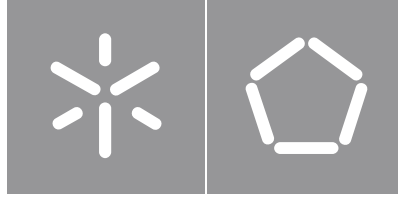




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Miguel de Sousa Caldas

**Automação de um Sistema de
Desenrolamento e Enrolamento de
Fio Têxtil**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Pedro Miguel de Sousa Caldas

**Automação de um Sistema de
Desenrolamento e Enrolamento
de Fio Têxtil**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Sistemas Mecatrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Mendes Machado

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os intervenientes que de diversas formas contribuíram para a chegada a esta etapa e para sua concretização.

Ao meu companheiro de projeto Filipe Sousa, por todo o apoio, dicas, aprendizagens e momentos de lazer, que contribuíram de forma fulcral para a realização deste trabalho.

Ao professor Filipe Pereira, pela disponibilidade e apoio total durante o projeto, por ter facultado todos os materiais necessários à sua concretização, e por todos os conhecimentos transmitidos.

Ao professor José Machado, pelas sábias sugestões, e por ter acreditado no sucesso deste projeto desde o primeiro momento.

Aos meus pais e avós por todo o apoio económico e, sobretudo, emocional ao longo desta jornada académica.

Ao Ricardo por todo o apoio, aprendizagens, gargalhadas e momentos inesquecíveis que tornaram esta viagem única e irrepetível.

Ao Manuel, pelo apoio incondicional ao longo de todo o percurso académico, desde as maratonas de estudo às aventuras mais inesperadas.

E por fim, a todos os outros companheiros que sempre me apoiaram e encheram estes cinco anos de momentos ímpares, em especial ao Carlos, João, José, Inês, Mariana, Rita, André e Sofia.

O meu mais sincero e sentido obrigado!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

O trabalho apresentado neste documento, consiste na automatização de um equipamento mecânico de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, que permite a passagem do mesmo sem oscilações pela frente da lente de uma câmara com luminosidade controlada. Este dispositivo, será para aplicação numa máquina de análise da qualidade de fio têxtil por processamento de imagem. Este visa suprir a demanda da indústria do setor têxtil português, por um dispositivo para aferir a qualidade do fio têxtil com custo e massa reduzida e, simultaneamente, aplicar os conhecimentos desenvolvidos nos últimos anos, no respeitante à aplicação do processamento de imagem a esta área específica da qualidade.

O projeto desenvolvido seguindo as orientações da norma VDI 2206, permitiu obter um comando executado por um PLC, que permite o controlo exato da movimentação do fio têxtil, em todas as etapas que compreendem a execução de um teste de qualidade ao mesmo garantindo, simultaneamente, a segurança do utilizador e do equipamento em todos os estados do seu funcionamento. As características descritas tratam-se, exatamente, dos objetivos primários deste sistema de automação.

Além disto, desenvolveu-se ainda um robusto sistema SCADA, que permite ao utilizador através de HMI's, controlar, monitorizar e guardar os dados do processo e do funcionamento do sistema, de forma simples e intuitiva. Tratando-se estes de outros objetivos primários estipulados.

Assim, tendo em conta o que foi apresentado, o *feedback* dos utilizadores e os resultados dos testes formais executados ao sistema implementado, concluiu-se que o mesmo está conforme os objetivos definidos, salvaguardando as necessidades atuais de automatização do protótipo, dando um forte contributo a este projeto de inovação.

Palavras chave: automação, fio têxtil, PLC, SCADA, VDI 2206.

ABSTRACT

The work presented in this document consists of the automation of a mechanical equipment for unwinding and winding textile yarn, which allows yarn to pass without oscillations in front of a camera lens with controlled light. This device will be for application in an image processing textile yarn quality analyzing machine. This aims to meet the demand of the portuguese textile industry, for a device to measure the quality of textile yarn with reduced cost and mass and, simultaneously, apply the knowledge developed in recent years, regarding the application of image processing to this area.

The project was developed following the guidelines of the VDI 2206 directive, and it was obtained a command executed by a PLC, which allows the exact control of the textile yarn movement, in all stages that include the execution of a quality test, guaranteeing, simultaneously, the safety of the user and the equipment in all its operating states. These characteristics are precisely the primary objectives of this automation system.

In addition, a robust SCADA system was also developed, which allows the user, through HMI's, to control, monitor, and save process and system operation data, simply and intuitively. These are other primary objectives stipulated.

Thus, considering what was presented, the feedback from users, and the results of the formal tests performed on the entire system, it was concluded that it complies with the defined objectives, ensuring the current prototype automation needs, giving a strong contribution to this innovation project.

Key words: automation, PLC, SCADA, textile yarn, VDI 2206.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xiii
Índice de Equações.....	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização da Dissertação.....	3
2. Estado da Arte e Conceitos Fundamentais.....	4
2.1 Fio Têxtil.....	5
2.1.1 Caraterísticas.....	6
2.1.2 Desenrolamento.....	11
2.1.3 Enrolamento.....	13
2.1.4 Controlo de Tensão.....	18
2.2 Metodologia – Norma VDI 2206.....	25
3. Equipamento a Automatizar e Requisitos.....	28
3.1 Equipamento a Automatizar.....	29
3.1.1 Finalidade e Princípios Básicos de Funcionamento.....	29
3.1.2 Subsistemas e Componentes.....	30
3.1.3 Funcionamento Pretendido.....	32
3.1.4 Considerações Gerais sobre Segurança.....	32
3.2 Requisitos.....	33
4. Seleção de Componentes.....	35

