



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

**MÁQUINA DE ENSAIO DE COMPONENTES
PROTÉTICOS**

Projeto de Mestrado

João Ferreira Botas

Mestrado em Engenharia Mecânica

(Projeto e Produção Mecânica)

Abrantes/ Janeiro/ 2017





Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

João Ferreira Botas

**MÁQUINA DE ENSAIO DE COMPONENTES
PROTÉTICOS**

Projeto de Mestrado

Orientado por:

Doutor Bruno Miguel Santana Chaparro

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

RESUMO

O presente trabalho descreve o trabalho realizado na unidade curricular de Projeto do Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Politécnico de Tomar. O projeto teve por objetivo central realizar uma nova automatização de uma máquina de ensaios de componentes protéticos, denominada pelo fabricante CS – Dental Machine, máquina de ensaios de fadiga para uniões dentárias, utilizadas na colocação de próteses dentárias.

O ponto de partida deste projeto não foi o zero, dado a já existir a máquina, mas com muitos erros de funcionamento, devido a defeitos de instalação elétrica e programação do PLC.

O projeto consistiu então no estudo do funcionamento da CS – Dental Machine, na seleção de componentes novos a aplicar, no desenvolvimento de um novo circuito elétrico e programação de um PLC e, culminando com a alteração física da máquina e realização de testes e ensaios de fadiga a componentes protéticos.

Palavras-chave: CS – Dental Machine, uniões dentárias, componentes, circuito elétrico, PLC.

ABSTRACT

The present work describes the work carried out in the curricular unit project of the Master's Degree in Mechanical Engineering of the Polytechnic Institute of Tomar. The main objective of the project was to carry out a new automation of a prosthetic component testing machine, named by the manufacturer CS - Dental Machine, fatigue testing machine for dental joints, used in the placement of dental prostheses.

The starting point for this project was not zero, given the machine already exists, but with many errors of operation, due to electrical installation defects and PLC programming.

The project consisted in the study of the operation of the CS - Dental Machine, in the selection of new components to be applied, in the development of a new electric circuit and programming of a PLC and, culminating in the physical alteration of the machine and tests of fatigue to prosthetic components.

Keywords: CS - Dental Machine, dental unions, components, electrical circuit, PLC.

AGRADECIMENTOS

Um sincero agradecimento ao Professor Doutor Bruno Miguel Santana Chaparro por todo o apoio prestado na elaboração desta Dissertação de Mestrado e por toda a disponibilidade e empenho demonstrados.

A todos os professores da Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, por sempre se terem mostrado disponíveis para ajudar em tudo o que lhes fosse possível.

Aos meus pais, por sempre terem sido os melhores do mundo e, por terem sempre estado do meu lado em todos os momentos da minha vida.

A toda a minha família, principalmente àqueles que já não estão entre nós.

À minha namorada, pela ajuda, compreensão, dedicação e até alguma paciência em momentos mais stressantes no culminar deste percurso académico, mas principalmente, por ter sido a pessoa que mais me força me deu para chegar a este momento.

A todos os meus amigos que estiveram sempre presentes nos bons e nos maus momentos.

A todos os meus colegas e amigos de faculdade que me acompanharam durante todo o meu percurso académico e o tornaram inesquecível.

Índice

1. Introdução.....	6
1.1. Enquadramento do Projeto.....	6
1.2. CS – Dental Testing Machine, modelo 1D1-BAD	7
1.3. Objetivos do Projeto	7
1.4. Estrutura da Dissertação	8
2. Estudo prévio da máquina.....	8
2.1. Âmbito de aplicação	8
2.2. Descrição geral	8
3. <i>Retrofit</i> da CS – Dental Machine	19
3.1. Seleção de componentes	20
3.1.1. Atuação Mecânica	20
3.1.2. Sensorização.....	24
3.1.3. PLC.....	26
3.1.4. <i>Hardware</i> de Comando	28
3.1.5. Quadro Elétrico	29
3.1.6. Aquisição de Dados.....	31
3.2. Programação do autómato e interface gráfica com o utilizador	31
3.3. Verificação Experimental	38
4. Conclusão.....	40
5. Referências Bibliográficas	41
6. Anexos.....	42
6.1. Ficha Técnica Vetek TS50Kg e TS100Kg	42
6.2. Ficha Técnica IFM TD2297	46
6.3. Circuito Elétrico.....	50
6.4. Programação PLC	60

Índice de Figuras

Figura 1 - Protótipo da CS - Dental Testing Machine [1]	7
Figura 2 - Vista isométrica da máquina.....	9
Figura 3 - Parte inferior da máquina.....	9
Figura 4 - Pilares da zona inferior da máquina.....	10
Figura 5 - <i>Assembly</i> de componentes da parte inferior da máquina	10
Figura 6 - Porta de segurança colocada na parte inferior da máquina.....	10
Figura 7 – Montagem da célula de carga, zona de ensaios e ventilador.....	11
Figura 8 - Célula de carga.....	11
Figura 9 – União encarregue de transmitir cargas	12
Figura 10 - Copo onde são realizados os ensaios	12
Figura 11 - União superior.....	13
Figura 12 – 2 tipos de uniões inferiores para ensaios.....	13
Figura 13 - Aba de ligação	13
Figura 14 – <i>Assembly</i> da zona de ensaios da máquina (resistência de aquecimento, sonda e líquido)	14
Figura 15 - Localização do ventilador para extração de gases	14
Figura 16 – Parte superior da máquina.....	15
Figura 17 – Estrutura metálica da parte superior da máquina	15
Figura 18 – Tampa metálica da parte superior da máquina.....	16
Figura 19 - Exemplo de atuador da máquina.....	16
Figura 20 - Exemplo de aplicação da drive do servomotor	16
Figura 21 - Exemplo de módulo de interfaces.....	17
Figura 22 - Aplicação de consola lcd	17
Figura 23 - Aplicação de tomada USB para transferência de dados	18
Figura 24 – Aplicação de botão de emergência.....	18
Figura 25 - Aplicação de quadro elétrico	19
Figura 26 - Fluxo de um sistema de controlo [2]	20
Figura 27 - Servomotor OMRON R88M-G40030H-BS2	20
Figura 28 - Princípio de funcionamento e controlo de um servomotor [3]	21
Figura 29 - Servomotores de corrente contínua [6].....	22

Figura 30 - Servomotores síncronos de corrente alternada [6].....	22
Figura 31 - Servomotores de indução [6]	23
Figura 32 - Célula de carga Vetek TS 100Kg	25
Figura 33 - Sensor de temperatura IFM TD2297	25
Figura 34 - Diagrama da aplicação do PLC a um determinado processo ou máquina [11]	26
Figura 35 - Constituição de um PLC [11]	27
Figura 36 - Componentes constituintes da CPU [11]......	27
Figura 37 - PLC OMRON CP1L.....	28
Figura 38 - Quadro elétrico retrofit da CS - Dental Machine.....	30
Figura 39 – Ligações existentes no quadro elétrico da CS – Dental Machine	31
Figura 40 – Linha de programação do PLC	32
Figura 41 - Esquema de menus do display da CS - Dental Machine	33
Figura 42 - Menu principal do display da máquina.....	34
Figura 43 - Menu ensaio do display da máquina.....	34
Figura 44 - Menu dados do ensaio do display da máquina	35
Figura 45 - Menu curva de ensaio do display da máquina	35
Figura 46 - Menu modo manual do display da máquina	36
Figura 47 - Menu configurações do display da máquina.....	36
Figura 48 - Menu manutenção do display da máquina.....	37
Figura 49 - Segundo menu manutenção do display da máquina	37
Figura 50 - Menu sinais de estado do display da máquina.....	38
Figura 51 - Menu de alarmes do display da máquina.....	38
Figura 52 - Fotografia de ensaio da CS - Dental Machine	39
Figura 53 – Fotografia de ensaio da CS – Dental Machine.....	39
Figura 54 - Fotografia de ensaio da CS – Dental Machine	40

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de características dos diferentes tipos de servomotores [20]	24
Tabela 2 – Características OMRON NB7W-TW01B	29

Índice de Abreviaturas e Siglas

LED – Light Emitting Diode

PLC – Programmable Logic Controller

USB – Universal Serial Bus

PWM – Pulse Width Modulation

CPU – Central Processing Unit

VAC – Volt Alternate Current

VDC – Volt Direct Current

1. Introdução

O capítulo inicial desta dissertação tem como propósito apresentar o tema do trabalho desenvolvido nas suas linhas gerais – Máquina de ensaios de componentes protéticos, mais propriamente de uniões dentárias, revelando o seu enquadramento, bem como os objetivos específicos que se pretendem alcançar. Apresenta-se também como foi fabricada a máquina e os seus componentes gerais. Este capítulo termina com uma breve exposição sobre a estrutura da dissertação e dos assuntos que serão abordados nos capítulos seguintes.

1.1. Enquadramento do Projeto

A presença da automação nas várias indústrias tem-se revelado, nos últimos anos, essencial para fazer face a todas as necessidades do seu processo produtivo. Com a evolução das tecnologias e conseqüente aparecimento de soluções mais sofisticadas, torna-se possível melhorar a produtividade, reduzindo tanto os custos como os tempos de operação. Assim, é nesta perspetiva que surge a aquisição de máquinas devidamente equipadas com tecnologia moderna, cada vez mais autónomas e capazes de realizar variadas tarefas com performances inteiramente fiáveis. Em laboratórios de investigação opta-se, em alguns casos, pela requalificação de máquinas antigas já existentes ao invés da aquisição de equipamento novo. O processo de requalificação tecnológica preserva normalmente o projeto mecânico já existente da máquina e acrescenta todos os componentes de automação, controlo e medição adequados aos requisitos das respetivas aplicações de cada máquina, revelando-se menos dispendioso quando comparado com a obtenção de um equipamento totalmente novo com a mesma aplicação.

Neste caso concreto, é do interesse conservar todo o sistema mecânico uma vez que este se encontra em bom estado e sem desgaste aparente. Desta forma, a requalificação tecnológica incidirá sobretudo na substituição de todo o sistema elétrico e por todas as alterações necessárias à sua implementação.

