

# **Automação de Banca Didática de Óleo-hidráulica**

*João Clemente Quintal Jorge*

**Dissertação do MIEM**

Orientador: Professor Doutor Francisco Jorge Teixeira De Freitas



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

**Opção de Automação**

Fevereiro de 2013



*“Whatever the mind of man can conceive and believe, it can achieve”*

*Clement Stone*



# Resumo

O uso de bancas didáticas no ensino serve para que a aprendizagem dos estudantes tenha um carácter mais aproximado ao ambiente laboral e, ao mesmo tempo, para que os mesmos ganhem maior sensibilidade prática, motivando-os assim para a inovação industrial.

O principal objetivo deste trabalho é a implementação de uma plataforma de automação sobre uma de um conjunto de quatro bancas didáticas para ensino de sistemas eletro-hidráulicos, que se encontram no laboratório de óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por forma a garantir a leitura e cálculo de variáveis, bem como a programação de movimentos.

A banca está dotada de diversos atuadores, lineares e rotativos, autómato programável e interface homem-máquina de modo a permitir conceber e realizar exercícios didáticos com funcionamento programado e automático.

Inicialmente, foi necessário configurar adequadamente a banca e, posteriormente, proceder ao seu ajuste e determinação de características.

Então, foram implementados diversos exercícios demonstrativos, nomeadamente envolvendo, medição, monitorização e programação de sequências de movimentos, sem requerer que o utilizador tenha que recorrer à programação do autómato nem da interface.

Finalmente, foram realizados alguns testes de modo a verificar o bom funcionamento dos exercícios implementados e a sua adequação à finalidade didática a que se destinam.



# Automation of Didactic Oil-hydraulic Bench

## Abstract

The use of training benches for teaching purposes is important to allow students to achieve an environment closer to industry while giving greater practice sensitivity, thus motivating students to industrial innovation.

The main objective of this work is the implementation of an automation platform, on one of a set of four training benches that are at the laboratory of oil-hydraulics at the school of Engineering of the University of Porto, allowing to make automatic readings of physical variables, calculation of variables and programming of sequential movements.

The bench is equipped with various actuators, both linear and rotary, PLC and one human machine interface. Initially a configuration of the bench was necessary to make it adequate for the exercises which were intend to be developed. The adequate setting and determination of characteristics was done.

Later demonstrating exercises were programmed to allow measurement of physical variables, monitoring of functions and sequencing of movements without requiring the user to program the PLC or the interface.

Finally some tests were carried out to verify the proper functioning of the implemented exercises and assess the adequacy of the equipment for its didactic purposes.





# Agradecimentos

Em primeiro lugar pretendo agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Jorge Teixeira de Freitas, pela forma como me orientou, pelas suas recomendações e pela liberdade que me permitiu, que foi decisivo para o meu desenvolvimento pessoal.

Deixo uma palavra de agradecimento ao Sr. Joaquim Silva, técnico de laboratório, pela disponibilidade total, pela transmissão dos seus conhecimentos e pela companhia na hora de fumar o cigarrinho à porta do laboratório.

À Colega Sara Bazenga Fernandes, um grande obrigado pelo seu apoio, pelas discussões construtivas e pelo companheirismo durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos, que deram todo o seu apoio financeiro e anímico para que pudesse concretizar esta etapa. Em especial, ao Emídio Jorge e à Ana Jorge que me acompanharam desde a escola primária até aqui, confesso-vos que a caminhada foi dura mas valeu a pena.

Ao meu amor, Sofia Correia, um carinhoso agradecimento pelo seu apoio durante estes meses da minha vida e em especial, por me ter emprestado o seu computador sem quaisquer restrições, depois do meu ter avariado. És uma mulher fantástica e cada vez te amo mais.

E por fim mas não menos importante, a todos os meus colegas e amigos do ramo de automação deixo uma palavra de apreço pelo seu espírito de grupo e pela confraternização ao longo do ano.

A todos um muito Obrigado!



# Índice Geral

Resumo .....	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos.....	ix
1. Introdução .....	1
1.1 Uso de bancas didáticas na formação para o mundo industrial .....	1
1.2 Bancas de referência .....	2
1.3 Motivação e objetivos da dissertação .....	4
1.4 Estrutura da dissertação .....	5
1.5 Contribuições da dissertação .....	6
2 Estudo da banca didática.....	7
2.1 Descrição genérica da banca.....	7
2.2 Análise detalhada da banca.....	9
2.2.1 Central hidráulica.....	9
2.2.2 Consola hidráulica .....	11
2.2.2.1 Atuadores hidráulicos .....	11
2.2.2.2 Válvulas de comando.....	13
2.2.2.3 Elementos de monitorização.....	14
2.2.3 Consola de comando .....	15
2.2.3.1 Autómato de comando .....	17
2.2.3.1.1 Autómato base modular.....	17
2.2.3.1.2 Módulos do autómato .....	19
2.2.3.2 Interface HMI .....	20
3. Exercícios de demonstração didática .....	23

3.1. Descrição sucinta dos exercícios a realizar .....	23
3.2. Exercício de demonstração 1 – <i>Determinação de característica de válvula fluxométrica</i> .....	24
3.2.1. Determinação de característica de válvula fluxométrica, para baixos caudais.....	24
3.2.1.1. Análise do exercício .....	34
3.2.2. Determinação de característica de válvula fluxométrica, para caudais mais elevados.....	36
3.2.2.1. Análise do exercício .....	41
3.2.3. Efeito da temperatura na medição de caudal .....	42
3.3. Exercício de demonstração 2 – <i>Ajuste de pressostatos</i> .....	43
3.3.1. Análise do exercício.....	49
3.4. Exercício de demonstração 3 - <i>Implementação de uma plataforma para realização de movimentos sequenciais</i> .....	52
3.4.1. Combinação de movimentos de dois cilindros assimétricos.....	56
3.4.2. Combinação de movimentos de cilindro assimétrico com motor hidráulico .....	61
4. Conclusões e trabalhos futuros .....	65
4.1. Conclusões.....	65
4.2. Trabalhos Futuros .....	66
5. Referências e Bibliografia.....	69
ANEXO A – Atuadores Hidráulicos .....	71
ANEXO B – Preparação da banca.....	77
B.1 Montagem dos componentes hidráulicos .....	78
B.2 Incorporação provisória de transdutor de posição.....	78
B.3 Incorporação de transdutor de pressão .....	79
B.4 Estabelecimento de comunicação entre elementos.....	80

B.5 Caraterização do transdutor de posição.....	81
B.6 Ajuste dos detetores magnéticos de fim de curso.....	83
B.7 Programação do autómato .....	88
B.8 Programação da interface .....	90
Anexo C – Dados experimentais “cilindros assimétricos” .....	93
ANEXO D – Grafcet’s de Programação.....	99



# Índice de Figuras

Figura 2.1 - Banca didática de óleo-hidráulica utilizada no trabalho. ....	8
Figura 2.2 - Central Hidráulica.....	9
Figura 2.3 - Esquema simbólico da central hidráulica. ....	9
Figura 2.4 – Quadro elétrico de potência .....	11
Figura 2.5 – Cilindros hidráulicos. ....	12
Figura 2.6 – Detetores magnéticos de fim de curso. ....	12
Figura 2.7 - Motor hidráulico instalado na banca.....	13
Figura 2.8 - Configuração base da banca em termos de componentes hidráulicos. ....	14
Figura 2.9 – Consola de comando. ....	15
Figura 2.10 – Esquema simbólico da consola de comando.....	16
Figura 2.11 – Autómato instalado na banca e respetivos módulos. ....	17
Figura 2.12 – Esquema das ligações elétricas da base modular do PLC <i>twido</i> . ....	18
Figura 2.13 - – Bases de conexão <i>TELEFAST</i> para entradas e saídas digitais.....	18
Figura 2.14 - Configuração dos módulos acoplados ao autómato <i>twido</i> .....	19
Figura 2.15 - <i>HMI STU 655</i> .....	21
Figura 2.16 - Portas de comunicação da <i>HMI STU 655</i> .....	22
Figura 3.1 – Variação típica do caudal com a pressão .....	25
Figura 3.2 – Variação típica do caudal com ajuste da válvula. ....	25
Figura 3.3 – Circuito hidráulico para medição de caudal através do uso de cilindro.....	26
Figura 3.4 – Controlador proporcional+integrativo+derivativo.....	31
Figura 3.5 - <i>GRAFCE</i> T referente ao exercício 1 através do uso de cilindro.....	33
Figura 3.6 – Caraterística da válvula reguladora de caudal para baixos caudais (primeiro ensaio). ....	35

Figura 3.7 - Caraterística da válvula reguladora de caudal para baixos caudais (segundo ensaio). .....	36
Figura 3.8 – Circuito hidráulico para medição de caudal através de motor trocoidal ...	38
Figura 3.9 – <i>GRAF CET</i> referente ao exercício 1 através do uso de um motor hidráulico.	41
Figura 3.10 – Caraterística de válvula reguladora de caudal (Variação de caudal com ajuste manual). .....	42
Figura 3.11 – Efeito da temperatura na medição do caudal .....	43
Figura 3.12 – Pressostato.....	44
Figura 3.13 - Esquema elétrico simplificado do pressostato .....	44
Figura 3.14 – Circuito hidráulico para ajuste de pressostatos. ....	45
Figura 3.15 - Análise de repetibilidade do pressostato 1 para determinado ajuste. ....	49
Figura 3.16 – Análise de repetibilidade do pressostato 2 para determinado ajuste.....	50
Figura 3.17 - Variação de histerese para diferentes ajustes do pressostato 1.....	50
Figura 3.18 - Variação de histerese para diferentes ajustes do pressostato 2.....	51
Figura 3.19 – Circuito hidráulico correspondente à plataforma de sequência de movimentos.....	52
Figura 3.20 - <i>GRAF CET</i> referente à implementação da plataforma. ....	54
Figura B 1 - Placas base da banca didática.....	78
Figura B 2 - Configuração das válvulas de comando hidráulico.....	78
Figura B 3 - Esquema elétrico do transdutor de posição.....	79
Figura B 4 - Transdutor de pressão. ....	79
Figura B 5 - Esquema elétrico do transdutor de pressão. ....	79
Figura B 6 - Transdutor de pressão instalado na banca.....	80
Figura B 7 - Implementação de derivação para servir transdutor de pressão.....	80
Figura B 8 - Comunicação entre elementos da banca e computador.....	81
Figura B 9 - Montagem provisória do transdutor de posição.....	82



Figura B 10 - Verificação de histerese no transdutor de posição. ....	82
Figura B 11 - Zona linear de medição de distâncias através do transdutor de posição. .	83
Figura B 12 - Circuito hidráulico. ....	85
Figura B 13 - <i>GRAF CET</i> usado como modelo de programação. ....	86
Figura B 14 - Esquema que ilustra os pontos de leitura do detetor. ....	87
Figura B 15 - Divisão do programa do autómato em sub-rotinas. ....	89
Figura B 16 - Editor de expressões do <i>Vijeo Designer</i> . ....	91
Figura B 17 – <i>grafcet</i> correspondente à programação da <i>HMI</i> ....	101
Figura B 18 – <i>Grafcet</i> correspondente ao posicionamento / reposicionamento dos cilindros. ....	102



# Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Dados técnicos das centrais hidráulicas 1 e 2.....	10
Tabela 2.2 – Dados técnicos da central hidráulica 3 .....	10
Tabela 2.3 – Dados técnicos da central hidráulica 4 .....	10
Tabela 2.4 – Dados técnicos dos cilindros instalados na banca didática.....	12
Tabela 2.5 – Dados técnicos referentes ao motor hidráulico instalado na banca. ....	13
Tabela 2.6 – Dados técnicos dos detetores instalados junto dos atuadores.....	15
Tabela 2.7 – Dados relativos às conexões de entradas e saídas digitais e fonte de alimentação do autómato .....	19
Tabela 2.8 – Referência e função básica de cada módulo .....	19
Tabela 2.9 – Características da HMI STU 655 .....	21
Tabela 3.1 – Descrição das transições e ações da plataforma .....	55
Tabela B 1 - Equações Usadas para caracterizar os cilindros. ....	87
Tabela B 2 - Resumo dos dados referentes aos cilindros hidráulicos da banca. ....	88
Tabela B 3 – Tabela correspondente às transições do <i>grafcet</i> ilustrado na figura B.19. .....	103



# **1. Introdução**

Este capítulo pretende contextualizar o tema do trabalho proposto bem como a motivação para o seu desenvolvimento. São apresentados os objetivos e a respetiva importância no que diz respeito ao uso de bancas didáticas para o apoio ao ensino dos estudantes que frequentam o curso de Engenharia Mecânica, na área de automação, em sistemas óleo-hidráulicos. É efetuada uma introdução ao tema sobre o qual incide o trabalho bem como uma descrição geral da estrutura do documento e, por fim, são apresentadas as principais contribuições que o trabalho proposto pretende atingir.

## **1.1 Uso de bancas didáticas na formação para o mundo industrial**

Nos últimos anos o mundo tem assistido a permanentes alterações tecnológicas levando a indústria produtiva à sua incorporação e à conseqüente inovação contínua dos processos de produção através da implementação de processos progressivamente mais automáticos.

Com a necessidade contínua da utilização eficiente de recursos naturais e a preocupação com o meio ambiente é necessário associar tecnologia e criatividade. A automatização dos processos de produção industrial vem ajudar as empresas a reduzir desperdícios de recursos, diminuir tempos de produção, aumentar os seus padrões de qualidade e produtividade mantendo as mesmas competitivas no mercado.

Devido a estas necessidades por parte da indústria produtiva, os engenheiros devem estar preparados para a procura incessante de soluções inovadoras de modo a acompanhar as mudanças contínuas do mercado. Assim, o ensino de engenharia deve dotar os seus estudantes dos adequados conhecimentos teóricos, que são por demais importantes, mas também de uma vivência prática dos sistemas sobre os quais incidem os seus estudos.

O uso de bancas didáticas dotadas de meios automáticos de funcionamento serve exatamente para que os estudantes conciliem os seus conhecimentos teóricos com os práticos através da aplicação e observação de leis, fundamentos e técnicas. Com isto os estudantes ficam familiarizados com os processos industriais existentes e ganham mais sensibilidade no que diz respeito à influência e importância da automação nos mesmos.

## **1.2 Bancas de referência**

Para realizar exercícios sobre os temas abordados em escolas de engenharia e demonstrar situações reais que ocorrem no meio industrial, são usados vários tipos de bancas didáticas consoante o tema a abordar.

Assim, para realizar exercícios que proporcionem ao utilizador uma compreensão básica sobre circuitos óleo-hidráulicos existem, em primeiro lugar, as bancas de comando essencialmente manual. Através destas os alunos podem realizar exercícios de hidráulica convencional fazendo uso dos seus componentes, nomeadamente:

- Atuadores lineares;
- Atuadores rotativos;
- Válvulas direcionais de comando manual;
- Válvulas fluxométricas;
- Válvulas manométricas;
- Vasos volumétricos graduados;
- Manómetros.

Com estas bancas os alunos podem realizar exercícios diversos tais como:

- Movimentos simples ou sequências de movimentos – através do uso de válvulas direcionais;
- Controlo de força – através de válvulas manométricas;
- Controlo de velocidade – através de válvulas fluxométricas;
- Medição de caudal – através de uso do vaso graduado e com o auxílio de um cronómetro.

Este tipo de bancas revela-se bastante adequado para o ensino das noções básicas de hidráulica convencional. No entanto não acompanham o desenvolvimento industrial nesta área, em que se evidencia o uso de comandos elétricos combinados mesmo com a hidráulica proporcional.

Deste modo, existem bancas didáticas dotadas com equipamentos que permitem a demonstração de temas mais complexos no comando de sistemas hidráulicos. Assim, este tipo de bancas pode incluir equipamentos como:

- Eletroválvulas direcionais convencionais;
- Botoneiras para comando de válvulas;
- “Displays” numéricos para monitorização;
- Luzes sinóticas;
- Potenciómetros – para comando de referência para válvulas proporcionais;
- Transdutores e detetores.

Com este tipo de bancas já é possível realizar exercícios de demonstração mais abrangentes, nomeadamente a iniciação à automação de sistemas hidráulicos. Contudo estas bancas possuem as suas limitações, tais como a cablagem elétrica necessária atendendo à complexidade do exercício a realizar e consequente dificuldade na deteção de erros de montagem, e incapacidade de ler e registar automaticamente tempos, por exemplo.

Num patamar mais elevado encontram-se as “bancas automatizadas”, objeto do presente estudo, pelo facto de possuírem autómato programável (PLC) e interface homem-máquina (HMI). Com estes componentes já é possível realizar experiências tais como:

- Ações de comando – através da interface;
- Movimentos sequenciais de atuadores programados;
- Leitura e registo automático de tempos;
- Cálculos matemáticos e;
- Monitorizações contínuas.

Este tipo de bancas apresenta claras vantagens relativamente às anteriormente descritas, pelo facto de serem capazes de realizar medições, processar dados e sinais com rapidez e precisão, e não necessitarem de botoneiras físicas, de “displays” de monitorização nem de luzes sinóticas visto que a interface suporta estas necessidades. No entanto, requer que a mesma seja objeto de desenvolvimento e programação prévia à sua utilização para fins demonstrativos na área da óleo-hidráulica.

### **1.3 Motivação e objetivos da dissertação**

O principal objetivo do uso de bancas didáticas avançadas na ajuda à formação de alunos em sistemas óleo-hidráulicos passa por difundir este tipo de sistemas, bem como incentivar e facilitar a compreensão no que se refere à aplicação prática dos estudos teóricos de sistemas hidráulicos e da automação a si associada. Assim os mestrandos ampliam os seus conhecimentos práticos e compreendem a importância da automação de sistemas óleo-hidráulicos no meio industrial.

Ao chegar ao 3º ano do curso de mestrado integrado em Engenharia Mecânica, os estudantes frequentam uma disciplina denominada “Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos” e uma outra disciplina de “Automação e Segurança Industrial”. No que diz respeito aos sistemas hidráulicos são tratados temas de “hidráulica convencional” e no que diz respeito à automação são ensinados os sistemas lógicos e a programação de PLC’s. Nesta altura é conveniente chamar a atenção dos estudantes para a existência e importância dos sistemas hidráulicos automatizados, sejam estes do tipo convencional ou proporcional, uma vez que esta abordagem pode ser feita de um modo simples e descontraído através de algumas demonstrações didáticas. Os alunos podem interagir com as bancas através de interface HMI<sup>1</sup>, bem como alterar as ligações hidráulicas e manusear alguns componentes hidráulicos, sem que seja necessário saber programar o autómato nem a interface homem-máquina.

---

<sup>1</sup> HMI – Sigla de expressão inglesa que significa Human - Machine Interface. Em português significa Interface Homem – Máquina.



Este cenário motiva o desenvolvimento de uma plataforma de automação para uma banca didática, de um conjunto de quatro, existente no laboratório de óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com o objetivo de implementar alguns exercícios de forma flexível proporcionando aos utilizadores a possibilidade de interagir ativamente com as bancas através do manuseio de alguns componentes. Neste processo há sempre a necessidade de alterar as ligações hidráulicas existentes conforme o exercício que queiram realizar.

Neste sentido foram definidos vários objetivos que se pretendem alcançar no final deste trabalho, os quais se podem resumir da seguinte forma:

- Estudar e caracterizar os componentes existentes na banca;
- Introduzir novos componentes de modo a garantir uma maior abrangência de exercícios a realizar;
- Definir a configuração base da banca em termos de componentes hidráulicos;
- Implementar um conjunto de exercícios de demonstração prática referentes ao tema de automação de sistemas óleo-hidráulicos.

## **1.4 Estrutura da dissertação**

Além desta introdução, que serve para contextualizar o tema deste trabalho e defini-lo, este documento é constituído por mais três capítulos que descrevem de modo mais detalhado e organizado todo o trabalho desenvolvido.

No capítulo 2 é efetuada uma análise detalhada da banca sobre a qual incide o trabalho, nomeadamente a caracterização dos componentes existentes. No mesmo capítulo é definida a configuração base da banca em termos de válvulas de comando.

No capítulo 3, é feito de modo individual a apresentação, implementação e análise de cada exercício proposto. Estes são descritos de forma detalhada, de modo a permitir identificar o universo dos componentes necessários para a sua realização.

No capítulo 4 são apresentadas as conclusões mais importantes, que resultam essencialmente do trabalho desenvolvido, sendo ainda sugeridas propostas que levem ao desenvolvimento do panorama atual do tema, de modo a dar seguimento a este trabalho.

No final do documento são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas, bem como um conjunto de apêndices onde consta a informação complementar a este trabalho.

## **1.5 Contribuições da dissertação**

Este trabalho permitiu desenvolver uma plataforma para realização de exercícios diversos na temática da automação de sistemas hidráulicos abordando a “hidráulica convencional” e a “hidráulica proporcional”, contribuindo deste modo para o aumento das ferramentas disponíveis para o ensino destes temas. Permitiu ainda detetar as particularidades funcionais de alguns componentes, que em condições normais de funcionamento são passadas despercebidas ao utilizador.

Com este trabalho inicia-se uma nova fase de desenvolvimento de capacidades de aprendizagem com impacto inequívoco para a formação prática industrial no laboratório.

## **2 Estudo da banca didática**

Este capítulo caracteriza a banca sobre a qual incide o presente trabalho pelo que inicialmente é realizada uma introdução geral da mesma, sendo depois feita a sua descrição mais aprofundada quer em termos de configuração, quer em termos de comando. Assim, de um modo detalhado, o capítulo está subdividido nos seguintes temas:

- Central hidráulica – onde é evidenciada a sua importância e também caracterizada a sua construção;
- Consola hidráulica:
  - Atuadores – tipos e características;
  - Válvulas de comando;
  - Meios de monitorização e medição;
- Consola de comando:
  - Autómato – onde é descrito o tipo de autómato disponível bem como os módulos acoplados a este, por forma a garantir as leituras e atuações necessárias à realização dos exercícios;
  - Interface homem máquina – neste subcapítulo descreve-se a interface que se encontra acoplada à banca, suas portas de comunicação e seu método de desenvolvimento de programação;

### **2.1 Descrição genérica da banca**

Este trabalho incide sobre uma de quatro bancas “Hidromática” disponíveis no laboratório de óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Nesta banca é possível realizar diversas demonstrações didáticas, podendo-se conjugar a hidráulica “convencional” com a “proporcional”.

A banca, objeto deste trabalho, é constituída pelas seguintes partes essenciais:

- Central hidráulica – é a unidade produtora de energia hidráulica, que pode ser escolhida de entre várias disponíveis, e que é interligada com as restantes partes da banca de um modo flexível, através de ligações hidráulicas com engate rápido, por um lado, e através de um cabo elétrico com ficha multipolo, por outro;
- Consola hidráulica – constituída por uma infraestrutura de suporte mecânico robusta, sobre a qual estão instalados atuadores hidráulicos, válvulas, manómetros e um vaso graduado, conjugados com uma pré – montagem de ligações hidráulicas terminadas por engate rápido;
- Consola de comando – através da qual se permite não só comandar e monitorizar a central hidráulica à distância, mas ainda comandar e monitorizar os elementos montados sobre a consola hidráulica.

Esta descrição sucinta pode ser observada através das figuras seguintes sendo que à esquerda é ilustrada a banca em termos físicos e à direita é ilustrada a estrutura genérica da mesma.

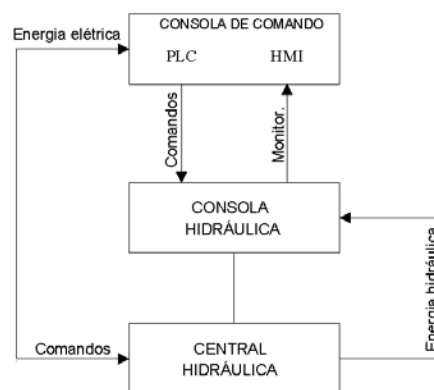


Figura 2.1 - Banca didática de óleo-hidráulica utilizada no trabalho.

## 2.2 Análise detalhada da banca

### 2.2.1 Central hidráulica

Em termos de fonte de potência hidráulica, a banca inclui uma central hidráulica amovível escolhida de entre várias disponíveis, como se apresenta nas figuras ilustradas nas tabelas 2.1 a 2.3.

As grandezas caracterizadoras da potência hidráulica são o caudal e a pressão. O caudal determina a velocidade de um atuador, seja a velocidade linear no caso de um atuador linear, seja a velocidade angular no caso de atuadores rotativos. A pressão determina a força, ou binário, disponível num atuador. O facto de as centrais serem amovíveis confere um carácter flexível às bancas, visto que cada central tem características distintas e pode-se alternar de banca para banca.

Dependendo do tipo de central hidráulica, a bomba pode ser submersa ou exterior ao fluido hidráulico.

Associado à bomba hidráulica existe uma válvula limitadora de pressão de modo a evitar que quando se atinjam pressões elevadas no circuito hidráulico, estas não resultem em insegurança para o utilizador nem em sobrecarga indevida para o motor elétrico.

As figuras seguintes ilustram uma central hidráulica típica bem como a sua representação simbólica.



Figura 2.2 - Central Hidráulica.

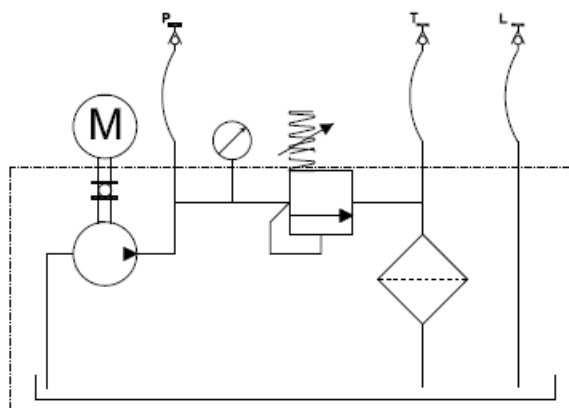


Figura 2.3 - Esquema simbólico da central hidráulica.

As tabelas seguintes apresentam, os seus dados técnicos mais importantes.

Tabela 2.1 – Dados técnicos das centrais hidráulicas 1 e 2.


Imagem	Central 1 e 2 - com bombas de engrenagem exterior	
	Capacidade do reservatório:	40 [l]
	<b>Motor elétrico de acionamento</b>	
	Potência elétrica:	1,5 [kW]
	Alimentação trifásica:	380 [V]/50 [Hz]
	Velocidade nominal:	1380 [rpm]
	<b>Bomba hidráulica:</b>	
	Tipo construtivo:	De engrenagem exterior
	Caudal nominal:	6,5 [lpm]
	Gama de pressão:	10 a 50 [bar]

Tabela 2.2 – Dados técnicos da central hidráulica 3



Imagem	Central 3 - com bomba de palhetas simétrica	
	Capacidade do reservatório:	40 [l]
	<b>Motor elétrico de acionamento</b>	
	Potência elétrica:	1,5 [kW]
	Alimentação trifásica:	380 [V]/ 50[Hz]
	Velocidade nominal:	1380 [rpm]
	<b>Bomba hidráulica</b>	
	Tipo construtivo:	De palhetas simétrica
	Caudal nominal:	9,1 [lpm]
	Gama de pressão:	10 a 50 [bar]

Tabela 2.3 – Dados técnicos da central hidráulica 4

Imagem	Central 4 - com agregado de bombas de engren. ext.	
	Capacidade do reservatório:	40 [l]
	<b>Motor elétrico de acionamento</b>	
	Potência elétrica:	1,5 [kW]
	Alimentação trifásica:	380 [V]/ 50[Hz]
	Velocidade nominal:	1380 [rpm]
	<b>Bombas hidráulicas</b>	
	Tipo construtivo:	De engrenagem exterior
	Caudal nominal da bomba 1:	7,5 [lpm]
	Caudal nominal da bomba 2:	6,5 [lpm]
Gama de pressão:	10 a 50 [bar]	

Na parte superior de cada central hidráulica encontram-se ligadas as mangueiras flexíveis, dotadas de terminal de engate rápido, para fazerem a ligação entre a central e a consola hidráulica.

Acoplado a cada central hidráulica encontra-se o seu quadro elétrico de potência que dispõe de botoneiras para comando local, tal como se pode ver na fig. 2.4. O interruptor geral está instalado nesta unidade, logo não é possível fornecer energia elétrica à banca didática sem que exista uma central associada à mesma. À direita do interruptor geral existe um seletor que serve, como o próprio nome indica, para seleccionar o comando “local” ou o comando à “distância” do arranque do motor elétrico. Além dos elementos referidos, também se encontram quatro sinais luminosos de monitorização do estado da central, nomeadamente:

- Indicador de central ligada /desligada;
- Indicador do nível do óleo;
- Indicador da condição do filtro;
- Indicador do disparo térmico do disjuntor.



Figura 2.4 – Quadro elétrico de potência

## 2.2.2 Consola hidráulica

### 2.2.2.1 Atuadores hidráulicos

Nesta subsecção são caracterizados os atuadores que servem para realizar os movimentos na banca em estudo, sendo que todos estes estão equipados com conexões de engate rápido. Cada banca dispõe de dois atuadores lineares e de um atuador rotativo.

Os cilindros hidráulicos são compactos, de corpo em liga de alumínio, e estão equipados com detetores de fim de curso magnéticos, como se pode apreciar na fig. 2.6.

Estes cilindros têm características idênticas, diferenciando-se essencialmente no seu curso de trabalho. O cilindro de maior curso oferece a possibilidade de aplicar uma carga através do uso de uma mola amovível colocada no extremo da haste do cilindro, como se pode verificar através da fig. 2.5.



Figura 2.5 – Cilindros hidráulicos.



Figura 2.6 – Detetores magnéticos de fim de curso.

Na tabela 2.4 são referidas as principais características dos cilindros que se encontram instalados na banca didática. Informações mais detalhadas sobre os mesmos encontram-se disponíveis no ANEXO A – Atuadores Hidráulicos. No presente texto apenas se referem as características necessárias para a realização dos exercícios didáticos propostos.

Tabela 2.4 – Dados técnicos dos cilindros instalados na banca didática.

