.), sixth edition edition.

Anexo A

Ligações dos *drivers* IGUS

Ligações dos drivers IGUS



Connector		Pin	Assignment	Description
X1	Logic/Load-Voltage	1	12 - 48 V Load	Motor Voltage Supply (necessary for operation)
		2	0 V Logic/Load	Common Ground (necessary for operation)
		3	12 - 24 V Logic	Controller Voltage Supply (necessary for operation)
X2	Digital Inputs			Binary Tippi/Teach Step/Direction
		1	Digital Input 1	Bit 0 Bit 0 Step
		2	Digital Input 2	Bit 1 Bit 1 Direction
		3	Digital Input 3	Bit 2 Bit 2 -
		4	Digital Input 4	Bit 3 Jog left -
		5	Digital Input 5	Bit 4 Jog right -
		6	Digital Input 6	Start Start/Teach -
		7	Digital Input 7	Enable Enable Enable
		8	Digital Input 8	Limit Switch positive Limit Switch positive Limit Switch positive
		9	Digital Input 9	Limit Switch negative Limit Switch negative Limit Switch negative
		10	Digital Input 10	Stop/Reset Stop/Reset Reset
		11	5 - 24 V	External I/O Supply (necessary for operation)
X3	Digital Outputs	12	0 V	External I/O Supply (necessary for operation)
		1	Digital Output 1	Ready
		2	Digital Output 2	Active
		3	Digital Output 3	Referenced
		4	Digital Output 4	Alert
X4	Analog Inputs	5	Digital Output 5	Error
		1	10 V	Supplied by controller
		2	Signal 1	Velocity and position setpoint
		3	Signal 2	Position feedback
X5	Motor/Brake/ Braking Resistor	4	0 V	Supplied by controller
		1	A (ST), U (EC/BLDC), + (DC)	Motor connection
		2	A/ (ST), V (EC/BLDC), - (DC)	Motor connection
		3	B (ST), W (EC/BLDC)	Motor connection
		4	B/ (ST), R _{brake} (EC/BLDC)	Motor and Braking Resistor connection
		5	Ground, R _{brake} (EC/BLDC)	Ground and Braking Resistor connection
		6	24 V Holding Brake	Holding Brake connection
X6	Feedback	7	0 V Holding Brake	Holding Brake connection
		1	5 V	Feedback
		2	0 V	Feedback
		3	A	Feedback
		4	A/	Feedback
		5	B	Feedback
		6	B/	Feedback
		7	N	Feedback
		8	N/	Feedback
		9	H 1/U (EC/BLDC), 1 (DC)	Feedback
		10	H 2/V (EC/BLDC), 2 (DC)	Feedback
X7	CANopen	11	H 3/W (EC/BLDC)	Feedback
		1	-	NC
		2	CAN_L	CAN Signal Low
		3	CAN_GND	CAN Masse
		4	-	NC
		5	-	NC
		6	-	NC
		7	CAN_H	CAN Signal High
X7	Ethernet Modbus TCP Gateway	8	-	NC
		8	-	NC
X7	Ethernet Modbus TCP Gateway		Standard assignment according to TIA-568A und TIA-568B	
X9	Status Display			

Anexo B

Ficha técnica dos motores

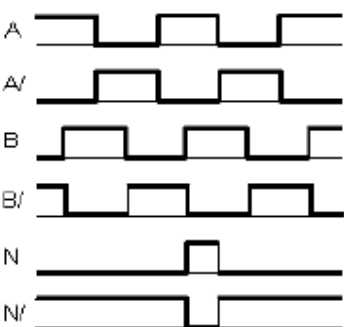


stepper motor MOT-AN-S . . .

part number	
MOT	AN - S - 060 - 020 - 056 - M - A - AAAA
	specifics
AAAA	standard
AAAC	encoder
AAAD	encoder and brake
	options
A	without
C	incremental encoder
D	incremental encoder and brake
	motor connection
M	metric plug
L	stranded wire
	flange dimension
028	28mm (NEMA11)
042	42mm (NEMA17)
056	56mm (NEMA23)
060	60mm (NEMA23XL)
086	86mm (NEMA34)
	holding torque
001	0,1Nm
005	0,5Nm
020	2,0Nm
035	3,5Nm
059	5,9Nm
	max voltage
060	60VDC
	motor type
S	stepper motor
	type
AN	version
	product group
MOT	motor

stepper motor MOT-AN-S . . .



technical data						
flange dimension		28(NEMA11)	42(NEMA17)	56(NEMA23)	60(NEMA23XL)	86(NEMA34)
motor						
max voltage	[VDC]	60	60	60	60	60
nominal voltage	[VDC]	24-48	24-48	24-48	24-48	24-48
nominal current	[A]	1,0	1,8	4,2	4,2	6,4
holding torque	[Nm]	0,12	0,5	2,0	3,5	5,9
detent torque	[Nm]	0,004	0,022	0,068	0,075	0,210
step angle	[°]	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%	1,8 ±5%
resistance / phase	[Ω]	2,30 ±10%	1,75 ±10%	0,50 ±10%	0,65 ±10%	0,33 ±10%
inductance / phase	[mH]	1,80 ±20%	3,30 ±20%	2,20 ±20%	3,20 ±20%	3,00 ±20%
moment of inertia / rotor	[kgcm ²]	0,018	0,082	0,48	0,84	2,70
max. shaft load axial	[N]	7	7	15	15	65
max. shaft load radial	[N]	20	20	52	63	200
encoder						
operating voltage	[VDC]	5				
impulse / turn		500				
zero impulse / index		yes				
line-driver		RS422 protocol				
signal sequence (motor rotation clockwise)	CW					
brake						
operating voltage	[VDC]	-	24 ±10%	24 ±10%	24 ±10%	24 ±10%
wattage	[W]	-	8	10	10	11
holding torque	[Nm]	-	0,4	1,0	1,0	2,0
moment of inertia	[kgcm ²]	-	0,01	0,02	0,02	0,07
operating condition		The brake may closed not till then the motor idleness.				
weight						
stranded wires	[kg]	0,20	0,38	1,04	1,45	-
plug	[kg]	0,25	0,43	1,12	1,56	3,20
encoder	[kg]	0,27	0,45	1,14	1,58	3,30
encoder and brake	[kg]	-	0,58	1,36	1,82	3,60
operating data						
ambient temperature	[°C]	-10 ...+50				
max temperature rise	[°C]	80				
insulation class		B				
humidity (not condensing)	[%]	85				
protection class engine case		IP65 (shaft seal IP52), motor with stranded wires IP40				
CE		EMV guideline				

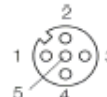
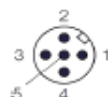
stepper motor MOT-AN-S . . .



pin assignment stepper motor

flange dimension 28(NEMA11)

flange dimension 42,56,60(NEMA17,23,23XL)



motor bipolar

JST XHP-4

wires

pin	signal	phase	color
1	A	1	white
2	A/		brown
3	B	2	blue
4	B/		black

motor bipolar

M12 5-pole

wires

pin	signal	phase	color	color
1	A/	1	brown	brown
2	A		white	white
3	B	2	blue	blue
4	B/		black	black
5	PE	-	-	green/yellow
housing	shielding	-	-	-

pin assignment stepper motor

flange dimension 86(NEMA34)



motor bipolar

M17 7-pole

motor cable

M17 7-pole

pin	signal	phase	number
1	A/	1	1
2	A		2
3	B	2	3
4	B/		4
5	brake 24V	-	5
6	brake 0V	-	6
7	PE	-	green/yellow
housing	shielding	-	shielding

pin assignmen brake/initiator

flange dimension 42,56,60(NEMA17,23,23XL)

flange dimension 86(NEMA34)



brake

M8 3-pole

brake cable

M8 3-pole

pin	signal	color
1	brake (24V)	brown
3	0V	blue
4	-	black

initiator

M8 3-pole

initiator cable

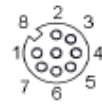
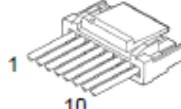
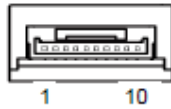
M8 3-pole

pin	signal	color
1	VDC	brown
3	0V	blue
4	switching signal	black

stepper motor MOT-AN-S . . .