4.1	Circuito de Potência	36
4.1.1	Servomecanismo	36
4.1.2	Fonte de Alimentação	43
4.2	Circuito de Comando.....	44
4.2.1	Controlador Industrial	44
4.2.2	Sensores de Fio.....	50
4.2.3	Relés.....	52
4.2.4	Sensor da Tampa de Segurança	53
4.2.5	Sistema SCADA	55
4.3	Ligação entre Componentes Físicos do Sistema.....	61
5.	Desenvolvimento do Programa de Comando do Sistema de Desenrolamento, Condução e Enrolamento de Fio Têxtil	63
5.1	Descrição Comportamental do Funcionamento da Máquina	64
5.1.1	Variáveis de Entrada, Saída e Internas	64
5.1.2	Especificação do Comando.....	65
5.2	Programa Desenvolvido e Metodologia Aplicada.....	80
5.2.1	Programa Principal	81
5.2.2	Funções Auxiliares.....	82
5.3	Sistema SCADA.....	86
5.3.1	<i>Interface</i> HMI - Máquina	86
5.3.2	<i>Interface</i> HMI, Recolha, Tratamento e Armazenamento de Dados - Computador Local	88
5.4	Implementação e Testes	92
6.	Considerações Finais	95
6.1	Conclusões	96
6.2	Trabalhos Futuros	97
	Referências Bibliográficas	98
	Apêndice A – Ligações Elétricas do Sistema.....	101
	Apêndice B – Variáveis de Entrada do Sistema de Automação.....	106

Apêndice C – Variáveis de Saída do Sistema de Automação	111
Apêndice D – Variáveis Internas do Sistema de Automação	113
Apêndice E – Especificação do Comando do Sistema Completo	116
Apêndice F – Especificação do Comando do Sistema Implementado	127
Apêndice G – Lista das Funções Auxiliares do Programa	132
Apêndice H – Ecrãs Predefinidos para HMI Instalado no Corpo da Máquina	137
Apêndice I – <i>Interface</i> HMI – Computador Local	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação dos sentidos de torção de um fio têxtil.	8
Figura 2.2 - Diagrama tensão - deformação tipo de um fio têxtil.	9
Figura 2.3 - Notação para a especificação do fio têxtil - sistema direto de densidade linear.	10
Figura 2.4 - Notação para a especificação do fio têxtil - sistema indireto métrico de densidade linear.	10
Figura 2.5 - Notação para a especificação do fio têxtil – sistema indireto inglês de densidade linear... ..	11
Figura 2.6 - Representação do desenrolamento por cima de uma embalagem cilíndrica e cônica.	11
Figura 2.7 - Representação do desenrolamento pelo lado de uma embalagem cilíndrica.	12
Figura 2.8 - Representação do fenómeno do balão de fio.	12
Figura 2.9 - Representação do ângulo de enrolamento (ϕ).	14
Figura 2.10 - Enrolamento cruzado em bobines cilíndricas e cónicas.	14
Figura 2.11 - Embalagem com o fenómeno de <i>patterning</i> evidente.	15
Figura 2.12 - Princípio de funcionamento do enrolamento de precisão por passos.	16
Figura 2.13 - Medidor de tensão mecânico.	19
Figura 2.14 - Medidores de tensão eletrónicos/eletromecânicos.	19
Figura 2.15 - Métodos para aplicação de tensão num fio têxtil.	20
Figura 2.16 - Representação dos tipos de tensores.	21
Figura 2.17 - Representação do sistema de controlo de tensão por ajuste automático da altura da guia de fio no desenrolamento por cima.	22
Figura 2.18 - Representação do sistema de controlo de tensão por alimentação positiva de fio.	23
Figura 2.19 - Representação e apresentação de máquina com ajuste automático de tensão por sistema de alimentação positiva de fio para desenrolamento pelo lado.	24
Figura 2.20 - Modelo em V para o projeto de um Sistema Mecatrónico – VDI 2206.	25
Figura 3.1 - Representação CAD do sistema de desenrolamento, condução e enrolamento de fio têxtil a automatizar, sem a tampa frontal.	29
Figura 3.2 – Modelação CAD do sistema de desenrolamento, condução e enrolamento de fio têxtil a automatizar, evidenciando a cadeia cinemática do mesmo.	31
Figura 4.1 – Esquema de ilustrativo do funcionamento de um servomecanismo.	36
Figura 4.2 - Ilustração da estrutura de um <i>encoder</i>	37
Figura 4.3 - Elementos da saída de pulsos de um <i>encoder</i>	38