1.2. CS – Dental Testing Machine, modelo 1D1-BAD

A CS – Dental Testing Machine foi projetada e fabricada pelo Engenheiro Raul Ustrell, em Barcelona, na Idearum, empresa espanhola de inovação em produtos e engenharia.

É uma máquina vertical de ensaios de fadiga e foi especificamente projetada para testar e medir as propriedades mecânicas de uniões dentárias.

O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais permite garantir a qualidade dos componentes dentários utilizados pelos pacientes, assegurando a sua fiabilidade.

Na Figura 1 apresenta-se uma imagem da CS – Dental Testing Machine em fase de protótipo [1].



Figura 1 - Protótipo da CS - Dental Testing Machine [1]

Como se pode verificar pela figura é uma máquina de tamanho reduzido, que pode ser colocada em bancadas de laboratório junto do desenvolvimento de investigação. A criação de uma máquina de ensaios de dimensões reduzidas permite o seu fácil transporte fazendo desta uma máquina portátil.

1.3. Objetivos do Projeto

O objetivo deste projeto é o da substituição de todos os componentes elétricos, conseguindo no fim realizar todos os ensaios de fadiga pretendidos pela máquina.

Este trabalho surge no aparecimento de vários problemas de automação e, com a falência da empresa detentora do projeto optou-se por um *retrofit* elétrico da máquina.

Começou-se por escolher todos os materiais necessários, elaborou-se o esquema elétrico e toda a programação do autómato, realizou-se a montagem de todos os componentes bem como todas as ligações elétricas e, por fim, realizaram-se todos os testes necessários até ao bom funcionamento da CS – Dental Machine.

1.4. Estrutura da Dissertação

Neste capítulo inicial, foi realizado uma breve introdução com o intuito de estabelecer um contexto para o resto do trabalho.

No segundo capítulo, é feito um estudo prévio da máquina em que se vai fazer o *retrofit* e uma descrição pormenorizada da máquina.

No terceiro capítulo, é descrito o desenvolvimento do trabalho e são analisados os resultados do mesmo.

Finalmente no capítulo quatro, são consideradas algumas conclusões ao trabalho realizado.

2. Estudo prévio da máquina

2.1. Âmbito de aplicação

O uso desta máquina consiste em testar uniões de próteses dentárias através de ensaios de fadiga.

2.2. Descrição geral

Em primeiro lugar a máquina tem duas estruturas diferenciadas, situadas uma em cima de outra.

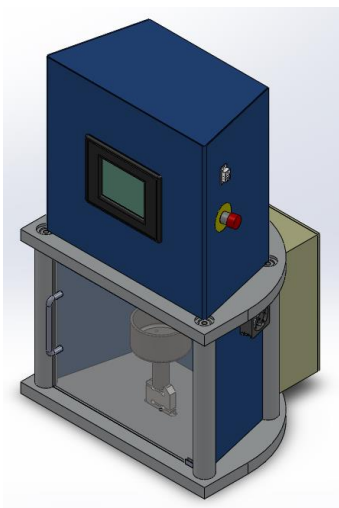


Figura 2 - Vista isométrica da máquina

A primeira delas, situada na parte inferior da máquina, é composta por duas plataformas cuja geometria é semelhante a uma meia lua.

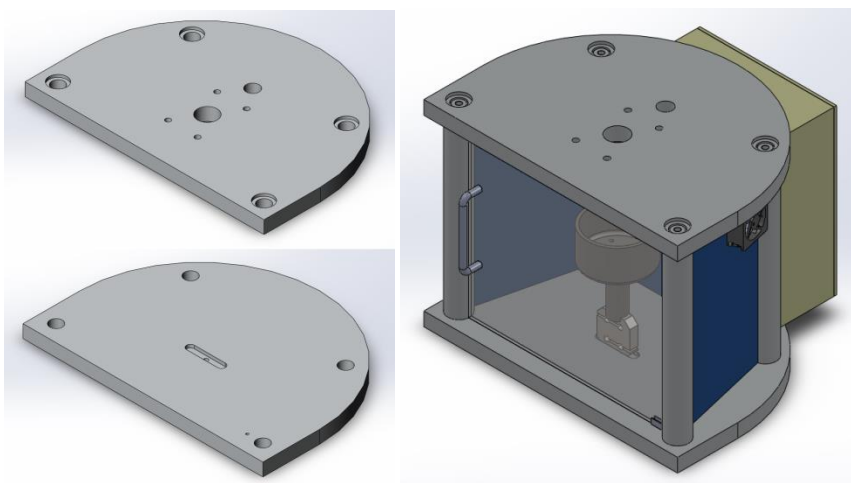


Figura 3 - Parte inferior da máquina

As duas plataformas são unidas por quatro colunas de seção circular. A união entre as plataformas e as colunas é realizada mediante uniões aparafusadas.

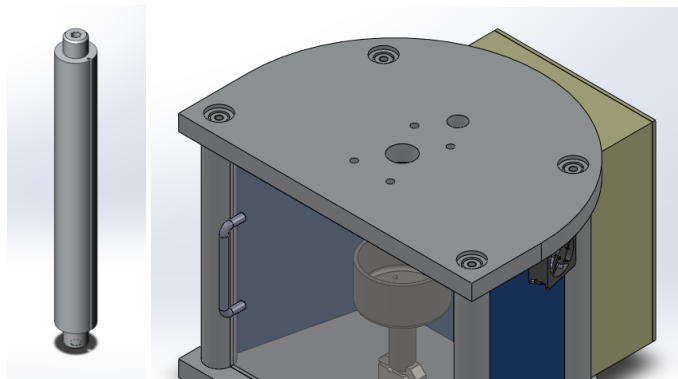


Figura 4 - Pilares da zona inferior da máquina

Adicionalmente, a folga formada entre as colunas desaparece pelas chapas de alumínio colocadas nas laterais e na zona traseira da máquina de ensaios. A chapa traseira vai-se unir ao quadro elétrico do equipamento, cuja porta fica acessível do exterior.

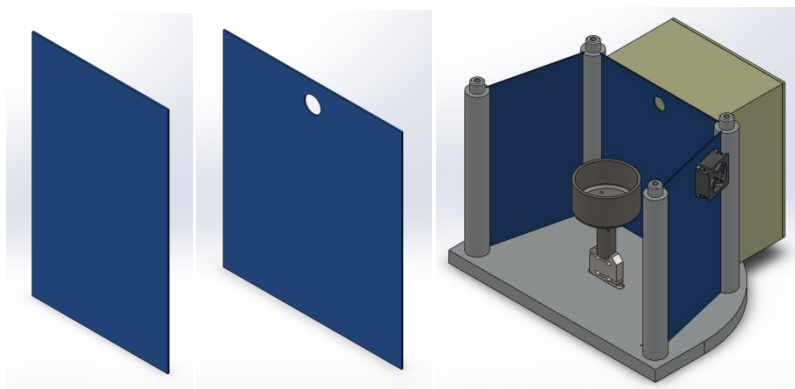


Figura 5 - Assembly de componentes da parte inferior da máquina

A zona frontal é tapada com uma porta em policarbonato. Dada a transparência do material, o utilizador pode observar o funcionamento da zona de ensaio sem se ter a porta aberta, causando segurança nos ensaios.

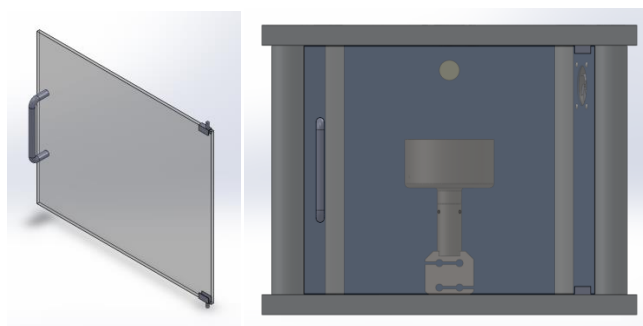


Figura 6 - Porta de segurança colocada na parte inferior da máquina

Dentro da zona de ensaios está colocada uma célula de carga, um copo no qual a amostra a ensaiar é colocada num suporte próprio, iluminação de LED e, um ventilador para extrair os vapores causados pelo aquecimento do liquido aquecido dentro do copo.

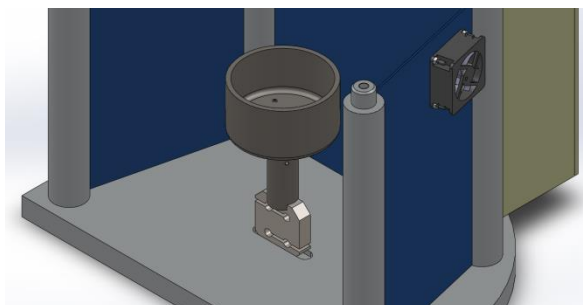


Figura 7 – Montagem da célula de carga, zona de ensaios e ventilador

A célula de carga é responsável pela deteção de pequenas mudanças de carga para, em seguida, convertê-los em sinais elétricos através do qual o comportamento do sistema é analisado.

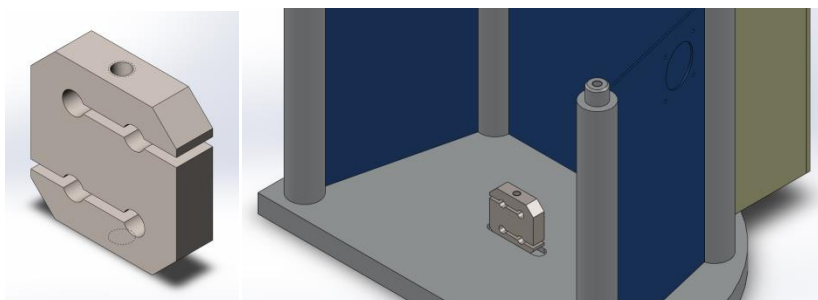


Figura 8 - Célula de carga

A união colocada na parte superior da célula de carga é encarregue de transmitir as forças do copo de ensaios para a célula de carga.