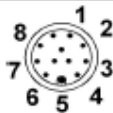


pin assignmen encoder flange dimension 28(NEMA11)	flange dimension 42,56,60(NEMA17,23,23XL)
--	---



encoder connector		encoder plug	encoder	encoder cable
JST / SM10B-GHS-TB		JST / GHR-10V-S	M12 8-pole	M12 8-pole
pin	signal	color	pin	signal
1	shielding	-	1	A
2	A	-	2	A/
3	A/	-	3	B
4	B/	-	4	B/
5	B	-	5	0V
6	N/	-	6	N/
7	N	-	7	N
8	GND	-	8	5V DC
9	5VDC	-	housing	shielding
10	shielding	-		shielding

pin assignmen encoder flange dimension 86(NEMA34)
--

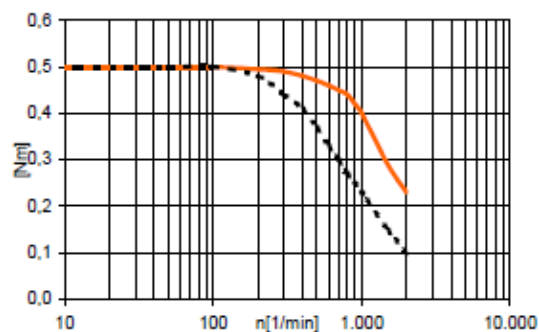
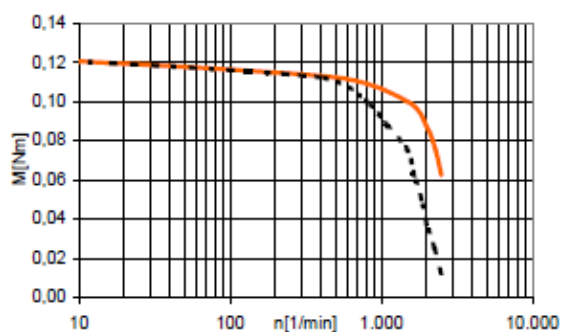


encoder		encoder cable
M17 12-pole		M17 12-pole
pin	signal	color
1	A	brown
2	A/	green
3	B	blue
4	B/	violet
5	0V	white 0,5 [□]
6	N/	grey
7	N	pink
8	5V DC	brown 0,5 [□]
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
housing	shielding	shielding

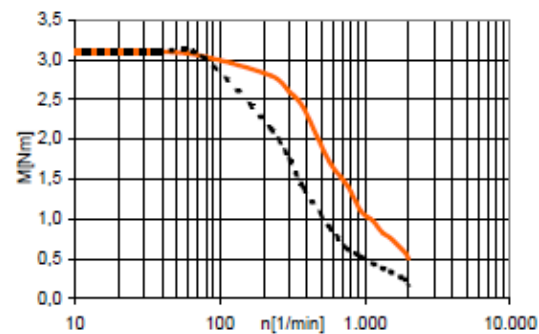
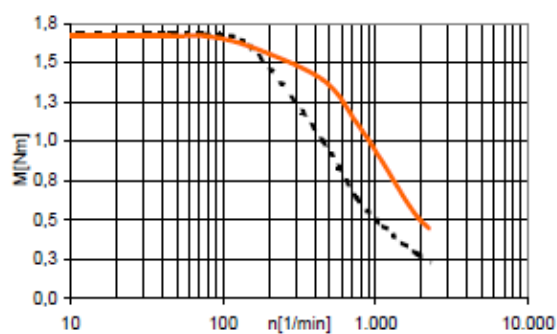
stepper motor MOT-AN-S . . .



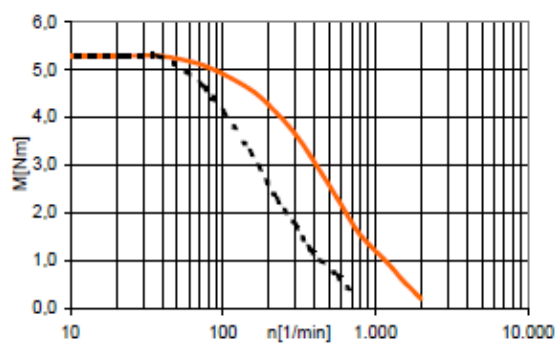
characteristic flange dimension 28 (NEMA11) MOT-AN-S-060-001-028-...	flange dimension 42 (NEMA17) MOT-AN-S-060-005-042-...
--	--



flange dimension 56 (NEMA23) MOT-AN-S-060-020-056-...	flange dimension 60 (NEMA23XL) MOT-AN-S-060-035-060-...
--	--