Figura 4.4 - Tipologia dos sinais de saída de pulsos de um <i>encoder</i> .	38
Figura 4.5 - Ilustração de um servomecanismo comandado por pulsos.	39
Figura 4.6 - <i>Driver OMRON R7D-BP02HH</i> .	41
Figura 4.7 -- Servomotor e <i>encoder OMRON R88M-G20030H-S2</i> .	41
Figura 4.8 - Fonte de alimentação <i>Weidmüller PRO ECO 72W 24V 3A</i> .	44
Figura 4.9 - Esquema da estrutura de um PLC.	45
Figura 4.10 - PLC <i>OMRON CP2E-N30DT1-D</i> .	48
Figura 4.11 - Representação dos componentes associados aos sensores de fio do alimentador positivo MPF P.	51
Figura 4.12 - Circuito elétrico associado aos sensores de fio do alimentador positivo.	51
Figura 4.13 - Representação da opção de bloqueio mecânico dos sensores de fio [a) – sensor de entrada / b) – sensor de saída].	52
Figura 4.14 - Relé mecânico <i>Weidmüller TRZ 24VDC 1CO</i> .	53
Figura 4.15 - Integração do sensor <i>OMRON D4N-9132</i> na modelação CAD do equipamento.	54
Figura 4.16 - Representação de um sistema SCADA.	55
Figura 4.17 - HMI <i>OMRON NS5-SQ10-V2</i> .	56
Figura 4.18 - Esquematização do funcionamento conjunto do <i>LabVIEW / NI OPC Servers</i> para comunicação com um PLC.	59
Figura 4.19 - Ligação entre os componentes físicos do sistema.	61
Figura 5.1 – Fluxograma da coordenação dos modos de funcionamento do sistema.	67
Figura 5.2 – Fluxograma do modo de preparação do teste.	70
Figura 5.3 – Fluxograma do modo de teste (parte 1).	72
Figura 5.4 - Fluxograma do modo de teste (parte 2).	73
Figura 5.5 – Fluxograma do modo de término do teste.	75
Figura 5.6 - Fluxograma do modo de paragem (parte 1).	76
Figura 5.7 – Fluxograma do modo de paragem (parte 2).	77
Figura 5.8 – Fluxograma do modo manual.	79
Figura 5.9 - Esquematização do processo de tradução de Grafcet para <i>Ladder Diagram</i> .	81
Figura 5.10 – Representação em CAD do equipamento evidenciando o HMI nele instalado.	86
Figura 5.11 - Ecrã correspondente ao menu principal.	87
Figura 5.12 - Ecrã correspondente à paragem por emergência.	87

Figura 5.13 – Ecrãs correspondentes ao teste “quantidade de fio e velocidade” (a); e ao teste “tempo e velocidade” (b).	87
Figura 5.14 - Ecrã correspondente ao modo manual.	88
Figura 5.15 - Documento <i>excel</i> / resultante da exportação dos dados relativos a um teste definido por quantidade de fio e velocidade.	88
Figura 5.16 - Documento <i>excel</i> / resultante da exportação dos dados relativos a um teste definido por tempo de movimentação e velocidade do fio.	89
Figura 5.17 - Documento <i>excel</i> / resultante da exportação dos dados relativos a paragens devidas a anomalias no sistema.	89
Figura 5.18 – <i>E-mails</i> de notificação de anomalia no sistema.	90
Figura 5.19 – <i>E-mails</i> de notificação de término de testes “longos”	90
Figura 5.20 - Sistema de automação implementado.	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Constantes associadas aos sistemas diretos e indiretos.	7
Tabela 2.2 – Espessura qualitativa de um fio segundo o valor da sua densidade linear (sistema direto e indireto).	7
Tabela 2.3 - Valores tipo para a tensão e alongamento de rotura de fio têxtil.	10
Tabela 2.4 – Soluções tecnológicas para o sistema de movimentação da embalagem.	17
Tabela 2.5 - Soluções tecnológicas para o sistema de travessia de fio.	17
Tabela 2.6 - Conjuntos de soluções tecnológicas tipo para cada tipo de enrolamento.	18
Tabela 3.1 - Clarificação dos requisitos do projeto.	33
Tabela 4.1 - Tipos de comando por pulsos.	40
Tabela 4.2 - Propriedades relevantes dos elementos do servomecanismo selecionado.	41
Tabela 4.3 - Propriedades relevantes da fonte de alimentação selecionada.	44
Tabela 4.4 - Tipos de entrada de um PLC e as suas vantagens e desvantagens.	46
Tabela 4.5 - Propriedades relevantes do PLC <i>OMRON</i> CP2E-N30DT1-D.	49
Tabela 4.6 - Propriedades elétricas do circuito associado aos sensores de fio do alimentador positivo.	52
Tabela 4.7 – Propriedades relevantes dos relés selecionados.	53
Tabela 4.8 - Propriedades relevantes do sensor da tampa de segurança selecionado.	54
Tabela 4.9 - Propriedades relevantes do HMI <i>OMRON</i> NS5-SQ10-V2.	57
Tabela 5.1 – Falhas consideradas nos diversos modos e estados de funcionamento do sistema.	66
Tabela 5.2 – Blocos de função utilizados no controlo e monitorização da movimentação do servomotor.	82

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(2.1) - Expressão para a determinação da densidade linear pelo sistema direto.	6
(2.2) - Expressão para a determinação da densidade linear pelo sistema indireto.....	6
(2.3) - Expressão para a terminaçãodo <i>twist multiplier</i>	8
(2.4) – Expressão para o cálculo do coeficiente de torção.....	8
(2.5) – Expressão para o cálculo da tensão à saída de um tensor aditivo.	20
(2.6) – Expressão para o cálculo da tensão à saída de um tensor multiplicativo.	21
(4.1) - Expressão para a determinação da resolução de um <i>encoder</i>	39
(5.1) - Expressão para o cálculo do número de pulsos de comando do servomotor a partir da quantidade de fio a analisar definida pelo utilizador.....	84
(5.2) - Expressão para o cálculo da frequência de pulsos de comando do servomotor a partir da velocidade do fio a analisar definida pelo utilizador.....	84
(5.3) - Expressão para o cálculo da velocidade do fio a partir da frequência de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	85
(5.4) - Expressão para o cálculo da quantidade de fio analisada a partir do número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	85
(5.5) - Expressão para o cálculo do tempo de aceleração e permanência à velocidade máxima definida.	85

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACK	<i>Acknowledgement</i>
CA	Corrente Alternada
CAD	<i>Computer-aided Design</i>
CC	Corrente Continua
CCW	<i>Counterclockwise</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
CW	<i>Clockwise</i>
FINS	<i>Factory Interface Network Service</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
NI	<i>National Instruments</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é descrito o enquadramento, a motivação e os objetivos do projeto, assim como, a organização deste documento.