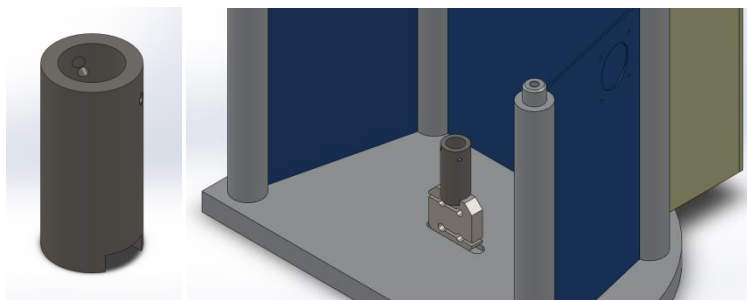


Figura 9 – União encarregue de transmitir cargas

O copo serve para alojar o líquido simulador de saliva e a peça onde se coloca as uniões dentárias.

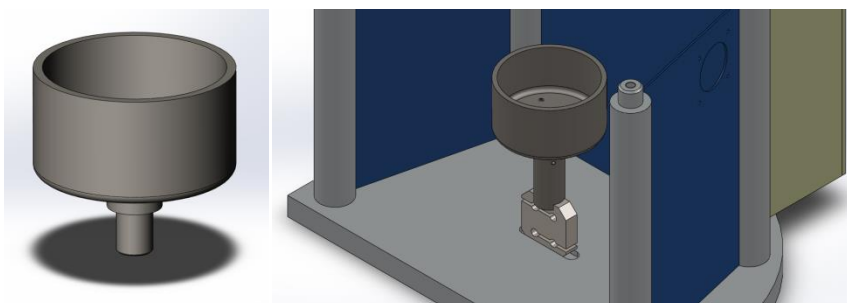


Figura 10 - Copo onde são realizados os ensaios

No seu interior coloca-se o líquido encarregue de simular as condições reais de ensaio. O líquido é aquecido através de uma resistência de 120W e, também é colocado um sensor de temperatura para controlar o estado do líquido.

Finalmente, é também na zona inferior do equipamento que são colocados os apoios para as peças a ensaiar. Essas peças são:

A união superior, com rosca fêmea no seu interior, onde se faz a ligação ao atuador mecânico. Para esse efeito, o referido gabari tem um furo roscado para ser fixo à extremidade do atuador. Em segundo lugar, a união tem um segundo furo na extremidade oposta, onde fica alojada uma peça em resina que vai atuar diretamente no provete.



Figura 11 - União superior

A ligação inferior tem dois tipos e, é responsável pelos ensaios de peças com rosca macho. Existe diferença entre as duas peças, em ambos os casos a peça de teste é fixa por uma articulação de rosca dupla, a primeira união serve para testar dez tipos de uniões dentárias, dependendo do seu diâmetro e a inclinação dos mesmos.

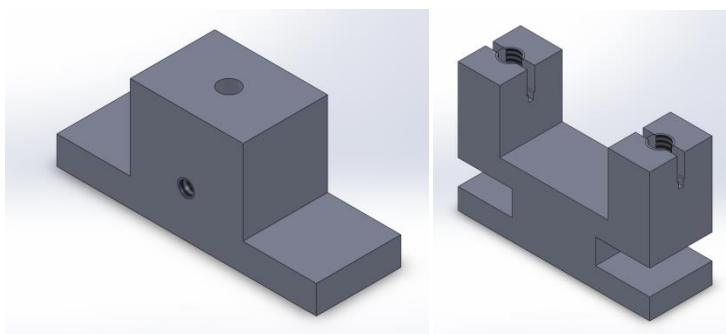


Figura 12 – 2 tipos de uniões inferiores para ensaios

A aba de ligação é responsável por manter o conjunto de ferramentas junto à superfície interna do recipiente. A fixação é feita por uma ligação roscada entre a flange e o furo roscado do copo.

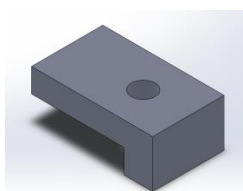


Figura 13 - Aba de ligação

Como uma imagem de resumo, a imagem seguinte mostra o resultado de todas as peças montadas e prontas para ensaios:

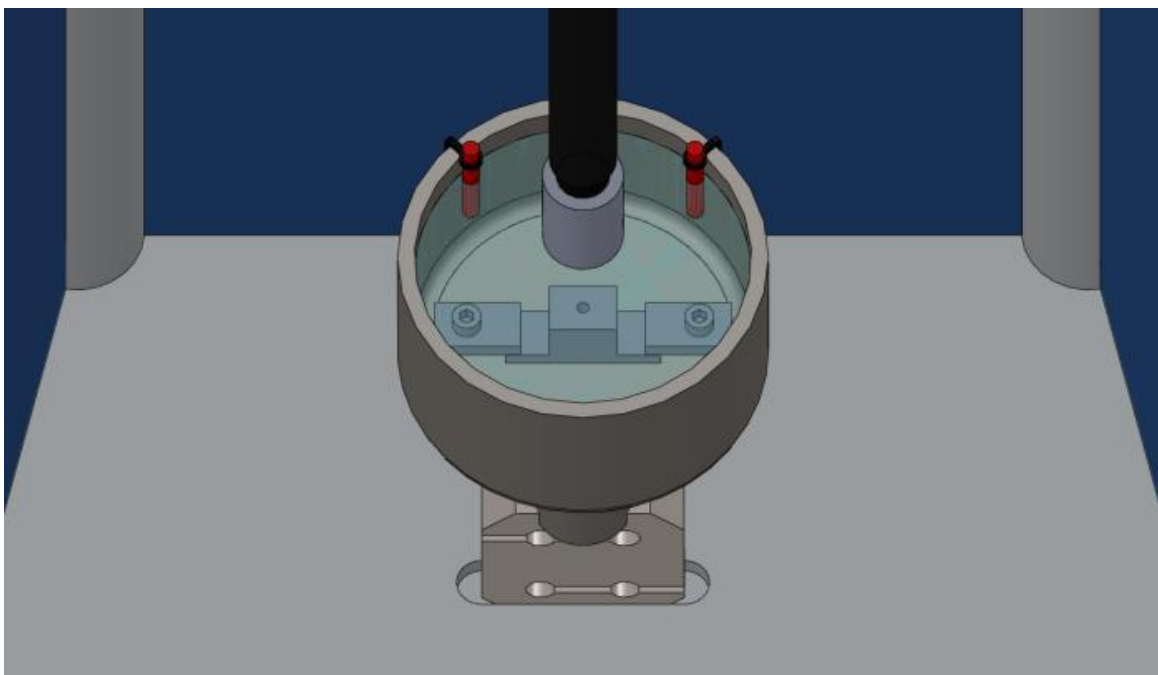


Figura 14 – Assembly da zona de ensaios da máquina (resistência de aquecimento, sonda e líquido)

Finalmente, no que respeita à estrutura inferior, é fixado no lado interior da parede traseira, uma luminária com vários LEDs, que proporcionam uma maior visibilidade dos ensaios. Além disso, ligado a uma das paredes laterais, está acoplado um ventilador através do qual se extrai todo o vapor produzido pelo aquecimento do líquido que está dentro do recipiente.

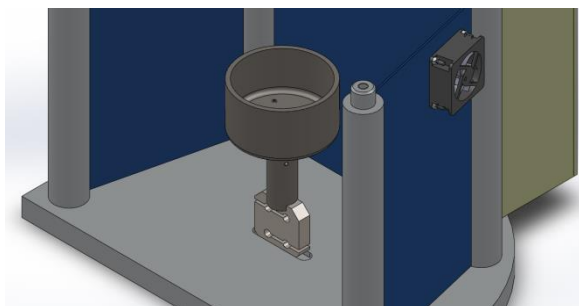


Figura 15 - Localização do ventilador para extração de gases

A segunda estrutura está localizada na parte superior da máquina.

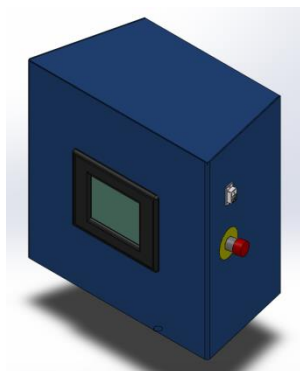


Figura 16 – Parte superior da máquina

Esta segunda estrutura é formada por uma secção trapezoidal metálica, no interior da qual estão todos os componentes eléctricos, mecânicos e electrónicos da máquina.

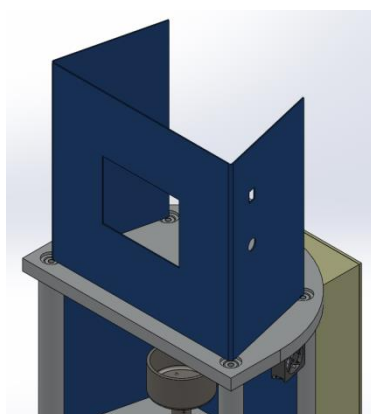


Figura 17 – Estrutura metálica da parte superior da máquina

Além disso, uma segunda tela em forma de L é responsável por cobrir a parte traseira e superior da tela do trapezoidal acima.

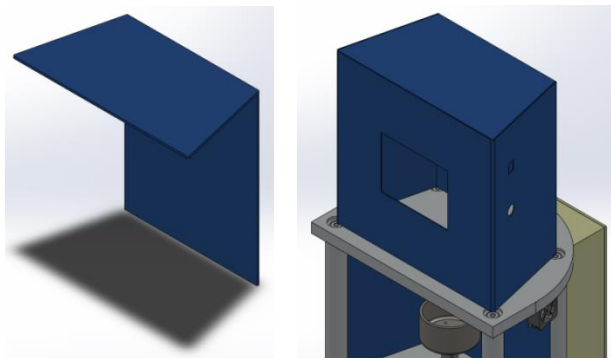


Figura 18 – Tampa metálica da parte superior da máquina

O primeiro dos componentes alojados no interior é o actuador. O atuador é responsável por fornecer o movimento linear para um cilindro alojado no interior. A sua alimentação é elétrica.