Dados	Cilindro 1	Cilindro 2
Referência do componente:	CHDKGB40 – 100M	CHDKGB40 – 50M
Nº de detetores magnéticos:	2	2
Funcionamento:	De duplo efeito	De duplo efeito
Amortecimento fim de curso:	Não	Não
Pressão nominal:	160 [bar]	160 [bar]
Curso:	100 [mm]	50 [mm]
Diâmetro da haste:	22,4 [mm]	22,4 [mm]
Diâmetro do êmbolo:	40 [mm]	40 [mm]
Área da câmara principal:	12,56 [cm <sup>2</sup> ]	12,56 [cm <sup>2</sup> ]
Área da câmara secundária:	8,62 [cm <sup>2</sup> ]	8,62 [cm <sup>2</sup> ]

No que diz respeito a atuadores rotativos a banca em estudo dispõe de um motor hidráulico do fabricante *EATON*, como se pode observar através da fig.2.7.





Figura 2.7 - Motor hidráulico instalado na banca.

Na tabela 2.5 encontra-se um resumo dos dados técnicos referentes aos motores hidráulicos instalados. No ANEXO A – Atuadores Hidráulicos, podem ser consultadas informações mais detalhadas acerca deste componente.

Tabela 2.5 – Dados técnicos referentes ao motor hidráulico instalado na banca.

Dados	Descrição – Motor hidráulico
Série:	Series J
Referência:	129 0371
Cilindrada:	8,2 [cm <sup>3</sup> /rot]
Nº de dentes da roda:	12
Pressão máx. em regime contínuo:	140 [bar]
Pressão máx. em regime intermitente:	165 [bar]
Tipo construtivo	Trocoidal tipo Gerolor

### 2.2.2.2 Válvulas de comando

Em termos de comando, a banca possui duas placas base sobre as quais é possível montar válvulas direcionais, que podem ser do tipo “convencional” ou “proporcional”. As ligações entre as válvulas de comando e os atuadores são feitas através de mangueiras flexíveis montadas com terminais de engate rápido, permitindo um manuseamento relativamente fácil e rápido.

Uma configuração de base de uma banca pode ser como se apresenta na fig. 2.8.

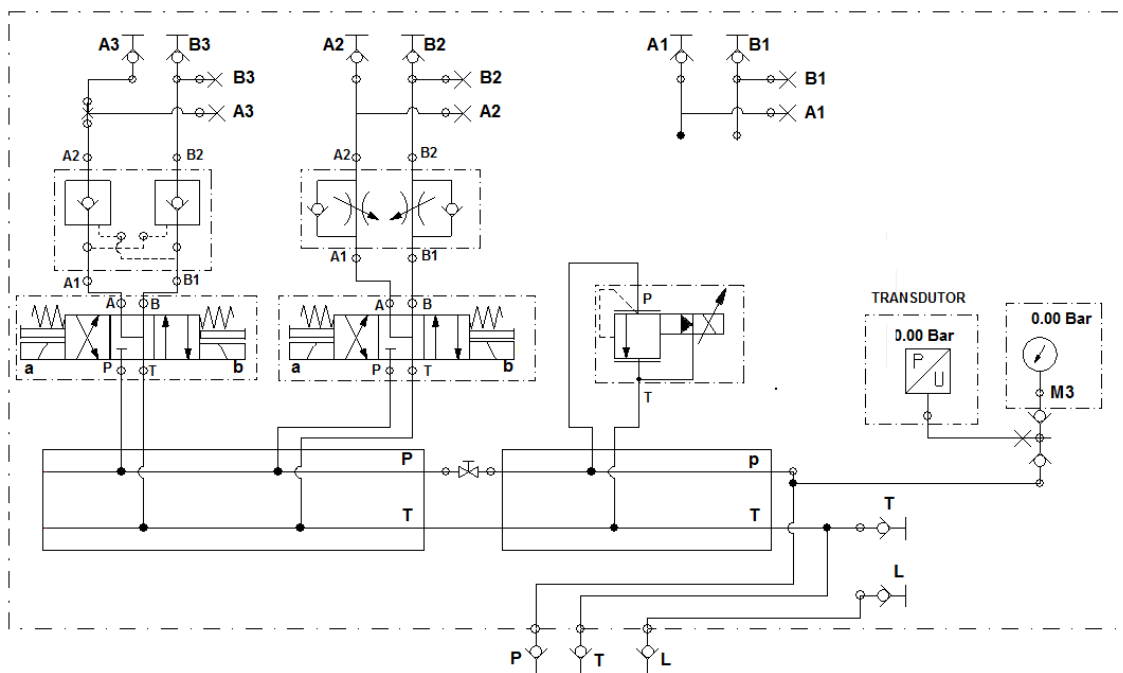


Figura 2.8 - Configuração base da banca em termos de componentes hidráulicos.

Esta configuração dispõe dos seguintes componentes:

- Duas eletroválvulas de controlo direcional (4/3) – com linha de pressão fechada na posição central, A e B ligadas a T, centradas por molas, com socorro de atuação manual;
- Uma válvula de retenção pilotada dupla do tipo modular – montada entre a placa base e a válvula direcional, impedindo o fluxo de óleo na ausência de pressão hidráulica;
- Uma válvula de controlo de fluxo do tipo modular – montada entre a placa base e a válvula direcional, de orifício variável em *meter-out*;
- Uma válvula limitadora de pressão proporcional - instalada sobre placa base. Esta válvula tem a função de fazer um controlo da pressão à entrada das válvulas direcionais, já que se encontra instalada em derivação à alimentação na linha de pressão.

### 2.2.2.3 Elementos de monitorização

Na banca, objeto de trabalho, existem cinco detetores instalados. Dois detetores magnéticos de fim de curso, em cada cilindro, e um detetor indutivo no motor hidráulico.

No que diz respeito aos cilindros, os detetores magnéticos transmitem ao autómato um sinal de presença do êmbolo, quando este se encontra em alguma das suas

extremidades. Contudo, não transmitem em que posição se encontra o cilindro quando este está fora dos seus pontos extremos.

Junto ao motor hidráulico está colocado um sensor indutivo que deteta a passagem dos dentes de uma roda dentada que está acoplada ao atuador. Essa informação é utilizada para realizar o cálculo da sua velocidade de rotação.

Na tabela 2.6 são descritos alguns dados técnicos dos detetores utilizados.

Tabela 2.6 – Dados técnicos dos detetores instalados junto dos atuadores.

Dados	Descrição	
	Detetores magnéticos	Detetor indutivo
<b>Tecnologia:</b>	Detetor Reed	Indutivo
<b>LED indicador:</b>	Sim	Sim
<b>Cabo de saída:</b>	2 fios	3 fios
<b>Sinal DC:</b>	24 V	8 a 30 V
<b>Carga aplicável</b>	Relé / PLC	-
<b>Freq. de comutação (máx)</b>	-	500 Hz

### 2.2.3 Consola de comando

A consola de comando é a unidade onde se encontram os elementos necessários para o utilizador realizar o comando e monitorização da banca didática à “distância”. É nesta consola que se encontra instalado o autómato programável, a HMI, o painel de conexões elétricas bem como um painel de botões de comando manual e monitorização com sinalizadores, tal como é ilustrado na fig. 2.9.



Figura 2.9 – Consola de comando.

Através dos botões de pressão instalados no painel de comando manual, o utilizador pode realizar o arranque e paragem da central hidráulica, em modo manual. Neste mesmo painel encontram-se 4 sinalizadores que indicam o estado em que se encontra a central hidráulica (ligado/desligado), o nível do óleo, condição do filtro (sinalizador ativa-se quando o filtro está “obstruído”) e finalmente um sinalizador que informa a ocorrência do disparo térmico do contator da central.

Os restantes comandos e monitorizações são realizados através do autómato e da HMI, havendo neste caso a necessidade de programação dos mesmos. (fig. 2.10)

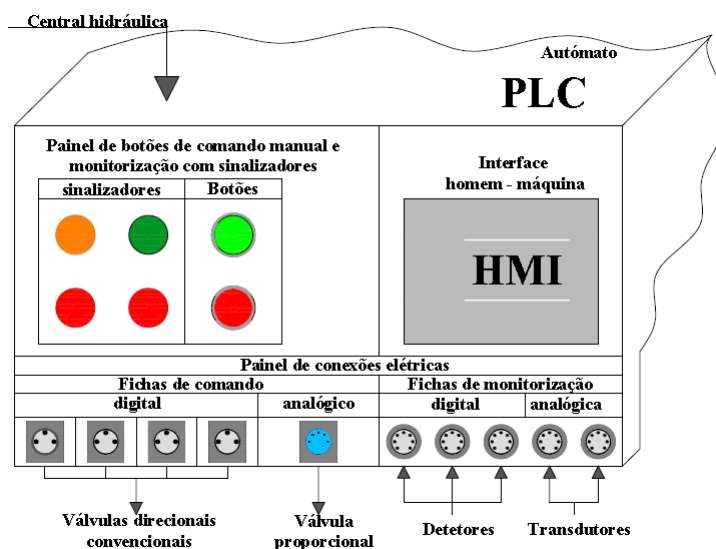


Figura 2.10 – Esquema simbólico da consola de comando.

O painel de conexões elétricas existente na consola de comando serve para esta se interligar com a consola hidráulica transmitindo ordens de comando aos seus meios de atuação e recebendo sinais de monitorização, quer sejam discretos ou contínuos. Em síntese, o painel de fichas é constituído por:

- 4 fichas XLR de painel fêmea (3 pinos) – estas são utilizadas para ativação, pelo autómato, dos solenoides das válvulas direcionais;
- 1 ficha XLR de painel fêmea (5 pinos) – preparada para se conectar a uma válvula proporcional através de uma ficha de eletrónica de comando externo;
- 5 fichas XLR de painel (7 pinos) – usadas para receber os sinais dos detetores (3) e dos transdutores (2) da consola hidráulica no autómato, sendo que uma das fichas de monitorização digital (3ª a contar da esquerda na figura anterior) está ligada a uma entrada rápida do autómato para permitir leitura do detetor que se encontra a medir os impulsos associados ao motor hidráulico.

### 2.2.3.1 Autômato de comando

Cada uma das bancas é dotada de um autômato programável TWIDO, de arquitetura modular, com capacidade para 24 entradas e 16 saídas digitais, módulo de comunicação do tipo RS485, um módulo de expansão com 8 entradas analógicas e um módulo de expansão com 2 saídas analógicas, tal como se apresenta na fig. 2.11.

Todos os componentes enunciados são do fabricante *Schneider Electric* e a sua programação é feita através do *software “twido suite”* com opção de duas linguagens de programação, nomeadamente “*Ladder*” e “*lista de instruções*”.

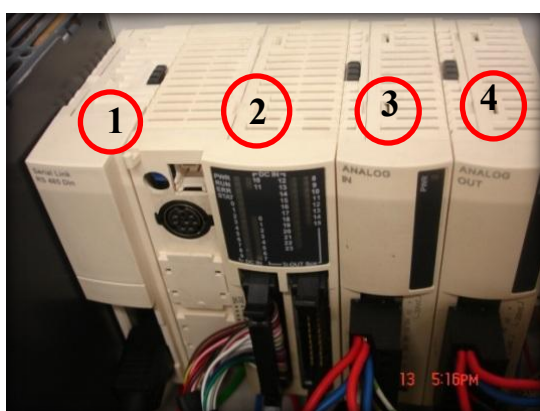


Figura 2.11 – Autômato instalado na banca e respectivos módulos.

- 1– Módulo de comunicação;
- 2– Autômato base modular (PLC<sup>2</sup>);
- 3– Módulo de entradas analógicas;
- 4– Módulo de saídas analógicas.

#### 2.2.3.1.1 Autômato base modular

O autômato base modular é alimentado por uma fonte de 24 VDC. Esta unidade dispõe de 24 entradas digitais e de 16 saídas digitais por transístor, sendo que as ligações são feitas por conetor multipolo tipo HE10. Além das entradas e saídas digitais, também dispõe de uma porta de comunicação RS485 que é utilizada para se ligar ao computador, seja para fazer monitorização das variáveis do autômato, seja para enviar programas para este.

---

<sup>2</sup> PLC – Sigla de expressão inglesa que significa Programmable Logic Controller, em português significa Controlador Lógico Programável.

Na fig. 2.12 encontra-se ilustrado o esquema da base modular retirado do catálogo do fornecedor.

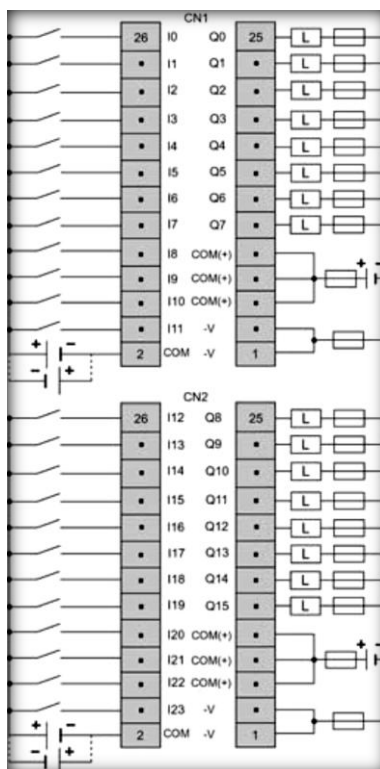


Figura 2.12 – Esquema das ligações elétricas da base modular do PLC *twido*.

As saídas e entradas digitais acima referidas estão ligadas a duas bases de conexão TELEFAST através de cabos pré montados, como ilustrado na fig. 2.13. Todas as entradas e saídas são ligadas a estas bases. Com estas bases obtém-se um adequado isolamento galvânico dos sinais de entrada e as atuações de saída são efetuadas por relé eletromecânico.

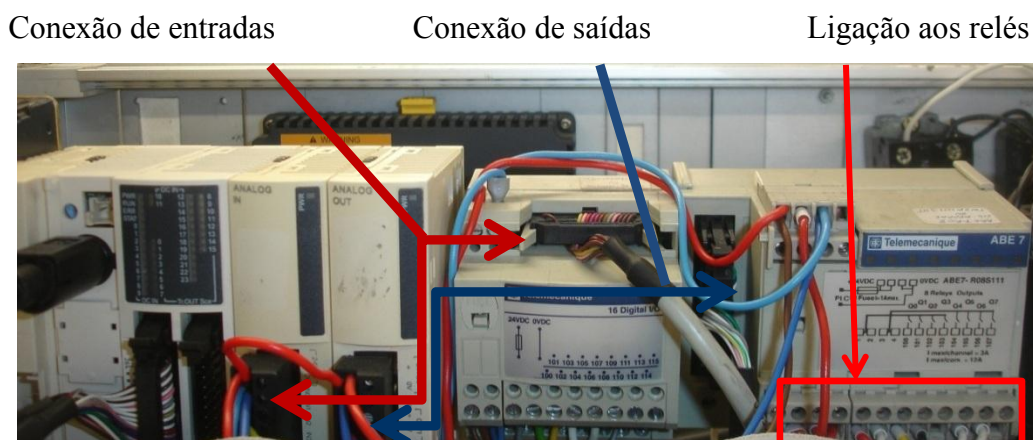


Figura 2.13 -- Bases de conexão *TELEFAST* para entradas e saídas digitais.

Para melhor perceber as características das bases de conexão, da fonte de alimentação e da porta série, são apresentados alguns dados técnicos na tabela seguinte.

Tabela 2.7 – Dados relativos às conexões de entradas e saídas digitais e fonte de alimentação do autómato

Bases TELEFAST			
Designação		Número de entradas/saídas	Descrição
Base de conexão passiva	Cabo pré montado	16 Entradas digitais	ABE – 7H20E000
Base para relés		8 Saídas digitais	ABE – 7R08S111
Fonte de alimentação do autómato			
Input AC	Frequência	Output DC	Modelo
230 [V]	50 [Hz]	24 [V], 2 [A], 48 [W]	ABL7 RE2402

### 2.2.3.1.2 Módulos do autómato

Neste subcapítulo são descritos os módulos instalados em cada banca, tal como é ilustrado na fig. 2.14, sendo que estes se resumem da seguinte forma:

- Módulo de comunicação;
- Módulo de entradas analógicas;
- Módulo de saídas analógicas.

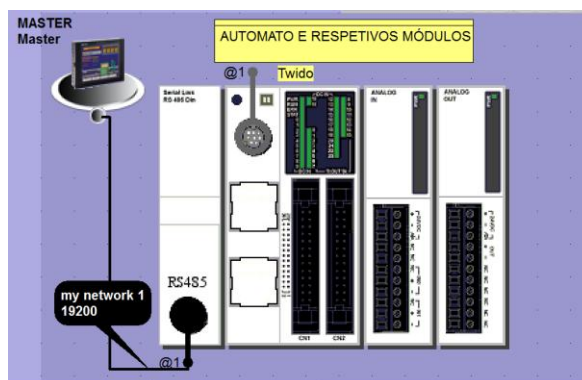


Figura 2.14 - Configuração dos módulos acoplados ao autómato *twido*.

De forma sucinta, a tabela 2.8 descreve os módulos acima referidos e respetivas funções:

Tabela 2.8 – Referência e função básica de cada módulo

Módulo	Referência	Caraterísticas
Módulo de comunicação	TWDNOZ485D	Ligação série RS485, para ligação à HMI
Módulo de entradas analógicas	TM2AMI8HT	8 entradas analógicas [0,10V] ou [0,20mA] Resol. 10 bit.
Módulo de saídas analógicas	TM2AVO2HT	2 saídas analógicas [-10V,10V] Resol. 11bit + sinal

O módulo de comunicação contém uma porta do tipo RS485 que é usada para comunicar com a interface homem máquina, que se encontra no painel central da banca. O utilizador pode controlar a banca através de ordens dadas ao *PLC*, desde que a interface esteja devidamente programada. Podemos assim dizer que a interface funciona como mestre e o *PLC* como escravo.

O módulo de entradas analógicas, acima referido, oferece ao autómato a possibilidade de ler grandezas analógicas, provenientes de transdutores eletrónicos. Neste caso, o módulo de expansão possui 8 entradas analógicas capaz de ler sinais em tensão (0 – 10 [V]) ou em corrente (0 – 20 [mA]).

No que diz respeito às entradas analógicas, o autómato oferece uma escala de resolução normal de 10 bit praticável numa gama entre 0 e 1023. Sendo este valor inserido numa palavra de 16 bit, torna-se expandido na gama geral entre -32768 e 32767. Desta forma é oferecida ao programador a liberdade de definir o intervalo mais adequado, desde que não exceda os limites estabelecidos.

O módulo de saídas analógicas disponível oferece a possibilidade de controlar 2 dispositivos de controlo proporcional, tal como é o caso de válvulas proporcionais. Estes convertem valores numéricos em sinais de saída em tensão. A gama disponível em tensão situa-se no intervalo [-10 e + 10V], dispondo de uma resolução de 11 bit, mais sinal. Também é possível, neste caso, o uso da gama normal, que agora se situa no intervalo (-2048 a 2047), ou o uso da gama geral que se situa entre -32768 e 32767.

### **2.2.3.2 Interface HMI**

Neste subcapítulo é caracterizada a interface homem-máquina (*HMI*) ilustrada na fig. 2.15. Como já referido no capítulo anterior, cada uma das bancas objeto deste trabalho está equipada com uma interface policromática de 3,5", que permite ao utilizador interagir com a banca através do seu painel tátil, monitorizando os estados desta, bem como dando ordens para que os mesmos se alterem.





Figura 2.15 - HMI STU 655

O ecrã apresenta as imagens criadas pelo utilizador e as variáveis do equipamento remoto. O painel tátil é responsável pelas operações de alteração do ecrã e envio dos dados para o anfitrião (PLC).

Para a alimentação deste componente é utilizada a mesma fonte de tensão que alimenta o autómato, ou seja 24VDC.

A tabela 2.9 descreve as características da interface em causa:

Tabela 2.9 – Características da HMI STU 655

Referência	Dimensão do ecrã	Resolução do ecrã (pixels)	Mono/Cor	Tecnologia do ecrã	Porta serie	Porta ethernet
HMI STU 655	8,9 cm (3,5 pol)	320×240 (QVGA)	65.536 cores e retroiluminação de LED	TFT	RJ45 (RS232/RS485)	10BASE T/100BASE-TX

Em termos de memória disponível a interface está dotada de:

- Flash de aplicação – 32MB;
- Backup de dados em FRAM<sup>3</sup> – 64KB;
- DRAM<sup>4</sup> de execução da aplicação – 64MB.

A interface oferece uma excelente visualização com cores precisas numa tela *QVGA* de 65 mil cores. O tempo de vida estimado pelo fornecedor encontra-se definido em número de toques no ecrã, que poderá ascender a 1 milhão.

<sup>3</sup> FRAM – Sigla de expressão inglesa que significa ferro magnetic random-access memory, que é um tipo de memória de computador não volátil.

<sup>4</sup> DRAM – Sigla de expressão inglesa que significa dynamic random-access memory. É um tipo de memória que armazena cada bit de dados num condensador ou capacitor. A informação é perdida se a carga não for atualizada periodicamente.

Em termos de comunicação, a *HMI STU 655* está dotada de vários tipos de interface que se encontram ilustrados na fig. 2.16 e especificam-se do seguinte modo:

- Interface série COM1 RJ45 – Transmissão assíncrona (RS232 e RS485);
- Interface USB1 – com conector do tipo A V2.0 (periféricos USB);
- Interface USB2 – com conector do tipo USB mini – B V2.0 utilizado para transferência de aplicações;
- Interface de Ethernet

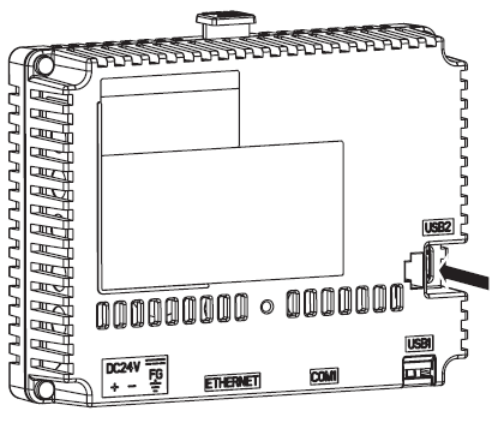


Figura 2.16 - Portas de comunicação da *HMI STU 655*

Para a programação da interface é usado o *software VIJEO DESIGNER* disponibilizado pelo fabricante, que permite a configuração de painéis.

Nestes painéis com resolução tátil de (12x16) podem ser adicionados botões e caixas de texto de leitura, ou de escrita, dando a possibilidade ao utilizador de visualizar e alterar estados discretos e analógicos. Quando é necessária uma programação mais complexa, fazendo uso de variáveis intermédias, pode-se recorrer ao uso de *scripts* que se baseiam na linguagem de programação *java* ®.

## **3. Exercícios de demonstração didática**

O presente capítulo tem como objetivo descrever a concepção e implementação de um conjunto de 3 exercícios didáticos de características distintas para prática laboratorial de óleo-hidráulica.

A realização destes exercícios tem por intuito oferecer ao estudante a possibilidade de realizar atividades demonstrativas salientando as vantagens do uso de sistemas hidráulicos automatizados. São apresentados exercícios de caracterização e de interação ativa entre o estudante e a banca. Por fim, é apresentado um exercício de tomada de decisão por parte do estudante, em que este configura uma sequência de movimentos a realizar pelos atuadores instalados na banca.

### **3.1. Descrição sucinta dos exercícios a realizar**

No primeiro exercício, pretende-se que o estudante determine a característica de uma válvula fluxométrica, nomeadamente uma válvula reguladora de caudal, compensada, com válvula de retenção integrada. Este é um exercício onde é necessário realizar uma medição volumétrica com grande rigor pelo que, não existindo um transdutor de caudal na banca, se propõe o uso de um cilindro hidráulico ou, para medição de caudais mais elevados, o uso de um motor hidráulico como alternativa aceitável para o fim em vista.

No segundo exercício, o estudante é colocado perante a necessidade de ajustar pressostatos instalados na banca, criando um procedimento automático para a sua realização e verificação.

Por fim, no terceiro exercício é desenvolvida uma plataforma didática que coloca à disposição do estudante uma capacidade para configurar uma sequência flexível de movimentos de atuadores. Com isto, o utilizador tem a liberdade de programar uma sequência à sua vontade e, posteriormente, apreciar a sequência programada através da ordem de execução.

### **3.2.Exercício de demonstração 1 – *Determinação de caraterística de válvula fluxométrica***

O objetivo deste exercício consiste na identificação da caraterística de uma válvula reguladora de caudal através da medição do caudal médio que a atravessa para diferentes condições de funcionamento. Para realizar uma medição rigorosa de baixos caudais propõe-se inicialmente usar um cilindro hidráulico, como “vaso de medição”. Numa segunda fase do exercício é proposto o uso de um motor hidráulico, para medição de maiores caudais.

#### **3.2.1.Determinação de caraterística de válvula fluxométrica, para baixos caudais**

O exercício consiste, essencialmente, na medição do caudal que atravessa a válvula reguladora de caudal, para distintas condições de ajuste manual da mesma e para várias condições de pressão, usando um cilindro hidráulico como elemento de medição de volume.

Para a realização deste exercício é necessário medir o tempo associado a um volume que atravessa a válvula. Sendo esse volume o correspondente à variação total do volume do atuador, geometricamente bem definido, permite-se assim pela medição de tempo obter um valor de caudal rigoroso. Sendo este procedimento realizado de modo automático em 3 vezes consecutivas, obter-se-á o valor médio pretendido.

Duas caraterísticas podem ser obtidas. Uma primeira caraterística da relação, para um dado ajuste da válvula reguladora de caudal, do caudal que passa pela válvula para uma gama de pressão que lhe é imposta. Uma outra segunda caraterística consiste

em manter um diferencial de pressão constante na válvula e registar o caudal que a atravessa, para cada posição de ajuste da mesma.

Como uma válvula reguladora de caudal é uma válvula que define com grande rigor o caudal que a atravessa, independentemente da queda de pressão a que está sujeita, a primeira das características a experimentar requer a identificação de valores de caudal muito semelhantes, o que significa necessidade de elevado rigor na medição de caudal (ver fig. 3.1).

Para a segunda das características, o caudal que passa pela válvula varia significativamente para a gama de ajuste da sua regulação de comando, pelo que é necessário realizar medições de caudal numa ampla gama de valores, sendo o rigor de cada valor menos significativo (ver fig. 3.2).

Para permitir a medição de baixos caudais foi optado pelo uso do cilindro de maior curso disponível na banca, uma vez que constitui um volume variável maior e assim permitem-se minorar eventuais erros incorridos por medição de tempos de curta duração. Pelo mesmo motivo, o movimento útil para a medição do caudal médio é o de avanço da haste, que corresponde à câmara principal do cilindro.

Para a obtenção da segunda característica proposta, é necessário controlar a queda de pressão na válvula de modo a que esta se mantenha constante ao longo de um ensaio.

No final da realização do exercício espera-se que o utilizador obtenha resultados semelhantes aos que se ilustram nas figuras seguintes.

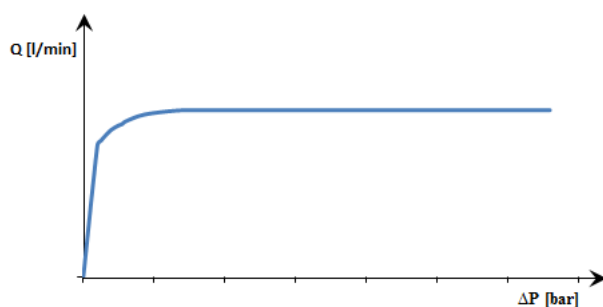


Figura 3.1 – Variação típica do caudal com a pressão

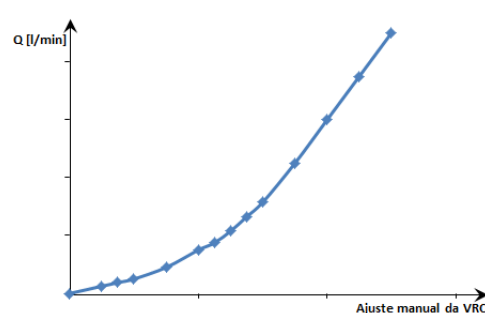
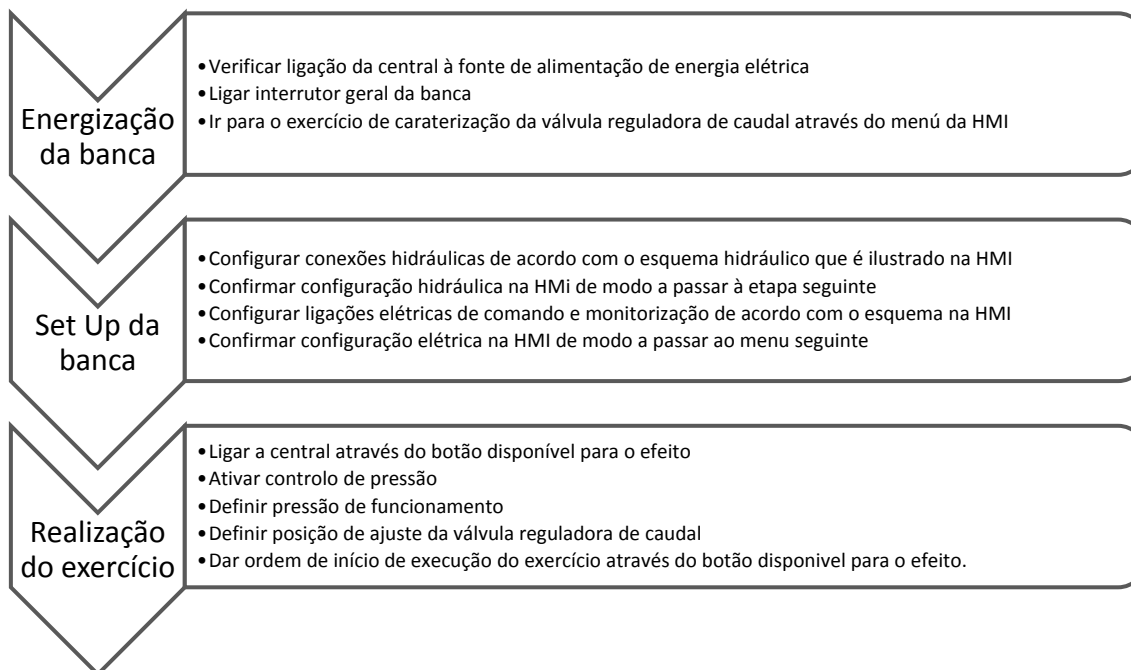


Figura 3.2 – Variação típica do caudal com o ajuste manual da válvula.

Para que se possa realizar este exercício é necessário cumprir um procedimento prévio junto da banca que se pode resumir através do seguinte diagrama.