flange dimension 86 (NEMA34) MOT-AN-S-060-059-086-...
--



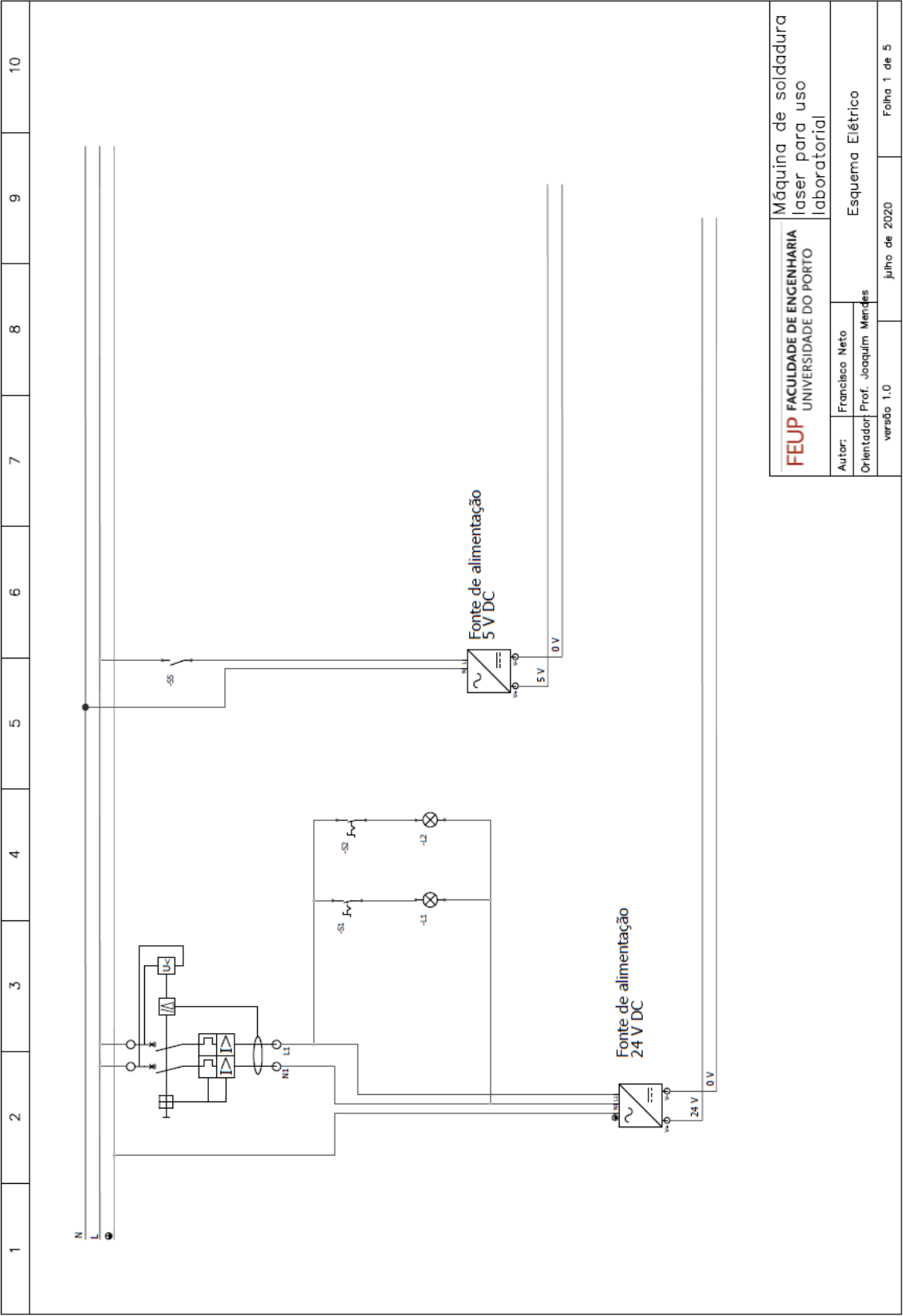
----- 24VDC

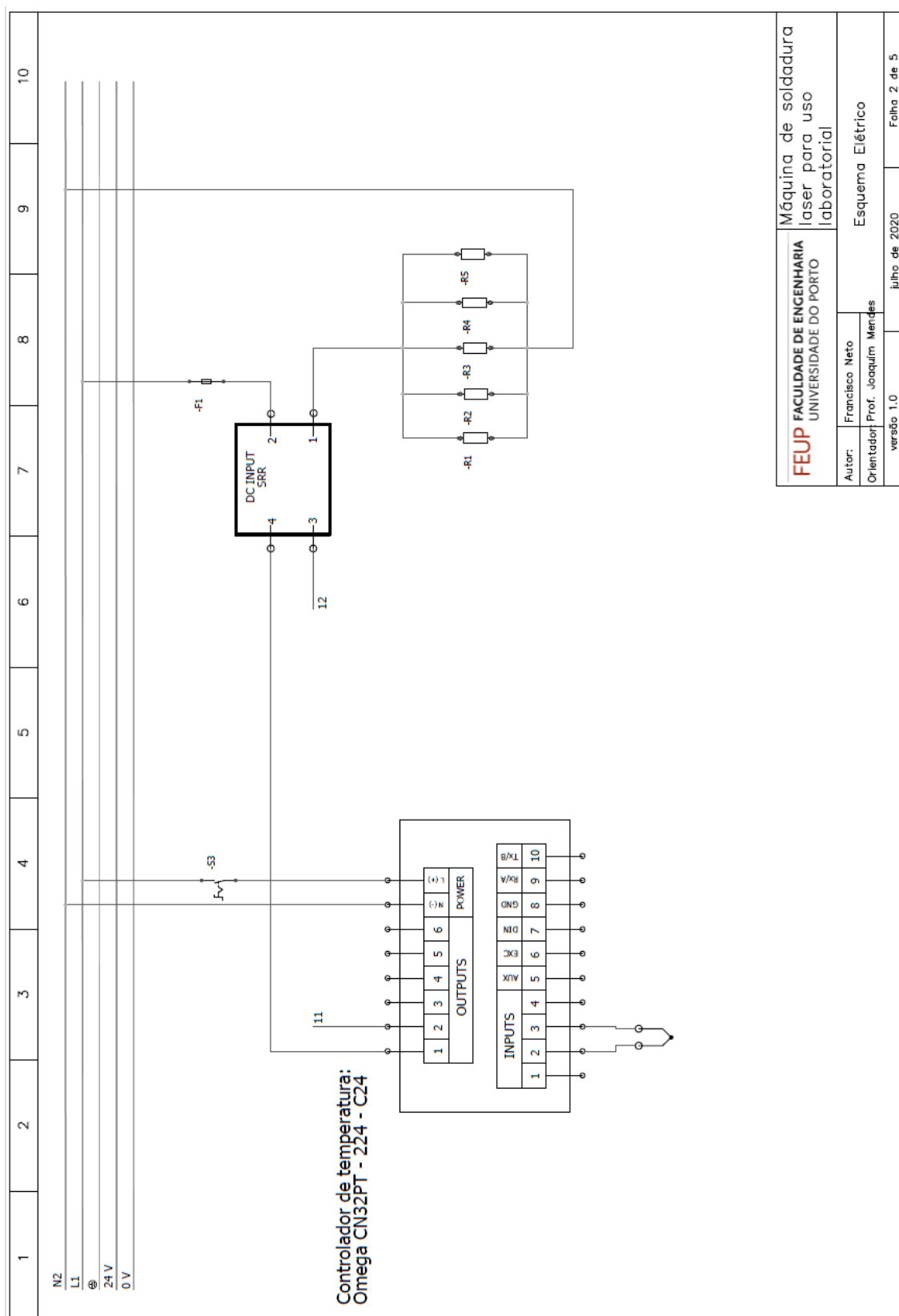
————— 48 VDC

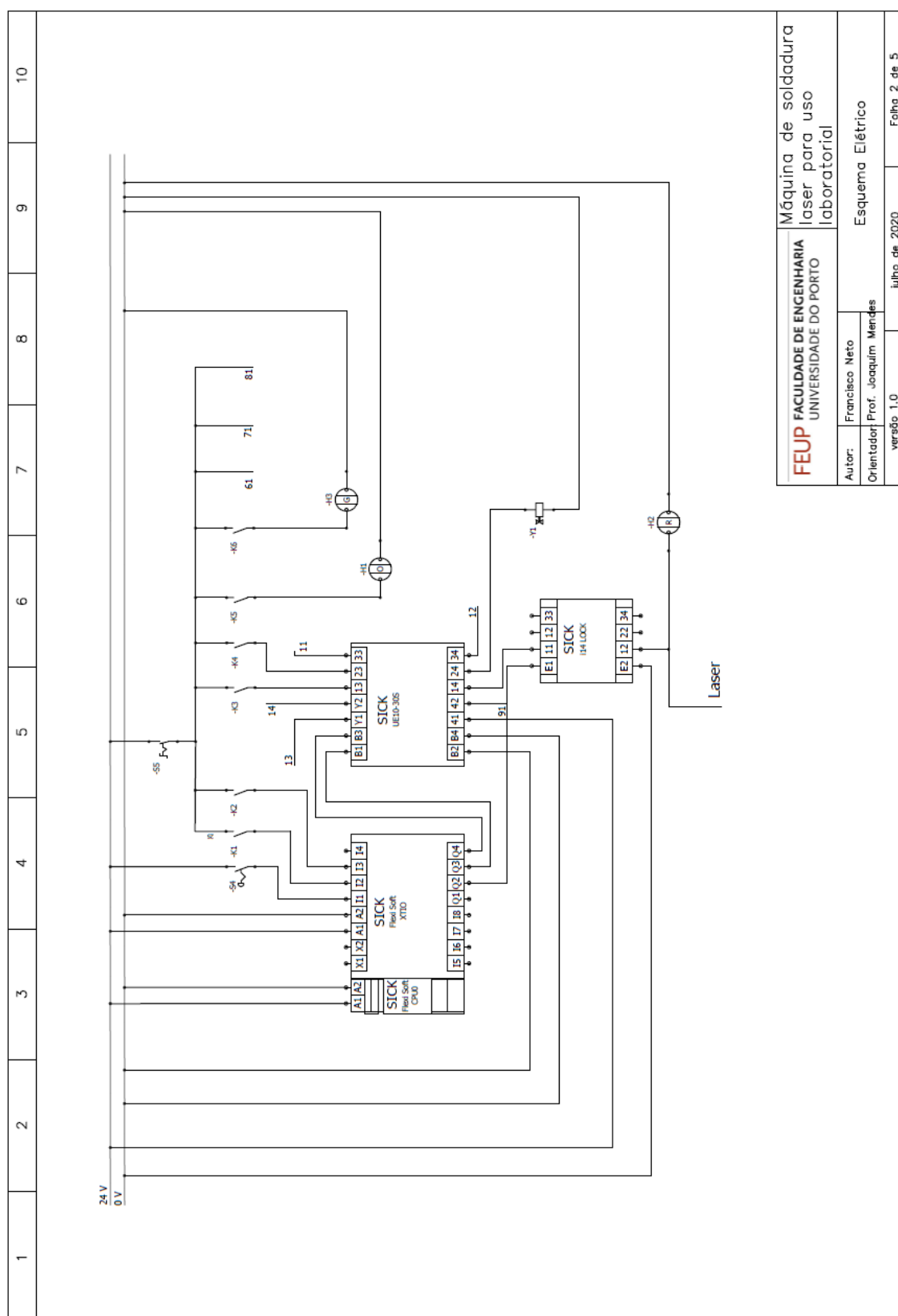
characteristic based on quarter step mode