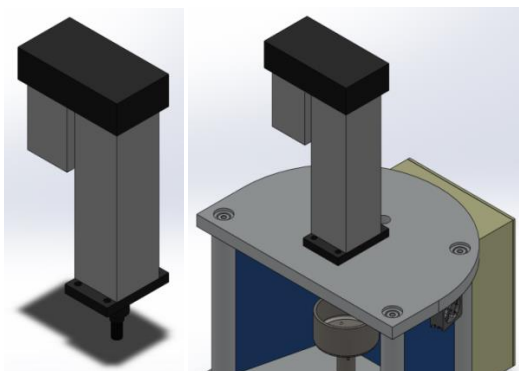


Figura 19 - Exemplo de atuador da máquina

O segundo componente é o servomotor, responsável por transmitir movimento ao eixo vertical que trabalhará pelo meio de um fuso mecânico.

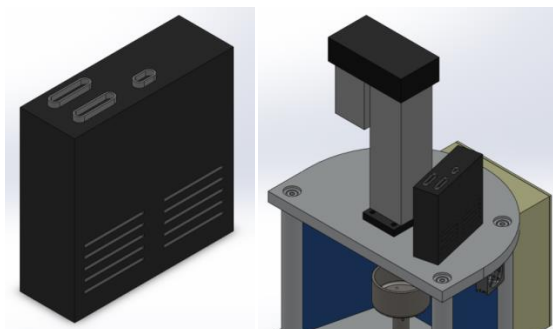


Figura 20 - Exemplo de aplicação da drive do servomotor

O terceiro componente é um módulo de interfaces, responsável pela ligação entre as diferentes entradas e saídas do PLC.

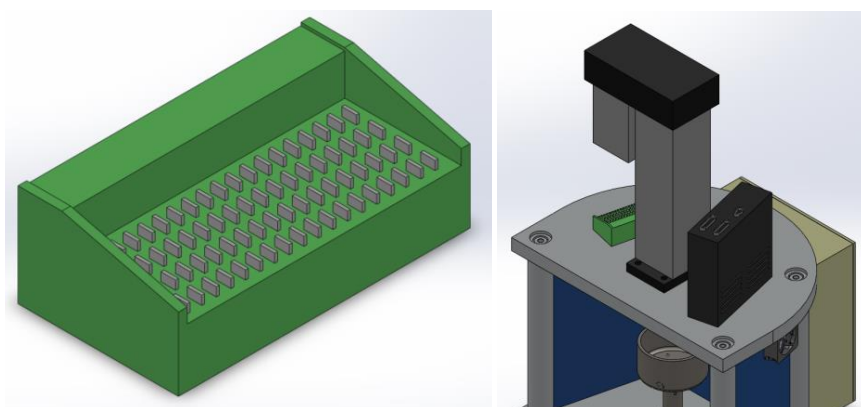


Figura 21 - Exemplo de módulo de interfaces

O quarto componente é o ecrã LCD. O referido elemento é inserido num orifício feito na parte da frente da máquina. Além de exibir os dados obtidos pela célula de carga no ensaio, o ecrã LCD também permite ao utilizador seleccionar as operações desejadas.

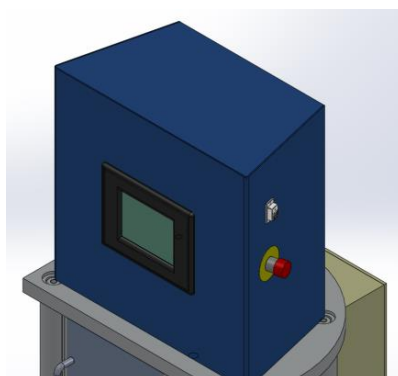


Figura 22 - Aplicação de consola lcd

O quinto componente é um adaptador USB que permite a aquisição dos dados obtidos pela célula de carga numa pen USB inserida no adaptador. Esta é inserida dentro de uma ranhura feita no lado direito do ecrã da máquina.

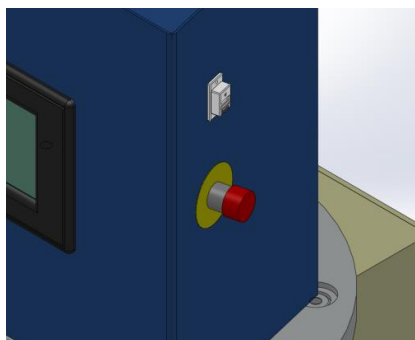
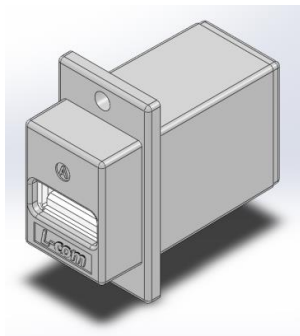


Figura 23 - Aplicação de tomada USB para transferência de dados

O sexto componente é um botão de emergência, servindo para a máquina para parar imediatamente, se necessário. Este botão está localizado logo abaixo do adaptador USB mencionado acima.

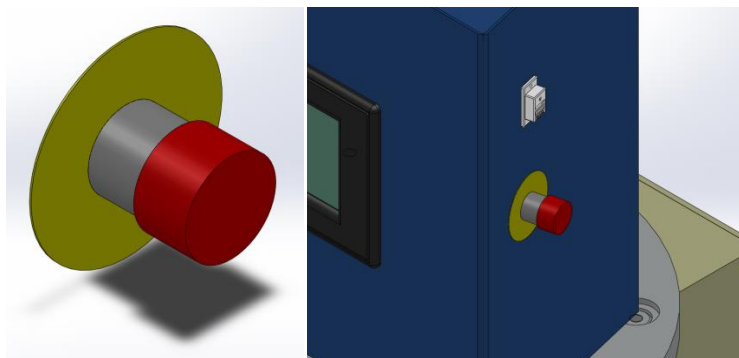


Figura 24 – Aplicação de botão de emergência

O sétimo componente é o PLC, responsável por armazenar e interpretar o software da máquina e, finalmente, a fonte de alimentação. Todos estes elementos estão localizados no interior do painel eléctrico. A referida caixa eléctrica não tinha sido descrito acima, apesar de ser colocado na parte inferior da máquina, uma vez que a interação é com os componentes do topo.

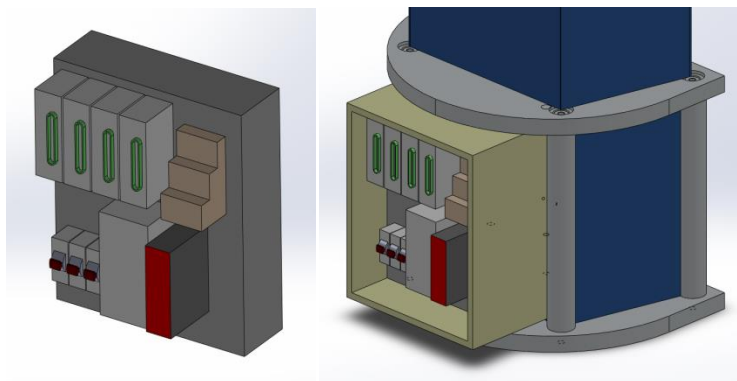


Figura 25 - Aplicação de quadro elétrico

3. *Retrofit* da CS – Dental Machine

O *retrofit* do controlo e automação da CS – Dental Machine foi feito recorrendo a um controlador lógico programável (Programmable Logic Controllers – PLC's).

Um sistema de automação com a mínima complexidade deve possuir os seguintes elementos [2]:

- **Acionamento:** fornece energia ao sistema para atingir um determinado objetivo/ação (p. ex. motores elétricos, pistões hidráulicos, etc.).
- **Sensorização:** mede o desempenho do sistema ou uma determinada propriedade ou grandeza (p. ex. sensores de temperatura, encoders para medição da velocidade, entre outros).
- **Controlo:** utiliza a informação dos sensores para regular o acionamento.
- **Comparador:** elemento de decisão; compara valores medidos com valores predefinidos (na programação) e toma a decisão de acordo com o que foi estabelecido (novamente, na programação do sistema).
- **Programas:** contêm informações do processo e permitem controlar as interações entre os diversos componentes do sistema.

É apresentado na Figura 26 o fluxo de um possível sistema de controlo.

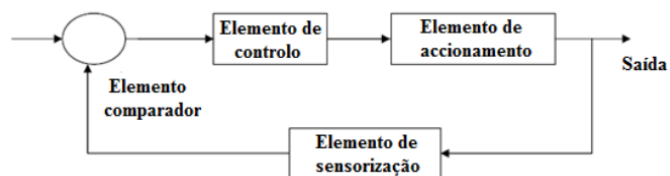


Figura 26 - Fluxo de um sistema de controlo [2]

3.1. Seleção de componentes

3.1.1. Atuação Mecânica

O único elemento transmissor de movimento da CS – Dental Machine é um servomotor. Foi selecionado servomotor da marca OMRON, modelo R88M-G40030H-BS2.



Figura 27 - Servomotor OMRON R88M-G40030H-BS2

Os servomotores são dispositivos que apresentam elevados binários e velocidades e, permitem o controlo de posição e velocidade, respondendo de forma rápida.

Um servo sistema (do latim “servue”, significa “aquele que realiza fielmente uma ordem”) é todo o sistema que é controlado em malha fechada.

Na Figura 21 pode-se observar o seu esquema de funcionamento.