O projeto apresentado neste documento surge no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, e consiste no projeto e implementação de um sistema de automação para um equipamento de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, para análise da qualidade do mesmo por processamento de imagem.

1.1 Enquadramento e Motivação

O controlo de qualidade de fio têxtil apresenta uma importância central no controlo dos processos de obtenção de produtos têxteis. No mercado existem equipamentos que aferem a qualidade do fio têxtil, que têm por base sensores de diversos tipos destacando-se os produtos da empresa *USTER*, nomeadamente os seus últimos modelos *USTER Tester 5* e *6* [1][2]. Estes equipamentos caracterizam-se pela sua elevada massa e custo, e por permitirem analisar somente alguns parâmetros de qualidade do fio.

Nos últimos anos tem sido desenvolvido trabalho de investigação no sentido da recolha de mais parâmetros de qualidade do fio têxtil, com recurso ao processamento de imagem [2][3]. Assim, existe de momento a necessidade de concretizar os referidos avanços tecnológicos num protótipo físico, de forma a colmatar a necessidade existente na indústria. Este protótipo deve de ser um sistema simples, portátil e de custo reduzido, que permita a recolha de diversos parâmetros da qualidade de fio têxtil por processamento de imagem de forma automática.

Desta forma, foi proposto o desenvolvimento de um sistema automático de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, que permita a passagem do mesmo a elevada velocidade, sem oscilações e com luminosidade controlada na frente de uma câmara [4].

O projeto do sistema mecânico de desenrolamento e enrolamento de fio foi desenvolvido no âmbito da dissertação referenciada em [5], e a automatização deste sistema foi elaborada na presente dissertação.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo geral, a automatização de um sistema mecânico de desenrolamento e enrolamento de fio têxtil, para a aplicação num protótipo de análise da qualidade de fio têxtil por processamento de imagem. O sistema de automação deverá obedecer aos objetivos seguintes:

- Controlar a quantidade e velocidade do fio analisado de forma exata;
- Automatizar as operações de preparação e término dos testes;
- Permitir a monitorização e armazenamento dos dados dos testes e de funcionamento do sistema;
- Permitir interação local com o utilizador;
- Permitir uma utilização simples, intuitiva, rápida e agradável;
- Garantir a segurança do utilizador e do sistema;
- Ser flexível a alterações no sistema mecânico (comportando alterações futuras no protótipo);
- Ser um sistema compacto e portátil;
- Ser um sistema fiável.

1.3 Organização da Dissertação

O presente documento, apresenta de forma simples e organizada o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação, estando organizado conforme o indicado de seguida.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução ao tema, em que se expõe o enquadramento e a motivação deste trabalho, assim como, os objetivos iniciais para o mesmo.

No capítulo seguinte, é apresentado o estado da arte das temáticas necessárias para a realização do projeto.

No terceiro capítulo, é feito o levantamento das informações relevantes relativas ao sistema a automatizar, e são detalhados os requisitos que regem o projeto.

O quarto capítulo marca o início do projeto de detalhe, exibindo a abordagem teórico-prática adotada para a seleção e ligação dos componentes físicos, que constituem o sistema de automação.

De seguida, no quinto capítulo, é detalhado o comando desenvolvido para o controlador, é apresentado o sistema SCADA obtido e, por fim, são expostos os aspetos relevantes da implementação e testes ao sistema.

O documento termina, com a apresentação das considerações finais relativas ao projeto desenvolvido, e a sugestão das tarefas a realizar em futuros desenvolvimentos do mesmo.

2. ESTADO DA ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo é apresentado o estado da arte e os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do projeto. Estes incluem informações associadas às características do fio têxtil, elemento processado pelo sistema a automatizar. Também, aqui são expostos os dispositivos e conceitos associados aos subsistemas e funções do sistema alvo da automatização. Por último, são abordados os aspetos da norma VDI 2206 aplicáveis a este projeto de automação, imprescindíveis para a sua estruturação.

2.1 Fio Têxtil

O fio têxtil trata-se de um conjunto linear de fibras ou filamentos que formam um fio contínuo. Estas fibras ou filamentos poderão ser naturais ou sintéticas. As naturais poderão ser animais (ex: seda e lã), vegetais (ex: algodão e juta), minerais (ex: amianto). As artificiais poderão advir de polímeros naturais (ex: borracha natural) ou polímeros sintéticos (ex: poliuretano e nylon).

Este tipo de fio distingue-se dos restantes pela sua elevada tensão de cedência, flexibilidade, aspeto visual, textura e a obtenção por via de equipamento têxtil convencional. Este poderá ser de diversos tipos tendo em conta a sua obtenção, constituição, estrutura, propriedades e aplicação¹.