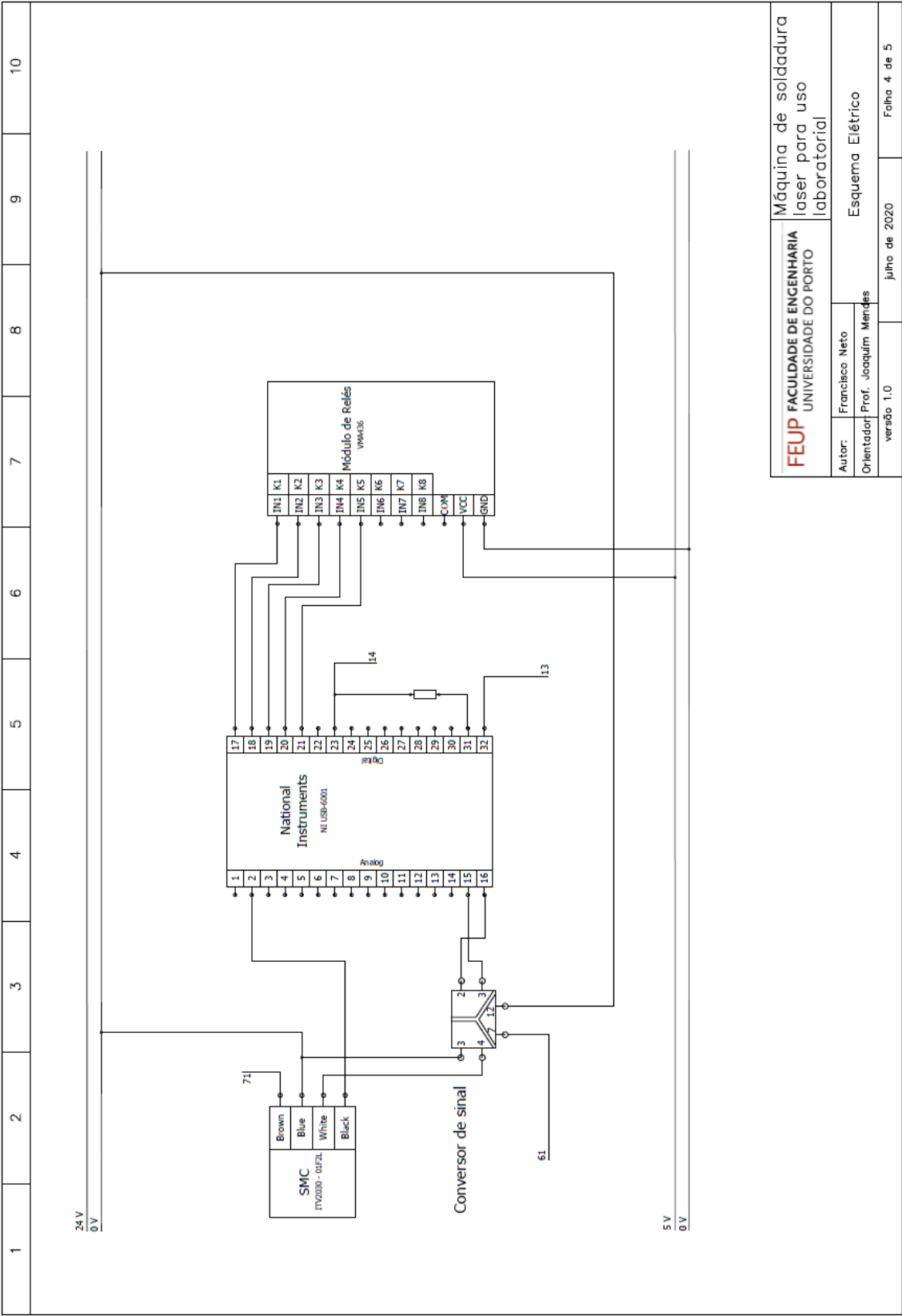
Anexo C

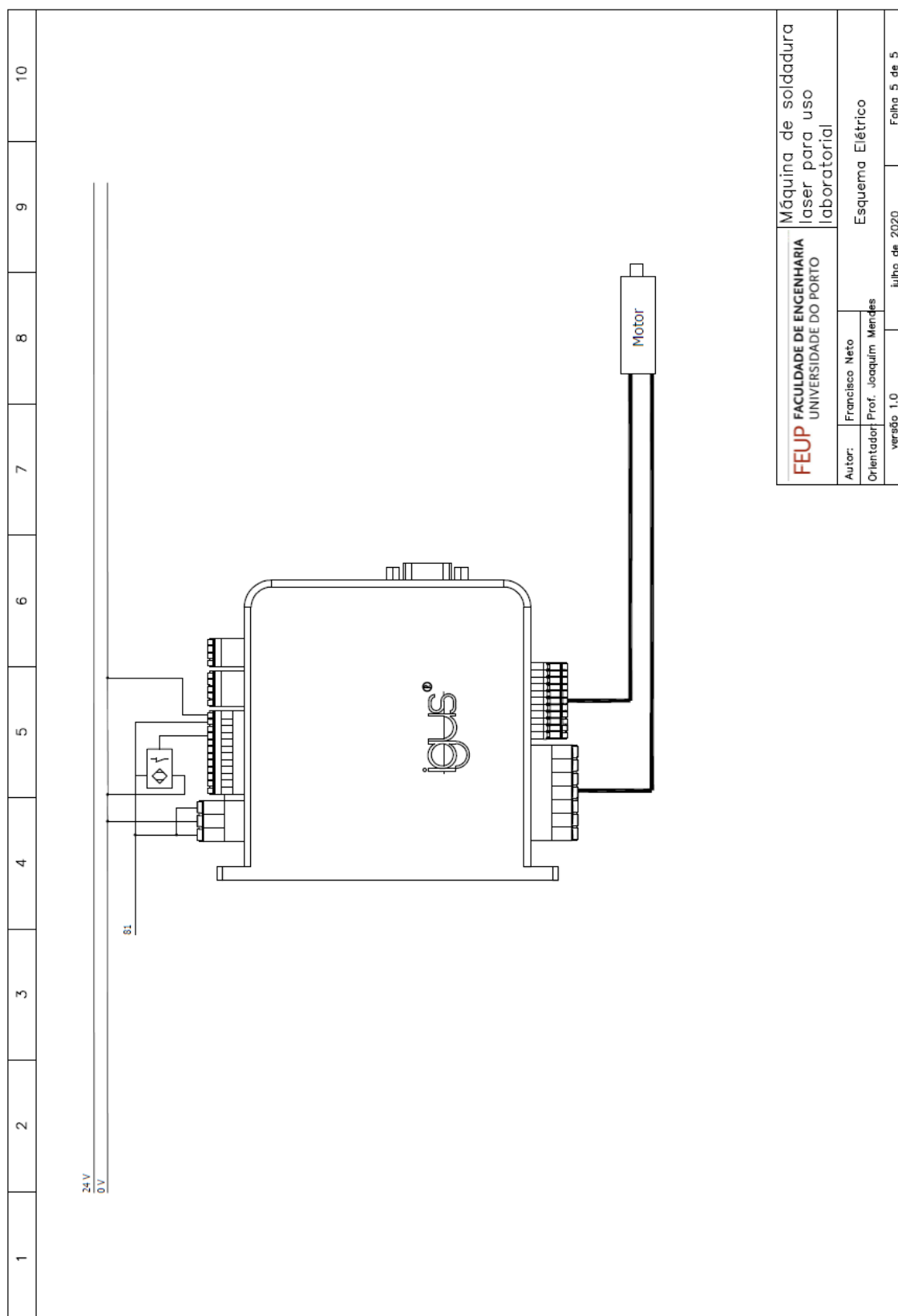
Esquemas elétricos











Anexo D

Configurações do controlador de temperatura

The screenshot displays the 'PID_Control' software window, which contains two identical panels for PID 1 and PID 2. Each panel is divided into several sections for configuring the control loop.

PID 1 Configuration:

- Bounds:** Minimum Low (%) 0.0, Maximum High (%) 100.0, Control Offset (%) 0.0, Deadband (") 0.1, Relative Cool Gain 1.0.
- Action:** Reverse (selected), Direct, Reverse/Direct.
- Adaptive Control Enable:** ☐
- Tuning:** Proportional Gain (P) 1.000, Integral Gain (I) 0.000, Derivative Gain (D) 0.000, Max Rate (/min) 0.000, Autotune Timeout (s) 300. Includes 'Auto Tune' and 'Clear Integral' buttons.

PID 2 Configuration:

- Bounds:** Minimum Low (%) 0.0, Maximum High (%) 100.0, Control Offset (%) 0.0, Deadband (") 0.0, Relative Cool Gain 1.0.
- Action:** Reverse (selected), Direct, Reverse/Direct.
- Adaptive Control Enable:** ☒
- Tuning:** Proportional Gain (P) 17.088, Integral Gain (I) 0.246, Derivative Gain (D) 296.901, Max Rate (/min) 12.125, Autotune Timeout (s) 300. Includes 'Auto Tune' and 'Clear Integral' buttons.

At the bottom of the window, there are 'Update' and 'Refresh' buttons for PID 1, and a 'Refresh' button for PID 2.

Configurações do controlador de temperatura

Ramp and Soak

Ramp - Soak Control

R&S Control **NEL/D.IN START**

Start Profile 1

Profile

Tracking Mode CYCLE

Number of Segments (In Profile) 1

End of Profile Action HOLD

No Linking 0

Refresh

Segment 1

Ramp Time 00:15:00 RE ☒ Setpoint 75.0 Soak Time 05:00:00 SE ☒

Segment 2

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 3

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 4

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 5

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 6

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 7

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Segment 8

Ramp Time 00:10:00 RE ☐ Setpoint 0.0 Soak Time 00:10:00 SE ☐

Profile

Select Profile 1

Inputs

Input Type Thermocouple Filtering X8

Thermocouples

K ☒

J ☐

T ☐

E ☐

N ☐

L ☐

R ☐

S ☐

B ☐

C ☐

RTD

Wires 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐

Type

Type 385, 100 Ohm ☒