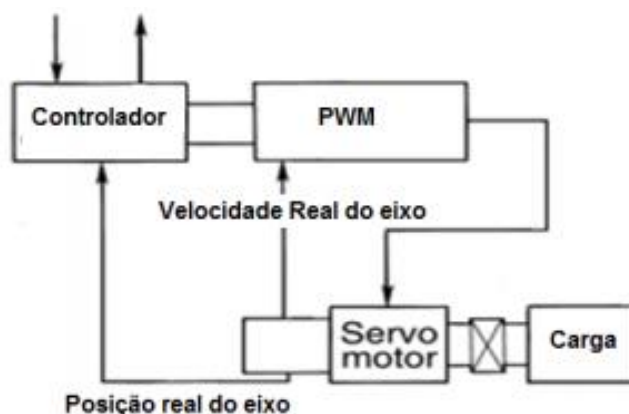


Figura 28 - Princípio de funcionamento e controlo de um servomotor [3]

A partir de um sinal de comando o controlador do servo-sistema, modela o sinal recorrendo a um dispositivo amplificador, também designado por PWM (Pulse Width Modelator) para que o atuador, no exemplo, um motor, realize uma determinada quantidade de movimento (rotação do eixo a uma determinada velocidade). [4]

Por outro lado, o controlador irá, através de diversos sensores, analisar a velocidade real e o posicionamento obtido. [5]

Existem 3 tipos principais de servomotores empregues em máquinas:

- Servomotores de corrente contínua;
- Servomotores síncronos de corrente alternada;
- Servomotores de indução;
- Motores de passo;

Servomotores de corrente contínua

Neste tipo de motores (Figura 29) o estator consiste numa estrutura cilíndrica, que permite a passagem de corrente, e suporta um íman permanente que se encontra no seu interior. Por seu lado, o rotor, é constituído por um eixo que contém um enrolamento e as escovas que permitem a transmissão da corrente para o enrolamento. Num dos extremos do eixo encontra-se um sensor de velocidade angular, normalmente um tacógrafo ou um *encoder* ótico. [6]

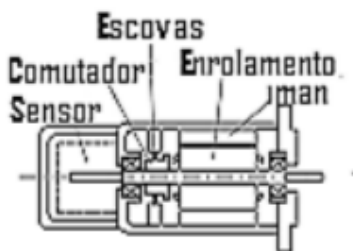


Figura 29 - Servomotores de corrente contínua [6]

O comutador tem por função alternar a direção da corrente e dessa forma gerar um binário. O controlo deste tipo de servomotores é relativamente simples uma vez que o binário é diretamente proporcional à quantidade de corrente fornecida. [6]

A gama de velocidades obtidas neste tipo de motores é vasta, e o seu binário máximo é limitado pela quantidade de calor que se consegue remover do interior das escovas. As escovas tornam-se a principal desvantagem destes sistemas de acionamento, uma vez que existe perda mecânica provocada pelo seu atrito, necessitando por essa razão de manutenção constante. [7]

Servomotores síncronos de corrente alternada

Nos servomotores síncronos de corrente alternada (Figura 30) a estrutura do estator é constituída por uma armadura cilíndrica. Nestes motores o rotor consiste num eixo e num íman permanente (geralmente ferrite). No estator existe um enrolamento alimentado por corrente alternada trifásica, que produz um campo magnético rotativo. A frequência de rotação deste campo é definida pela tensão de alimentação. [8]

Para realizar o controlo em malha fechada este tipo de motores utiliza *encoders* óticos ou *resolvers*.

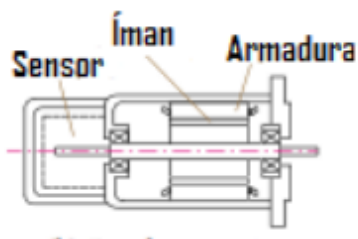


Figura 30 - Servomotores síncronos de corrente alternada [6]

Devida a existência de um ímã permanente no rotor, este não precisa de ser alimentado com corrente externa, eliminando por isso a necessidade de escovas.

Esta particularidade apresenta inúmeras vantagens, uma vez que sem escovas, não existe atrito, nem perda de potência mecânica. Por outro lado, a manutenção deste motor é reduzida e podem trabalhar durante mais tempo de forma contínua. [7]

O binário, como em servomotores de corrente contínua, é proporcional à corrente fornecida. [5]

Contudo a sua construção é muito complexa, e devido ao tipo de correntes de alta frequência necessárias na armadura do estator, existe a propagação de vibrações que são prejudiciais ao estado de funcionamento destes motores. [6]

Servomotores de indução

A estrutura e princípio de funcionamento de um servomotor de indução (Figura 31), é semelhante a um motor de indução convencional. Neste tipo de motores o estator é constituído por uma armadura com um enrolamento, que recebe corrente da rede.

O rotor nestes motores é constituído apenas por um eixo produzido em material condutor.

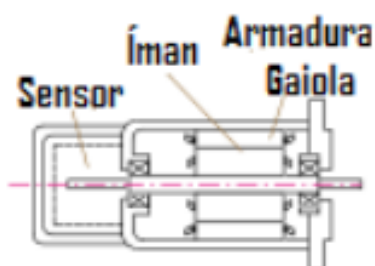


Figura 31 - Servomotores de indução [6]

A Tabela 1 ilustra de forma sintetizada as vantagens e desvantagens deste tipo de motores.

Tabela 1 - Tabela de características dos diferentes tipos de servomotores [20]

	Servomotor de Corrente Contínua	Servomotor Síncrono de Corrente Alternada	Servomotor de Indução
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Preço reduzido; • Vasta gama de velocidades; • Controlo simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem escovas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura simples; • Não precisa de sensor de posição.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Dissipação de calor; • Desgaste das escovas; • Barulho; • Precisa de sensor de posição. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura complexa; • Flutuação do binário; • Vibrações; • Precisa de sensor de posição. 	<ul style="list-style-type: none"> • Paragem dinâmica impossível.
Binário	Baixo	Baixo / Médio	Médio / Alto
Vida Útil	Depende das escovas	Depende das chumaceiras	Depende das chumaceiras

Motores de Passo

Outro tipo de motores utilizados em máquinas-ferramentas são os motores de passo. Estes motores apresentam uma constituição semelhante aos motores de corrente contínua, e são constituídos por um número de polos magnéticos fixo que determinam o número de posições ou passos que o motor apresenta. [9]

A característica principal deste tipo de motores é produzir deslocamentos intermitentes sucessivos até chegar à posição necessária, podendo bloquear o movimento numa posição desejada durante largos períodos de tempo, sendo que este binário de travagem é muito potente. [10]

São geralmente de dimensões mais reduzidas em comparação com outros tipos de motores elétricos. [7]

Uma desvantagem em relação a servo sistemas é que este motor trabalha em malha aberta, não havendo realimentação de informação, para além disto o seu baixo binário, pode produzir erros de posição. [9]

O OMRON R88M-G40030H-BS2 é um servomotor de corrente continua com travão que trabalha com uma corrente de 200 VAC que, se transmitem numa potência de 400W, 3000RPM máximas e um binário de 1,3Nm.

3.1.2. Sensorização

A CS – Dental Machine está dotada de vários sensores. Para o bom desempenho da máquina selecionaram-se duas células de carga, um sensor de temperatura e, a leitura da posição do fuso que vai transmitir movimento às uniões dentárias a testar é realizada com

o *encoder* acoplado no servomotor, que ligado ao *servo drive* selecionado irá transmitir ao plc, através da sua carta analógica acoplada, os valores de posição do fuso.

Uma célula de carga é um transdutor mecânico que funciona com variações de resistência elétrica.

São aparelhos de medida que transformam uma grande física, neste caso o deslocamento, num sinal mensurável, ou seja, num sinal elétrico.

Para o *retrofit* da CS – Dental Machine, escolheram-me duas células de carga, com capacidades diferentes, devido à grande abrangência de ensaios em uniões dentárias que se podem realizar neste equipamento.

As duas células de carga escolhidas são da marca Vetek, modelo TS 100kg [ANEXO 1], que tem uma capacidade mínima de leitura de 100kg de carga e, a TS 30kg, que tem uma capacidade mínima de leitura de 30kg.



Figura 32 - Célula de carga Vetek TS 100Kg

O sensor de temperatura vai atuar a resistência de aquecimento que vai aquecer o líquido simulador de saliva para os ensaios é da marca IFM, modelo TD2297 [ANEXO 2] (Fotografia 33).



Figura 33 - Sensor de temperatura IFM TD2297

Como se pode visualizar na Fotografia 33, o sensor tem um mostrador digital e uma sonda com 350mm de comprimento.

Este sensor tem um intervalo de medição entre os -50°C e os 150°C , trabalha com corrente elétrica contínua entre os 18V e 32V e, consome menos de 50mA. Tem uma saída analógica que enviará sinais entre os 4mA e os 20mA para a carta analógica do PLC (OMRON MAB221), que conseqüentemente tratará os dados e dará instruções à resistência de aquecimento selecionada, que tem uma potência de 120W e trabalha a 230VAC.

3.1.3. PLC

Os PLC's, ou *Programmable Logic Controllers* (Controladores Lógicos Programáveis) são dispositivos eletrônicos que permitem o controlo de máquinas e processos [10]. Estes, utilizam memórias programáveis para armazenamento de instruções e execução de funções específicas tais como sequenciação, temporização, contagem, cálculos aritméticos, manipulação de informação e comunicação para o controlo de processos [11]. A seguinte figura ilustra um simples diagrama conceitual da aplicação do PLC a um determinado processo.

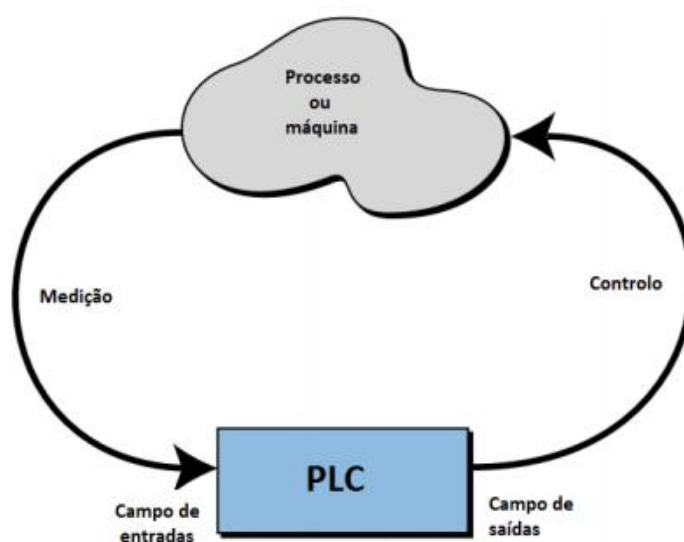


Figura 34 - Diagrama da aplicação do PLC a um determinado processo ou máquina [11]

Um PLC consiste nas seguintes secções básicas (Figura 34) [11] [10]:

- A unidade central de processamento ou CPU;
- As interfaces de entradas e saídas;
- Dispositivos de programação (opcional);
- Interfaces de operação (opcional).