1. **Staple ou spun yarns** – fios constituídos por fibras curtas com um elevado nível de torção ou emaranhamento. Sendo exemplos, a lã penteada e o algodão cardado;
2. **Continuous filament yarns** - fios constituídos por um ou vários filamentos contínuos que poderão ou não possuir torção. Sendo exemplos, a seda (natural) e o poliéster (sintético);
3. **Novelty yarns** – fios que possuem uma aplicação decorativa e não funcional, como por exemplo, em tapeçaria. Os padrões decorativos obtêm-se por combinação de fios e frequências de torção;
4. **Special end-use yarns** – fios que possuem uma utilização puramente funcional, sendo desenhados para possuírem um determinado desempenho sob condições específicas. Sendo exemplos, o fio de pneu e o fio de borracha;
5. **High-bulk yarns** – fios que apresentam um volume acentuando em relação aos restantes tipos, sendo que este volume se mantém quer o fio esteja em carga ou não. Sendo exemplo, o fio taslan;
6. **Stretch yarns** – fios que se caracterizam por uma elevada extensibilidade e elasticidade podendo atingir uma extensão até quatro vezes o tamanho original, retornando à posição inicial. Sendo exemplo, o fio helanca e o fio ban-lon.

Os diversos fios individuais podem ser combinados em um único fio e este, por sua vez, pode ser combinado com fios semelhantes para obtenção de um novo fio [6].

¹ As designações dos diversos tipos de fio são apresentadas em língua inglesa, dado que, é esta a língua que, geralmente, se utiliza para descrever as diversas variantes de fio.

2.1.1 Caraterísticas

As caraterísticas do fio têxtil definem o seu comportamento durante o processamento. Assim, apresentam-se de seguida algumas das propriedades mecânicas e físicas, assim como, as especificações dos mesmos [7].

2.1.1.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas consideradas mais relevantes para o projeto tratam-se da densidade linear, torção e irregularidade, sendo estas abordadas de seguida.

Densidade Linear

A densidade linear de um fio é o termo científico que é comumente designado como tamanho, número, título do fio, *yarn count*, *yarn fineness*. Esta é definida pela massa ou peso por unidade de comprimento de um material. Esta pode ser expressa por massa por unidade de comprimento (sistema direto), ou comprimento por unidade de massa (sistema indireto) [6][7].

A equação (2.1) e (2.2) apresentam, respetivamente, as expressões gerais para o cálculo da densidade linear pelo método direto e indireto [7].

$$N = \frac{w \times l}{L} \quad (2.1)$$

N – densidade linear do fio; / **w** – massa da amostra; / **l** – unidade de comprimento do sistema; / **L** - comprimento da amostra.

$$N = \frac{L \times \omega}{l \times w} \quad (2.2)$$

ω – unidade de massa do sistema.

Os sistemas diretos mais relevantes são o *Tex* e o *Denier*, sendo o *Tex* a unidade recomendada pela *International Organization for Standardization* (ISO). O sistema inglês e o sistema métrico são os sistemas indiretos de maior relevância. A Tabela 2.1 apresenta os valores das unidades para os sistemas diretos e indiretos referidos [7][8].

Tabela 2.1 – Constantes associadas aos sistemas diretos e indiretos.

	Sistema	Unidade de Massa	Unidade de Comprimento
Sistemas Diretos	<i>Tex</i>	grama	1000 metro
	<i>Denier</i> (Den)	grama	9000 metro
Sistemas Indiretos	Métrico (Nm)	quilograma	1000 metro
	Inglês (Ne)	libra	840 jarda

A análise do valor da densidade linear, permite depreender uma avaliação qualitativa do grau de espessura do fio em análise. Na Tabela 2.2 expõe-se a avaliação qualitativa da espessura dos fios tendo em conta o seu valor de densidade linear no sistema direto e indireto [9].

Tabela 2.2 – Espessura qualitativa de um fio segundo o valor da sua densidade linear (sistema direto e indireto).

Espessura Qualitativa	Densidade Linear (sistema direto)	Densidade Linear (sistema indireto)
Espessura Elevada	Maior do que 30 Tex	Menor que 20 Ne
Espessura Intermédia	De 8 Tex a 30 Tex	De 20 Ne a 36 Ne
Espessura Reduzida	Menor do que 8 Tex	Maior que 36 Ne

A densidade linear pelo que representa, possui uma elevada influência na resistência do fio, e como tal, deve ser um fator a ter em conta nas máquinas utilizadas no processamento do mesmo, nomeadamente na afinação de tensões [7].

Torção

A torção de um fio consiste no número de voltas por unidade de comprimento que o caracteriza. Esta é obtida pela rotação relativa das suas extremidades, podendo ser do tipo S ou Z. O tipo S caracteriza-se pelo facto de a inclinação das fibras em relação ao eixo do fio na vertical, coincidir com a parte central da letra “S”, isto é, inclinação para a esquerda. No tipo Z a inclinação, coincide com a da parte central desta letra, isto é, para a direita, tal como representado na Figura 2.1 [7][9].



Figura 2.1 - Representação dos sentidos de torção de um fio têxtil.

O número de voltas por unidade de comprimento poderá ser apresentado em três unidades distintas, em voltas por poadada (TPI), em voltas por metro (TPM) ou em *twist multiplier* (TM), sendo que o último é obtido pela expressão (2.3) [6][9].

$$Twist\ multiplier\ (TM) = \frac{\text{voltas por unidade de comprimento (TPI)}}{\sqrt{\text{densidade linear (Ne)}}} \quad (2.3)$$

Esta propriedade tem influência e é modificada pelos processos de desenrolamento, condução e enrolamento de fio, sendo por isso um parâmetro a ter em conta no seu desenvolvimento [10].

A torção poderá ser traduzida numericamente pelo coeficiente de torção, que é obtido pela expressão (2.4), sendo este dependente da torção efetiva do fio e da sua densidade linear [7].

$$\text{Coef. torção} = \text{voltas por un. de comp. (TPM)} \times \sqrt{\text{densidade linear (tex)}} \quad (2.4)$$

Irregularidade

A irregularidade de um fio têxtil é medida pela variação do seu peso por unidade de comprimento, e pelo número médio de fibras da sua secção. Esta é definida pelas propriedades das matérias primas e pelas características do processo utilizado para a obtenção do fio.