A fig. 3.3 ilustra o circuito hidráulico usado para a realização do exercício.

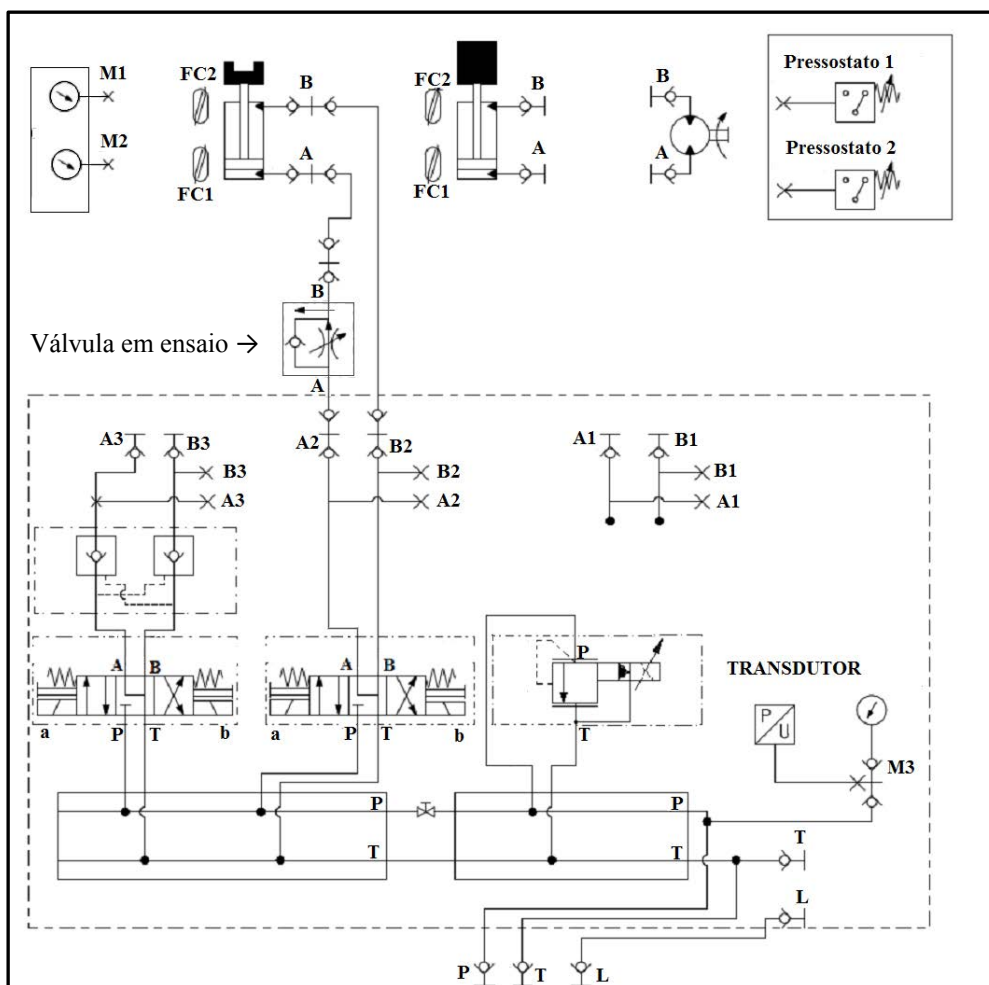


Figura 3.3 – Circuito hidráulico para medição de caudal através do uso de cilindro.

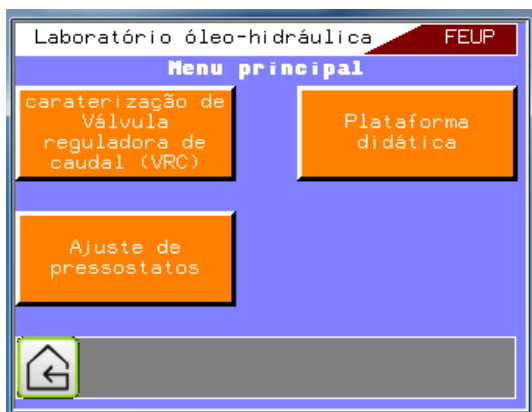
Os componentes principais a serem utilizados, e suas particularidades, são os que se descrevem de seguida:

- Central hidráulica com bomba de cilindrada fixa, a escolher pelo utilizador, entre as disponíveis;
- Cilindro assimétrico de duplo efeito (de maior curso):
  - Diâmetro da câmara principal: 40 [mm]
  - Curso útil do cilindro: 96,70 [mm].
- Eletroválvula de centro em “Y”, com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – movimento de avanço (conexão à saída digital EV.3);
  - Solenóide B – movimento de recuo (conexão à saída digital EV.4);
- Válvula reguladora de caudal compensada:
  - Orifício A ligado à saída A<sub>2</sub> da eletroválvula e orifício B ligado à entrada da câmara principal do cilindro.
  - Regulação na “posição 0” da escala graduada – totalmente fechada;
  - Regulação na “posição 5” da escala graduada – totalmente aberta;
- Transdutor de pressão (conexão à entrada analógica EA1);
- Válvula limitadora de pressão de comando proporcional (conexão à saída analógica VP).

Os comandos disponibilizados ao estudante para realizar o exercício através da HMI são os que se descrevem de seguida:



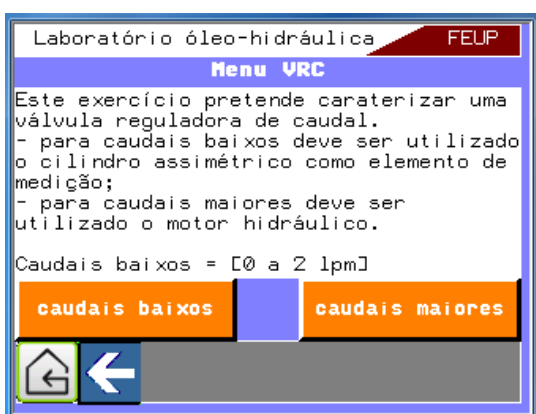
**Painel inicial** – quando a fonte de energia elétrica é ligada, na central hidráulica, a banca didática fica energizada e o painel inicial é disponibilizado ao utilizador. Para passar ao menu de exercícios basta carregar em qualquer zona do painel tátil.



**Menu principal** – neste painel é disponibilizado ao utilizador o acesso ao conjunto dos 3 exercícios de demonstração instalados na banca.

Ao pressionar o botão correspondente a “Caraterização de válvula reguladora de caudal (VRC)” o utilizador é levado para o menu referente aos exercícios de caraterização da válvula reguladora de caudal.

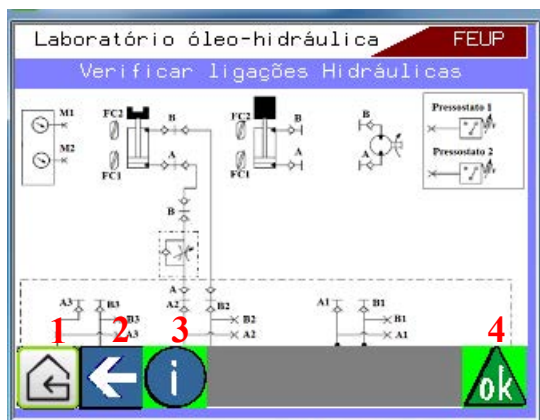
O utilizador pode voltar ao painel inicial pressionando o símbolo “casa”.



**Menu VRC** – neste painel é apresentado um texto com uma pequena introdução referente aos exercícios. Para a realização deste exercício o utilizador deve pressionar o botão “caudais baixos”.

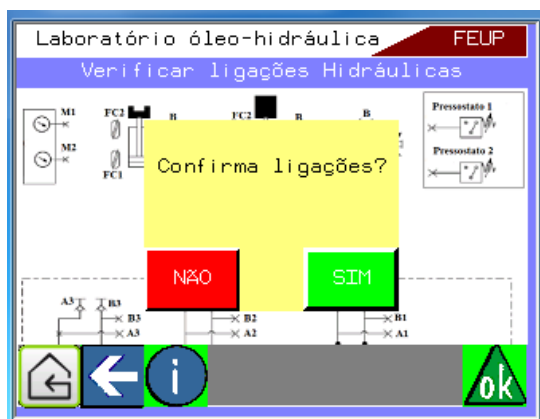
O utilizador pode ainda:

- Voltar ao painel anterior e;
- Voltar ao painel inicial.



**Verificar ligações hidráulicas** – neste painel, o utilizador deve certificar-se de que a consola hidráulica está configurada conforme o esquema disponibilizado, podendo em alternativa seleccionar:

- [1] Voltar à página inicial;
- [2] Voltar ao painel anterior;
- [3] Obter informação – ao pressionar abre uma janela *pop-up* com informação referente à configuração da consola hidráulica;
- [4] OK – validar ligações e passar ao painel seguinte.

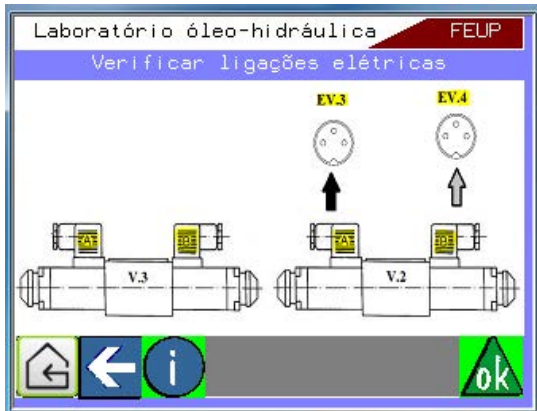


**Janela extra (*pop-up*)** - aparece quando o utilizador pressiona o botão de validação (OK).

Para validar a configuração:

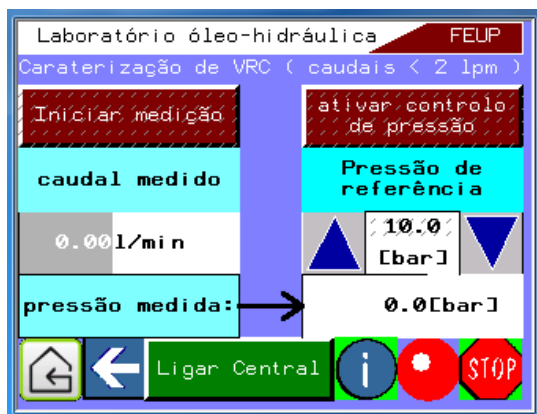
- Pressionar (SIM), e passa ao painel seguinte;
- Pressionar (NÃO), e volta ao painel “não validado”





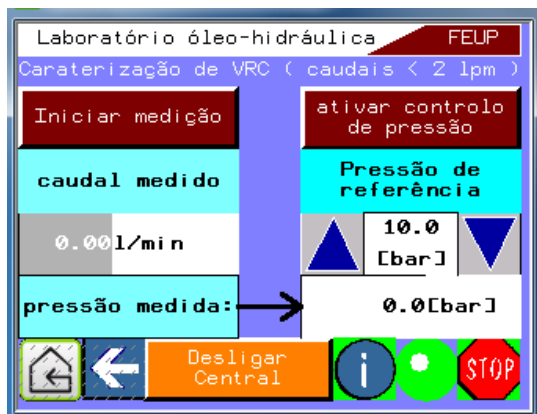
**Verificar ligações elétricas** – Neste painel o utilizador deve certificar-se de que as ligações elétricas de comando digital das válvulas direcionais estão corretamente efetuadas.

Pressionando no botão ( i ) são disponibilizadas mais informações acerca da configuração elétrica.



**Painel de iniciação do exercício** – este é o painel disponibilizado ao utilizador após validação da configuração elétrica. O utilizador tem acesso aos botões:

- Ligar central;
- Stop – emergência;
- Informação;
- Ativar controlo de pressão (fica disponível de pois de ligar a central);
- Voltar ao painel anterior;
- Voltar ao painel inicial.



**Painel de execução do exercício** - Apenas depois de ligar a central, é que o utilizador fica com as restantes seleções disponíveis, nomeadamente:

- Definição da pressão de referência (*setpoint*);
- Iniciar medição de caudal;
- Ativar controlo de pressão (para permitir controlo à pressão de referência);
- Desativar controlo de pressão – encontra-se atrás do botão de ativação do controlo e fica disponível quando o controlador é ativado;
- Desligar central (deve ser só premido após desativar controlo de pressão).

Os comandos disponibilizados no painel de execução do exercício são descritos em maior detalhe de seguida:

- *Voltar ao painel anterior* – botão disponível que dá a possibilidade de voltar ao painel anterior. Este botão encontra-se ativo desde que o painel é apresentado pela primeira vez e até que a central hidráulica é ligada e, depois de realizar um ensaio e da central hidráulica ser desligada. Isto garante que nenhum processo está ativo quando se pretende voltar ao painel anterior. Para interromper um exercício em

execução deve ser usado o botão disponível para o efeito, ou seja, o botão de emergência.

- *Voltar ao painel inicial* – Botão que se encontra desbloqueado quando todos os processos estão inativos, tal como o botão descrito anteriormente.
- *Ligar central* – ativa a central hidráulica. Depois de premido, liga uma luz indicadora verde, que sinaliza o facto de a central estar efetivamente ligada. A central hidráulica pode, contudo, também ser ligada pelo botão físico no painel da consola de comando.
- *Desligar central* – desliga a central hidráulica. Quando este é premido a luz verde, indicadora de central ligada, é substituída por uma luz vermelha que sinaliza a central desligada. Durante a realização de um exercício, este botão fica inativo. Se o exercício correr normalmente, no final do mesmo é exibido o valor do caudal médio em “lpm” e o botão para desligar torna a central fica disponível, sendo que para sair do painel do exercício é necessário desligar a central. Com isto, evita-se que se desligue a central durante um exercício de medição. O botão físico (Vermelho) que se encontra na consola de comando está configurado como botão de emergência pois o seu uso, por parte do utilizador, não pode ser controlado pelo autómato recebendo apenas um sinal de que foi premido;
- *Ativar controlo de pressão* – ativa o controlo da pressão para o valor de referência selecionado sendo o valor enviado para a válvula proporcional igual à soma do valor correspondente à zona morta mais o valor do controlador;
- *Ajuste de pressão* – Com os dois botões disponíveis no painel, o utilizador pode definir o valor da pressão que deseja ter na linha de pressão. Com estes botões é possível regular uma pressão entre 8 e 40 [bar] através de incrementos de 0,5 [bar]. Inicialmente, quando o painel é disponibilizado, o valor de referência está pré-definido em 10 bar e, quando o controlador é desativado, o valor de referência mantém-se no valor que se encontrava antes de ser desativado;
- *Desativar controlo de pressão* – botão disponível para desativar o controlo de pressão sendo que o valor enviado para a válvula limitadora de pressão proporcional é zero;
- *Iniciar medição* – Botão disponível para iniciar o processo de medição, cabendo ao utilizador ativar, ou não, o controlo de pressão. Se o utilizador decidir a sua ativação e definir a pressão de referência, pode de seguida dar ordem de início de medição sendo que o autómato aguarda automaticamente que a pressão estabilize no valor de referência e então inicia o movimento para determinar o valor médio do caudal que passa pela válvula;

- *Stop de emergência* – Premindo este botão, o exercício é interrompido, todas as etapas ativas são levadas a zero, a central é desligada, e aparecerá um novo painel com a indicação de que ocorreu uma emergência. Carregando no painel de emergência a condição de “não emergência” é rearmada e o utilizador é levado de novo ao menu principal. Os atuadores permanecem na posição em que se encontravam no momento em que o botão de alarme foi premido. Assim se for necessário alterar a posição de algum dos atuadores, basta ligar a central através do botão físico (verde) da consola de comando, atuar as válvulas manualmente e posteriormente desligar a central através do botão físico (vermelho) da consola de comando;

Para se fazer o controlo de pressão através do autómato foi configurado um objeto avançado do *software* de programação. Esta ferramenta consiste num controlador proporcional+integrativo+derivativo (*PID*), na qual se pode configurar um conjunto de variáveis para que este funcione corretamente. Estas variáveis não foram disponibilizadas ao utilizador, de modo a garantir a estabilidade de funcionamento da banca, e por não ser este tema o objeto do exercício. Esta ferramenta é apresentada na fig.3.4.

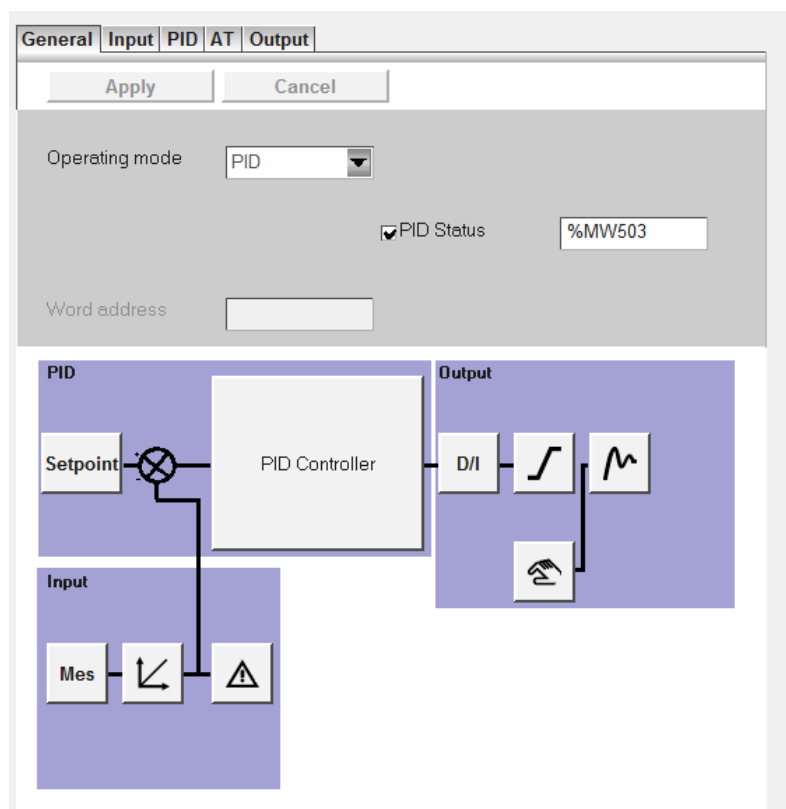


Figura 3.4 – Controlador proporcional+integrativo+derivativo.

As variáveis a configurar no controlador são:

- Estado do controlador - através desta variável é possível ver em que estado se encontra o controlador. Entre outros, destacam-se os seguintes:
  - Controlador “inativo”;
  - Controlador “em progresso”;
  - *Setpoint* “foi atingido” – quer isto dizer que a diferença entre o valor medido e o valor de referência é igual a zero;
- Variável a medir – no caso presente é a “pressão”;
- Conversão Linear – conversão linear de “bit” para “bar”:
  - Valor mínimo – valor de conversão;
  - Valor máximo – valor de conversão;
- *Alarmes*:
  - Valor mínimo ultrapassado – variável de aviso (interna ou externa);
  - Valor máximo ultrapassado - variável de aviso (interna ou externa);
- *Setpoint*; - variável disponibilizada ao utilizador para utilizar como “referência” ao controlador;
- *Parâmetros*:
  - Ganho proporcional;
  - Ganho integral;
  - Ganho derivativo – estabelecido como zero por não ser adequado ao controlador;
- Período de amostragem - esta variável exige que o tempo de ciclo do autómato seja periódico, ou seja, tenha um valor fixo;
- Saída analógica – a esta saída foi atribuída uma variável do tipo *word*, para que depois lhe fosse adicionada o valor correspondente à zona morta da válvula proporcional. O valor efetivo de comando é, então, enviado para a saída analógica que está conectada à eletroválvula proporcional, limitadora de pressão.

Os parâmetros relativos à ação proporcional e ação integral são as variáveis que requerem maior atenção no momento de implementar um controlador deste tipo.

A ação proporcional é utilizada para alterar o tempo de resposta do processo. Quanto maior é o ganho, mais rápida é a resposta, e menor é o erro estático (em proporção direta), no entanto a estabilidade do sistema pode vir diminuída. Assim, é necessário encontrar um ajuste adequado entre tempo de resposta e estabilidade.

A ação integral é utilizada para anular o erro estático (desvio entre o valor medido e o valor de referência). Quanto maior for a ação integral ( $T_i$  menor), mais

rápida é a resposta mas também mais rapidamente se compromete a estabilidade, daí que de modo análogo ao anterior, é necessário encontrar uma boa solução de compromisso entre velocidade e estabilidade.

A sua modelação matemática é delicada devido, nomeadamente, à elasticidade associada a diferentes manguueiras hidráulicas utilizadas, pelo que se optou por chegar a estes valores por via experimental.

A programação do autómato baseia-se no *GRAFSET* apresentado na fig.3.5.

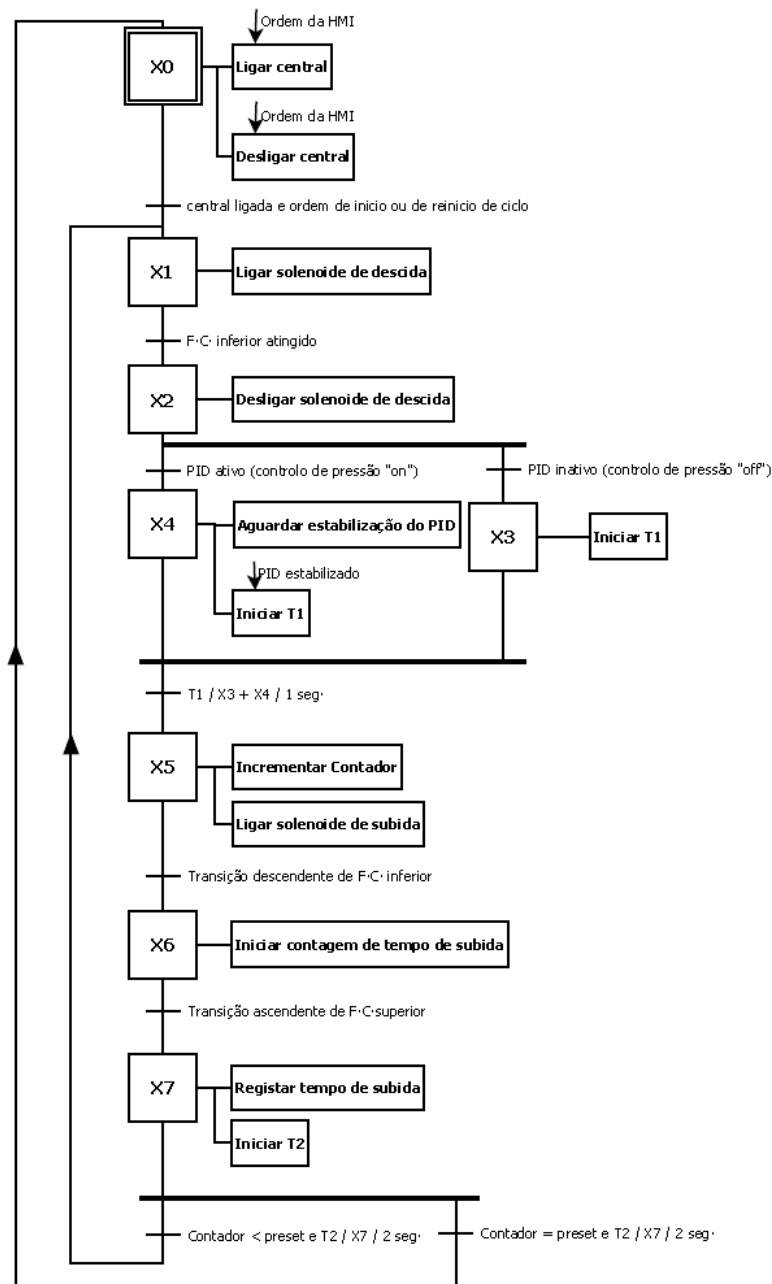


Figura 3.5 - *GRAFSET* referente ao exercício 1 através do uso de cilindro.

### 3.2.1.1. Análise do exercício

Para a realização deste exercício, o utilizador deverá ter em conta que o caudal medido pelo autómato corresponde ao valor médio de caudal que passa pelo estrangulador ao longo dos três movimentos de avanço do cilindro. Assim, antes de iniciar o exercício deve ser decidido o ajuste do estrangulador e, durante a execução do mesmo, não deve ser alterado pois levará a um resultado desvirtuado do caudal médio efetivo em cada movimento.

Este exercício foi implementado para possibilitar a medição de caudais muito pequenos, pelo que caudais superiores podem levar a que o valor calculado não corresponda ao valor real. Isto acontece devido à queda repentina da pressão, quando a válvula direcional é atuada e, portanto, passa a existir um fluxo pela válvula diminuindo instantaneamente o caudal que passa pela válvula proporcional de pressão. Quando é realizado o exercício com o controlo de queda de pressão ativo, o utilizador pode observar na interface a queda de pressão, e o aumento progressivo da mesma até atingir o valor estipulado. Se o estrangulador for ajustado para uma posição que corresponda a um caudal elevado, o utilizador observa que o tempo de resposta do autómato ao distúrbio de queda de pressão não é suficiente, para que o mesmo leve a pressão ao valor desejado antes do autómato iniciar a contagem do tempo de medição do caudal.

Quando o cilindro está a fazer a inversão de movimento para voltar à posição mais recuada, e atinge o fim de curso de recuado, observa-se um aumento repentino da pressão, causado pelo fim do movimento. Assim, antes de reiniciar o movimento de avanço o autómato aguarda que a pressão seja levada ao valor estipulado pelo utilizador e, um segundo depois desta se estabilizar, o autómato dá ordem para reiniciar o movimento de avanço.

Na figura seguinte apresenta-se o resultado da realização do exercício para várias posições da válvula reguladora de caudal e para várias condições de pressão com controlo ativo.

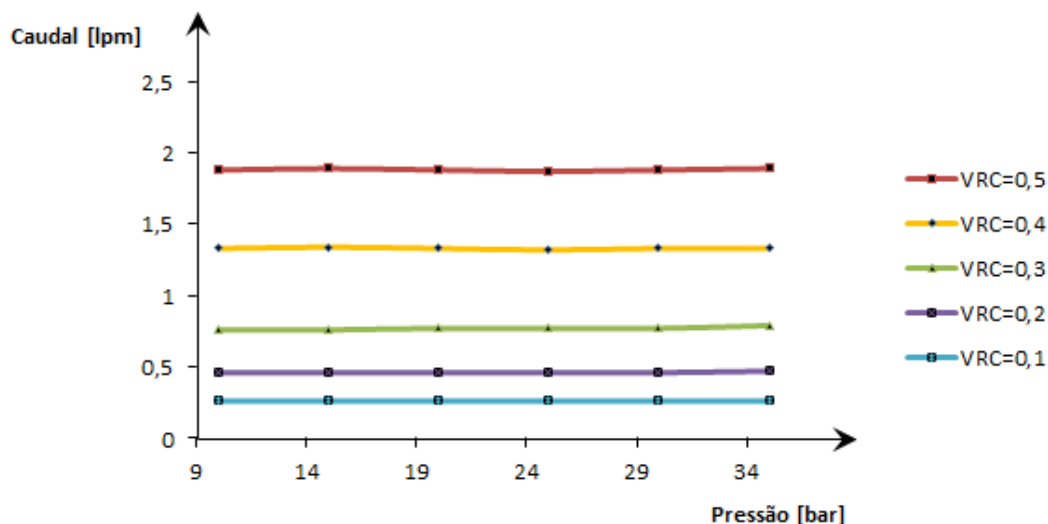


Figura 3.6 – Característica da válvula reguladora de caudal para baixos caudais (primeiro ensaio).

Para minimizar o efeito da variação da temperatura durante o exercício de demonstração da característica da válvula reguladora de caudal, os exercícios foram realizados com cerca de 10 minutos de intervalo entre cada medição.

Como é possível observar através da fig.3.6, o resultado obtido é muito semelhante ao que era esperado antes do exercício ser realizado. É de notar que abaixo de 10 bar não foram realizados ensaios, isto porque se conhece que a válvula abaixo deste valor não assegura a sua função e ainda porque a pressão mínima disponível na banca hidráulica encontra-se entre 8 e 10 bar. Também deve ser referido que o ajuste da válvula reguladora de caudal é realizado manualmente e daí que ensaios consecutivos podem não corresponder a valores iguais de caudal.

Uma vez que, em princípio, um estudante não terá disponibilidade para aguardar cerca de 10 minutos entre dois ensaios a fim de suavizar o efeito da temperatura, foi realizado o mesmo ensaio em modo sequencial, ou seja, sem aguardar um intervalo de tempo referido anteriormente de modo a representar o ensaio que será obtido pelo estudante. O resultado obtido encontra-se ilustrado na fig.3.7.

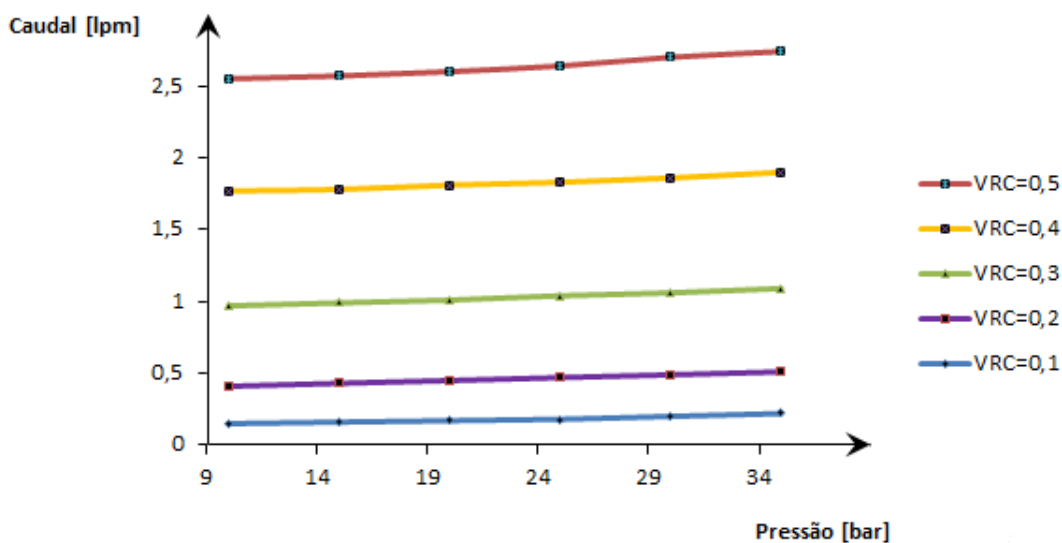


Figura 3.7 - Característica da válvula reguladora de caudal para baixos caudais (segundo ensaio).