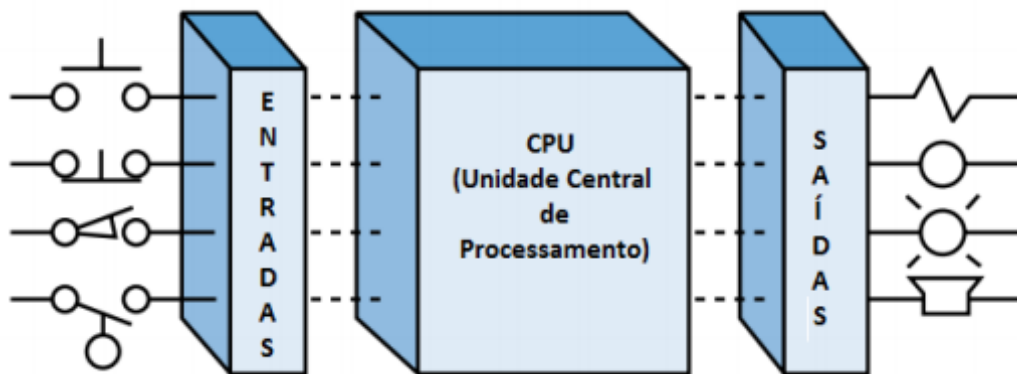


Figura 35 - Constituição de um PLC [11]

A CPU tem a seu cargo gerir todas as atividades do PLC. Por sua vez, é composta pelos seguintes componentes (Figura 36) [11]:

- O processador;
- O sistema de memória;
- O sistema de alimentação.

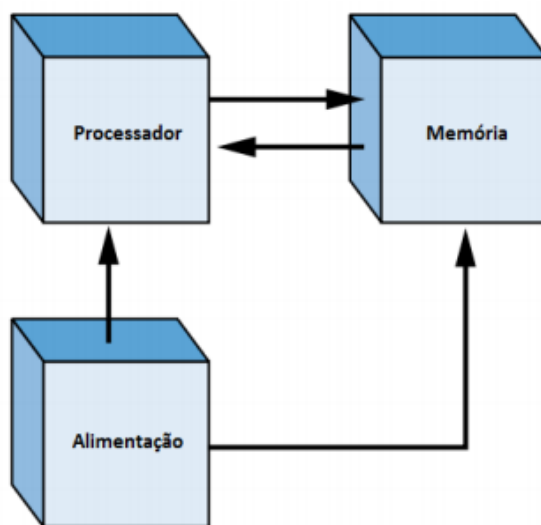


Figura 36 - Componentes constituintes da CPU [11].

O PLC escolhido para este projeto foi o modelo CP1L da marca OMRON.



Figura 37 - PLC OMRON CP1L

O PLC selecionado tem 24 entradas e 16 saídas digitais, que funcionam por transístor e, tem ainda 2 entradas analógicas.

Como para todas as ligações ao PLC as duas portas analógicas não eram suficientes, foi acrescentado um módulo ao PLC, uma carta analógica da OMRON, modelo MAB221, com 2 entradas e 2 saídas analógicas.

3.1.4. *Hardware* de Comando

O hardware de comando selecionado para a CS – Dental Machine foi uma consola da marca OMRON, modelo NB7W-TW01B.

Consola esta dotada de um ecrã lcd tátil de 7 polegadas, porta USB e Ethernet.

Todas as propriedades da consola de comando encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 2 – Características OMRON NB7W-TW01B

Especificações	NB7W TW01B
Tipo de ecrã	7" TFT LCD
Resolução do ecrã	800 x 480
Número de cores	65536
Iluminação	LED
Vida útil da iluminação	50000h (25° C)
Painel tátil	Membrana de resistência analógica, resolução 1024 × 1024, vida útil: 1 milhão de operações de toque
Dimensões	148 x 202 x 46mm
Peso	715 gramas
Memória interna	128MB
Interface de memória	Memória USB
Comunicações (COM1)	RS-232C, 15m de distância máxima, conector D-Sub 9 pinos
Comunicações (COM2)	RS-232C/422A/485, 15m de distância máxima (RS-232C), 500m de distância máxima (RS-422A/485), conector D-Sub 9 pinos
Ligação USB	USB 2.0, tipo A, 5V, 150mA
Ligação de impressora	Suporte PictBridge
Tensão de operação	20,4 a 27,6 VDC
Consumo de energia	11W
Vida da bateria	5 anos (a 25° C)

3.1.5. Quadro Elétrico

Para o retrofit da CS – Dental Machine contruiu-se um quadro elétrico muito completo, onde foram colocados todos os componentes elétricos e eletrónicos, como pode ser visível na Fotografia 38.

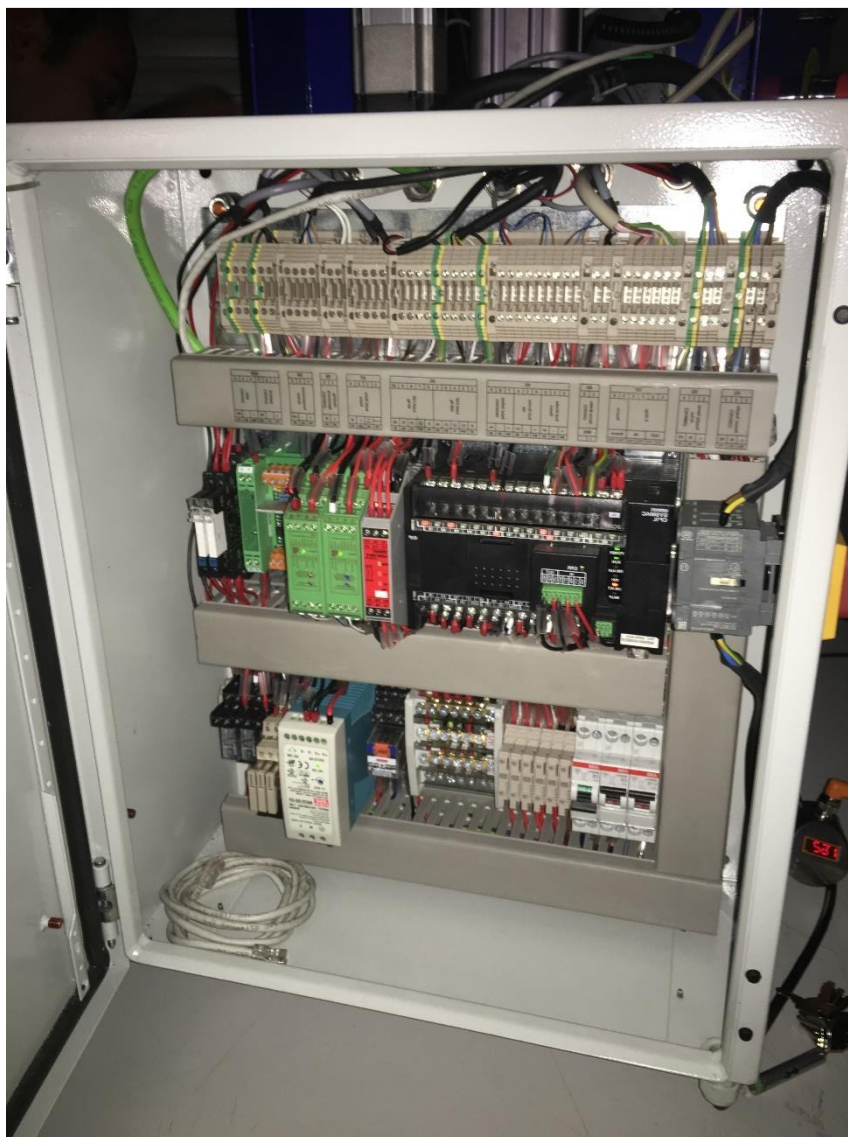


Figura 38 - Quadro elétrico retrofit da CS - Dental Machine

Para se clarificar as ligações existentes no quadro elétrico de um modo sucinto elaborou se um fluxograma e, no Anexo III do presente trabalho poderão ver-se a pormenor todos os esquemas elétricos ao bom desempenho da CS – Dental Machine.

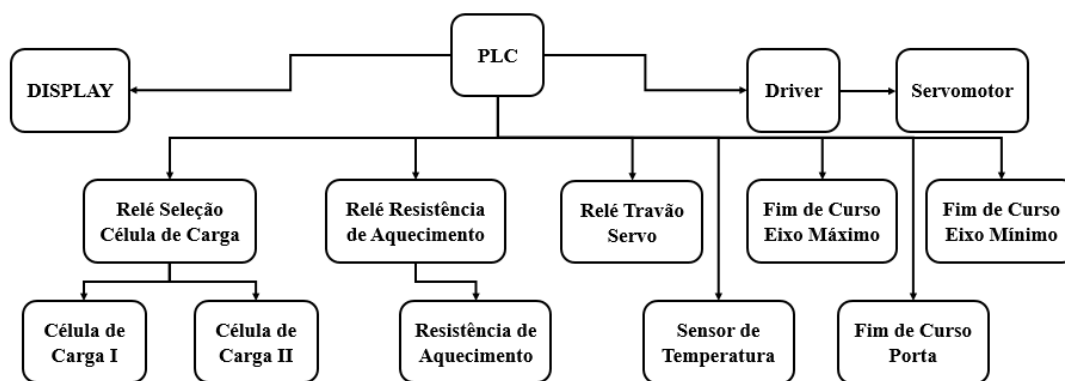


Figura 39 – Ligações existentes no quadro elétrico da CS – Dental Machine

Para todas as mudanças de estado necessárias no funcionamento desta máquina de ensaio recorreu-se à utilização de relés, todos ligados ao PLC, que irá dar instruções aos mesmos.

3.1.6. Aquisição de Dados

Na realização de ensaios o PLC vai guardar todos os dados de cargas efetuadas e deslocamentos e, com esses dados, os mesmos que utiliza para a realização do gráfico tensão-deslocamento, passa-os para uma tabela que pode ser descarregada por via de uma pen USB.

3.2. Programação do autómato e interface gráfica com o utilizador

Para a programação do autómato utilizou-se o software CX-Programmer da OMRON [12], sendo a linguagem de programação a do tipo ladder.

A linguagem ladder foi originalmente desenvolvida para construir e melhor documentar circuitos com relés, utilizados em processos de produção [13]. Todos os dispositivos dos circuitos elétricos como botões ou válvulas podem ser representados em símbolos nos diagramas ladder, incluindo as suas conexões.