A distribuição das propriedades físicas ao longo dos fios, está relacionada com a irregularidade dos mesmos. Consequentemente, esta propriedade está também associada à probabilidade de quebra do fio durante o seu processamento, sendo esta tanto maior quanto maior for a irregularidade, já que, a esta está associada uma maior prevalência de regiões de menor espessura, e por isso, mais frágeis [7].

2.1.1.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas consideradas relevantes no contexto deste documento são a elasticidade e o comportamento à tração.

Elasticidade

A deformação do fio têxtil, quando carregado no sentido do próprio eixo, poderá ser de três tipos, elástica (total e instantaneamente recuperável após a retirada da carga), viscoelástica ou fluência (recuperável determinado período de tempo após a retirada da carga), ou deformação plástica (deformação não recuperável após retirada da carga).

O fio não deverá estar sujeito a deformações plásticas durante o seu processamento, já que, ultrapassando este o limite elástico perde resistência, sendo mais provável a sua quebra. Tal facto, demonstra a dependência das propriedades do fio das propriedades elásticas das fibras que o constituem [7].

Comportamento à Tração

Um fio carregado à tração apresenta um alongamento que varia em função da intensidade da carga que lhe é aplicada, caracterizando-se por um diagrama tensão-deformação (Figura 2.2). Neste gráfico, a secção da esquerda correspondendo ao início do carregamento, demonstra um comportamento elástico (gráfico retilíneo), concordante com a Lei de Hooke. No momento em que ocorre a cedência, o comportamento do fio passa a ser plástico (gráfico curvilíneo) mantendo-se com estas características até à sua rotura.

A tensão por definição obtém-se pela razão entre a carga e a área de secção sobre a qual esta aplicada. No entanto, para o caso do fio têxtil como, geralmente, a área de secção é variável e de complexa medição, esta poderá ser substituída pela densidade linear (tensão massa) [7].

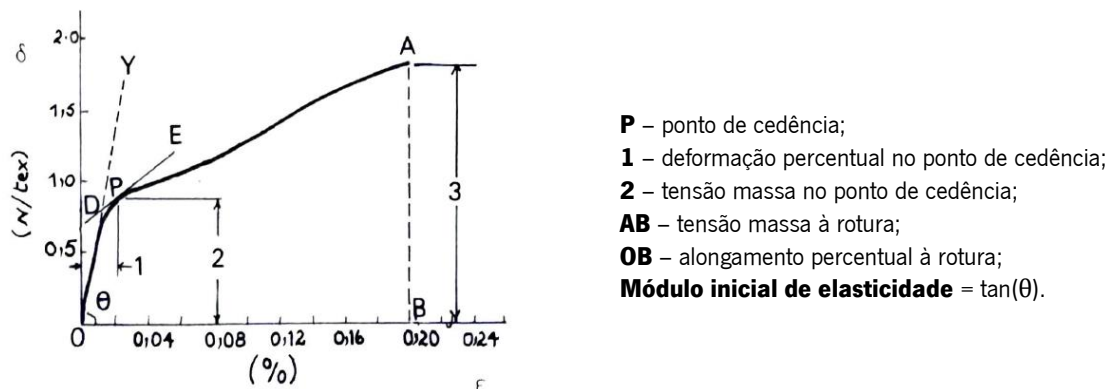


Figura 2.2 - Diagrama tensão - deformação tipo de um fio têxtil.

Na Tabela 2.3 é possível visualizar valores tipo para a tensão e alongamento de rotura de dois fios têxteis [7].

Tabela 2.3 - Valores tipo para a tensão e alongamento de rotura de fio têxtil.

Constituição	Tensão de Rotura (gf/tex)	Alongamento de Rotura (%)
Algodão	20 - 25	7 - 10
Poliéster (filamento contínuo texturizado)	40 - 50	15 - 25

2.1.1.3 Especificações

A completa especificação de um fio têxtil deve conter, como base, os dados relativos à sua estrutura e propriedades físicas, assim como, a identificação das fibras que o constituem e as suas respetivas propriedades físicas. De acordo com o tipo de fio, e a sua aplicação poderão ser necessárias informações adicionais [6].

As especificações relativas à estrutura e propriedades físicas do fio poderão ser apresentadas segundo a notação retratada nas figuras que se seguem (Figura 2.3, Figura 2.4 e Figura 2.5), consoante o sistema de densidade linear e de unidades [9].

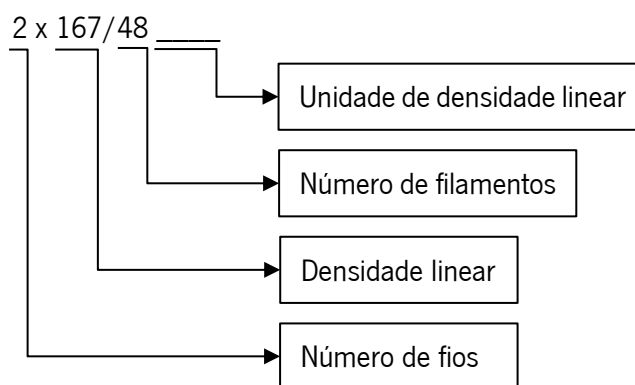


Figura 2.3 - Notação para a especificação do fio têxtil - sistema direto de densidade linear.