Type 385, 500 Ohm ☐

Type 385, 1000 Ohm ☐

Type 392, 100 Ohm ☐

Type 3916, 100 Ohm ☐

Thermistors

2.25k ☐

5.0k ☐

10k ☐

Process

mA 4-20 ☒

mA 0-24 ☐

10v -/+ ☐

1.0v -/+ ☐

0.1v -/+ ☐

0.05v -/+ ☐

Input

Manual ☒

Live ☐

Manual Settings

Input	Reading
4	4
20	20

TARE Options

Disabled ☐

Enabled ☐

Remote ☐

Live Settings

Input	Reading
4	4
20	20

Capture ENABLE

Set Linearization Option

Refresh

Configurações do controlador de temperatura

Outputs

Output 1	Output 2	Output 3	Output 4	Output 5	Output 6
SSR 1	SSR 2	DCPulse 1	--	--	--
Mode: OFF	Mode: OFF	Mode: PID 2	Mode: 815	Mode: OFF	Mode: OFF
Value:	Value:	Value:	Value:	Value:	Value:
Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct	Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct	Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct	Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct	Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct	Output Action: ☒ Reverse ☐ Direct ☐ Reverse Direct
On-Off Options: Setpoint	On-Off Options: Setpoint	On-Off Options: Setpoint	On-Off Options: Setpoint	On-Off Options: Setpoint	On-Off Options: Setpoint
Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐	Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐	Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐	Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐	Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐	Setpoint 1: ☒ Setpoint 2: ☐
Deadband: 5.0	Deadband: 5.0	Deadband: 5.0	Deadband: 5.0	Deadband: 5.0	Deadband: 5.0
Digital Options: Cycle Time: 1.0	Digital Options: Cycle Time: 1.0	Digital Options: Cycle Time: 1.0	Digital Options: Cycle Time: 1.0	Digital Options: Cycle Time: 1.0	Digital Options: Cycle Time: 1.0
Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00	Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00	Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00	Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00	Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00	Retransmission Scaling: Reading: 0.0, Output: 0.00
Analog Options: Output Range: 0 - 10	Analog Options: Output Range: 0 - 10	Analog Options: Output Range: 0 - 10	Analog Options: Output Range: 0 - 10	Analog Options: Output Range: 0 - 10	Analog Options: Output Range: 0 - 10
Refresh	Refresh	Refresh	Refresh	Refresh	Refresh