Através da fig3.7 é possível apreciar uma ligeira subida do caudal com o aumento da pressão que, numa primeira interpretação, pode levar o estudante a criar uma relação direta entre a pressão e o caudal. No entanto, esta ligeira subida de caudal tem que ver com o aumento progressivo da temperatura do sistema ao longo da realização dos ensaios visto que estes foram realizados desde a posição mais baixa da válvula reguladora de caudal e no sentido ascendente de condição de pressão.

Uma comparação entre as figuras 3.6 e 3.7 revela, igualmente que, em função da temperatura, as curvas para cada posição de ajuste da válvula revelam igualmente um desvio vertical significativo.

Para caudais superiores aos apresentados (superiores a 2 lpm) o controlador não tem tempo suficiente para atingir a referência pedida sem comprometer a estabilidade do sistema.

### **3.2.2.Determinação de caraterística de válvula fluxométrica, para caudais mais elevados**

Quando a caraterística de uma válvula envolver caudais mais elevados, a utilização de um cilindro hidráulico como elemento de medição revela menor rigor, pois os tempos medidos passam a ser muito curtos.



Assim, nestes casos, o caudal médio que passa pela válvula reguladora de caudal é medido usando o motor hidráulico que se encontra instalado na banca. O método de realização desta medição consiste na medição da velocidade de rotação do motor, através da contagem, por unidade de tempo, do número de dentes da roda dentada acoplada ao veio do motor, utilizando o detetor que se encontra junto da mesma. Este valor é registado pelo autómato e, posteriormente, usa estes dados para calcular o caudal médio que passou pela válvula reguladora de caudal. Para o cálculo referido são usadas as seguintes equações.

$$C_p \left[ \text{cm}^3 / \text{dente} \right] = \frac{C_m \left[ \text{cm}^3 / \text{rot} \right]}{\text{número de dentes} \left[ \text{dentes} / \text{rot} \right]}$$

Em que:

- $C_p$  – é a cilindrada parcial, que diz respeito ao volume de óleo correspondente à passagem de um dente pelo sensor;
- $C_m$  – é a cilindrada do motor, que corresponde ao volume de óleo que passa pelo motor, por cada volta completa do veio.

$$Q[\text{lpm}] = C_p \left[ \text{cm}^3 / \text{dente} \right] \times \frac{n^\circ \text{ de dentes} [\text{dentes}]}{\text{tempo} [\text{milissegundos}]} \times 60$$

Em que:

- $Q$  – é o caudal médio que passa pela válvula, em “litros por minuto”.

Neste exercício, à semelhança do anterior, a medição do caudal médio pode ser efetuada com ou sem controlo de queda de pressão. O controlador usado é o mesmo que foi referido e caracterizado no exercício anterior.

O *SETUP* da banca hidráulica para executar este exercício é apresentado na fig.3.8.

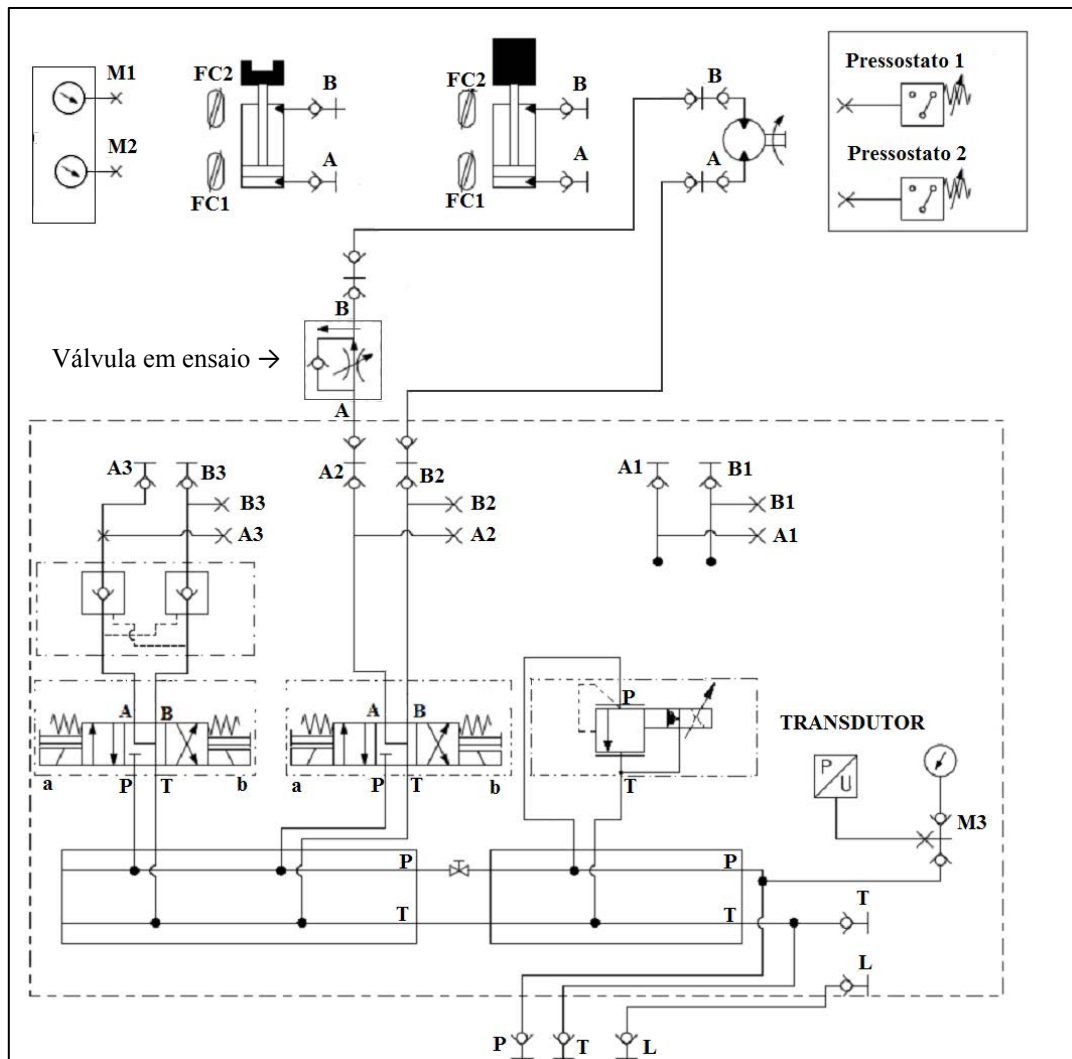


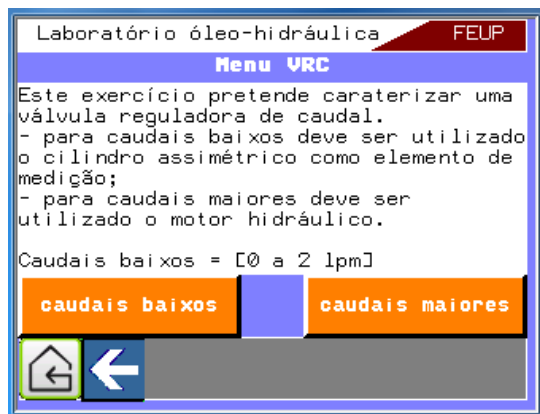
Figura 3.8 – Circuito hidráulico para medição de caudal através de motor trocoidal.

Os componentes principais a serem usados e suas particularidades são os que se descrevem de seguida:

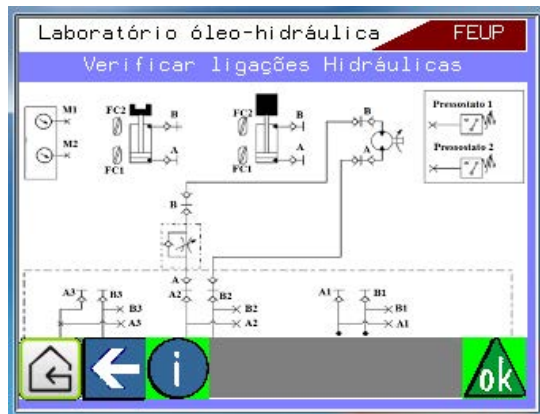
- Central hidráulica com bomba de cilindrada fixa, a escolher pelo utilizador, entre as disponíveis;
- Motor hidráulico trocoidal do tipo:
  - Gerolor:
    - Cilindrada - 8,2 [cm<sup>3</sup>/rot]
    - Roda dentada com 12 dentes;
- Eletroválvula de centro em “Y”, com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – movimento de rotação no sentido horário no veio do motor (conexão à saída digital EV3);
- Válvula reguladora de caudal compensada com retenção integrada:
  - Orifício A ligado à saída A<sub>2</sub> da eletroválvula e orifício B ligado à entrada B do motor hidráulico;

- Regulação na posição 0 da escala graduada – totalmente fechada;
- Regulação na posição 5 da escala graduada – totalmente aberta;
- Transdutor de pressão (conexão à entrada analógica EA1);
- Válvula limitadora de pressão de comando proporcional (conexão elétrica à saída analógica VP).

O procedimento para a realização do exercício para caudais maiores é semelhante ao que se apresenta de seguida.



**Menu VRC** – para realizar este exercício o utilizador deve premir o botão correspondente a “caudais maiores” sendo o utilizador levado para o painel seguinte que corresponde à configuração hidráulica da consola que deve ser verificada para realizar o exercício.



**Verificar ligações hidráulicas** - Os botões disponíveis neste painel são semelhantes aos disponíveis para a primeira fase do exercício, nomeadamente:

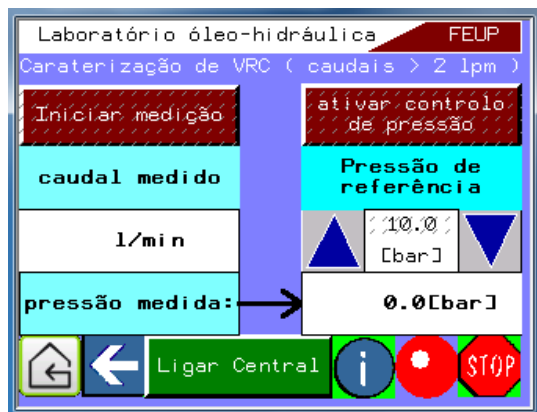
- Voltar ao painel anterior;
- Voltar ao painel inicial;
- Informação ( i ) e;
- Ok.

A diferença está no esquema hidráulico representado sendo, neste caso, o elemento de medição um motor hidráulico.



**Verificar ligações elétricas** – Neste painel o utilizador deve certificar-se de que as conexões de comando digital das válvulas direcionais estão corretamente configuradas. Se o utilizador já tiver realizado a primeira fase do exercício não precisa efetuar qualquer alteração a nível de conexões elétricas.

Os botões disponíveis são semelhantes aos apresentados na primeira fase do exercício.



**Painel de execução do exercício** – este é o painel disponibilizado após validação da configuração elétrica. O utilizador tem acesso aos botões:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Ligar central;
- Informação;
- Stop – emergência;
- Ativar controlo de pressão;
- Inicia medição;
- Desativar controlo de pressão (quando este se encontra ativo).
- Desligar central – depois de ligar a central.

Em maior detalhe são descritas algumas das funcionalidades dos botões, nomeadamente:

- *Stop de emergência* – em caso de emergência existe um botão pressor *STOP* que, quando premido, desativa todas as etapas ativas e desliga a central se esta estiver ligada e, faz aparecer uma janela a informar de uma emergência. Por sua vez, esta avisa que vai voltar ao menu principal. Depois de pressionar a janela, esta desaparece e apresenta-se o menu principal;
- *Iniciar medição* – Encontrando-se no painel de realização do exercício, o utilizador pode dar ordem de início à medição do caudal. A contagem do tempo só se dá depois do número de dentes contados ser superior a 20, para evitar a fase de aceleração do motor. A partir deste ponto é feita a leitura do tempo decorrido até que o número de dentes contados seja superior a 320. Este valor foi estipulado tendo sido considerado 300 dentes (25 rotações do veio, isto é 205cm<sup>3</sup> de fluido) um valor razoável para efetuar a medição em causa. Nesta altura, o autómato regista o número de dentes e o tempo decorrido, enviando de seguida os valores correspondentes para a interface. Esta, por sua vez, faz o cálculo necessário para disponibilizar ao utilizador o valor do caudal médio correspondente;
- *Ativar controlo de pressão/ desativar controlo de pressão* – À semelhança do que foi referido no ensaio anterior, também no painel referente à medição do caudal através do motor hidráulico, estão disponíveis dois botões pressores, que servem para ativar o controlador de queda de pressão. No caso em que seja da vontade do utilizador ter o controlo de queda de pressão ativo, existem dois botões disponíveis para este definir o valor manométrico da pressão em P. Este valor pode ser ajustado numa gama entre 8 e 40 bar, com uma resolução de 0,5 bar.

A programação do autómato baseia-se no *GRAFSET* que se apresenta na fig.3.9.

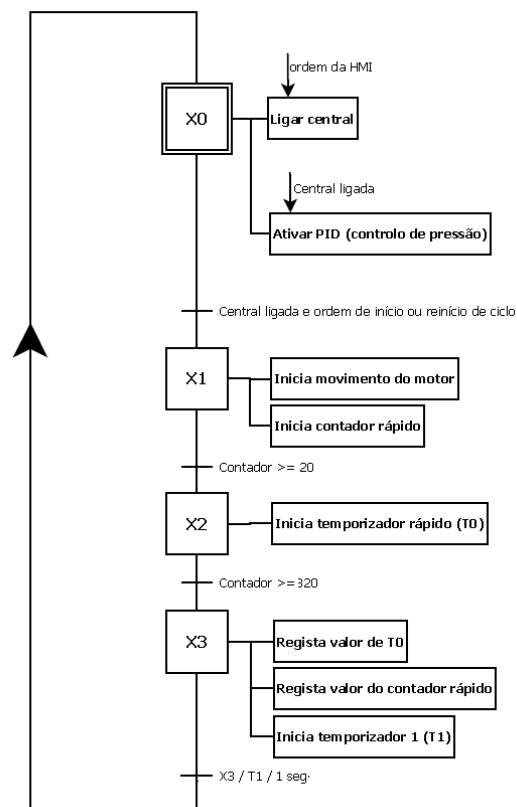


Figura 3.9 – *GRAFSET* referente ao exercício 1 através do uso de um motor hidráulico.

### 3.2.2.1. Análise do exercício

A implementação desta segunda fase do exercício vem dar uma solução para a impossibilidade do uso do cilindro assimétrico na medição de caudais mais elevados. No entanto, este não substitui o anterior pelo facto de, em medições de caudais mais pequenos, os resultados obtidos por este método poderem ter erros associados devido a fugas internas do motor.

Quando se pretende realizar o exercício com o controlo de queda de pressão ativo é aconselhado que o ajuste do estrangulador para a posição desejada, seja realizado de um modo suave para não por em causa a estabilidade do sistema. Neste caso não surgem problemas de queda repentina de pressão, pelo facto de não haver inversões de movimento, tal como acontece no exercício anterior. Deste modo, observa-se uma maior estabilidade do sistema durante a realização do exercício.

O ensaio da característica da válvula reguladora de caudal que pretende apreciar a relação entre a posição de ajuste da válvula reguladora e o caudal que a atravessa foi realizado a uma pressão de 15 bar e com controlo de pressão ativo. Os resultados obtidos foram os que se apresentam na figura seguinte.

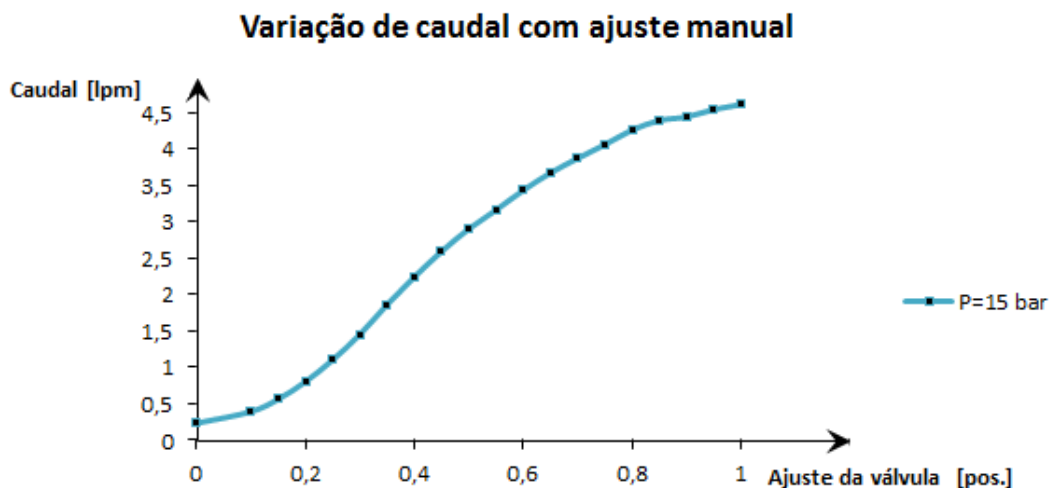


Figura 3.10 – Característica de válvula reguladora de caudal (Variação de caudal com ajuste manual).

### 3.2.3. Efeito da temperatura na medição de caudal

Ao realizar o exercício de medição de caudal com o controlo de pressão ativo, é de realçar que o controlador vai, permanentemente, variar a válvula proporcional limitadora de pressão, de modo a manter a pressão em P constante. Assim, medições consecutivas nas mesmas condições de pressão e posição da válvula reguladora de caudal, podem não corresponder a valores de caudal idênticos.

A fig.3.11 mostra os valores de medição de caudal obtidos com a válvula reguladora de caudal na posição 0,8 e com o controlador de pressão ativo para uma pressão de 15 bar.

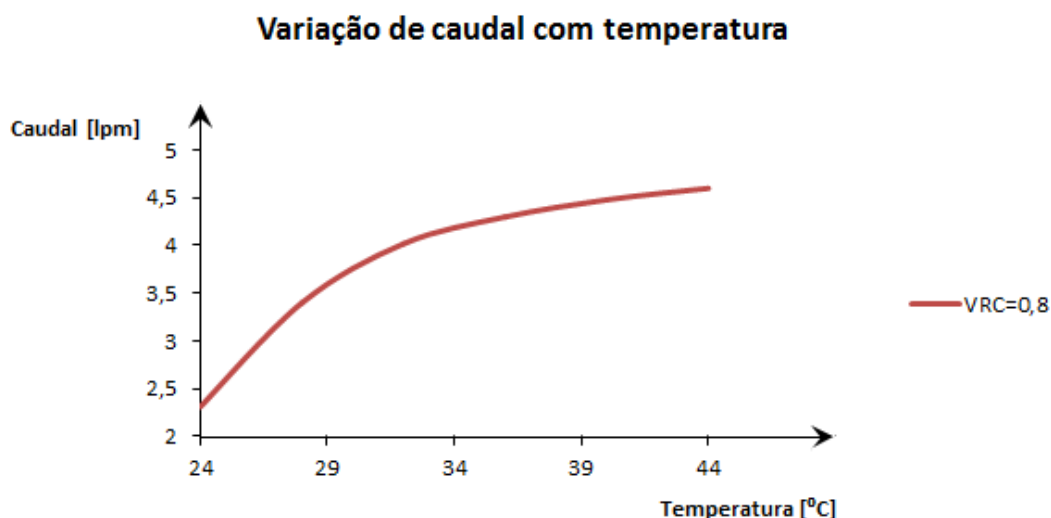


Figura 3.11 – Efeito da temperatura na medição do caudal

Foram efetuadas uma série de medições consecutivas, para realizar este ensaio. No início da medição, a temperatura do fluido no reservatório era de aproximadamente 24°C. Como se pode observar ao longo do exercício, o caudal medido vai aumentando tendendo para uma estabilização. A temperatura no reservatório aumenta desde 24°C e ascende a 40°C, não ultrapassando 44°C. A temperatura na válvula direcional, na válvula reguladora de caudal e na válvula proporcional limitadora de pressão não foi medida. No entanto, através do tato, pareceu estar bem acima de 44°C.

Assim, quando se queira realizar um ensaio mais rigoroso, é aconselhável, com base nos resultados obtidos, deixar a central ligada durante algum tempo até que atinja uma temperatura de estabilização térmica, de modo a que o efeito da temperatura não influencie significativamente o resultado esperado do ensaio.

### 3.3. Exercício de demonstração 2 – Ajuste de pressostatos

Com o objetivo de aumentar a flexibilidade da banca em termos de exercícios didáticos, foram instalados em cada banca dois pressostatos, que podem ser ligados a diferentes mini tomadas rápidas de pressão.

Na fig.3.12 apresenta-se um pressostato e na fig.3.13 é ilustrado o esquema elétrico correspondente. No que diz respeito ao esquema elétrico, o contacto 1-3

corresponde a um contacto “normalmente aberto” (NA) e o contacto 1-2 ilustra um contacto “normalmente fechado” (NF).



Figura 3.12 – Pressostato.

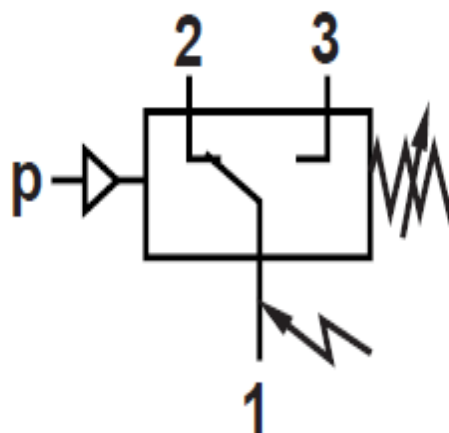


Figura 3.13 - Esquema elétrico simplificado do pressostato

Pressostatos, podem também ser denominados interruptores hidráulicos de pistão que são acionados por pressão hidráulica de modo a ativar um interruptor elétrico quando uma pressão hidráulica, pré-ajustada, é atingida. Em cada pressostato existe um parafuso, que serve para ajustar o seu *setpoint*. Este ajuste pode ser realizado através de uma chave sextavada (tipo *Unbrako*). A pressão a ser monitorada age sobre o pistão que, por sua vez, atua sobre a mola através da sua base. Em oposição ao movimento do pistão encontra-se a força da mola, ajustável pelo utilizador. Quando a força exercida no pistão, devido à pressão hidráulica, ultrapassa a força da mola pré-ajustada, o interruptor elétrico ativa-se e envia um sinal elétrico, neste caso, para o autómato.

A implementação deste exercício vem disponibilizar uma forma simples de ajuste dos pressostatos sem que seja necessário, por parte do utilizador, fazer variar a pressão do circuito, já que este se faz automaticamente através do autómato.

Para tal, é utilizada a válvula proporcional limitadora de pressão que se encontra instalada na banca didática, sendo que esta é controlada através do *PLC*. A conexão entre os dois elementos é realizada através de uma das saídas analógicas existentes num dos módulos do autómato, já referido<sup>5</sup> anteriormente. Pretende-se que o

<sup>5</sup> Capítulo 2 – Estudo da banca didática 2.2.3.1.2. – Módulos.



utilizador interaja com a banca, definindo a pressão de ajuste de cada pressostato e, de forma iterativa, faça o ajuste e posterior verificação.

O circuito hidráulico correspondente encontra-se ilustrado na fig.3.14.

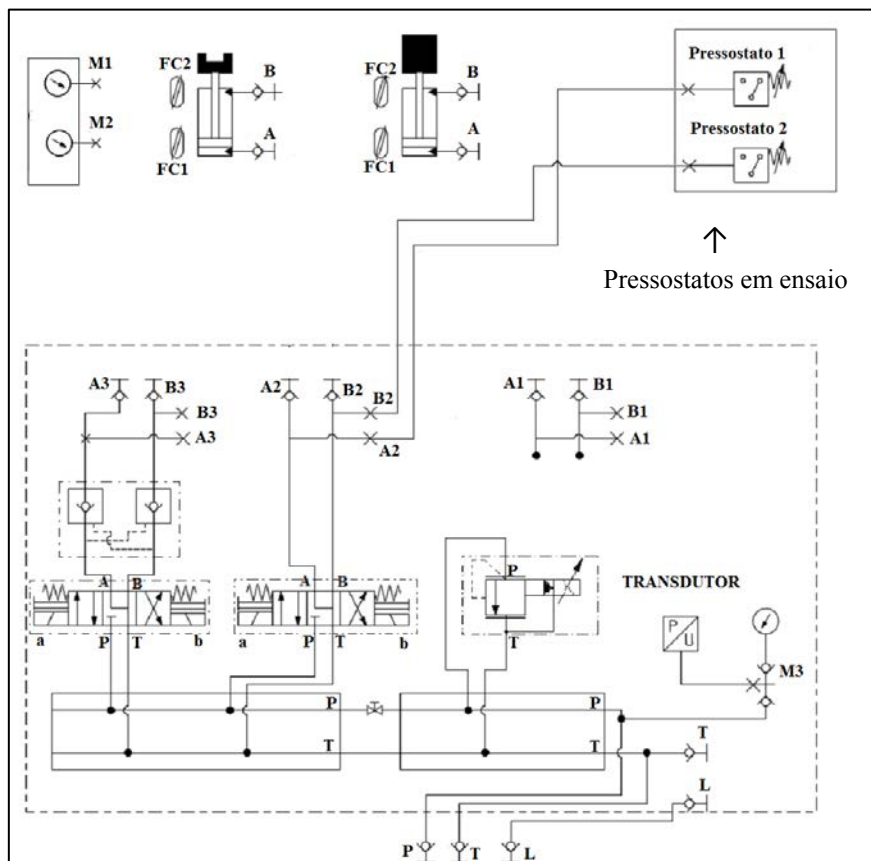


Figura 3.14 – Circuito hidráulico para ajuste de pressostatos.

Os elementos principais a serem usados e suas particularidades são os que se descrevem de seguida:

- Central hidráulica com bomba de cilindrada fixa a escolher pelo utilizador, entre as disponíveis;
- Válvula de controlo de fluxo do tipo modular:
  - Ambos os sentidos totalmente abertos;
- Eletroválvula de centro em “Y”, com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – conexão à saída digital EV3;
  - Solenóide B - conexão à saída digital EV4;
- Transdutor de pressão – conexão à entrada analógica EA1
- Válvula limitadora de pressão de comando proporcional (conexão elétrica à saída analógica VP);
- Pressostatos:
  - Pressostato 1 – ligado hidráulicamente a A2, eletricamente ligado a ED.5-6;

- Pressostato 2 – ligado hidraulicamente a B2, eletricamente ligado a ED.5-6.

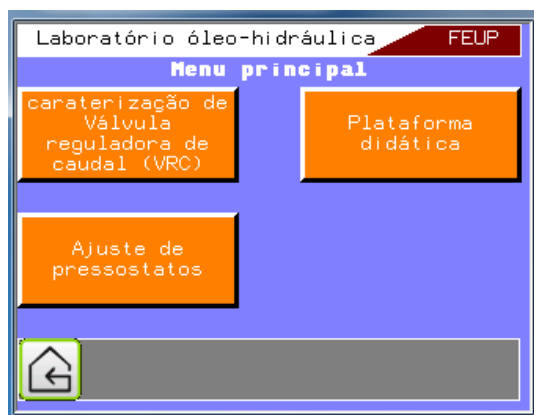
Como neste caso apenas se pretende ajustar os pressostatos, para que alterem o seu estado a uma determinada pressão, não há necessidade de efetuar ligações hidráulicas a qualquer dos atuadores existentes.

Para efetuar o ajuste dos pressostatos, também denominados interruptores de pressão, o utilizador deve rodar o parafuso com cabeça sextavada fêmea que se encontra no mesmo, com a ajuda de uma chave sextavada para garantir o manuseio correto deste instrumento.

Antes de efetuar o ajuste deve ser feita uma primeira verificação para saber a que pressão o contato comuta. Depois de efetuada a primeira verificação, o utilizador já possui uma referência e a partir daí decide se quer, ou não, alterar o seu valor correspondente de pressão, rodando o parafuso no sentido horário ou anti-horário, consoante queira aumentar ou diminuir, respetivamente, a pressão de mudança de estado do contacto do interruptor de pressão. Assim podem ser feitos ajustes e verificações consecutivas até se encontrar o ponto de atuação desejado.

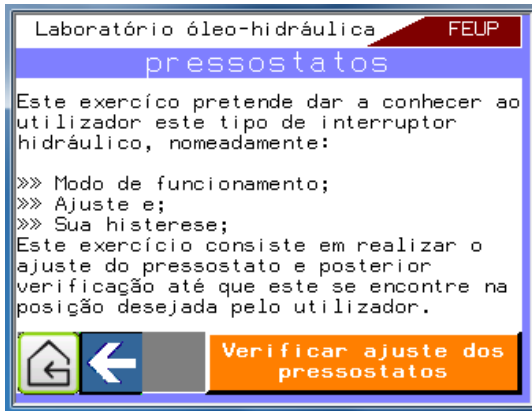
Em termos de funcionamento do exercício é realizado um primeiro varrimento de pressão em modo rápido para encontrar os pontos aproximados de ativação e desativação do pressostato e, posteriormente, é realizado um varrimento mais lento para registar os valores de pressão no momento de atuação evitando que se registem valores desviados dos reais, devido ao tempo de resposta do autómato.

O procedimento para a realização do exercício para ajuste dos pressostatos é semelhante ao que se apresenta de seguida.



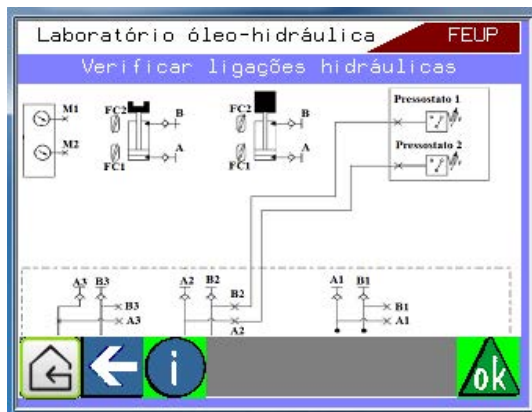
**Menu principal** - neste painel o utilizador deve premir o botão referente a “Ajuste de pressostatos” para seguir o procedimento de realização do exercício.

O utilizador pode voltar ao painel inicial premindo o botão “casa”.