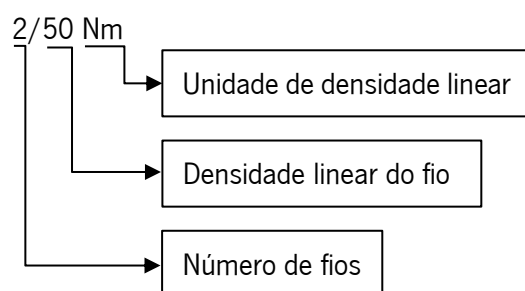


Figura 2.4 - Notação para a especificação do fio têxtil - sistema indireto métrico de densidade linear.

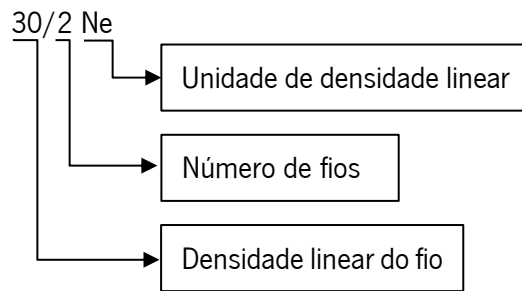


Figura 2.5 - Notação para a especificação do fio têxtil – sistema indireto inglês de densidade linear.

No respeitante à torção no fio esta é, geralmente, apresentada à direita do conjunto de informações retratado acima. Em primeiro lugar é apresentado o número de voltas por unidade de comprimento, e de seguida o sentido da torção. Por exemplo, 24 tpi Z, indica que o fio possui 24 voltas por polegada no sentido de torção Z [6].

2.1.2 Desenrolamento

O desenrolamento de fio têxtil poderá ser executado de duas formas distintas, sendo estas, o desenrolamento por cima e pelo lado.

O desenrolamento por cima, representado na Figura 2.6, não implicando a movimentação da embalagem é um método económico permitindo uma maior velocidade de desenrolamento, e uma elevada rapidez nas mudanças de velocidade de desenrolamento. A utilização deste método de desenrolamento implica a alteração das características de torção do fio [10][11].

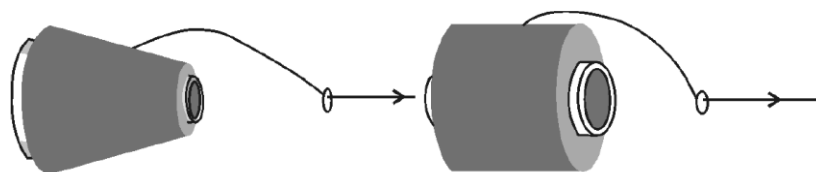


Figura 2.6 - Representação do desenrolamento por cima de uma embalagem cilíndrica e cônica.

O desenrolamento pelo lado, representado na Figura 2.7, necessitando da movimentação da embalagem, é um processo mais dispendioso, quando a embalagem é rodada positivamente. Este não permite elevadas velocidades de desenrolamento devido à instabilidade provocada pela movimentação da embalagem. No entanto, pelas suas características não provoca a alteração da torção do fio [10][11].

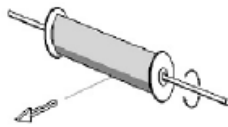


Figura 2.7 - Representação do desenrolamento pelo lado de uma embalagem cilíndrica.

Desenrolamento por cima

O desenrolamento por cima caracteriza-se normalmente pela presença de uma guia posicionada acima da embalagem de fio possuindo o mesmo eixo central da mesma. À medida que o fio é desenrolado a uma velocidade linear, o ponto de desenrolamento gira em torno da bobine fazendo com que a porção de fio compreendida entre o ponto de desenrolamento e a guia seja sujeito a uma força centrífuga, que é responsável pela criação de um balão de fio (Figura 2.8), fenómeno com influência preponderante na tensão e estabilidade do desenrolamento [10][12].

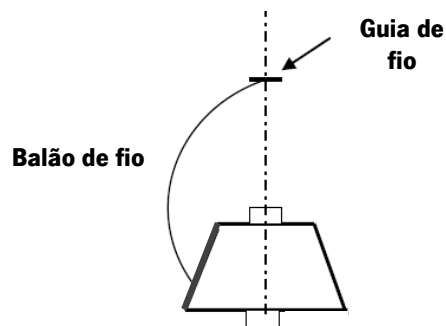


Figura 2.8 - Representação do fenómeno do balão de fio.

As características do desenrolamento, sobretudo a tensão do fio, poderão ser afetadas por diferentes fatores, sendo estes [10][12][13]:

- Distância da guia de fio ao ponto de desenrolamento;
- Ângulo de cone (em embalagens cónicas);
- Características do balão de fio;
- Diâmetro da embalagem;
- Densidade linear do fio;
- Velocidade de desenrolamento;
- Ângulo de enrolamento do fio na embalagem;
- Características do arrastamento do fio na embalagem;
- Natureza da superfície do fio.

A minimização da tensão do fio no desenrolamento apresenta geralmente duas soluções, sendo a primeira o desenrolamento do fio com a guia acima do ponto de interseção das laterais da embalagem. A segunda trata-se de criar as condições necessárias para a formação do balão de fio, já que, especialmente em condições de desenrolamento com a guia abaixo do ponto de interseção das laterais da embalagem, a formação do balão de fio corresponde a um mínimo de tensão [12].

Velocidade de Desenrolamento

A compreensão da influência velocidade de desenrolamento na tensão, tem uma importância central na concepção de um sistema automatizado, que permita um controle adequado da velocidade do fio de forma a ajustar corretamente a tensão.