Miscellaneous

Display Settings	Safety	Output Break Detect
Decimal Points: FFFF	Power On Mode: Power On Resume ☐	Output Break Detect
Units: CELCIUS	Power On Run ☐ Power On Wait ☒	Output Mode Enable Deviation (°) Timeout (min)
Display Color: GREEN	Oper Run Mode: Return to Run ☐ Return to Wait ☒	SSR1 OFF ☐ 10.0 10.0
Brightness: HIGH	Setpoint Limits: Low Limit: 0.0 High Limit: 210.0	SSR2 OFF ☐ 10.0 10.0
Time Format: MM.SS	Sensor Loop Break: Break Detect ☐ Break Timeout: 60.0	DC1 PID_2 ☐ 10.0 10.0
Refresh	Open Detect ☒ Latch Sensor Error ☒	-- OFF ☐ 10.0 10.0
Excitation: Voltage: 5	Sensor Status ☐ Output Status ☐	-- OFF ☐ 10.0 10.0
Refresh	Auto Refresh Status: 5.00	-- OFF ☐ 10.0 10.0
		Latch Output Error ☒
		Refresh

Configurações do controlador de temperatura

Comms

USB Comm Options

Protocol

Omega ☐

Modbus ☒

Modbus Mode

ASCII ☐

RTU ☒

Cont. Record

Rate

Status ☐

Reading ☒

Peak ☐

Valley ☐

Units ☐

Mode

Cont ☐

Cmd ☒

Terminator

CR+LF ☐

CR ☒

Field Separator

CR between fields ☐

SPACE between fields ☒

Address

Refresh

Ethernet Comm Options

Protocol

Omega ☒

Modbus ☐

Modbus Mode

ASCII ☐

RTU ☒

Cont. Record

Rate

Status ☐

Reading ☒

Peak ☐

Valley ☐

Units ☐

Mode

Cont ☐

Cmd ☒

Terminator

CR+LF ☒

CR ☐

Field Separator

CR between fields ☐

SPACE between fields ☒

Address

Refresh

Serial Comm Options

Protocol

Omega ☐

Modbus ☒

Modbus Mode

ASCII ☐

RTU ☒

Cont. Record

Rate

Status ☐

Reading ☒

Peak ☐

Valley ☐

Units ☐

Mode

Cont ☐

Cmd ☒

Terminator

CR+LF ☒

CR ☐

Field Separator

CR between fields ☐

SPACE between fields ☒

Address

Refresh

Serial Parameters

RS485 ☐

RS232 ☒

Baud Rate

Parity

Data Bits

Stop Bits

Refresh

Configuration

Device ID

FAFEFFFF

Version

1.4.0.6

Bootloader Version

1.2.0.0

Base Output Version

1.0.0.0

Smart Output Version

1.6.1.0

Isolated Output Version

--

Configuration: CN32DPT-224-C24

Factory Reset

Order Options

Brand

☒ Omega ☐ Newport

Case Size

☒ 1/32 DIN ☐ 1/16 DIN ☐ 1/8 DIN

Power

☒ AC ☐ DC

Primary Display

☒ Small ☐ Large ☐ 6 Char

Second Display

Installed ☒

Model

☒ Controller ☐ Meter

Output Options

Base Board Outputs

(22-) SSR, SSR

Smart Outputs

(~4) DC Pulse

Upgrade Firmware

Isolated Outputs

(000) NULL

Communications

Serial ☒ Ethernet ☐

Refresh

Configurações do controlador de temperatura

Anexo E

Configurações dos drivers dos motores

Motor do Eixo XX

bus

drive D1 motor_mesa_xx

Start

Motor

Axis

Communication

Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature drive48.00 °C

Motor Current0.05 A

Actual Position0.00 mm

Goal Position0.00 mm

Motor

Motor TypeST (Stepper Motor)

Article NumberMOT-AN-S-060-020-058-M-C-AAAC

Motor Current (A)3.2

Boost Current (A)3.2

Holding Current (A)1.6

Step ModeAuto

Step Angle1.8°

Apply Changes

Gear

Gear Ratio1:1

Feedback

Encoder as Line Driver

Index

Impulses500

Impulse Check

Closed Loop

Self Tuning

Brake

Eco-Mode

Eco Delay (ms)100

Switching Delay (ms)100

Braking Resistor

Braking Voltage (V)51

Configurações dos drivers dos motores

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve48.04 °C

Motor Current0.02 A

Actual Position0.00 mm

Goal Position0.00 mm

Axis

Available Stroke (mm)150

Feed Rate (mm)2

Motion Limits

Max. Velocity (mm/s)100

Jog Velocity (mm/s)20

Max. Acceleration (mm/s²)200

S-Curve (%)0

Quick-Stop (mm/s²)1000

Following Error (mm)10

Positioning Window (mm)0

Positioning Time (ms)0

Limit Switch

PositionNegative

Reference

MethodLSN (Limit Switch Negative)

Offset (mm)5

Absolute Feedback

AI 1 Target Value Min. (V)0

AI 1 Target Value Max. (V)10

AI 1 Dead Band Zero Value (V)0.1

AI 1 Dead Band Input Signal (V)0.01

AI 1 Filter (ms)10

AI 2 Absolute Value Min. (V)1.49538

→

0

AI 2 Absolute Value Max. (V)1.49538

→

10

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve48.05 °C

Motor Current0.07 A

Actual Position0.00 mm

Goal Position0.00 mm

Ethernet TCP/IP

Automatic IP

Manual IP

IP-Address192.168.0.13

Subnet Mask255.255.255.0

Gateway192.168.0.1

Hostnameigus-dryve-D1-1e04

Apply Ethernet SettingsReboot

Transmission Protocol

https

http

External https CertificateUpload to dryve D1

Self Signed https CertificateGenerate

Bus Systems

CANopen

Node ID1

Baud ratePlease Choose

Modbus TCP

Port502

Unit Identifier255

MAC-Address1c87:76:30:1e:04

94

igus drive D1 motor_mesa_xx

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

☒ Enable
☐ Ready
☒ Goal Reached
☐ Referenced
☐ Alert
☐ Error

Temperature dryve 48.07 °C
 Motor Current 0.03 A
 Actual Position 0.00 mm
 Goal Position 0.00 mm

Digital Inputs

☐ DI 1	Bit 0	☐ H
☐ DI 2	Bit 1	☐ H
☐ DI 3	Bit 2	☐ H
☐ DI 4	Bit 3	☐ H
☐ DI 5	Bit 4	☐ H
☐ DI 6	Start	☐ H
☒ DI 7	Enable	☐ L
☒ DI 8	Limit Switch Positive	☐ L
☐ DI 9	Limit Switch Negative	☐ L
☐ DI 10	Stop/Reset	☐ H