Atualmente, a linguagem ladder é um auxílio gráfico para programação de PLC's, no qual as funções lógicas são representadas através de contatos e bobinas, de modo análogo a um esquema elétrico com os contatos dos transdutores e atuadores.

O nome ladder (escada em inglês) provém do fato que a disposição dos contatos e bobinas é realizada, de maneira geral, na vertical, que lembra o formato de uma escada. A cada lógica de controlo dá-se o nome de *rung* (degrau), composta por linhas e colunas [14] Na figura seguinte demonstra-se uma linha da programação do PLC [ANEXO IV].



Figura 40 – Linha de programação do PLC

Depois de fazer a programação do autómato fez-se a configuração da consola no software NB-Designer da OMRON.

Neste software criaram-se todos os menus que vão resultar na interface gráfica com o utilizador. Fez-se um design simples e de fácil uso para qualquer utilizador, criando menus de ensaio automático e manual, menu de configuração, manutenção, visualizar os sinais de estado, alarmes e ainda, visualizar os dados de ensaios realizados e a curva do ensaio (tensão-deslocamento). No fluxograma seguinte (Fotografia 41) apresenta-se esquematicamente os menus existentes e os dados que o utilizador insere manualmente antes de cada ensaio ou o que pode visualizar nesses mesmos menus.

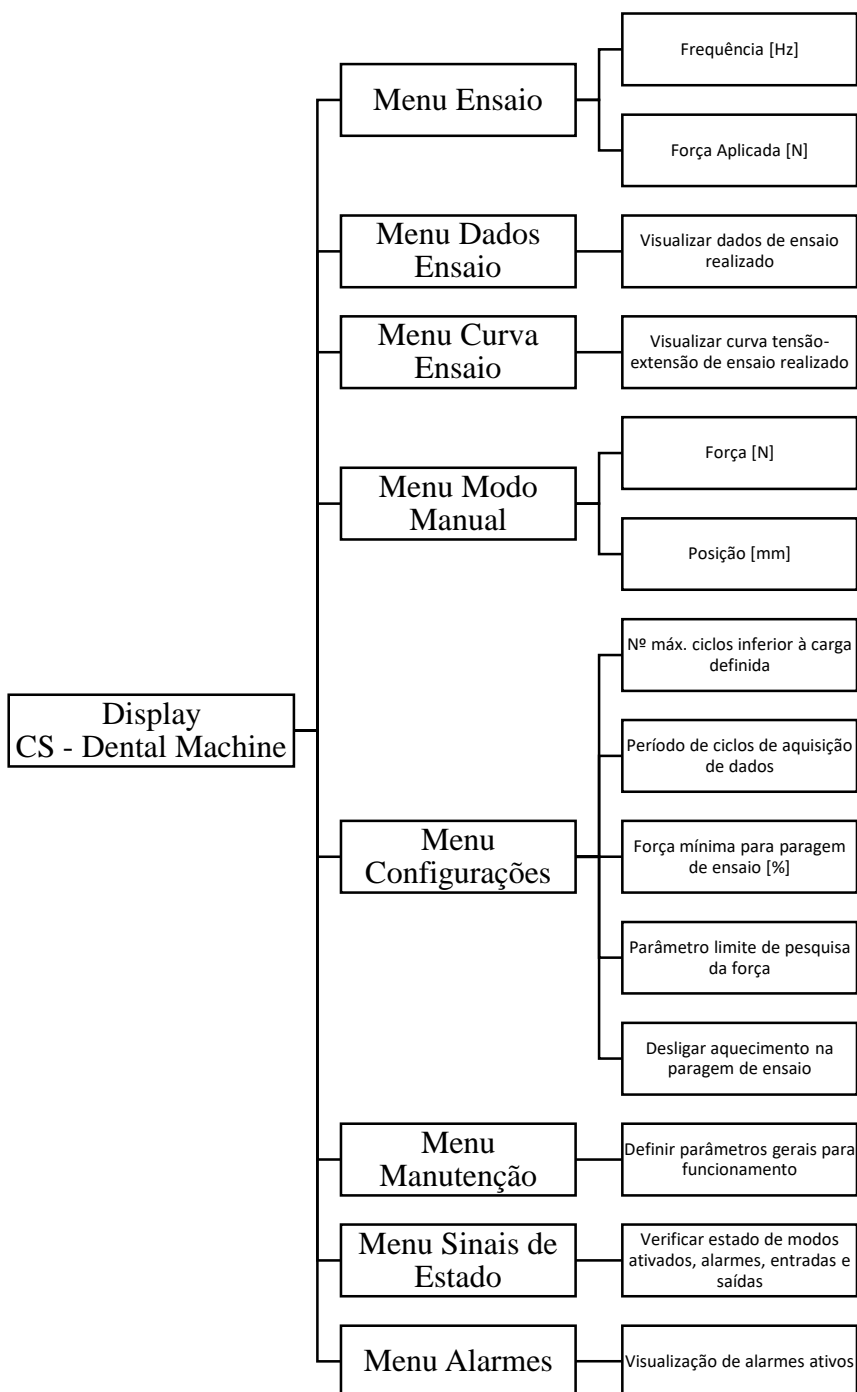


Figura 41 - Esquema de menus do display da CS - Dental Machine

O primeiro menu que aparece no display ao ligar a máquina à corrente elétrica é o menu principal (Fotografia 42), menu onde se pode escolher várias opções, realizar ensaio, trabalhar em modo manual, ver os dados do ensaio, a curva tensão-deformação do ultimo ensaio efetuado, fazer configurações, ver os sinais de estado e os alarmes ativos.

Menu Principal



Figura 42 - Menu principal do display da máquina

O menu ensaio tem o aspeto da Figura 43, menu este onde o utilizador terá que inserir a frequência (vai definir a velocidade de ensaio, definindo o número de impulsos por intervalo de tempo) desejada para o ensaio de fadiga, bem como o número de ciclos e a força aplicada, utilizando a célula de carga 1 ou 2.

Menu Ensaio

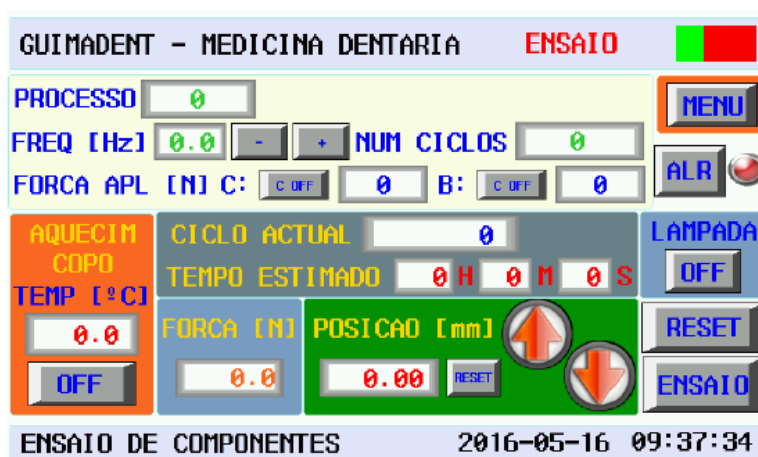


Figura 43 - Menu ensaio do display da máquina

O menu dados ensaio (Figura 44) é o menu onde se poderá verificar todos os dados importantes do ensaio, sendo eles o seu número, a data e hora de realização, o número de

ciclos efetuados, a temperatura em que foi efetuado, a força máxima e mínima exercida no provete e, o curso mínimo e máximo do fuso. Neste menu poderá também exportar os dados para uma pen USB.

Menu Dados Ensaio



Figura 44 - Menu dados do ensaio do display da máquina

O menu curva ensaio (Fotografia 45) é o menu onde é criada uma curva através dos dados retirados pelo encoder do servomotor e a célula de carga, ou seja, criar um gráfico de tensão [N] versus deslocamento [mm].

Menu Curva Ensaio

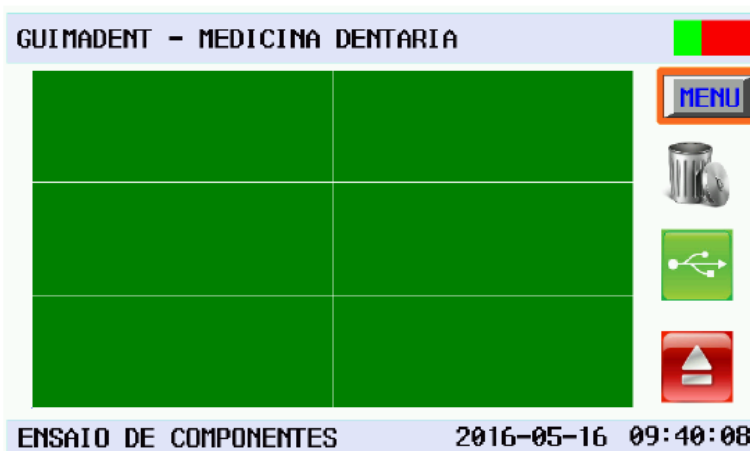


Figura 45 - Menu curva de ensaio do display da máquina

O menu modo manual (Figura 46) é o menu onde se pode realizar movimentos manualmente, por vezes para fazer algumas afinações de posição do provete e, levantar rapidamente o fuso da máquina.

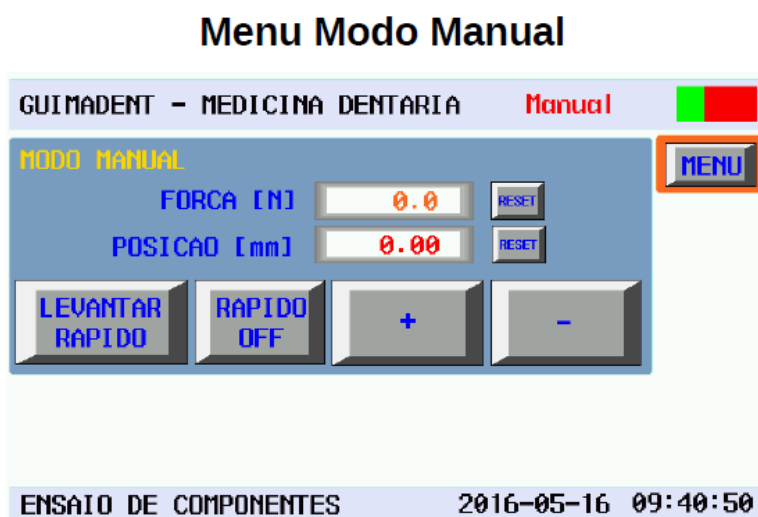


Figura 46 - Menu modo manual do display da máquina

O menu configurações (Fotografia 47) é o menu onde se coloca todas as limitações que desejamos para os ensaios, como demonstra a figura seguinte.