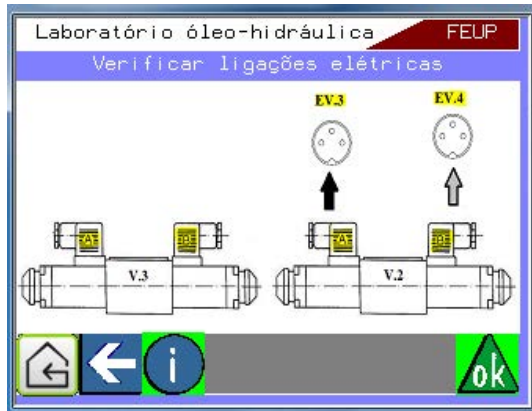
**Pressostatos** – neste painel é apresentado o objetivo do exercício e são disponibilizados os seguintes botões:

- Voltar ao painel inicial – botão “casa”;
- Voltar ao painel anterior;
- “Verificar ajuste dos pressostatos” – para passar ao painel seguinte.



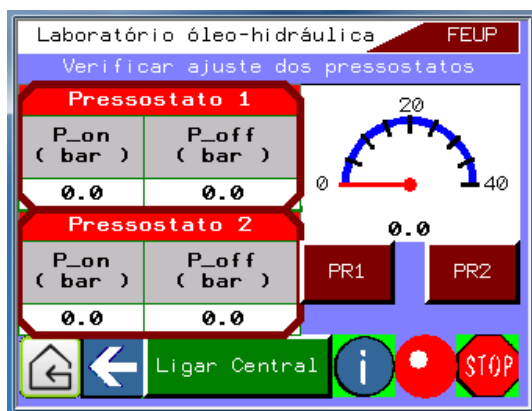
**Verificar ligações hidráulicas** - Painel correspondente à configuração hidráulica do exercício em questão. O utilizador tem acesso aos seguintes botões:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Informação;
- OK – para validar a configuração hidráulica e passar ao painel seguinte.



**Verificar ligações elétricas** - painel referente à configuração elétrica que deve ser cumprida para executar o exercício. Em modo análogo ao painel anterior, os botões disponíveis são:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Informação;
- OK – para validar configuração elétrica e passar ao painel de execução do exercício.



**Verificar ajuste dos pressostatos** - painel de execução do exercício que contém os seguintes botões:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Ligar central;
- Informação;
- PR1 – para verificar ajuste do pressostato 1;
- PR2 – para verificar ajuste do pressostato 2;
- Desligar central – disp. quando central é lig.;
- Stop – emergência.

No painel fica disponibilizado o valor de pressão a que cada pressostato se liga e desliga.

Para efetuar este exercício, o utilizador dispõe dos seguintes comandos:

- *Ajuste de pressostatos* – botão pressor existente no menu principal da interface que, quando premido leva o utilizador ao painel de verificação das ligações hidráulicas referentes ao exercício a realizar. Depois de confirmadas as ligações hidráulicas é solicitada a verificação das conexões elétricas. Após confirmação destas, apresenta-se o painel de realização do exercício;
- *Voltar ao painel inicial* – Está disponível no painel de execução, no canto inferior esquerdo, um botão para voltar diretamente ao painel inicial quando se queira sair do exercício;
- *Voltar ao painel anterior* – à direita do botão anterior encontra-se um outro botão disponível para voltar ao painel anterior;
- *Ligar central* – que serve, como o próprio nome indica, para ligar a central hidráulica;
- *Informação* – Premindo este botão, são disponibilizadas as linhas orientadoras para a realização do exercício.
- *Desligar central* – Serve para desligar a central hidráulica, depois de terminado o exercício;
- *PR1* - Botão pressor para selecionar a válvula direcional para que o pressostato 1 fique sujeito a pressão hidráulica;
- *PR2* – Botão pressor para selecionar a válvula direcional para que o pressostato 2 fique sujeito a pressão hidráulica. Tanto este botão como o anterior só se encontram disponíveis quando a central se encontrar ligada, ou seja, quando a central não estiver em funcionamento, o premir estes botões não surtirá qualquer efeito prático;
- *Stop de emergência* - Este botão encontra-se sempre disponível e deve ser premido quando ocorrer qualquer anomalia. Ao premir o mesmo, todas as etapas ativas são desativadas, é enviada uma ordem de paragem da central e surge uma janela que informa ter sido enviado um sinal de emergência. Depois de selecionar esta janela, a mesma desaparece e volta ao menu principal.

Além dos botões de comando disponíveis para realizar o exercício, encontram-se também, no mesmo painel, alguns campos numéricos que se descrevem de seguida:

- Pressostato 1:
  - $P_{on}$  [bar] - Pressão a que o estado do pressostato 1 é ativado;
  - $P_{off}$  [bar] - Pressão a que o estado do pressostato é desativado. Através destes dois valores o utilizador poderá verificar a histerese de ativação deste pressostato, que não é mais que a diferença entre o primeiro valor e o segundo;
- Pressostato 2:

- $P_{on}$  [bar] - Pressão a que o pressostato 2 é ativado;
- $P_{off}$  [bar] - Pressão a que o pressostato 2 é desativado. De modo análogo ao anterior, também se pode verificar a histerese deste instrumento.

Além dos campos numéricos referidos anteriormente, a cor de fundo da caixa de texto referente ao nome e número dos pressostatos possui animação, passando da cor vermelha, quando se encontra no estado zero, para a cor verde, quando ocorre a transição do estado inativo para o estado ativo.

### 3.3.1. Análise do exercício

Para caracterizar estes instrumentos foram realizados dois tipos de ensaio de modo a evidenciar a sua repetibilidade para um determinado ajuste e, verificar a variação da histerese para ajustes do instrumento em diferentes gamas de pressão.

O primeiro ensaio foi realizado para uma pressão intermédia disponível na banca, ou seja, em torno de 30 bar. Foram realizados três ensaios consecutivos aos dois pressostatos sendo que as duas figuras seguintes ilustram os resultados obtidos.

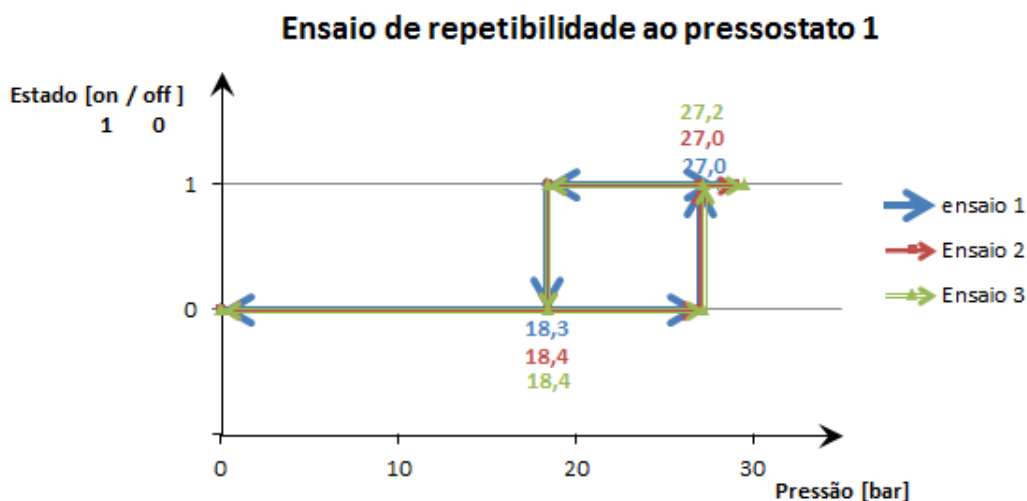


Figura 3.15 - Análise de repetibilidade do pressostato 1 para determinado ajuste.

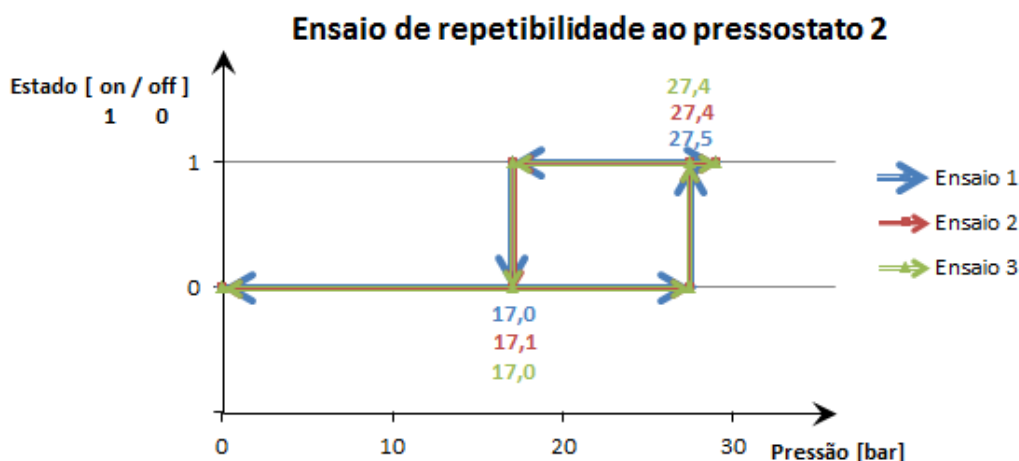


Figura 3.16 – Análise de repetibilidade do pressostato 2 para determinado ajuste.

Através da análise de resultados, ilustrados nas figuras anteriores, verifica-se que os instrumentos apresentam resultados consistentes nas medições sucessivas de pressão hidráulica para um dado ajuste do pressostato, evidenciando assim uma característica de repetibilidade bastante aceitável.

Para a verificação da segunda característica enunciada são realizados dois ensaios para diferentes posições de ajuste do pressostato. Dentro da gama de pressão disponível na banca, são definidos dois intervalos de pressão para realizar os ensaios. Um primeiro ensaio é realizado a uma pressão mais baixa, em torno de 20 bar e, um segundo ensaio é realizado a uma pressão mais elevada, em torno de 40 bar. Os resultados obtidos encontram-se ilustrados nas figuras seguintes.

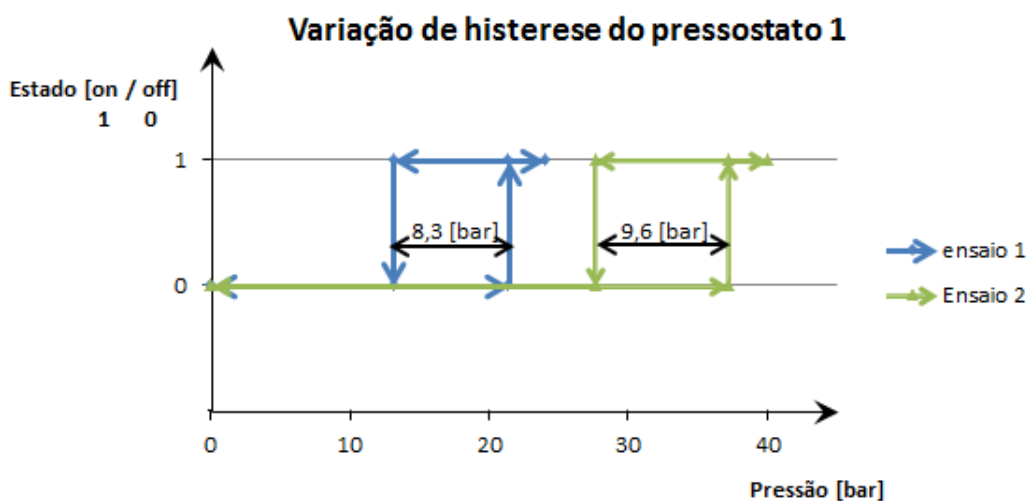


Figura 3.17 - Variação de histerese para diferentes ajustes do pressostato 1.

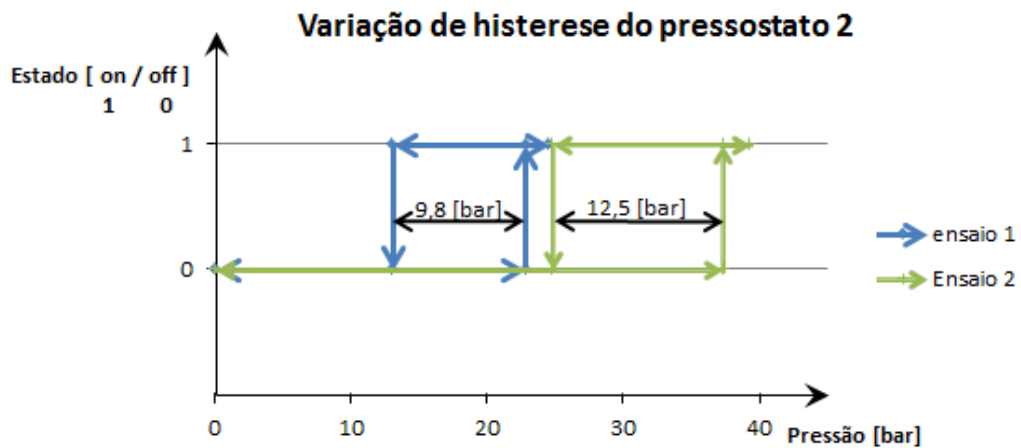


Figura 3.18 - Variação de histerese para diferentes ajustes do pressostato 2.

Como se pode observar, através das figuras anteriores, verifica-se que com a alteração da posição de ajuste dos pressostatos para gamas de pressão superiores a sua histerese também aumenta. A título de curiosidade, também se constata que os dois pressostatos possuem variações de histerese distintas quando ajustados para uma gama de pressão idêntica. Isto evidencia que pressostatos com a mesma gama de pressão de funcionamento podem não ter características semelhantes de variação de histerese, neste caso provavelmente por não serem do mesmo fabricante os seus componentes, nomeadamente a mola, podem ter características distintas influenciando o seu funcionamento.

### 3.4. Exercício de demonstração 3 - *Implementação de uma plataforma para realização de movimentos sequenciais*

Neste exercício é implementada uma plataforma para realizar uma sequência programada de movimentos de avanço e recuo dos atuadores lineares, de rotação no sentido horário e anti-horário do motor hidráulico e efetuar temporizações.

Para tal, são utilizados todos os atuadores que se encontram instalados na banca didática. Em cada exercício o utilizador pode optar por fazer combinação de movimentos entre os dois cilindros, ou entre o cilindro 1 e o motor hidráulico. A programação dos movimentos é realizada pelo utilizador, através da interface.

O circuito hidráulico a usar para efetuar este exercício encontra-se ilustrado na fig.3.19.

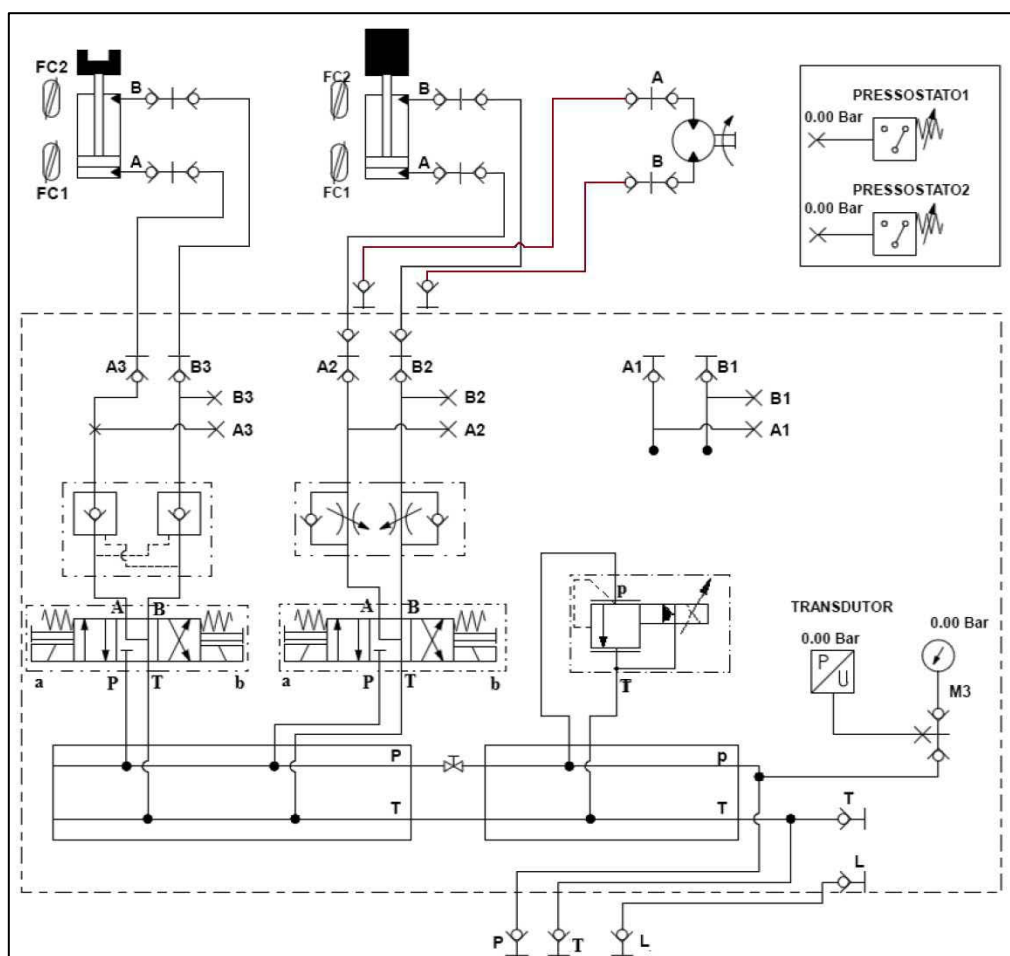


Figura 3.19 – Circuito hidráulico correspondente à plataforma de sequência de movimentos.



Os elementos principais a serem usados, e suas particularidades, são os que se descrevem de seguida:

- Central hidráulica com bomba de cilindrada fixa a escolher pelo utilizador, entre as disponíveis;
- Válvula de controlo de fluxo do tipo modular:
  - Ambos os sentidos totalmente abertos;
- Válvula de retenção pilotada do tipo modular:
  - Pressão na linha A faz com que se alivie a válvula de retenção na linha B;
  - Pressão na linha B faz com que se alivie a válvula de retenção na linha A;
- Eletroválvula de centro em “Y”, com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – movimento de avanço (conexão à saída digital EV.1);
  - Solenóide B – movimento de recuo (conexão à saída digital EV.2);
  - Saídas hidráulicas - A<sub>3</sub> e B<sub>3</sub>;
- Eletroválvula de centro em “Y”, com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – (conexão à saída digital EV.3);
  - Solenóide B – (conexão à saída digital EV.4);
  - Saídas hidráulicas – A<sub>2</sub> e B<sub>2</sub>;
- Válvula proporcional limitadora de pressão:
  - Conexão elétrica ligada à saída analógica VP;
- Transdutor de pressão;
- Cilindro assimétrico de duplo efeito:
  - Curso do cilindro – 100 [mm];
- Cilindro assimétrico de duplo efeito - a ser usado na combinação de movimentos entre cilindros:
  - Curso do cilindro – 50 [mm];
- Motor hidráulico trocoidal – a ser usado na combinação de movimentos entre o cilindro de maior curso e o atuador rotativo.

A programação desta plataforma baseou-se no *GRAF CET* que se apresenta na fig.3.20.

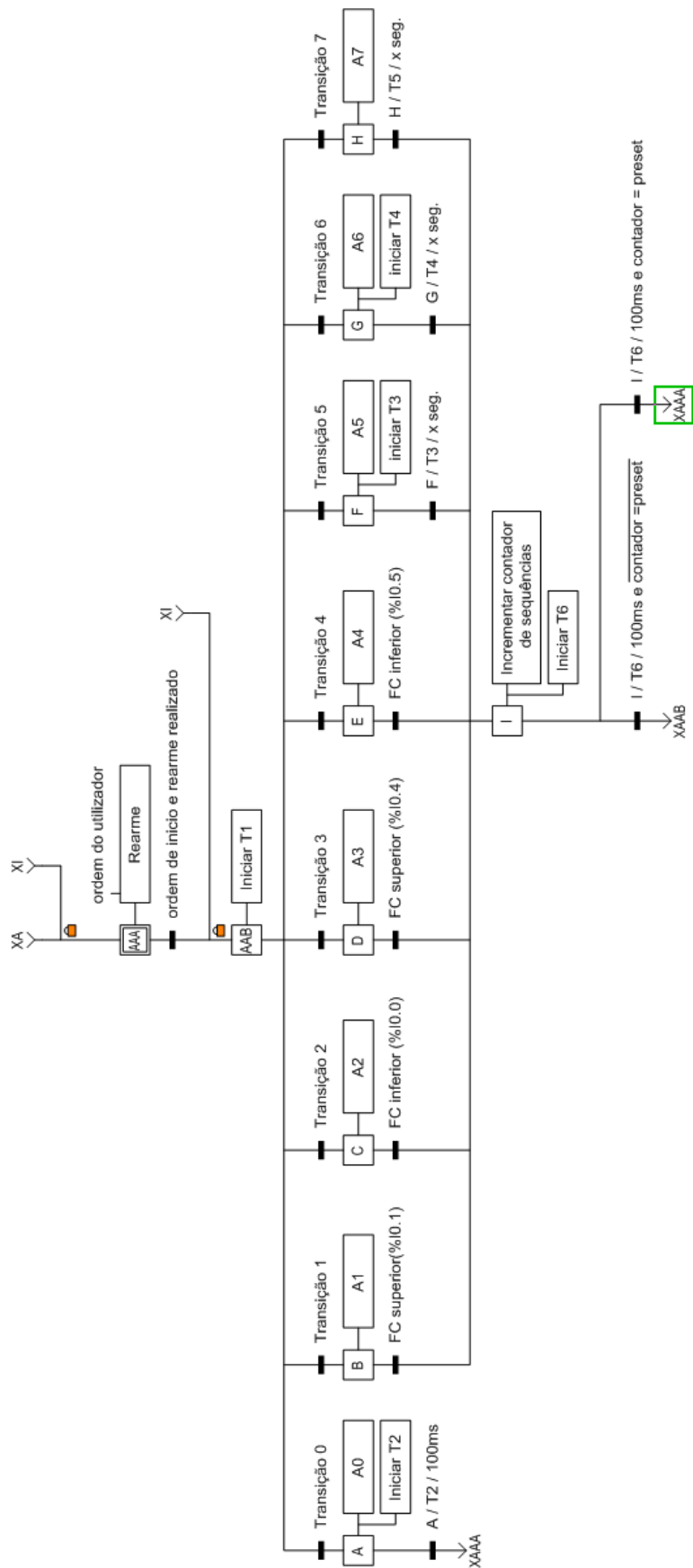


Figura 3.20 - GRAFCET referente à implementação da plataforma.

Na tabela seguinte descrevem-se as etapas e transições, que se encontram ilustradas na fig.3.20. Estes valores referentes às transições são definidos quando o utilizador está a escolher a sequência que quer realizar. Em cada movimento definido é guardado o número correspondente à transição que leva o programa à etapa desejada, e um outro número que corresponde ao momento em que essa transição deve ocorrer.

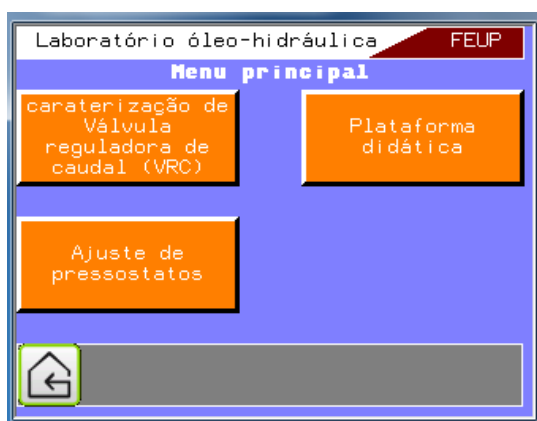
Tabela 3.1 – Descrição das transições e ações da plataforma

	Nome	Descrição
Transições	Transição 0	código referente a terminar sequência de movimentos, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 1	código referente a Subir o cilindro assimétrico 1, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 2	código referente a descer o cilindro assimétrico1, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 3	código referente a Subir o cilindro assimétrico 2, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 4	código referente a descer o cilindro assimétrico 2, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 5	código referente a rodar motor hidráulico no sentido direto, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 6	código referente a rodar motor hidráulico no sentido inverso, após decorrer 100ms no temporizador T1
	Transição 7	código referente a temporização sem qualquer ação, após decorrer 100ms no temporizador T1
Ações	Rearme	posicionar os cilindros de acordo com os primeiros movimentos programados pelo utilizador.
	A0	não produz qualquer ação mas dá tempo a enviar mensagem de que vai terminar a sequência
	A1	faz Avançar cilindro 1
	A2	faz recuar cilindro 1
	A3	faz avançar cilindro 2
	A4	faz recuar cilindro 2
	A5	faz rodar motor hidráulico no sentido direto
	A6	faz rodar motor hidráulico no sentido inverso
A7	ativa temporizador com tempo predefinido pelo utilizador	

Para dar a liberdade ao utilizador de iniciar o movimento dos atuadores lineares em qualquer um dos detetores de fim de curso, foi necessário programar o posicionamento, ou reposicionamento dos cilindros, no caso de se querer repetir a mesma sequência. Antes de iniciar uma sequência escolhida pelo utilizador, o autómato verifica se os cilindros se encontram na posição adequada e, no caso de tal não se verificar, estes são levados até à posição correta. O *GRAFSET* correspondente a esta verificação encontra-se ilustrado no ANEXO D – Grafset's de Programação .

### 3.4.1. Combinação de movimentos de dois cilindros assimétricos

Para a programação da sequência de movimentos o utilizador tem à sua disposição uma série de comandos que vão surgindo conforme vai avançando no exercício. De seguida descrevem-se os comandos disponíveis para a realização de uma sequência de movimentos dos dois cilindros assimétricos:

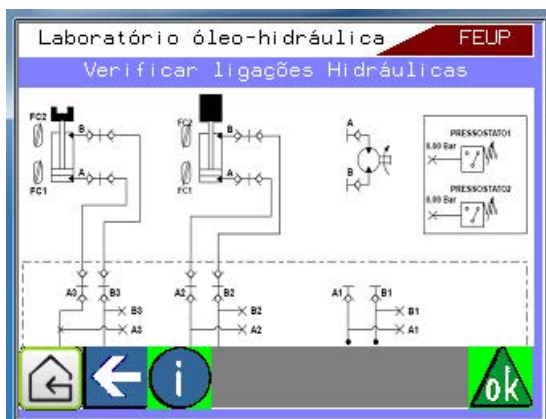


**Menu principal** – menu disponibilizado ao utilizador para escolher um dos três exercícios. Para realizar o exercício enunciado o utilizador deve premir o botão “Plataforma didática”. Para sair do menu principal e voltar ao painel inicial deve ser premido o botão “casa”.



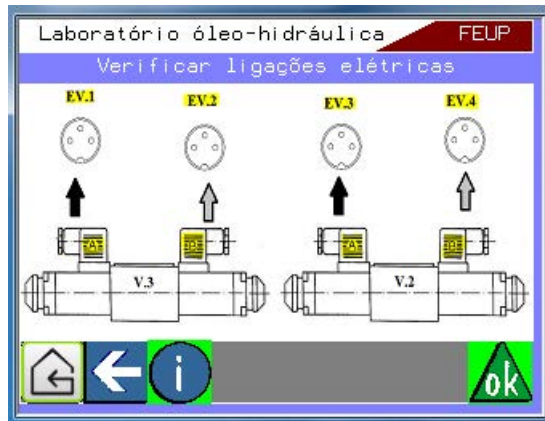
**Escolha dos atuadores** - painel disponível para escolher os atuadores a usar. O utilizador tem à sua disposição os seguintes botões:

- “CILINDRO 100M VS CILINDRO 50M” – botão que deve ser premido para realizar o exercício enunciado;
- “CILINDRO 100M VS MOTOR HID.” – botão para escolher a combinação de movimentos entre o cilindro de maior curso (cilindro 100M) e o motor hidráulico;
- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior.



**Verificar ligações hidráulicas** - painel de verificação de ligações hidráulicas que deve ser validado para passar ao painel seguinte. Os botões disponíveis são os seguintes:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Informação – contém informação mais detalhada acerca das ligações hidráulicas;
- Ok – botão de validação da configuração hidráulica. Depois de premir este botão aparece um *popup* para o utilizador confirmar a decisão tomada.



**Verificar ligações hidráulicas** - painel de verificação da configuração elétrica que deve ser verificada pelo utilizador e posteriormente validada para passar ao painel seguinte. Os botões disponibilizados são semelhantes aos do painel anterior, nomeadamente:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Informação;
- OK – Botão de validação. Depois de confirmar a configuração elétrica fica disponível o painel de programação da sequência.



**Programação da sequência** – painel disponível para fazer a programação dos movimentos. Os botões disponibilizados são os seguintes:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar à etapa anterior – depois de chegar à etapa inicial, o botão serve para voltar ao painel anterior;
- Etapa 0 a 19 – Em cada etapa do programa, o utilizador define um movimento sendo que, por cada etapa que define, a etapa seguinte fica disponível para ser definida.

Além dos botões, encontra-se um campo numérico que mostra o número de etapas programadas.



**Opções de movimento disponíveis** – quando o utilizador prime o botão para definir uma etapa do programa, ficam disponíveis os seguintes botões:

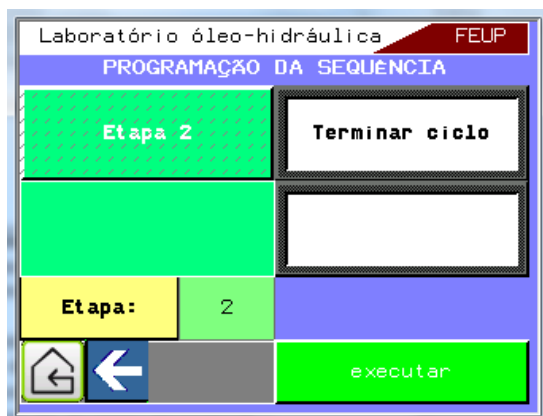
- C1 100M sobe – subida do cilindro de maior curso;
- C2 50 M sobe – subida do cilindro de menor curso;
- Temporização;
- C1 100M desce;
- C2 50M desce;
- Terminar.

Os botões para voltar atrás e voltar ao painel inicial encontram-se bloqueados nesta fase.