Digital Outputs

☐ DO 1	Ready	☐ H
☐ DO 2	Active	☐ H
☐ DO 3	Reference	☐ H
☐ DO 4	Alert	☐ H
☐ DO 5	Error	☐ H

Analogue Inputs

AI 1	0-10 V	☐	±10 V
AI 2	0-10 V	☐	±10 V

Digital Input Switching

PNP

igus drive D1 motor_mesa_xx

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

☒ Enable
☐ Ready
☒ Goal Reached
☐ Referenced
☐ Alert
☐ Error

Temperature dryve 48.09 °C
 Motor Current 0.10 A
 Actual Position 0.00 mm
 Goal Position 0.00 mm

Modbus TCP

Modbus TCP communication to master controller set dominant

Motor do Eixo YY

igus

dryve D1 motor_mesa_YY

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

● Enable

● Ready

● Goal Reached

● Referenced

● Alert

● Error

Temperature dryve44.64 °C

Motor Current0.08 A

Actual Position0.00 mm

Goal Position0.00 mm

Motor

Motor TypeST (Stepper Motor)

Article NumberMOT-AN-S-060-020-056-M-C-AAAC

Motor Current (A)3.2

Boost Current (A)3.2

Holding Current (A)1.6

Step ModeAuto

Step Angle1.8°

Apply Changes

Gear

OFF

Gear Ratio1:1

Feedback

ON

Encoder as Line Driver

Index

ON

Impulses500

Impulse Check

Closed Loop

OFF

Self Tuning

Brake

OFF

Eco-Mode

OFF

Eco Delay (ms)100

Switching Delay (ms)100

Braking Resistor

Braking Voltage (V)51

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve44.66 °C

Motor Current0.06 A

Actual Position0.00 mm

Goal Position0.00 mm

Axis

Available Stroke (mm)150

Feed Rate (mm)2

Motion Limits

Max. Velocity (mm/s)100

Jog Velocity (mm/s)20

Max. Acceleration (mm/s²)200

S-Curve (%)0

Quick-Stop (mm/s²)1000

Following Error (mm)10

Positioning Window (mm)0

Positioning Time (ms)0

Limit Switch

PositionNegative

Reference

MethodLSN (Limit Switch Negative)

Offset (mm)0

Absolute Feedback

AI 1 Target Value Min. (V)0

AI 1 Target Value Max. (V)10

AI 1 Dead Band Zero Value (V)0.1

AI 1 Dead Band Input Signal (V)0.01

AI 1 Filter (ms)10

AI 2 Absolute Value Min. (V)1.487610

AI 2 Absolute Value Max. (V)1.4876110

Configurações dos drivers dos motores

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve

44.71 °C

Motor Current

0.07 A

Actual Position

0.00 mm

Goal Position

0.00 mm

Ethernet TCP/IP

Automatic IP

IP-Address

192.168.0.11

Subnet Mask

255.255.255.0

Gateway

192.168.0.1

Hostname

igus-dryve-D1-1e04

Apply Ethernet Settings

Reboot

Transmission Protocol

https

http

External https Certificate

Upload to dryve D1

Self Signed https Certificate

Generate

Bus Systems

CANopen

OFF

Node ID

1

Baud rate

Please Choose

Modbus TCP

ON

Port

503

Unit Identifier

255

MAC-Address

1c:87:76:30:1e:0e

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve

44.73 °C

Motor Current

0.03 A

Actual Position

0.00 mm

Goal Position

0.00 mm

Digital Inputs

DI 1

Bit 0

H

DI 2

Bit 1

H

DI 3

Bit 2

H

DI 4

Bit 3

H

DI 5

Bit 4

H

DI 6

Start

H

DI 7

Enable

L

DI 8

Limit Switch Positive

L

DI 9

Limit Switch Negative

L

DI 10

Stop/Reset

H

Digital Outputs

DO 1

Ready

H

DO 2

Active

H

DO 3

Reference

H

DO 4

Alert

H

DO 5

Error

H

Analogue Inputs

AI 1

0-10 V

±10 V

AI 2

0-10 V

±10 V

Digital Input Switching

PNP

igus

dryve D1 motor_mesa_YY

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve

Motor Current

Actual Position

Goal Position

44.74 °C

0.09 A

0.00 mm

0.00 mm

Modbus TCP

Modbus TCP communication to master controller set dominant

99

Motor do Eixo ZZ

igus dryve D1 motor_altura_ZZ

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve47.87 °C

Motor Current0.08 A

Actual Position0.05 mm

Goal Position0.05 mm

Motor

Motor TypeST (Stepper Motor)

Article NumberMOT-AN-S-090-020-056-M-C-AAAC

Motor Current (A)3.2

Boost Current (A)3.2

Holding Current (A)1.6

Step ModeAuto

Step Angle1.8°

Apply Changes

Gear

Gear Ratio1:1

Feedback

IndexEncoder as Line Driver

Impulses500

Impulse Check

Closed Loop

Self Tuning

Brake

Eco-Mode

Eco Delay (ms)100

Switching Delay (ms)100

Braking Resistor

Braking Voltage (V)51

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve47.89 °C

Motor Current0.07 A

Actual Position0.05 mm

Goal Position0.05 mm

Axis

Available Stroke (mm)400

Feed Rate (mm)4

Motion Limits

Max. Velocity (mm/s)100

Jog Velocity (mm/s)20

Max. Acceleration (mm/s²)200

S-Curve (%)0

Quick-Stop (mm/s²)1000

Following Error (mm)10

Positioning Window (mm)0

Positioning Time (ms)0

Limit Switch

PositionNegative

Reference

MethodLSP (Limit Switch Positive)

Offset (mm)400

Absolute Feedback

AI 1 Target Value Min. (V)0

AI 1 Target Value Max. (V)10

AI 1 Dead Band Zero Value (V)0.1

AI 1 Dead Band Input Signal (V)0.01

AI 1 Filter (ms)10

AI 2 Absolute Value Min. (V)1.492720

AI 2 Absolute Value Max. (V)1.4927210

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve47.90 °C

Motor Current0.05 A

Actual Position0.05 mm

Goal Position0.05 mm

Ethernet TCP/IP

Automatic IP

Manual IP

IP-Address192.168.0.12

Subnet Mask255.255.255.0

Gateway192.168.0.1

Hostnameigus-dryve-D1-1e04

Apply Ethernet Settings

Reboot

Transmission Protocol

https

http

External https CertificateUpload to dryve D1

Self Signed https CertificateGenerate

Bus Systems

CANopen

Node ID1

Baud ratePlease Choose

Modbus TCP

Port504

Unit Identifier255

MAC-Address1c:87:76:30:1e:0d

101

Configurações dos drivers dos motores

igus dryve D1 motor_altura_ZZ

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

- Enable
- Ready
- Goal Reached
- Referenced
- Alert
- Error

Temperature dryve 47.90 °C

Motor Current 0.05 A

Actual Position 0.05 mm

Goal Position 0.05 mm

Digital Inputs

DI 1	Bit 0	H
DI 2	Bit 1	H
DI 3	Bit 2	H
DI 4	Bit 3	H
DI 5	Bit 4	H
DI 6	Start	H
DI 7	Enable	L
DI 8	Limit Switch Positive	L
DI 9	Limit Switch Negative	H
DI 10	Stop/Reset	H