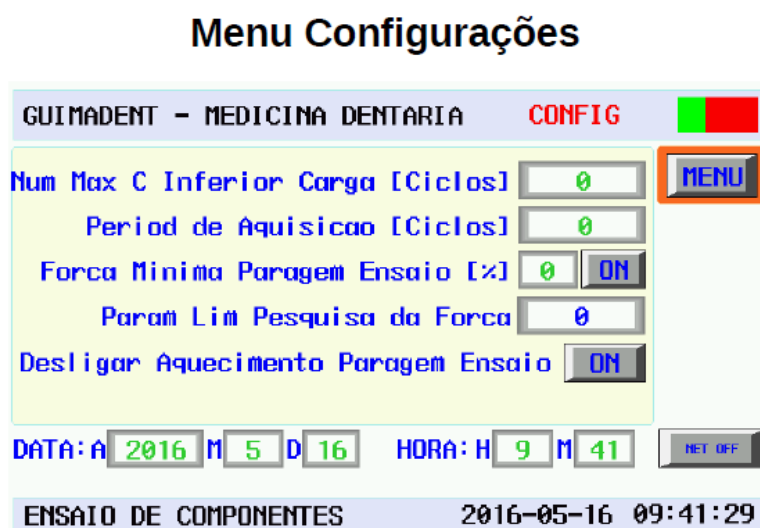


Figura 47 - Menu configurações do display da máquina

O menu manutenção (Figura 47 e 48) tem duas janelas, que por razões de aspeto e dimensões do display, optou-se por se dividir em duas janelas.

Neste menu pode-se principalmente fazer calibrações do equipamento.

Menu Manutenção



Figura 48 - Menu manutenção do display da máquina

Menu Manutenção

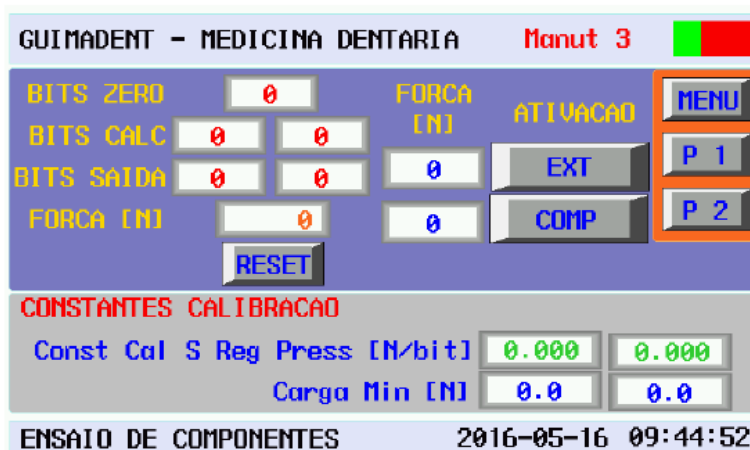


Figura 49 - Segundo menu manutenção do display da máquina

O menu sinais de estado (Figura 50) é o menu onde se poderá visualizar o estado (*on/off*) em que se encontram todos os modos, alarmes, entradas e saídas do PLC.

Menu Sinais de Estado



Figura 50 - Menu sinais de estado do display da máquina

E por último, o menu alarmes (Figura 51), onde se poderá verificar erros que aconteçam ou mesmo fazer um *reset* a todos os erros da máquina.

Menu Alarmes

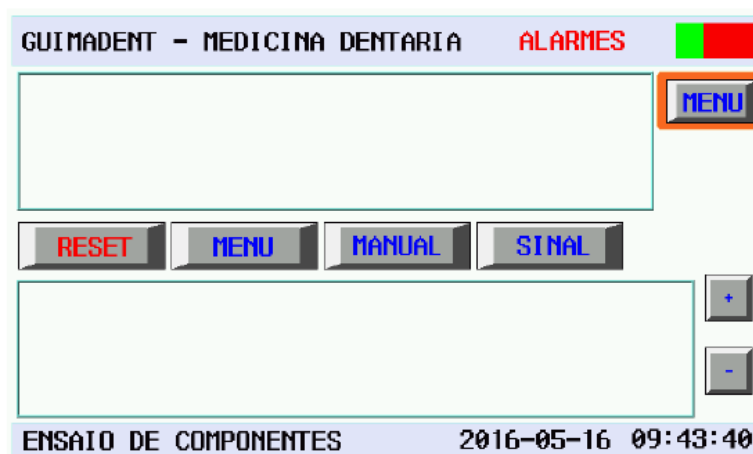


Figura 51 - Menu de alarmes do display da máquina

3.3. Verificação Experimental

Concluindo toda a seleção de componentes e projetando um novo circuito elétrico e uma nova programação para o PLC testou-se a máquina como se pode observar na Figura 52, 53 e 54.

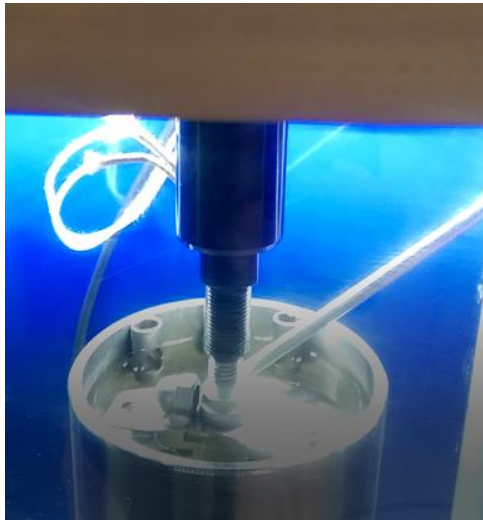


Figura 52 - Fotografia de ensaio da CS - Dental Machine



Figura 53 – Fotografia de ensaio da CS – Dental Machine

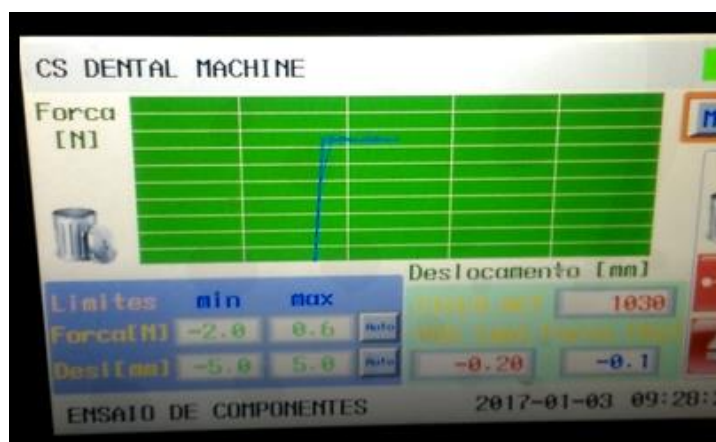


Figura 54 - Fotografia de ensaio da CS – Dental Machine

4. Conclusão

Neste trabalho foi realizado o *retrofitting* de toda a parte elétrica de uma máquina de ensaios de componentes protéticos, a CS – Dental Machine, máquina essa que já existia mas que tinha vários problemas de funcionamento.

É válido concluir que o objetivo do projeto foi atingido. Foram selecionados todos os componentes a substituir, realizou-se um novo esquema elétrico e um programa para o novo autômato e, assim poder entregar a máquina para realização de ensaios de fadiga que, conseqüentemente poderá ter melhorias a níveis de programação.

O maior desafio do projeto foi realizá-lo numa vertente da engenharia mecânica nunca muito aprofundada por mim, nem em toda a minha experiência profissional adquirida até aos dias de hoje.

Concluo que este projeto foi sem dúvida uma grande valência para o culminar deste ciclo de estudos.

5. Referências Bibliográficas

- [1] Biodental Engineering II – Natal Jorge et al (Eds), 2014 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00131-2.
- [2] Toni dos Santos Alves, Automação Industrial I, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes e Instituto Politécnico de Tomar, Departamento de Engenharia e Gestão Industrial – DEGI, 2004/2005.
- [3] H. A. Youssef e H. El-Hofy, Machining Technology, Machines Tools and Operations, CRC Press, 2008.
- [4] Y. Altintas, Manufacturing Automation, Metal cutting mechanics, Machine tool vibrations, and CNC Design, Cambridge University Press, 2000.
- [5] Y. Koren, Control of Machines Tools, Universidade do Michigan, 1995.
- [6] S.-H. Suh, S.-K. Kang, D.-H. Chung e I. Stroud, Theory and Design of CNC systems, Springer, 2008.
- [7] D. P. L. Brandão, Maquinas Electricas, Introdução a maquinas electricas de corrente continua;, Lisboa, : fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- [8] M. d. M. Dias, Three-Phase Synchronous Engines with Permanent Magnets, McGraw-Hill Brasil.
- [9] R. L. Norton, Cinemática e dinâmica dos mecanismos;, McGraw Hill Brasil.
- [10] W. Bolton, Mecatrônica: Uma abordagem multidisciplinar, Bookman.
- [10] Fernanda Esteve Gomes, Soluções em Automação para Eficiência Energética, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, 2003.
- [11] L.A. Bryan and E.A. Bryan, Programmable Controllers, Theory and Implementation – Second Edition, An Industrial Text Company Publication, USA, 1997.
- [12] <https://industrial.omron.pt/pt/products/cx-programmer>.
- [13] <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-6/ladder-diagrams/>.
- [14] Marcelo Georgini (2007). Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com CLP Érica [S.l.] ISBN: 9788571947245.

6. Anexos

6.1. Ficha Técnica Vetek TS50Kg e TS100Kg

6.2. Ficha Técnica IFM TD2297

6.3. Circuito Eléctrico

6.4. Programação PLC