**Temporização** - quando o botão referente a uma temporização é premido, é estipulada uma temporização de 5 seg. e o utilizador tem acesso aos seguintes botões:

- Incrementar tempo – o utilizador pode incrementar um segundo por cada vez que prime no botão de subida até um máximo estipulado de 10 segundos;
- Decrementar tempo – de modo análogo, pode decrementar o tempo referente à temporização, até um limite de 1 seg.
- Enter – Botão disponível para validar o tempo estipulado da temporização.

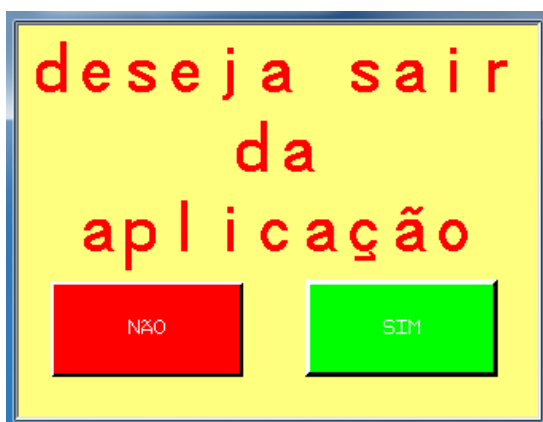


**Terminar programação** - quando o utilizador queira realizar uma sequência de movimentos inferior a vinte, ou seja, o total dos passos possíveis, pode optar por num dos passos do programa escolher o botão “terminar” e de seguida fica disponível o botão de execução do programa. Se o mesmo quiser utilizar todos os passos disponíveis o botão “executar”, ficará disponível automaticamente depois de escolhido o último passo do programa. De seguida o painel de execução do programa fica disponível.



**Tela de execução** – no painel de execução do programa ficam disponíveis os seguintes botões::

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- Ligar central;
- Informação;
- Desligar central – disp. quando central é lig.;
- Posicionar cilindros;
- Iniciar sequência;
- Aumentar pressão de funcionamento;
- Diminuir pressão de funcionamento;
- Stop de emergência.



**Sair do painel de execução** – Quando o utilizador quer sair da aplicação e prime o botão para voltar ao painel inicial, quer seja quando se encontra no painel de programação da sequência, ou quando se encontra no painel de execução do programa é apresentado um painel para que o utilizador confirme, ou não, a saída da aplicação.

Em maior detalhe, são descritos os botões disponíveis para a realização deste exercício:

- *Plataforma didática* – Botão disponível no painel principal, que leva o utilizador ao painel de escolha dos atuadores a utilizar na sua sequência;
- *Voltar ao painel inicial* – o botão pressor que se encontra no canto inferior esquerdo dos painéis que ao ser premido leva o utilizador ao painel inicial. Exclusivamente no painel de programação dos movimentos e no painel de execução do exercício quando se prime este botão o utilizador é levado a um painel de confirmação da ordem de

saída da aplicação. Isto porque, nestes painéis, a saída do painel implica a desprogramação de todos os passos do programa que o utilizador já possa ter realizado e assim o utilizador tem a possibilidade de voltar atrás na sua decisão ou de desfazer uma ordem de saída dada involuntariamente.

- *Cilindro 100M vs Cilindro 50M* – sequência de movimentos entre o cilindro de maior curso e o cilindro de menor curso;
- *Voltar ao painel anterior* – em todos os painéis, à exceção do painel de programação da sequência de movimentos, o utilizador tem um botão disponível para voltar ao painel anterior (quadrado azul com uma seta à esquerda). No painel de programação da sequência, este botão tem a função de voltar ao painel anterior apenas quando o utilizador não tenha dado início à programação. Quando já houver etapas programadas, este botão serve para desfazer a etapa anterior sendo que esta tarefa é irreversível, ou seja, depois de desfazer uma etapa programada o utilizador terá de a programar novamente pelo método normal de programação.
- *OK* – Botão disponível nos painéis de configuração hidráulica e elétrica da banca para validar a sua configuração. Depois de premido, aparecerá uma janela *popup* para confirmar a decisão tomada. Este comando existe para, em caso de pressionar o botão “*ok*” involuntariamente, haver a possibilidade de voltar atrás na decisão.

Posteriormente, é apresentado o painel de escolha de movimentos. Neste painel encontra-se um campo numérico que é incrementado conforme se define cada etapa do programa. Estas são definidas através de um conjunto de botões que se descrevem de seguida:

- *C1 100M sobe* – define a subida do cilindro de maior curso;
- *C1 100M desce* - define a descida do cilindro de maior curso;
- *C2 50M sobe* – define o avanço do cilindro de menor curso;
- *C2 50M desce* – define o recuo do cilindro de menor curso;
- *Temporização* – ao premir este botão aparece uma janela *popup* para definir o tempo, entre 1 a 10 segundos, que o sistema deve aguardar para passar à próxima etapa. O tempo pré-definido é de 5 segundos;
- *Terminar* – botão que oferece a possibilidade de terminar a sequência, sem programar a totalidade das etapas possíveis;
- *Executar* – Serve para executar a sequência programada. Este botão encontra-se indisponível durante a programação da sequência, e fica disponível aquando da programação da última etapa, isto é, a vigésima. Pode ficar disponível previamente se o utilizador escolher terminar a sequência antecipadamente através do botão “*terminar*”.

Depois de programada, a sequência está pronta a ser executada pelo autômato.

Os comandos disponíveis ao utilizador no painel de execução são os seguintes:

- *Ligar central* – botão disponível para ligar central hidráulica. Depois da central estar ligada o botão “posicionar cilindros” fica desbloqueado e pode ser premido;
- *Posicionar cilindros* – Este botão serve para acionar o processo de posicionamento dos cilindros, colocando-os em posição de início de movimento, ou seja, totalmente avançados se a sua primeira ordem for de recuar, ou na sua posição mais recuada se a sua primeira ordem de movimento for a de avançar. Este processo é automático, logo o botão serve para dar ordem de execução do processo de posicionamento;
- *Pressão de funcionamento* – para variar a pressão de funcionamento, o utilizador faz uso dos dois botões pressores que se encontram no canto superior direito do painel. Neste caso é o utilizador que estabelece a pressão de funcionamento através do aumento ou diminuição do sinal elétrico a enviar para a válvula limitadora de pressão proporcional. O utilizador pode premir continuamente os botões, enviando para a válvula um sinal progressivamente maior, ou menor, conforme o botão que está a premir. Quando estiver próximo do valor desejado pode incrementar ou decrementar o sinal a enviar para a válvula limitadora proporcional através toques sucessivos nos botões. É enviado do autômato uma variável que monitoriza o sinal que está a ser enviado para a válvula limitadora de pressão. Quando esses valores atingem os seus máximos ou mínimos, os botões de aumento ou de redução da pressão são automaticamente bloqueados, quer isto dizer por exemplo que se o utilizador estiver a aumentar a pressão de funcionamento, premindo continuamente o botão de aumento do sinal a enviar para a válvula e esse sinal atingir o seu máximo, o botão correspondente será bloqueado automaticamente. O mesmo acontece no sentido inverso.
- *Iniciar sequência* – serve, como o próprio nome indica, para dar início à sequência. Este botão encontra-se desbloqueado a partir do momento em que as posições dos cilindros estão verificadas e, obviamente, que a central hidráulica permaneça ligada;
- *Stop de emergência* – botão que deve ser atuado em caso de ocorrência de alguma anomalia durante a execução da sequência. Este faz desligar a central hidráulica, desativa todas as etapas ativas, apaga o programa que estava em execução e, posteriormente, sai do painel de execução e abre uma janela de emergência a evidenciar a sua ocorrência que, depois de premedida volta ao painel inicial;
- *Desligar central* – desliga a central hidráulica. Este botão encontra-se visível enquanto a central está desligada e está desbloqueado até ser

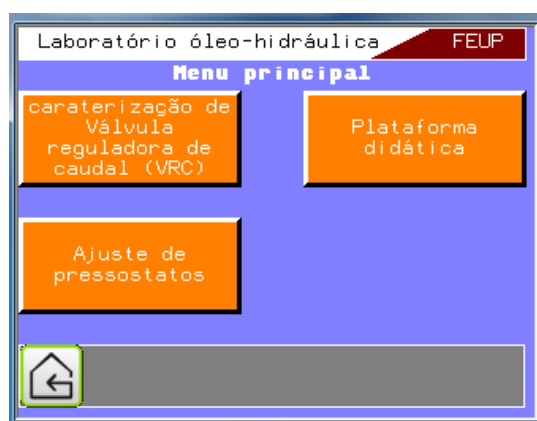


dada ordem de início de posicionamento dos cilindros. Depois de premir o botão “posicionar cilindros” o botão de desligar a central fica bloqueado e só depois do autômato terminar o processo de posicionamento dos cilindros é que fica novamente desbloqueado. Depois de premir o botão “iniciar sequência o botão é bloqueado de novo e volta a ficar desbloqueado depois da sequência de movimentos terminar;

- *Voltar ao painel inicial* – através do botão que se encontra no canto inferior esquerdo do painel de execução, o utilizador pode sair da aplicação e voltar ao painel inicial. Este botão encontra-se bloqueado desde que a central hidráulica é ligada e até que a mesma é desligada. Quando premido, o utilizador é levado a um outro painel para que o utilizador confirme a ordem de saída do exercício. Se cancelar a saída, volta ao painel de execução do exercício;
- *Voltar ao painel anterior* – através do botão que se encontra à direita do anterior o utilizador pode voltar ao painel anterior, neste caso não existe painel de confirmação porque o seu uso não implica a perda da sequência previamente programada;

### 3.4.2. Combinação de movimentos de cilindro assimétrico com motor hidráulico

Este exercício consiste em realizar uma sequência de movimentos, previamente programados pelo utilizador, entre o cilindro de maior curso (C1 100M) e o motor hidráulico. O método de execução do mesmo encontra-se descrito de seguida.



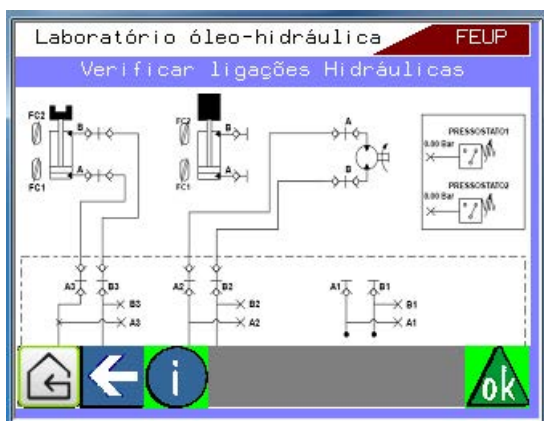
**Menu principal** - no menu principal, o utilizador deve premir o botão “Plataforma didática”. Se desejar sair da aplicação e voltar ao painel inicial deverá premir o botão “casa”.



**Escolha de atuadores** - painel referente ao menu de escolha dos atuadores. Para a execução deste exercício o utilizador deve premir o botão “CILINDRO 100M VS MOTOR HID.”

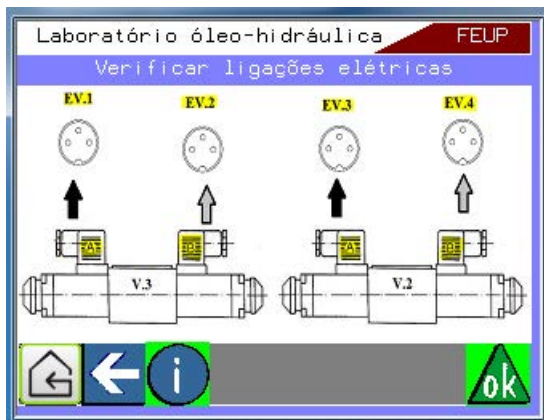
Além deste, o utilizador tem os seguintes botões disponíveis:

- Voltar ao painel inicial;
- Voltar ao painel anterior;
- “CILINDRO 100M VS CILINDRO 50M” – disponível para a realização do exercício descrito anteriormente.



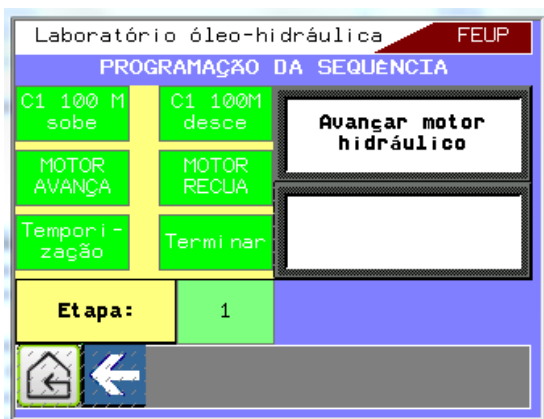
**Verificar ligações hidráulicas** – este painel disponibiliza a configuração hidráulica que deve ser verificada para a realização do exercício. Os botões disponíveis neste painel são:

- Voltar ao menu principal;
- Voltar ao menu anterior;
- Informação;
- OK – botão disponível para validar a configuração ilustrada.



**Verificar ligações elétricas** - painel referente à configuração elétrica que consiste nas ligações que podem ser alteradas de exercício para exercício. Os botões disponíveis neste painel são os seguintes:

- Voltar ao menu principal;
- Voltar ao menu anterior;
- Informação;
- OK – botão de validação da configuração elétrica.



**Programação da sequência** – painel referente à programação da sequência de movimentos que disponibiliza seis opções de atuação através dos seguintes botões:

- C1 100M sobe – subir cil. de maior curso;
- C1 100M desce – descer cil. de maior curso;
- Motor avança – rodar motor hid. no sentido direto durante intervalo de tempo determinado pelo utilizador [1 a 10 seg.];
- Motor recua – rodar motor hid. No sentido inverso durante um intervalo de tempo determinado pelo utilizador [1 a 10 seg.];
- Temporização – sem movimento associado;
- Terminar – cessar prog. antes das 20 etapas.



Depois de programar as 20 etapas ou se premir o botão terminar, nas opções de programação, antes de atingir a última etapa o utilizador fica com o botão “executar” disponível.

Além deste botão o utilizador tem os seguintes botões disponíveis:

- Voltar ao painel inicial – ao premir este botão aparece uma janela para confirmar a saída da aplicação;
- Voltar à etapa anterior – desprograma a última etapa;

Além dos botões, está disponível um campo numérico que informa o número total de etapas programadas.

**Painel de execução** – painel disponibilizado depois de ser dada a ordem de execução do programa. Os botões disponíveis são os seguintes:

- Voltar ao painel inicial – exige confirmação da decisão;
- Voltar ao painel anterior;
- Ligar central;
- Posicionar cilindros – desbloqueado depois da central estar ligada;
- Pressão de funcionamento – através das setas em azul;
- Iniciar sequência;
- Desligar central;
- Stop de emergência.

De seguida descrevem-se algumas particularidades dos botões disponibilizados para a realização deste exercício.

- *Cilindro 100M vs Motor HID.* – sequência de movimentos entre o cilindro de maior curso e o motor hidráulico;
- *Motor avança* – ao premir este botão, na janela de opções de atuação, aparece uma janela *popup* para definir o tempo durante o qual o motor irá rodar no sentido direto. Depois de definido o tempo (entre 1 e 10 segundos) o utilizador deve premir o botão “ENTER” para sua validação;
- *Motor recua* - Ordem para fazer o motor hidráulico rodar no sentido inverso. O procedimento de definição do tempo de recuo é idêntico ao descrito anteriormente para avançar o motor;
- *Voltar à etapa anterior* – Este botão, disponível no painel de programação da sequência de movimentos, serve para fazer o *reset* à sequência programada etapa por etapa. Esta função não é reversível e ao chegar à etapa inicial do programa, o botão funciona para voltar ao painel anterior;
- *Voltar ao painel inicial* – este botão, disponível no painel de execução, encontra-se bloqueado desde que a central é ligada, durante o

posicionamento do cilindro e durante a execução da sequência sendo desbloqueado apenas depois de desligar a central;

- *Voltar ao painel anterior* – Este botão, quando no painel de execução, tem as mesmas condições de bloqueio que o anteriormente descrito;
- *Iniciar sequência* – este botão, também disponível no painel de execução, tem as suas particularidades a nível de bloqueio. Este só é desbloqueado depois de a central ter sido ligada e de ter sido feita a verificação da posição do cilindro hidráulico usado no exercício. Fica desbloqueado para dar ordem de início da sequência e só volta a ficar desbloqueado depois de ter terminado a sequência de movimentos e de ter sido feita de novo a verificação da posição do cilindro.
- *Pressão de funcionamento* – Para definir a pressão de funcionamento do exercício, o utilizador deve premir o botão referente à seta ascendente ou descendente, conforme queira aumentar ou diminuir a pressão de funcionamento. O utilizador pode usar toda a gama de pressão disponível na banca, sendo que os botões são bloqueados apenas quando os limites de sinal, estabelecidos para a válvula limitadora de pressão proporcional são atingidos, tanto superiormente como inferiormente.
- *Desligar central* – este botão encontra-se visível quando a central está ligada e desbloqueado até ser premido o botão “posicionar cilindro”. Após posicionamento do cilindro, este fica desbloqueado até ser premido o botão “iniciar sequência”. Depois de terminar a sequência de movimentos programados o botão volta a ficar desbloqueado. Em caso de emergência deve ser premido o botão de emergência também disponível no painel.

O *display* que se apresenta no canto superior esquerdo do painel de execução serve para mostrar ao utilizador, qual o movimento que se está a realizar em cada momento, ou quanto tempo falta para terminar uma temporização, eventualmente definida durante a programação dos movimentos.

## 4. Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho foi caracterizado todo o *hardware* constituinte das bancas didáticas “Hidromática” existentes no laboratório de óleo-hidráulica. O estudo das suas particularidades levou à necessidade de inclusão de novos componentes a fim de aumentar as suas potencialidades. Posteriormente foram concebidos e colocados em funcionamento diversos exercícios didáticos que pretendem demonstrar as potencialidades destas bancas automatizadas como ferramenta de apoio ao ensino.

### 4.1. Conclusões

Foi desenvolvido um conjunto de três exercícios de índole didática sendo que:

- O primeiro consiste na caracterização de uma válvula reguladora de caudal com compensação de pressão através da medição de caudal para diferentes pressões e diferentes ajustes;
- O segundo corresponde a um exercício de apoio automático ao ajuste da pressão de comutação de pressostatos de pistão e;
- Por fim foi desenvolvida uma plataforma para realizar movimentos sequenciais previamente programados pelo utilizador.

No que se refere ao primeiro exercício foram utilizadas duas técnicas distintas para a medição de caudal, através do volume deslocado por um cilindro assimétrico e através da medição da velocidade de rotação de um motor hidráulico. Os resultados obtidos revelam grande repetibilidade. No entanto, constatou-se, na realização deste exercício, que medições de caudal consecutivas, podem ser influenciadas pelo aumento progressivo da temperatura do fluido hidráulico pelo que, para ensaios mais rigorosos, a temperatura do fluido hidráulico deve estar estabilizada.

A realização deste exercício permite ao estudante desfrutar das capacidades deste tipo de banca para ensaiar este tipo válvulas sem necessidade de recorrer a métodos manuais de contagem de tempo e de volume e, sem recorrer a transdutores de caudal que seriam inviáveis para este tipo de bancas.

Quanto ao segundo exercício realizado verificou-se que em termos de repetibilidade, os pressostatos apresentam uma boa característica e que em termos de histerese, esta varia como valor de ajuste dos pressostatos, bem como certamente de modelo de pressostato para modelo de pressostato. Este exercício põe à disposição do estudante um método de verificação de ajuste de pressostatos muito mais simples, visto que o estudante só tem que definir a posição de ajuste do pressostato e o resto do processo é automático e preciso.

A implementação da plataforma para realização de sequências de movimentos teve por objetivo oferecer ao utilizador a possibilidade de ser este a criar a sua própria sequência de movimentos. Com isto, a banca ganhou flexibilidade no que se refere à variedade de exercícios a realizar bem como ofereceu ao utilizador a possibilidade de interagir com esta possibilitando a programação do trabalho a realizar.

Com a implementação destes exercícios, não só se facilita a execução de demonstrações diversas, como se torna indubitavelmente mais estimulante para quem quiser interagir com a banca.

## **4.2.Trabalhos Futuros**

Como resultado do desenvolvimento deste trabalho, bem como das conclusões que daqui resultam, é sugerida a introdução de um transdutor de temperatura de modo a realizar a monitorização da temperatura do fluido hidráulico, sendo assim possível monitorizar a evolução da temperatura durante os ensaios e quantificar o seu efeito nos mesmos.

Uma vez que existem quatro bancas disponíveis no laboratório, uma sugestão seria a implementação de outros exercícios de demonstração didática nas mesmas, de modo a que os exercícios existentes tenham ainda maior abrangência em termos de caracterização de componentes existentes no laboratório de óleo-hidráulica.

Uma outra sugestão seria a implementação de um *switch ethernet* de modo a permitir a interligação de todas as interfaces homem-máquina instaladas nas bancas, podendo assim comandar uma banca através de outra e, quando se pretendesse ligar o computador a qualquer uma das interfaces não fosse necessário alterar as ligações físicas existentes, mas apenas o endereço IP correspondente a cada interface.





## 5. Referências e Bibliografia

- [1] **Char-Lynn Hydraulic Motors.** 1997. *General purpose Motors H, S, and T Series.* 1997.
- [2] **Char-Lynn.** 2009. *J & H Series Motors . Issue - 4.* 2009.
- [3] **Eaton Char-Lynn.** 2011. *Spool valve Hydraulic Motors.* 2011.
- [4] **Rexroth worldwide Hydraulics.** 2002. *Pressure Switch.* 2002.
- [5] **Schneider Electric Brands.** 2002. *TELEFAST® 2 Prewired System ABE7.* 2002.
- [6] **Schneider Electric.** 2006. *Detection de présence dans l'industrie.* 2006.
- [7] **Schneider Electric.** 2011. *Magelis HMI STU 655/855. Especificações gerais.* 2011.
- [8] **Schneider Electric.** 2011. *Magelis HMI STU 655/855 User Manual.* 2011.
- [9] **Schneider Electric.** 2008. *Manual Twido Suite.* 2008.
- [10] **Schneider Electric.** 2007. *Product data sheet. XUYPSCO929LISP.* 2007.
- [11] **Schneider Electric.** 2011. *TwidoSuite V2.3. Getting Started.* 2011.
- [12] **Schneider Electric.** 2011. *TwidoSuite V2.3. Programming Guide.* 2011.
- [13] **Sensor-Technik Wiedmann GmbH.** 2008. *Pressure Transmitter A08.* 2008.
- [14] **SMC.** 2012. *Cilindros hidráulicos.* 2012.
- [15] **Telemecanique.** 2010. *Controladores programables Twido. Guía de referencia de hardware.* 2010.
- [16] **Schneider Electric.** 2005. *Vijeo Designer Tutorial.* 2005.

- [17] **Vickers. 2008.** *Solenoid Operated Directional Valves.* 2008.
- [18] **Vickers. 2009.** *SystemStak™ Valves, D07.* 2009.

## **ANEXO A – Atuadores Hidráulicos**



## Cilindros hidráulicos

**CHKG B 32 30**      **CHDKG B 32 30 Z73**

Con detector magnético  
Con detector magnético (ímán integrado)

**Tipo de montaje**

Vista lateral del vástago			
-	L	LB	LD
Tipo básico	Conexión: superior Escuadra: inferior	Conexión: derecha Escuadra: inferior	Conexión: izquierda Escuadra: inferior

**Diámetro**

20	20mm
25	25mm
32	32mm
40	40mm
50	50mm
63	63mm
80	80mm
100	100mm

**Modelo rosca conexión**

-	Rc
TN	NPT

**Carrera del cilindro (mm)**  
Véase la tabla de carreras estándar en la página siguiente.

**Número de detectores magnéticos**

-	2 uns.
S	1 un.
n	"n" uns.

**Detector magnético**

-	Sin detector magnético (ímán integrado)
---	---

\* Seleccione el modelo de detector magnético de la tabla inferior.

**Rosca extremo vástago**

-	Rosca hembra
M	Rosca macho

### Características técnicas

Funcionamiento	Doble efecto con vástago simple
Fluido	Aceite hidráulico
Presión nominal	16MPa
Presión de prueba	24MPa
Presión máxima admisible	16MPa
Presión mín. de trabajo	0.3MPa
Temperatura ambiente y de fluido	Sin detector magnético: -10° hasta 80°C Con detector magnético: -10° hasta 60°C
Velocidad del émbolo	8 a 100mm/s
Amortiguación	Ninguno
Rosca extremo vástago	Rosca hembra, rosca macho
Tolerancia de rosca	Clase 2 JIS
Tolerancia de longitud de carrera	$^{+0.8}$ <sub>0</sub> mm
Modelo de montaje	Modelo básico
Montaje	Agujero pasante

### Esfuerzo teórico

Unidad: N

Diámetro (mm)	Tamaño vástago (mm)	Sentido del movimiento	Área efectiva (mm²)	Presión de trabajo (MPa)			
				3.5	7	10	16
20	12	SALIDA	314	1099	2198	3140	5024
		ENTRADA	201	704	1407	2010	3216
25	14	SALIDA	490	1715	3430	4900	7840
		ENTRADA	336	1176	2352	3360	5376
32	18	SALIDA	804	2814	5628	8040	12864
		ENTRADA	549	1922	3843	5490	8784
40	22.4	SALIDA	1266	4396	8792	12560	20096
		ENTRADA	862	3017	6034	8620	13792
50	28	SALIDA	1963	6871	13741	19630	31408
		ENTRADA	1347	4715	9429	13470	21552
63	35.5	SALIDA	3117	10910	21819	31170	49872
		ENTRADA	2127	7445	14889	21270	34032
80	45	SALIDA	5026	17591	35182	50260	80416
		ENTRADA	3436	12026	24052	34360	54976
100	56	SALIDA	7853	27486	54971	78530	125648
		ENTRADA	5390	18865	37730	53900	86240

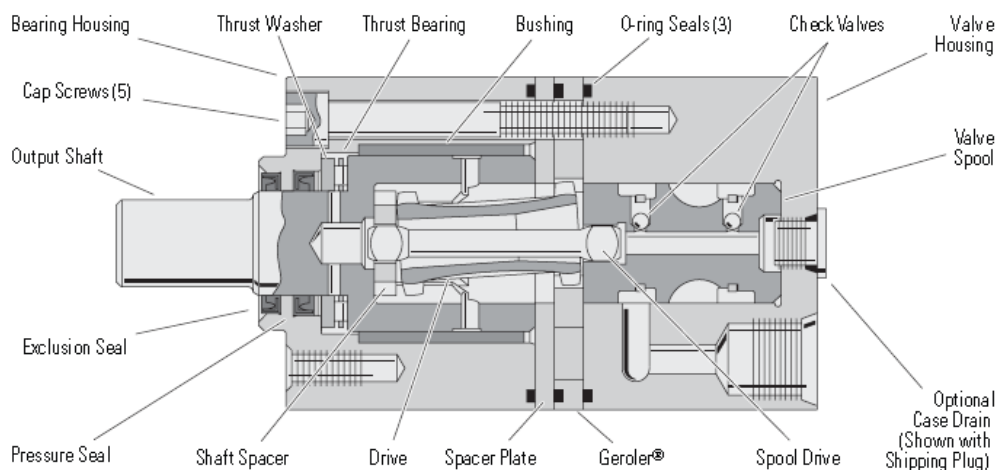
Esfuerzo teórico (N) = Presión (MPa) x Área del émbolo (mm²)

Descrição da banca didática					
Banca 9					
Componentes hidráulicos					
Cilindro hidráulico 1 (cilindro de maior curso)					
Ref. Faculdade	100093026		Histerese 1	0,66	mm
Ref. Fabricante	CHDKGB40-100M		Histerese 2	0,60	mm
Nº de detetores magnéticos	2		Curso de subida	96,70	mm
Funcionamento	Duplo efeito		Curso de descida	96,75	mm
Amortecimento	Nenhum		Volume de subida	0,1215	dm <sup>3</sup>
Pressão máxima admissível	160	bar	Volume de descida	0,0834	dm <sup>3</sup>
curso do êmbolo	100	mm			
Diâmetro da haste	22,4	mm			
Diâmetro do êmbolo	40	mm			
Área da câmara principal	1256,64	mm <sup>2</sup>			
Área da câmara secundária	862,56	mm <sup>2</sup>			
			Dsub. [mm]	0,83	
			Ddesc. [mm]	1,44	
				96,70	
				96,75	
			Dsub. [mm]	2,47	
			Ddesc. [mm]	1,81	
Cilindro hidráulico 2 (cilindro de menor curso)					
Ref. Faculdade	100093024		Histerese 1	0,75	mm
Ref. Fabricante	CHDKGB40-50M		Histerese 2	0,86	mm
Nº de detetores magnéticos	2		Curso de subida	46,82	mm
Funcionamento	Duplo efeito		Curso de descida	46,70	mm
Amortecimento	Nenhum		Volume de subida	0,0588	dm <sup>3</sup>
Pressão máxima admissível	160	bar	Volume de descida	0,0403	dm <sup>3</sup>
curso do êmbolo	50	mm			
Diâmetro da haste	22,4	mm			
Diâmetro do êmbolo	40	mm			
Área da câmara principal	1256,64	mm <sup>2</sup>			
Área da câmara secundária	862,56	mm <sup>2</sup>			
			Dsub. [mm]	0,68	
			Ddesc. [mm]	1,54	
				46,82	
				46,70	
			Dsub. [mm]	2,50	
			Ddesc. [mm]	1,75	

## Motor Hidráulico

### J Series (129-)

Specifications



#### SPECIFICATION DATA – J MOTORS

Displ. cm <sup>3</sup> /r [in <sup>3</sup> /r]		8,2 [50]	12,9 [79]	19,8 [1.21]	31,6 [1.93]	50,0 [3.00]
Max. Speed (RPM) @ Continuous Flow		1992	1575	1043	650	393
Flow l/min [GPM]	Continuous	17 [4.5]	21 [5.5]	21 [5.5]	21 [5.5]	21 [5.5]
	Intermittent	21 [5.5]	25 [6.5]	25 [6.5]	25 [6.5]	25 [6.5]
Torque Nm [lb-in]	Continuous	18 [141]	25 [225]	38 [333]	50 [446]	62 [549]
	Intermittent	19 [164]	30 [263]	46 [405]	62 [546]	84 [743]
	Peak	22 [193]	36 [321]	48 [425]	83 [733]	86 [765]
Pressure	Continuous	140 [2030]	140 [2030]	140 [2030]	121 [1750]	97 [1400]
Δbar [Δ PSI]	Intermittent	165 [2400]	165 [2400]	165 [2400]	150 [2175]	140 [2030]
	Peak	220 [3190]	220 [3190]	220 [3190]	190 [2756]	150 [2175]
Weight kg [lbs]		2 [4.4]	2,1 [4.6]	2,2 [4.8]	2,3 [5.0]	2,4 [5.4]





## **ANEXO B – Preparação da banca**

## B.1 Montagem dos componentes hidráulicos

Após o estudo da banca e da tomada de decisão, no que se refere aos elementos de comando hidráulico, partiu-se para a seleção dos mesmos. Primeiramente, procedeu-se à remoção das válvulas existentes sobre as placas base da banca, deixando a mesma disponível para receber os componentes sugeridos.