Digital Outputs

DO 1	Ready	H
DO 2	Active	H
DO 3	Reference	H
DO 4	Alert	H
DO 5	Error	H

Analogue Inputs

AI 1	0-10 V	±10 V
AI 2	0-10 V	±10 V

Digital Input Switching

PNP

igus dryve D1 motor_altura_ZZ

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

- Enable
- Ready
- Goal Reached
- Referenced
- Alert
- Error

Temperature dryve 47.91 °C

Motor Current 0.08 A

Actual Position 0.05 mm

Goal Position 0.05 mm

Modbus TCP

Modbus TCP communication to master controller set dominant

Motor do Eixo Rotativo

 dryve D1 motor_rotativo

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve 44.17 °C

Motor Current 0.10 A

Actual Position 0.00 °

Goal Position 0.00 °

Motor

Motor Type

Article Number

Motor Current (A)

Boost Current (A)

Holding Current (A)

Step Mode

Step Angle

Apply Changes

Gear

Gear Ratio

Feedback

Index

Impulses

Impulse Check

Closed Loop

Self Tuning

Brake

Eco-Mode

Eco Delay (ms)

Switching Delay (ms)

Braking Resistor

Braking Voltage (V)

Configurações dos drivers dos motores


dryve D1 motor_rotativo

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve 44.18 °C

Motor Current 0.05 A

Actual Position 0.00 °

Goal Position 0.00 °

Axis

Available Stroke (°) 90

Feed Rate (°) 7.2

Motion Limits

Max. Velocity (°/s) 36

Jog Velocity (°/s) 7.2

Max. Acceleration (°/s²) 72

S-Curve (%) 0

Quick-Stop (°/s²) 360

Following Error (°) 3.6

Positioning Window (°) 0

Positioning Time (ms) 0

Limit Switch

Position Negative

Reference

Method LSN (Limit Switch Negative)

Offset (°) 0

Absolute Feedback

AI 1 Target Value Min. (V) 0

AI 1 Target Value Max. (V) 10

AI 1 Dead Band Zero Value (V) 0.1

AI 1 Dead Band Input Signal (V) 0.01

AI 1 Filter (ms) 10

AI 2 Absolute Value Min. (V) 1.50125

→

0

AI 2 Absolute Value Max. (V) 1.50125

→

10

104

Configurações dos drivers dos motores

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve

44.19 °C

Motor Current

0.06 A

Actual Position

0.00 °

Goal Position

0.00 °

Ethernet TCP/IP

Automatic IP

IP-Address

192.168.0.10

Subnet Mask

255.255.255.0

Gateway

192.168.0.1

Hostname

igus-dryve-D1-1e04

Apply Ethernet Settings

Reboot

Transmission Protocol

https

http

External https Certificate

Upload to dryve D1

Self Signed https Certificate

Generate

Bus Systems

CANopen

OFF

Node ID

1

Baud rate

Please Choose

Modbus TCP

ON

Port

505

Unit Identifier

255

MAC-Address

1c:87:76:30:1e:05

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

Enable

Ready

Goal Reached

Referenced

Alert

Error

Temperature dryve

44.20 °C

Motor Current

0.09 A

Actual Position

0.00 °

Goal Position

0.00 °

Digital Inputs

DI 1

Bit 0

H

DI 2

Bit 1

H

DI 3

Bit 2

H

DI 4

Bit 3

H

DI 5

Bit 4

H

DI 6

Start

H

DI 7

Enable

L

DI 8

Limit Switch Positive

H

DI 9

Limit Switch Negative

H

DI 10

Stop/Reset

H

Digital Outputs

DO 1

Ready

H

DO 2

Active

H

DO 3

Reference

H

DO 4

Alert

H

DO 5

Error

H

Analogue Inputs

AI 1

0-10 V

±10 V

AI 2

0-10 V

±10 V

Digital Input Switching

PNP

Configurações dos drivers dos motores

 dryve D1 motor_rotativo

Start

Motor

Axis

Communication

I/O Inputs/Outputs

Drive Profile

Oscilloscope

☒ Enable

☐ Ready

☒ Goal Reached

☐ Referenced

☐ Alert

☐ Error

Temperature dryve

Motor Current

Actual Position

Goal Position

44.21 °C

0.07 A

0.00 °

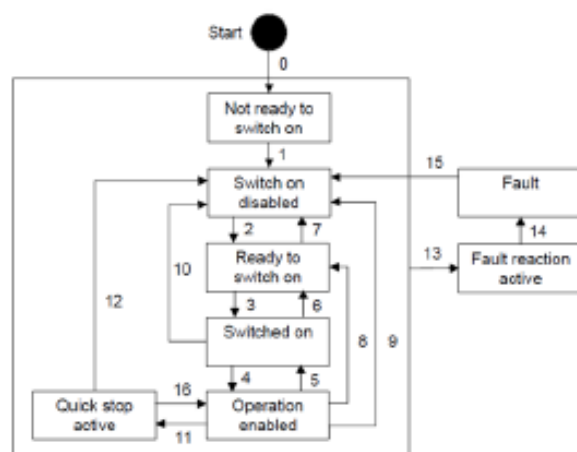
0.00 °

Modbus TCP

Modbus TCP communication to master controller set dominant

Anexo F

Comandos Modbus



To go through the State Machine the Bits 0, 1, 2 and 3 must be set permanently after being set the first time.

Command	Bit assignment, Controlword 6040h					Transitions
	Bit 7	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Shutdown	0	X	1	1	0	2, 6, 8
Switch On	0	0	1	1	1	3
Switch On and Enable Operation1	0	1	1	1	1	3, 4
Disable Voltage	0	X	X	0	X	7, 9, 10, 12
Quick Stop	0	X	0	1	X	7, 10, 11
Disable Operation	0	0	1	1	1	5
Enable Operation	0	1	1	1	1	4, 16
Fault Reset		X	X	X	X	15

Automatic transition to Enable Operation after Switch On has been set

Note
After passing through the State Machine successfully and obtaining the state "Operation enabled" the Bits 0, 1, 2 and 3 must be sent with each Controlword telegram to maintain the state "Operation enabled"

6.4.4 Necessary User Interface Settings

The following objects/parameters must be set in the user interface of the drive D1.

"Motor" page

All parameters relevant to the motor must be set in the user interface.

"Axis" page

The maximum value must be set for each of the following parameters.

Group	Parameter	CANopen object	Value set at user Interface
Motion Limits	Available Stroke	No object available	1.000.000
	Max. Velocity	No object available	100.000
	Jog Velocity	No object available	100.000
	Max. Acceleration	No object available	1.000.000
Reference	Method	6098h Homing Method	Selection
	Offset	607Ch Home Offset	0 – 1.000.000 (application-specific)

"Communication" page

Parameterization and activation of the CANopen communication Interface [Bus Systems](#) (p.49).

"Drive Profile" page

Setting the dominance via the dropdown menu to allow the CANopen master to execute movements.

Anexo G

Esquema neumático