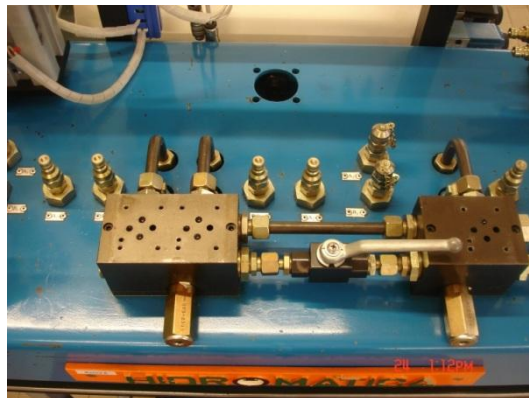


Figura B 1 - Placas base da banca didática.

Posto isto, procedeu-se à montagem de uma válvula direcional sobre bloco modular, com válvula *sandwich* de retenção pilotada geminada. Depois foi montada a segunda válvula direcional sobre bloco modular com estranguladores de caudal duplos. Por último, foi montada a válvula limitadora de pressão proporcional sobre a placa base apresentando-se com o cenário ilustrado na fig. B.2.



Figura B 2 - Configuração das válvulas de comando hidráulico.

## B.2 Incorporação provisória de transdutor de posição

A fim de se poder usar os cilindros hidráulicos para medição de caudal é importante que o volume a ser medido, através do autómato, esteja bem definido, isto é,

a posição do êmbolo do cilindro deve ser bem conhecida quando este se aproxima dos fim de curso e é detetado pelo detetor de posição. De igual modo, deve ser bem conhecida a posição dos mesmos quando estes se afastam dos detetores e estes se desligam. Em resumo é necessário conhecer a histerese de medição da posição dos êmbolos.

Para se poder executar esta tarefa foi usado um sensor indutivo do fabricante *TELEMECANIQUE*. A este componente foi adicionada uma resistência de  $1k\Omega$  ( $R=1000\Omega$ ) para que o autómato receba o sinal em tensão, tal como se apresenta no esquema ilustrativo da fig. B.3.

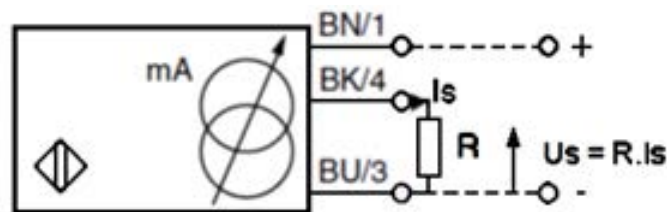


Figura B 3 - Esquema elétrico do transdutor de posição.

### B.3 Incorporação de transdutor de pressão

Para se fazer a monitorização e controlo da pressão através do autómato foi introduzido na banca um transdutor de pressão, tal como se apresenta na fig. B.4. Assim, não só o utilizador pode monitorizar a queda de pressão manométrica junto da linha de pressão como também pode o autómato utilizar este valor para realizar o controlo automático desta grandeza.



Figura B 4 - Transdutor de pressão.

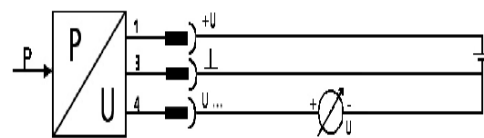


Figura B 5 - Esquema elétrico do transdutor de pressão.

Depois de concluída a montagem dos comandos hidráulicos procede-se à instalação do transdutor de pressão. Este liga-se a uma das entradas analógicas do

autômato, permitindo o controlo e monitorização da queda de pressão junto da linha de pressão. O componente instalado encontra-se ilustrado na fig. B.6.

Para que a monitorização da pressão em P fosse possível foi necessário adicionar uma derivação junto da saída que serve para acoplar um dos manómetros de Bourdon. Sem esta atualização teríamos que optar entre a monitorização por parte do utilizador através do manómetro de Bourdon ou através do autômato, visto que não haveria possibilidade de ter os dois componentes montados em simultâneo. A fig. B.7 apresenta a alteração efetuada.



Figura B 6 - Transdutor de pressão instalado na banca.



Figura B 7 - Implementação de derivação para servir transdutor de pressão.

## B.4 Estabelecimento de comunicação entre elementos

Para poder enviar e receber dados entre os componentes informáticos é necessário estabelecer comunicação entre estes. Entre as várias possibilidades foram utilizados os seguintes meios de comunicação:

- Computador / Autômato – Para ligar estes dois elementos é usado um dispositivo *Bluetooth* da *TELEMECANIQUE*. Este é um dispositivo relativamente fácil de configurar e não precisa de uma ligação física, torna-se portanto numa escolha bastante atrativa.
- Autômato / HMI – Estes elementos comunicam-se através de porta série com conector do tipo *mini – DIN* existente no autômato e do conector do tipo *RJ45* existente na interface. A comunicação entre ambos é feita através do protocolo de comunicação *RS485*.
- Computador/ HMI – Entre estes dispositivos existem duas possibilidades de estabelecer comunicação. Podemos ligar as duas unidades através de cabo *USB*, através da porta *USB1*, ou por cabo *ETHERNET*. Este último referenciado foi o protocolo escolhido pelo motivo particular de acessibilidade.

Com isto foram já estabelecidas todas as comunicações necessárias à funcionalidade do sistema. A fig. B.8 ilustra as comunicações estabelecidas.

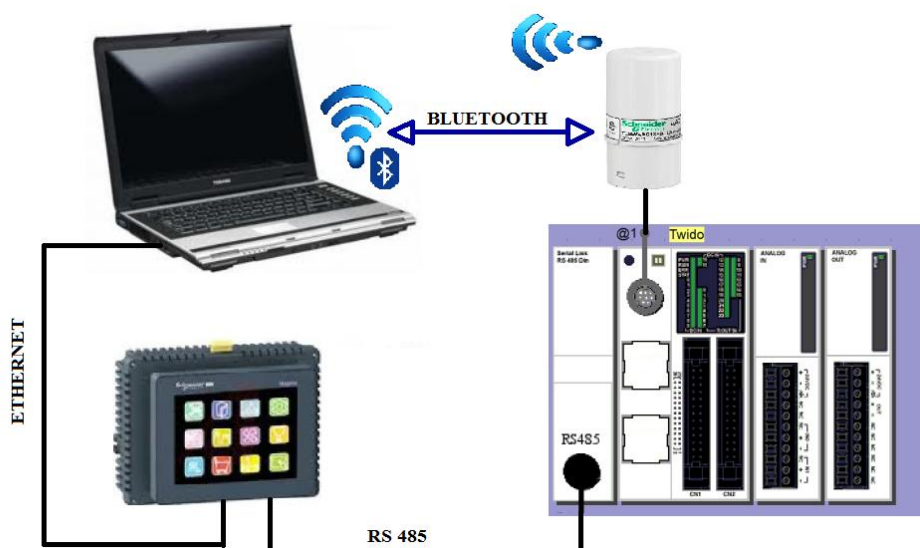


Figura B 8 - Comunicação entre elementos da banca e computador.

## B.5 Caracterização do transdutor de posição

Este transdutor foi instalado na banca provisoriamente, não fazendo parte dos elementos residentes da banca. No entanto, foi necessário para definir o curso útil dos cilindros, isto é, o curso percorrido pelo êmbolo do cilindro que o autómato pode registar.

Assim foi estabelecida uma referência de medição com a seguinte sequência:

- Estabelecer ponto fixo;
- Estabelecer ponto móvel (na haste do cilindro);
- Levar o cilindro à sua posição mais recuada (ou avançada conforme ponto a definir);
- Medir distância entre ponto fixo e ponto móvel – com a ajuda de um paquímetro.

Este processo foi repetido em cada ponto a caracterizar. A fig. B.9 apresenta um exemplo da montagem explicitada.

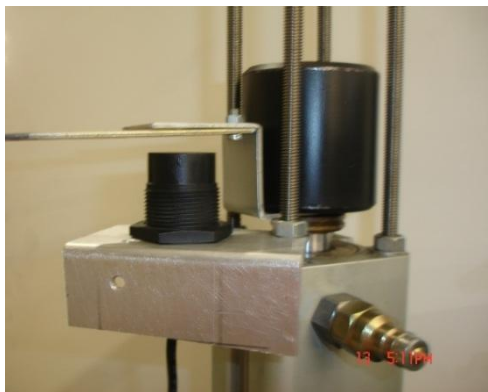


Figura B 9 - Montagem provisória do transdutor de posição.

As primeiras medições efetuadas surgiram no sentido de avaliar se o transdutor possuía alguma histerese entre o avanço e o recuo da haste do cilindro. O resultado deste varrimento apresenta-se na fig. B.10, onde se pode verificar que não existe histerese considerável para as medições a efetuar.

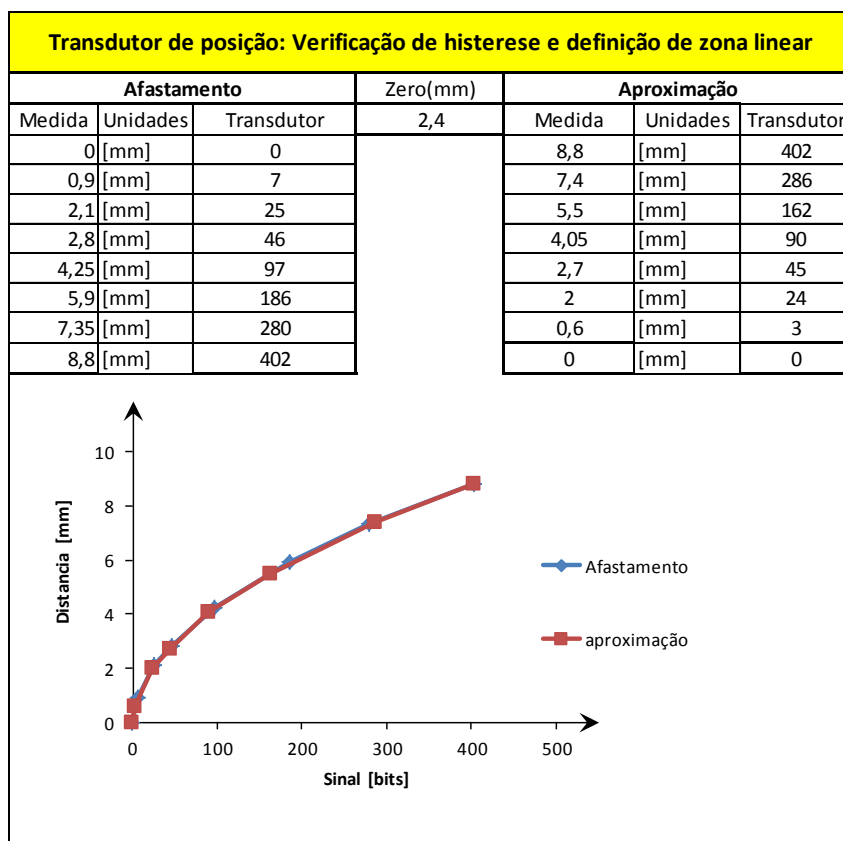


Figura B 10 - Verificação de histerese no transdutor de posição.

Resolvido o tema da histerese, o próximo passo consistiu em definir um intervalo linear do sensor para efetuar as medições. Após algumas tentativas foi encontrada aquela que seria uma boa solução de compromisso entre a repetibilidade dos valores e a facilidade de montagem do sensor entre os 8 pontos a caracterizar. Estes

pontos correspondem às posições de fim de curso, inferior e superior, dos dois cilindros montados na banca.

A fig. B.11 representa a zona linear a usar durante as medições e respetiva equação linear, que serve para interpolar os valores fornecidos pelo sensor.

medição	transdutor [bits]	Distância [mm]	Zero [mm]
0	207	6,22	6,22
1	313	7,52	
2	454	9,28	
3	535	10,31	
4	660	12,14	

### Curva de interpolação

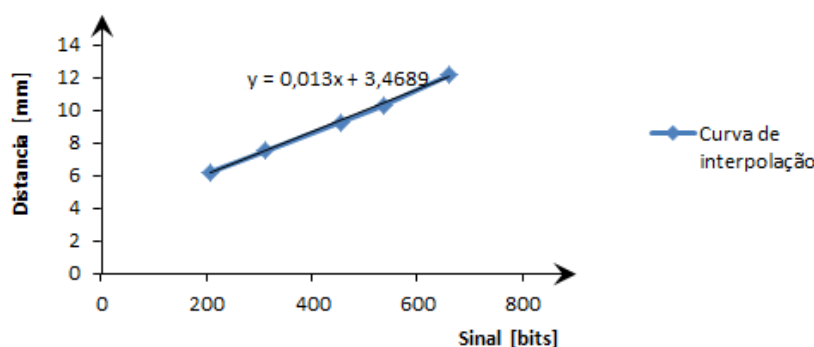


Figura B 11 - Zona linear de medição de distâncias através do transdutor de posição.

Esta curva foi usada para todos os quatro detetores de fim de curso dos cilindros instalados na banca.

## B.6 Ajuste dos detetores magnéticos de fim de curso

Antes de iniciar qualquer medição, todos os detetores de fim de curso foram movidos para a posição em que a deteção do êmbolo seja a mais próxima possível do fim de curso efetivo.

Depois de realizada esta tarefa foi dado início ao processo de localização, em que a passagem do êmbolo é detetada pelo sensor. Para realizar esta tarefa foi implementado um pequeno programa no autómato para que este registe os valores de cada posição. A implementação deste programa justifica-se pelo grande número de dados a registar. Tendo em conta que existem 4 posições para caracterizar e que em cada

posição são feitas 50 medições na aproximação da haste ao fim de curso e 50 medições durante o seu afastamento. No final temos um total de 400 valores a tratar.

O registo das posições durante aproximação e desaproximação dos êmbolos justifica-se pelo facto de os detetores possuírem uma determinada histerese que, conforme o fabricante indica, pode atingir 2 [mm]. Um erro deste valor em cada posição de fim de curso, pode introduzir um desvio inicial de medição de 8%, num cilindro com curso de 50 [mm], e de 4% num cilindro com um curso de 100 [mm], exemplo dos casos em estudo.

Em termos hidráulicos é usada a válvula direcional que está montada sobre a válvula de controlo de fluxo de tipo modular, porque é necessário que a velocidade do cilindro seja a menor possível. Esta necessidade é obtida através da regulação da abertura dos orifícios da válvula modular.

Em resumo, os principais componentes a usar, tal como se pode observar na fig. B 12, são os seguintes:

- Central hidráulica de cilindrada fixa com caudal nominal de 6,5 lpm;
- Eletroválvula de centro em “Y” com A e B ligados a T:
  - Solenóide A – movimento de avanço (conexão à entrada digital %Q0.2);
  - Solenóide B – movimento de recuo (conexão à entrada digital %Q0.3);
- Uma válvula estranguladora geminada, do tipo modular, que regula o caudal em *meter – out* em ambos os sentidos de movimento;
- Atuadores lineares assimétricos.

Os restantes componentes, fazem parte integrante da banca mas não foram usados para executar esta tarefa.

Ao mudar de detetor de fim de curso no mesmo cilindro são feitas algumas alterações a nível de programação, nomeadamente alterar a entrada do autómato que corresponde ao fim de curso em estudo.

Ao mudar de cilindro é necessário alterar de novo o programa do autómato, para ler os detetores de fim de curso do novo cilindro. Em termos hidráulicos, apenas as mangueiras flexíveis são desengatadas de um cilindro e são engatadas no outro, sem alterar os engates junto da válvula. O circuito hidráulico a utilizar encontra-se ilustrado na figura seguinte.



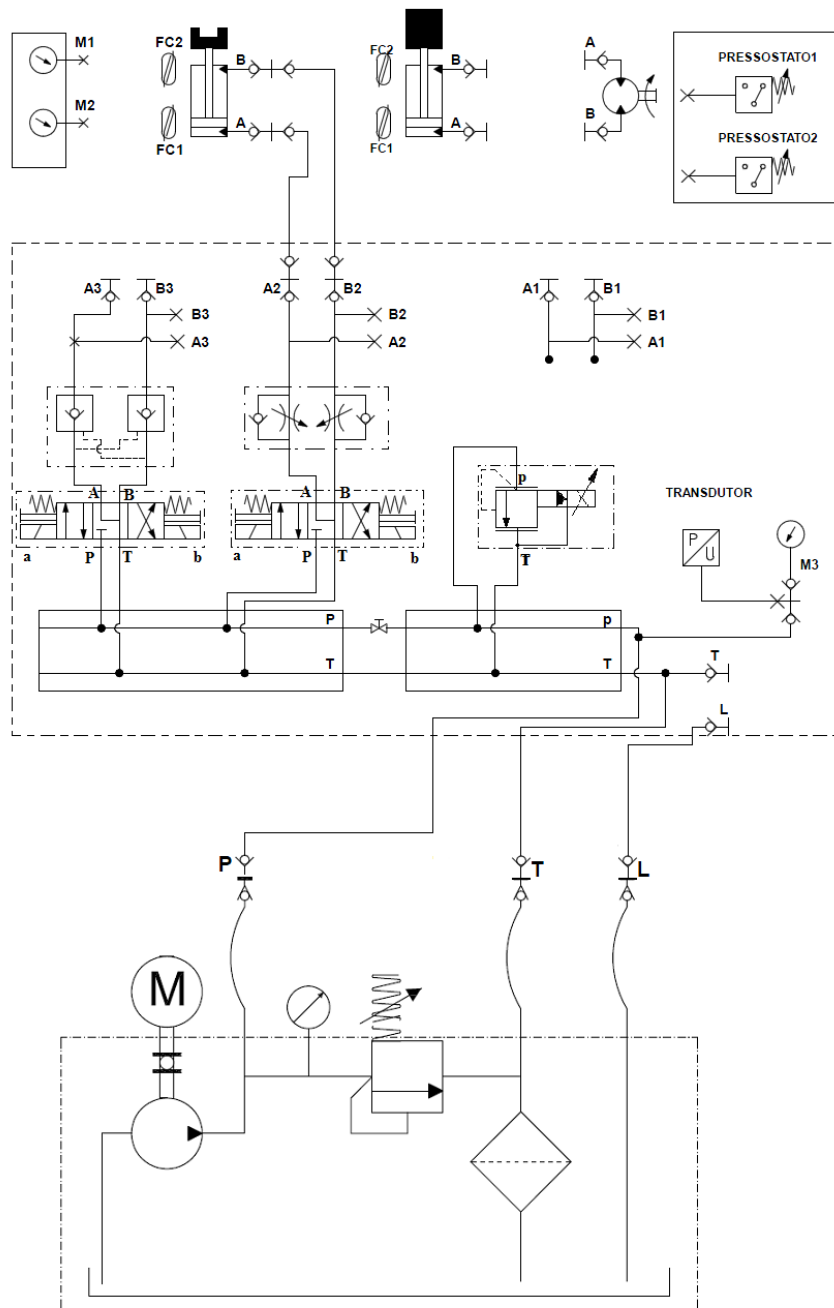


Figura B 12 - Circuito hidráulico.

Antes de iniciar a programação do autômato é realizado um *GRAFCET*, em *SFC*<sup>6</sup> através da versão *TRIAL* do *software SFCEDIT* tal como se apresenta na fig. B.13, que ilustra o método sequencial do movimento do cilindro e o registo dos valores lidos pelo transdutor de posição.

<sup>6</sup> SFC – Sequential Function Chart – sigla de expressão inglesa que quer dizer diagrama de funções sequenciais.

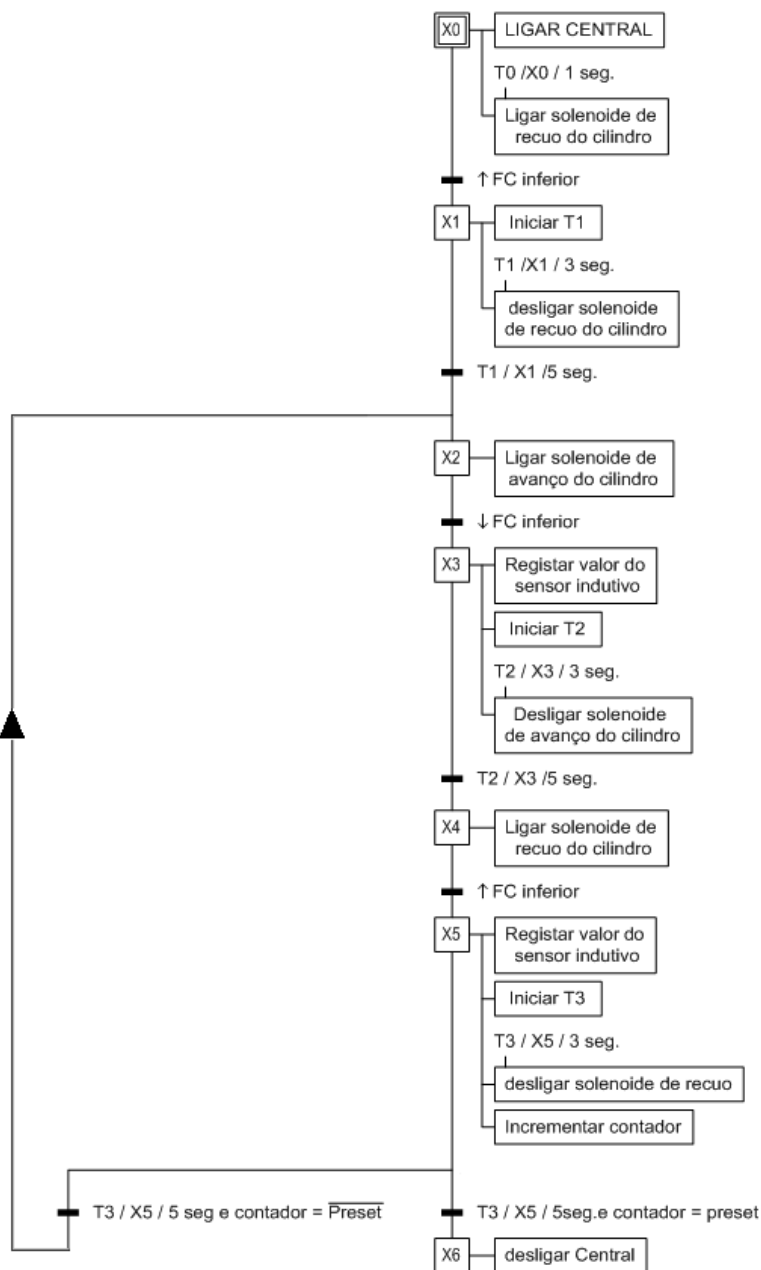


Figura B 13 - GRAFCET usado como modelo de programação.

Os valores registados pelo automático, em memórias do tipo *word* são posteriormente exportados para *Excel* a fim de serem tratados ( Anexo C – Dados experimentais “cilindros assimétricos” ).

A fig. B.14 pretende ilustrar os pontos detetados pelos sensores magnéticos, que foram determinados através do sensor de proximidade

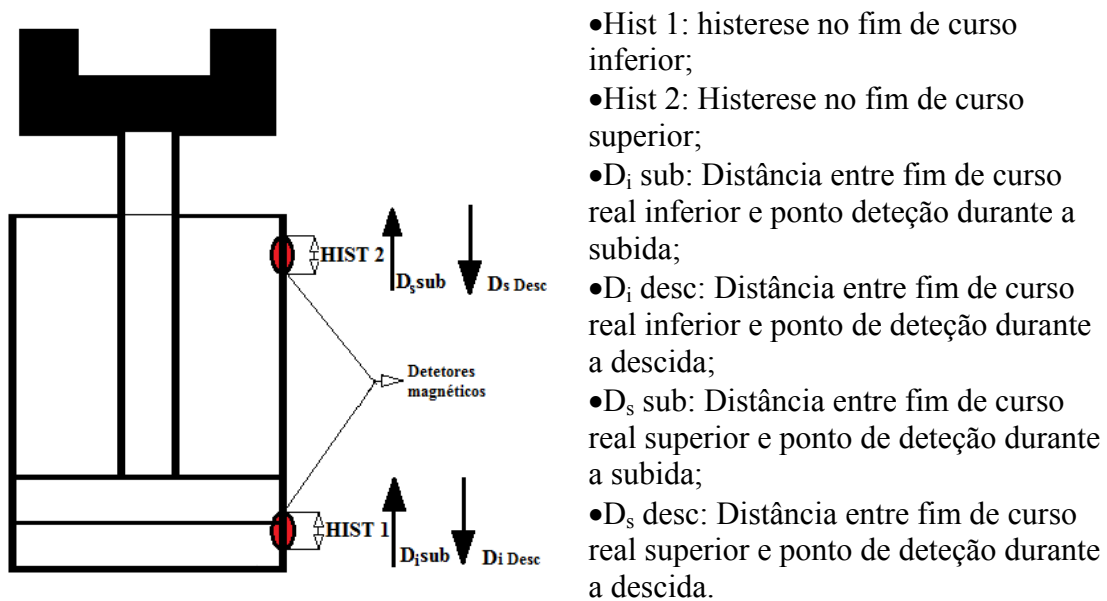


Figura B 14 - Esquema que ilustra os pontos de leitura do detetor.

Depois de efetuadas todas as medições com valores registados em unidades binárias, procedeu-se à conversão dos mesmos para milímetros e foi calculada a sua média. As equações usadas para a conversão dos valores lidos pelo sensor e a determinação do curso de cada cilindro são as seguintes:

Tabela B 1 - Equações Usadas para caraterizar os cilindros.

Conversão de bit em milímetros (mm)	Identificação dos cilindros	Equação de conversão do sinal em milímetros
		$y[mm] = 0,013 \times x[mm] + 3,469$
Determinação do curso útil para cálculos através do autómato	<b>Curso de subida</b>	
	Cilindro de 100 mm de curso	$C_s = 100 - (D_{i\ sub} + D_{s\ sub})$
	Cilindro de 50 mm de curso	$C_s = 50 - (D_{i\ sub} + D_{s\ sub})$
	<b>Curso de descida</b>	
	Cilindro de 100 mm de curso	$C_d = 100 - (D_{i\ desc} + D_{s\ desc})$
Cilindro de 50 mm de curso	$C_d = 50 - (D_{i\ desc} + D_{s\ desc})$	

As equações de conversão de bit em milímetros foram obtidas por aproximação linear através do *Excel*. Estes dados estão ilustrados nas figuras B.10 e B11 deste capítulo.

Na tabela seguinte apresenta-se o resumo das características dos cilindros após ajuste dos seus detetores de fim de curso.

Tabela B 2 - Resumo dos dados referentes aos cilindros hidráulicos da banca.

Dados	Banca 9	
	Cilindro hidráulico 1	Cilindro hidráulico 2
Referência do componente	CHDKGB40-100M	CHDKGB40-50M
Área da câmara principal [mm <sup>2</sup> ]	1256,64	1256,64
Área da câmara secundária [mm <sup>2</sup> ]	852,56	852,56
D <sub>inf</sub> subida [mm]	2,47	2,50
D <sub>inf</sub> descida [mm]	1,81	1,75
D <sub>sup</sub> subida [mm]	0,83	0,68
D <sub>sup</sub> descida [mm]	1,44	1,54
Curso de subida [mm]	96,70	46,82
Curso de descida [mm]	96,75	46,70
Histerese (FC inf.) [mm]	0,66	0,75
Histerese (FC sup) [mm]	0,60	0,86
Volume da câmara principal [mm <sup>3</sup> ]	0,1215	0,0588
Volume da câmara secundária [mm <sup>3</sup> ]	0,0835	0,0403

## B.7 Programação do autómato

No que refere ao autómato, este foi programado através de secções e sub-rotinas disponibilizadas pelo *software* que permite organizar os programas de forma a executar cada uma delas apenas quando está ativa, e também com a vantagem de, com este método reduzir o tempo de ciclo do programa. Outro benefício foi o facto de as sub-rotinas poderem ser usadas pelos vários exercícios, não havendo a necessidade de as programar mais que uma vez. Um exemplo é a obrigação imprescindível de ligar a central hidráulica antes de iniciar um exercício e de a desligar após a conclusão do mesmo. Quando isto sucede, basta executar a sub-rotina de ligar e desligar a central, tal como se apresenta na fig. B.15. Por outro lado, a central só pode ser ligada ou desligada quando a sub-rotina está ativa.

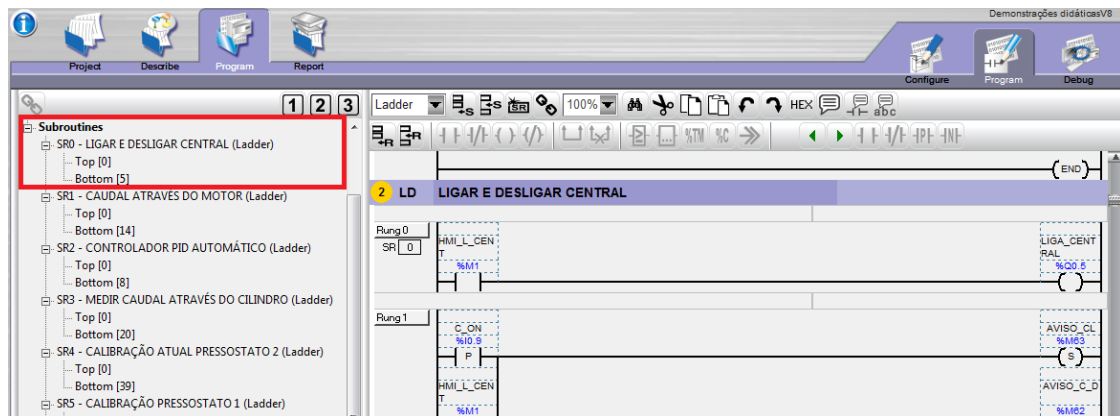


Figura B 15 - Divisão do programa do autômato em sub-rotinas.

Com o uso desta estratégia, o programa referente ao autômato fica subdividido em 9 sub-rotinas que se estruturam da seguinte forma:

- SR0 – Ligar e desligar a central;
- SR1 – Medir caudal através do motor;
- SR2 – Controlador *PID*<sup>7</sup>;
- SR3 – Medir caudal através do uso do cilindro;
- SR4 – Ajuste do pressostato 2;
- SR5 – Ajuste do pressostato 1;
- SR6 – Gerador de impulsos 1;
- SR7 – Plataforma didática;
- SR8 – Reposicionamento dos atuadores lineares;
- SR9 – Comando proporcional da válvula limitadora de pressão.

Para o desenvolvimento do programa, o *software* dispõe de objetos, que funcionam como variáveis de escrita e de leitura. Estes, além das entradas e saídas já enunciadas<sup>8</sup> anteriormente, descrevem-se da seguinte forma:

- Objetos simples:
  - Memórias do tipo *bit* (*%Mi*→256 disponíveis);
  - Memórias do tipo *word* (*%MWi*→3000 disponíveis);
  - Memórias do tipo *double word* (*%MDi*→2999 disponíveis);
  - Memórias do tipo *float* capaz de guardar números reais (*%MFi*→2999 disponíveis);
- Blocos de funções:
  - Temporizadores (*%TMi*→128 disponíveis);

<sup>7</sup> PID – Sigla de expressão inglesa que significa Proportional-Integrative-Derivative. Em português significa proporcional integral derivativo. É uma técnica de controlo de processos que une as três ações enunciadas.

<sup>8</sup> Capítulo 2.4 Autômato e módulos: 2.4.1 – Base modular do autômato; 2.4.2 - módulos

- Contadores (%Ci→128 disponíveis);
- Blocos com entradas ou saídas dedicadas:
  - Contadores rápidos com entradas dedicadas (%FCi→2 disponíveis);
  - Contadores muito rápidos com entradas dedicadas (%VFCi→2 disponíveis);
- Blocos de objetos avançados:
  - *PID*.

Existem outros blocos disponíveis no *software*, no entanto não são referidos pelo facto de não terem sido usados na execução deste trabalho.

## B.8 Programação da interface

A interface homem-máquina proporciona ao utilizador interagir com a banca através do envio de ordens ao autómato para que este execute uma tarefa, ou para que o autómato envie ao utilizador os sinais digitais ou analógicos que tenha lido na banca. Para que tudo isto funcione é necessário programar a interface e estabelecer a comunicação entre esta e o autómato. Para tal, o *software* dispõe das ferramentas necessárias, nomeadamente:

- Painéis de base – nestes é possível inserir e programar:
  - Botões;
  - Caixas de texto;
  - Caixas de valores numéricos;
  - Ações associadas a cada painel;
- Janelas do tipo *popup*. – Estas têm os mesmos atributos que os painéis base;
- Janelas do tipo *popup* de emergência;
- Editor de variáveis – Aqui são inseridas e definidas todas as variáveis usadas, sejam elas internas ou externas;
- Gestor de comunicações – Através deste, é feita a configuração das comunicações a estabelecer entre o autómato e a interface como também entre a interface e o computador.

Os cálculos necessários para executar os exercícios são feitos na interface, através do editor de expressões do *Vijeo designer*, como se apresenta na figura B.16, ou através da programação de *scripts*, já que o autómato só tem capacidade de executar uma operação de cada vez. Com isto, a carga de memória usada pelo autómato é diminuída e o tempo de ciclo do autómato pode ser reduzido.

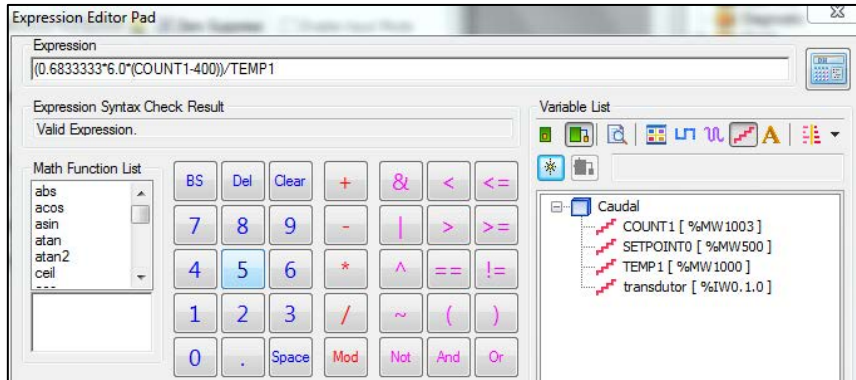


Figura B 16 - Editor de expressões do Vijeo Designer.





## **Anexo C – Dados experimentais “cilindros assimétricos”**



Cilindro de maior curso (1): banca 9								
Fim de curso Superior								
equação da recta de tendência: $y = 0,013x + 3,4689$								
Descida/Desaproximação					Subida/aproximação			
posição zero=		sensor	med.[mm]	Medida				
207		6,16						
medição	sensor	p. Abs.	p. Rel.[mm]	desv.[mm]	sensor	p. Abs. [mm]	p. Rel.[mm]	desvio[mm]
0	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	274	7,03	<b>0,87</b>	0,04
1	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	278	7,08	<b>0,92</b>	0,09
2	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	269	6,97	<b>0,81</b>	0,03
3	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	270	6,98	<b>0,82</b>	0,02
4	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
5	314	7,55	<b>1,39</b>	0,05	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
6	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	275	7,04	<b>0,88</b>	0,05
7	316	7,58	<b>1,42</b>	0,02	267	6,94	<b>0,78</b>	0,05
8	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	273	7,02	<b>0,86</b>	0,02
9	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	265	6,91	<b>0,75</b>	0,08
10	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	264	6,90	<b>0,74</b>	0,09
11	320	7,63	<b>1,47</b>	0,03	277	7,07	<b>0,91</b>	0,08
12	316	7,58	<b>1,42</b>	0,02	273	7,02	<b>0,86</b>	0,02
13	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
14	315	7,56	<b>1,40</b>	0,04	277	7,07	<b>0,91</b>	0,08
15	314	7,55	<b>1,39</b>	0,05	265	6,91	<b>0,75</b>	0,08
16	314	7,55	<b>1,39</b>	0,05	266	6,93	<b>0,77</b>	0,07
17	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	271	6,99	<b>0,83</b>	0,00
18	316	7,58	<b>1,42</b>	0,02	264	6,90	<b>0,74</b>	0,09
19	320	7,63	<b>1,47</b>	0,03	274	7,03	<b>0,87</b>	0,04
20	322	7,65	<b>1,50</b>	0,06	272	7,00	<b>0,85</b>	0,01
21	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	274	7,03	<b>0,87</b>	0,04
22	314	7,55	<b>1,39</b>	0,05	272	7,00	<b>0,85</b>	0,01
23	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	267	6,94	<b>0,78</b>	0,05
24	320	7,63	<b>1,47</b>	0,03	264	6,90	<b>0,74</b>	0,09
25	316	7,58	<b>1,42</b>	0,02	271	6,99	<b>0,83</b>	0,00
26	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	280	7,11	<b>0,95</b>	0,11
27	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	270	6,98	<b>0,82</b>	0,02
28	317	7,59	<b>1,43</b>	0,01	274	7,03	<b>0,87</b>	0,04
29	317	7,59	<b>1,43</b>	0,01	275	7,04	<b>0,88</b>	0,05
30	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	273	7,02	<b>0,86</b>	0,02
31	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	273	7,02	<b>0,86</b>	0,02
32	321	7,64	<b>1,48</b>	0,04	270	6,98	<b>0,82</b>	0,02
33	315	7,56	<b>1,40</b>	0,04	267	6,94	<b>0,78</b>	0,05
34	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	278	7,08	<b>0,92</b>	0,09
35	313	7,54	<b>1,38</b>	0,06	272	7,00	<b>0,85</b>	0,01
36	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	265	6,91	<b>0,75</b>	0,08
37	320	7,63	<b>1,47</b>	0,03	276	7,06	<b>0,90</b>	0,06
38	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
39	314	7,55	<b>1,39</b>	0,05	276	7,06	<b>0,90</b>	0,06
40	320	7,63	<b>1,47</b>	0,03	265	6,91	<b>0,75</b>	0,08
41	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
42	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	270	6,98	<b>0,82</b>	0,02
43	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	271	6,99	<b>0,83</b>	0,00
44	317	7,59	<b>1,43</b>	0,01	272	7,00	<b>0,85</b>	0,01
45	318	7,60	<b>1,44</b>	0,00	273	7,02	<b>0,86</b>	0,02
46	319	7,62	<b>1,46</b>	0,02	271	6,99	<b>0,83</b>	0,00
47	312	7,52	<b>1,37</b>	0,07	268	6,95	<b>0,79</b>	0,04
48	315	7,56	<b>1,40</b>	0,04	281	7,12	<b>0,96</b>	0,13
49	316	7,58	<b>1,42</b>	0,02	279	7,10	<b>0,94</b>	0,10
<b>min=</b>	312	7,52	1,37	<b>min=</b>	264	6,90	0,74	
<b>Máx=</b>	322	7,65	1,50	<b>Máx=</b>	281	7,12	0,96	
<b>moda=</b>	318	7,60	1,44	<b>moda=</b>	268	6,95	0,79	
<b>média=</b>	317,7	7,60	<b>1,44</b>	<b>média=</b>	271,22	6,99	<b>0,83</b>	
			<b>desv med.=</b>	<b>0,016</b>				<b>0,027</b>

Cilindro de maior curso (1): banca 9								
Fim de curso inferior								
equação da recta de tendência: $y = 0,013x + 3,4689$								
Descida/Aproximação					Subida/desaproximação			
posição zero=		sensor	med.[mm]	Medida				
207		6,16						
medição	sensor	p. Abs.	p. Rel.[mm]	desv.[mm]	sensor	p. Abs. [mm]	p. Rel.[mm]	desvio[mm]
0	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
1	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
2	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	400	8,67	<b>2,51</b>	0,04
3	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	400	8,67	<b>2,51</b>	0,04
4	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
5	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
6	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
7	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
8	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
9	343	7,93	<b>1,77</b>	0,05	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
10	347	7,98	<b>1,82</b>	0,01	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
11	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
12	346	7,97	<b>1,81</b>	0,01	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
13	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
14	347	7,98	<b>1,82</b>	0,01	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
15	344	7,94	<b>1,78</b>	0,03	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
16	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
17	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
18	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
19	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
20	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
21	344	7,94	<b>1,78</b>	0,03	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
22	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
23	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
24	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
25	342	7,91	<b>1,76</b>	0,06	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
26	343	7,93	<b>1,77</b>	0,05	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
27	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
28	346	7,97	<b>1,81</b>	0,01	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
29	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
30	342	7,91	<b>1,76</b>	0,06	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
31	342	7,91	<b>1,76</b>	0,06	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
32	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	394	8,59	<b>2,43</b>	0,04
33	344	7,94	<b>1,78</b>	0,03	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
34	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
35	342	7,91	<b>1,76</b>	0,06	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
36	343	7,93	<b>1,77</b>	0,05	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
37	342	7,91	<b>1,76</b>	0,06	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
38	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
39	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
40	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	395	8,60	<b>2,44</b>	0,03
41	344	7,94	<b>1,78</b>	0,03	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
42	349	8,01	<b>1,85</b>	0,03	398	8,64	<b>2,48</b>	0,01
43	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
44	350	8,02	<b>1,86</b>	0,04	394	8,59	<b>2,43</b>	0,04
45	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
46	346	7,97	<b>1,81</b>	0,01	399	8,66	<b>2,50</b>	0,03
47	344	7,94	<b>1,78</b>	0,03	397	8,63	<b>2,47</b>	0,00
48	348	7,99	<b>1,83</b>	0,02	394	8,59	<b>2,43</b>	0,04
49	345	7,95	<b>1,79</b>	0,02	396	8,62	<b>2,46</b>	0,01
<b>min=</b>	342	7,91	1,76	<b>min=</b>	394	8,59	2,43	
<b>Máx=</b>	350	8,02	1,86	<b>Máx=</b>	400	8,67	2,51	
<b>moda=</b>	348	7,99	1,83	<b>moda=</b>	397	8,63	2,47	
<b>média=</b>	346,54	7,97	<b>1,81</b>	<b>média=</b>	397,00	8,63	<b>2,47</b>	
			<b>desv med.=</b>	<b>0,012</b>				<b>0,011</b>

Cilindro de menor curso (2): banca 9								
Fim de curso Superior								
equação da recta de tendência: $y = 0,013x + 3,4689$								
Descida/afastamento					Subida/aproximação			
posição zero=		sensor	med.[mm]	desv.[mm]	medida			
202		6,0949			sensor	p. Abs. [mm]	p. Rel.[mm]	desvio[mm]
medição	sensor	p. Abs.	p. Rel.[mm]	desv.[mm]	sensor	p. Abs. [mm]	p. Rel.[mm]	desvio[mm]
0	319	7,62	1,52	0,02	252	6,74	0,65	0,03
1	323	7,67	1,57	0,03	256	6,80	0,70	0,02
2	323	7,67	1,57	0,03	256	6,80	0,70	0,02
3	323	7,67	1,57	0,03	256	6,80	0,70	0,02
4	325	7,69	1,60	0,05	255	6,78	0,69	0,01
5	322	7,65	1,56	0,02	253	6,76	0,66	0,02
6	321	7,64	1,55	0,00	254	6,77	0,68	0,01
7	321	7,64	1,55	0,00	254	6,77	0,68	0,01
8	326	7,71	1,61	0,07	252	6,74	0,65	0,03
9	321	7,64	1,55	0,00	255	6,78	0,69	0,01
10	319	7,62	1,52	0,02	257	6,81	0,72	0,03
11	320	7,63	1,53	0,01	256	6,80	0,70	0,02
12	325	7,69	1,60	0,05	253	6,76	0,66	0,02
13	318	7,60	1,51	0,04	252	6,74	0,65	0,03
14	318	7,60	1,51	0,04	254	6,77	0,68	0,01
15	317	7,59	1,50	0,05	255	6,78	0,69	0,01
16	321	7,64	1,55	0,00	253	6,76	0,66	0,02
17	317	7,59	1,50	0,05	255	6,78	0,69	0,01
18	325	7,69	1,60	0,05	252	6,74	0,65	0,03
19	319	7,62	1,52	0,02	256	6,80	0,70	0,02
20	317	7,59	1,50	0,05	251	6,73	0,64	0,05
21	317	7,59	1,50	0,05	252	6,74	0,65	0,03
22	320	7,63	1,53	0,01	256	6,80	0,70	0,02
23	322	7,65	1,56	0,02	255	6,78	0,69	0,01
24	317	7,59	1,50	0,05	253	6,76	0,66	0,02
25	323	7,67	1,57	0,03	256	6,80	0,70	0,02
26	322	7,65	1,56	0,02	256	6,80	0,70	0,02
27	318	7,60	1,51	0,04	253	6,76	0,66	0,02
28	318	7,60	1,51	0,04	254	6,77	0,68	0,01
29	318	7,60	1,51	0,04	254	6,77	0,68	0,01
30	321	7,64	1,55	0,00	252	6,74	0,65	0,03
31	325	7,69	1,60	0,05	256	6,80	0,70	0,02
32	325	7,69	1,60	0,05	256	6,80	0,70	0,02
33	325	7,69	1,60	0,05	256	6,80	0,70	0,02
34	325	7,69	1,60	0,05	256	6,80	0,70	0,02
35	320	7,63	1,53	0,01	254	6,77	0,68	0,01
36	323	7,67	1,57	0,03	252	6,74	0,65	0,03
37	318	7,60	1,51	0,04	255	6,78	0,69	0,01
38	323	7,67	1,57	0,03	253	6,76	0,66	0,02
39	318	7,60	1,51	0,04	256	6,80	0,70	0,02
40	323	7,67	1,57	0,03	253	6,76	0,66	0,02
41	320	7,63	1,53	0,01	255	6,78	0,69	0,01
42	317	7,59	1,50	0,05	257	6,81	0,72	0,03
43	321	7,64	1,55	0,00	256	6,80	0,70	0,02
44	320	7,63	1,53	0,01	256	6,80	0,70	0,02
45	319	7,62	1,52	0,02	256	6,80	0,70	0,02
46	321	7,64	1,55	0,00	256	6,80	0,70	0,02
47	324	7,68	1,59	0,04	255	6,78	0,69	0,01
48	321	7,64	1,55	0,00	257	6,81	0,72	0,03
49	318	7,60	1,51	0,04	253	6,76	0,66	0,02
min=	317	7,59	1,50	min=	251	6,73	0,64	
Máx=	326	7,71	1,61	Máx=	257	6,81	0,72	
moda=	321	7,64	1,55	moda=	256	6,80	0,70	
média=	320,8	7,64	1,54	média=	255	6,78	0,68	
			desv med.=	0,016			desv med.=	0,007

Cilindro de menor curso (2): banca 9								
Fim de curso Inferior								
equação da recta de tendência: $y = 0,013x + 3,4689$								
Descida/ Aproximação					Subida / afastamento			
posição zero=		sensor	med.[mm]		medida			
		201	6,0819					
medição	sensor	p. Abs.	p. Rel.[mm]	desv.[mm]	sensor	p. Abs. [mm]	p. Rel.[mm]	desvio[mm]
0	337	7,85	1,77	0,02	392	8,56	2,48	0,02
1	335	7,82	1,74	0,01	396	8,62	2,54	0,03
2	332	7,78	1,70	0,05	396	8,62	2,54	0,03
3	333	7,80	1,72	0,03	393	8,58	2,50	0,00
4	333	7,80	1,72	0,03	392	8,56	2,48	0,02
5	337	7,85	1,77	0,02	396	8,62	2,54	0,03
6	334	7,81	1,73	0,02	392	8,56	2,48	0,02
7	339	7,88	1,79	0,04	394	8,59	2,51	0,01
8	337	7,85	1,77	0,02	396	8,62	2,54	0,03
9	334	7,81	1,73	0,02	393	8,58	2,50	0,00
10	332	7,78	1,70	0,05	395	8,60	2,52	0,02
11	337	7,85	1,77	0,02	392	8,56	2,48	0,02
12	338	7,86	1,78	0,03	392	8,56	2,48	0,02
13	337	7,85	1,77	0,02	394	8,59	2,51	0,01
14	337	7,85	1,77	0,02	395	8,60	2,52	0,02
15	339	7,88	1,79	0,04	394	8,59	2,51	0,01
16	338	7,86	1,78	0,03	390	8,54	2,46	0,04
17	337	7,85	1,77	0,02	392	8,56	2,48	0,02
18	337	7,85	1,77	0,02	393	8,58	2,50	0,00
19	334	7,81	1,73	0,02	395	8,60	2,52	0,02
20	339	7,88	1,79	0,04	393	8,58	2,50	0,00
21	332	7,78	1,70	0,05	393	8,58	2,50	0,00
22	332	7,78	1,70	0,05	393	8,58	2,50	0,00
23	331	7,77	1,69	0,06	395	8,60	2,52	0,02
24	338	7,86	1,78	0,03	391	8,55	2,47	0,03
25	334	7,81	1,73	0,02	395	8,60	2,52	0,02
26	339	7,88	1,79	0,04	393	8,58	2,50	0,00
27	332	7,78	1,70	0,05	392	8,56	2,48	0,02
28	334	7,81	1,73	0,02	392	8,56	2,48	0,02
29	335	7,82	1,74	0,01	391	8,55	2,47	0,03
30	333	7,80	1,72	0,03	394	8,59	2,51	0,01
31	332	7,78	1,70	0,05	395	8,60	2,52	0,02
32	338	7,86	1,78	0,03	392	8,56	2,48	0,02
33	333	7,80	1,72	0,03	396	8,62	2,54	0,03
34	337	7,85	1,77	0,02	394	8,59	2,51	0,01
35	340	7,89	1,81	0,06	393	8,58	2,50	0,00
36	331	7,77	1,69	0,06	393	8,58	2,50	0,00
37	338	7,86	1,78	0,03	396	8,62	2,54	0,03
38	339	7,88	1,79	0,04	390	8,54	2,46	0,04
39	334	7,81	1,73	0,02	393	8,58	2,50	0,00
40	332	7,78	1,70	0,05	396	8,62	2,54	0,03
41	339	7,88	1,79	0,04	391	8,55	2,47	0,03
42	334	7,81	1,73	0,02	390	8,54	2,46	0,04
43	337	7,85	1,77	0,02	395	8,60	2,52	0,02
44	340	7,89	1,81	0,06	393	8,58	2,50	0,00
45	339	7,88	1,79	0,04	394	8,59	2,51	0,01
46	339	7,88	1,79	0,04	396	8,62	2,54	0,03
47	339	7,88	1,79	0,04	390	8,54	2,46	0,04
48	335	7,82	1,74	0,01	393	8,58	2,50	0,00
49	332	7,78	1,70	0,05	395	8,60	2,52	0,02
min=	331	7,77	1,69	min=	390	8,54	2,46	
Máx=	340	7,89	1,81	Máx=	396	8,62	2,54	
moda=	337	7,85	1,77	moda=	393	8,58	2,50	
média=	335,7	7,83	1,75	média=	393,4	8,58	2,50	
			desv med.=	0,013			desv med.=	0,010

## **ANEXO D – Grafcet's de Programação**





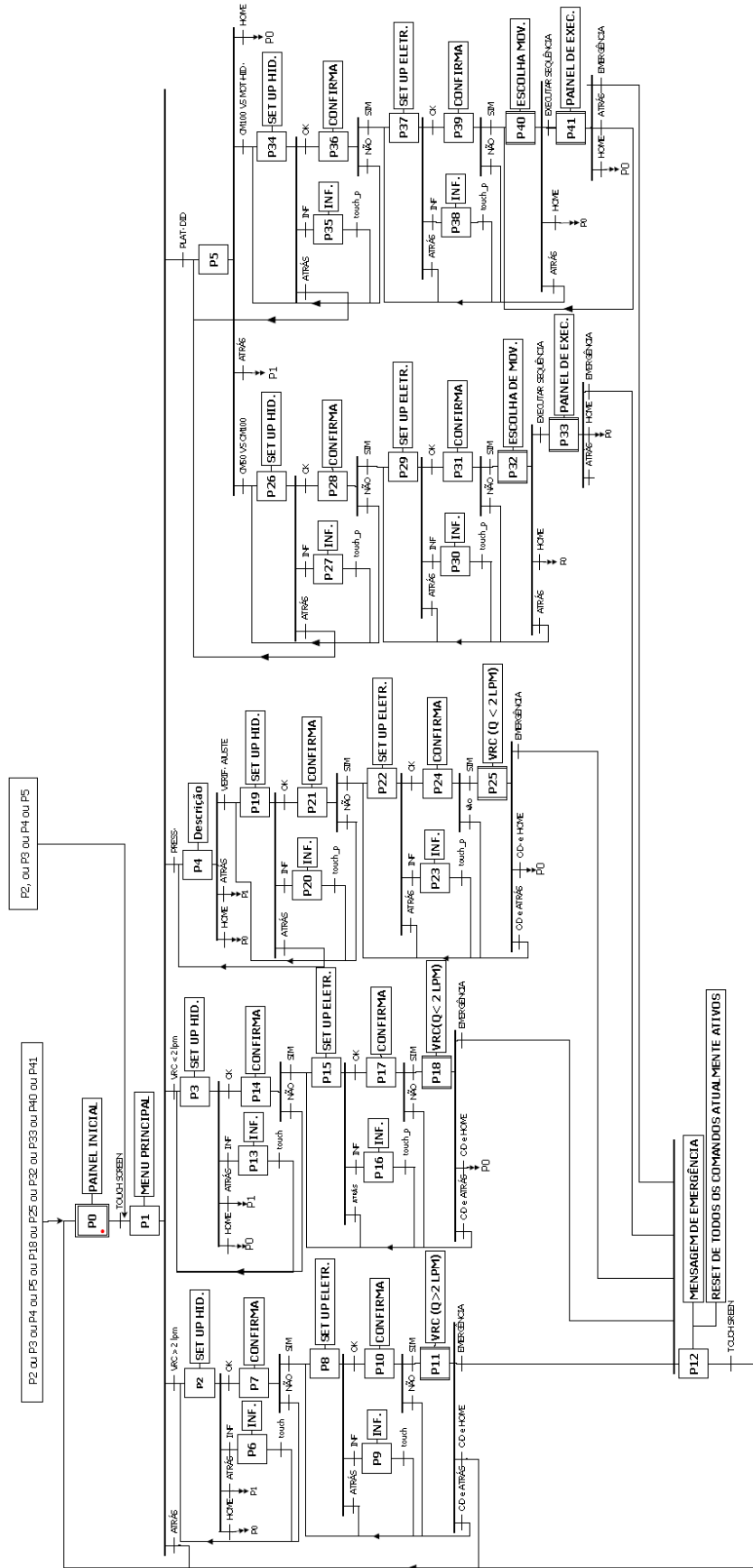


Figura B 17 – grafcet correspondente à programação da HMI

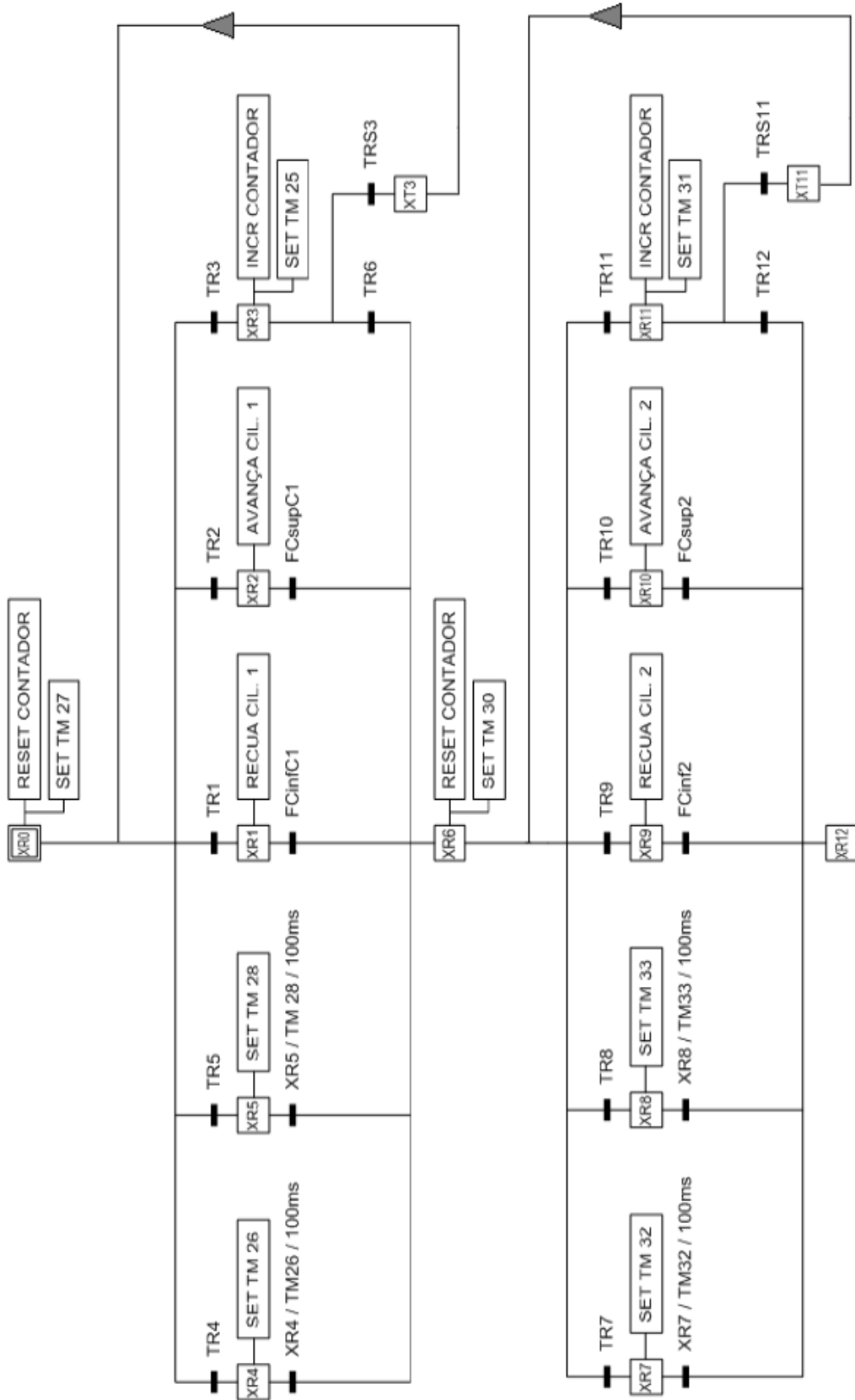


Figura B 18 – Grafcet correspondente ao posicionamento / reposicionamento dos cilindros.

Tabela B 3 – Tabela correspondente às transições do *grafcet* ilustrado na figura B.19.

	Sigla	Descrição
Transições referentes ao posicionamento e reposicionamento dos cilindros hidráulicos	TR1	XR0 / TM27 / 100ms e A1 e $\overline{FCinfC1}$
	TR2	XR0 / TM27 / 100ms e A2 e $\overline{FCsupC1}$
	TR3	(XR0 / TM27 / 100ms e $\overline{A1}$ e $\overline{A2}$ ) ou ( $\overline{A1}$ e $\overline{A2}$ e XTR3)
	TR4	XR0 / TM27 / 100ms e A1 e $FCinfC1$
	TR5	XR0 / TM27 / 100ms e A2 e $FCsupC1$
	TRS3	XR3 / TM25 / 100ms e Contador $\neq$ preset
	TR6	XR3 / TM25 / 100ms e Contador $=$ preset
	TR7	XR6 / TM30 / 100ms e A3 e $FCinfC2$
	TR8	XR6 / TM30 / 100ms e A4 e $FCsupC2$
	TR9	XR6 / TM30 / 100ms e A3 e $\overline{FCinfC2}$
	TR10	XR6 / TM30 / 100ms e A4 e $\overline{FCsupC2}$
	TR11	(XR6 / TM30 / 100ms e $\overline{A1}$ e $\overline{A2}$ ) ou ( $\overline{A1}$ e $\overline{A2}$ e XTR11)
	TRS11	XR11 / TM31 / 100ms e Contador $\neq$ preset
TR12	XR11 / TM31 / 100ms e Contador $=$ preset	