Assim, quando a guia de fio se encontra acima da interseção da projeção das laterais da embalagem, a tensão tende a aumentar com o aumento da velocidade até determinado limite, em que esta estabiliza e inicia uma tendência descendente.

No caso da guia se encontrar abaixo da interseção da projeção das laterais da embalagem e existirem condições para a formação do balão de fio, a tensão mantém uma tendência crescente e contínua com o aumento de velocidade. Nestas condições não ocorrendo a formação de um balão de fio, verifica-se com o aumento de velocidade um crescimento da variação das tensões de desenrolamento entre a base e o topo da embalagem [10][12][13].

2.1.3 Enrolamento

O enrolamento trata-se de um processo de deposição de fio que permite obter uma embalagem que cumpra os requisitos do processo para o qual foi concebida [10].

2.1.3.1 Tipos

O enrolamento poderá ser distinguido em dois tipos principais, o paralelo e o cruzado.

O enrolamento paralelo caracteriza-se pela disposição adjacente das hélices de fio enroladas. A embalagem utilizada neste tipo de enrolamento deverá ser flangeada, já que, este não confere estabilidade ao fio nas extremidades.

No enrolamento cruzado as hélices são dispostas na embalagem com um determinado ângulo em relação aos planos perpendiculares ao eixo da embalagem (ângulo de enrolamento - Figura 2.9), tal como se pode verificar na Figura 2.10.

Este tipo de enrolamento está associado a embalagens cilíndricas ou cónicas que, geralmente, não possuem flanges, uma vez que, a reversão das hélices depositadas nas extremidades confere estabilidade ao fio nessas regiões [10].

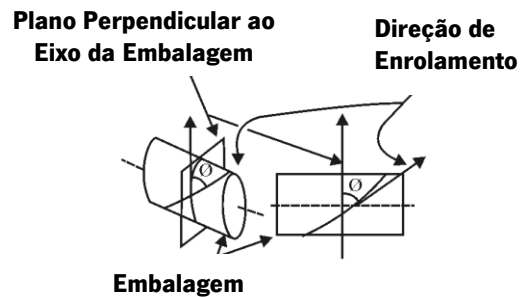


Figura 2.9 - Representação do ângulo de enrolamento (ϕ).

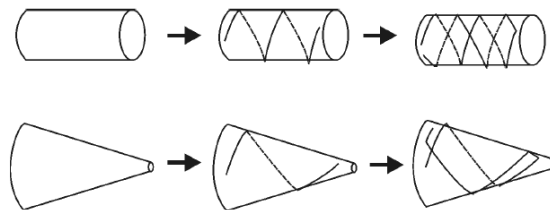


Figura 2.10 - Enrolamento cruzado em bobinas cilíndricas e cónicas.

2.1.3.2 Métodos para o Enrolamento Cruzado

O enrolamento cruzado poderá ser obtido utilizando três técnicas distintas o enrolamento aleatório, o enrolamento de precisão e o enrolamento de precisão por passos.

Enrolamento Aleatório

O enrolamento aleatório caracteriza-se por uma velocidade superficial da embalagem constante, mesmo com a variação do raio, associada a uma velocidade de travessia constante. Tais características permitem um ângulo de enrolamento constante e um rácio de travessia² decrescente com o aumento do diâmetro da embalagem.

Assim, o enrolamento aleatório apresenta como principais vantagens a obtenção de embalagens de densidade uniforme permitido pelo ângulo de enrolamento constante.

² Rácio de Travessia – número de hélices de fio depositadas na embalagem por cada travessia completa (de um lado ao outro e regresso) [10].

A esta soma-se a simplicidade dos sistemas de enrolamento, que tornam esta técnica menos dispendiosa de implementar e de manter. As desvantagens estão associadas à obtenção de embalagens de densidade reduzida e sujeitas ao fenómeno de *patterning* (Figura 2.11) provocado pela variação do rácio de travessia, que é causador de roturas de fio no desenrolamento [10].

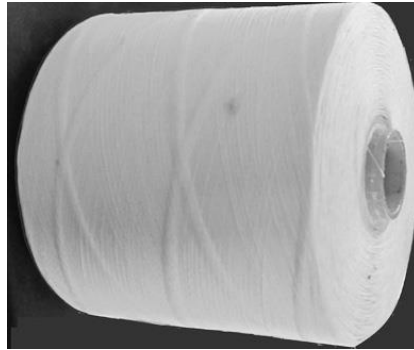


Figura 2.11 - Embalagem com o fenómeno de *patterning* evidente.

Enrolamento de Precisão

O enrolamento de precisão garante uma relação constante entre a velocidade de rotação da embalagem e a velocidade de travessia do fio, o que permite um valor constante do rácio de travessia, e consequentemente uma diminuição do ângulo de enrolamento com o aumento do diâmetro da embalagem.

As vantagens desta técnica estão associadas à obtenção de embalagens sem o fenómeno de *patterning* e à maior flexibilidade na sua obtenção permitida pela escolha do rácio de travessia. As desvantagens estão associadas à variação da densidade da embalagem obtida e ao limite de diâmetro que poderá ser obtido com um enrolamento de precisão.

Além disto, a implementação desta técnica é geralmente mais dispendiosa, já que, na maioria dos casos necessita de um sistema que faça variar a velocidade da embalagem à medida que esta aumenta o seu diâmetro [10].

Enrolamento de Precisão por Passos

O enrolamento de precisão por passos caracteriza-se por um enrolamento constituído por diferentes passos no quais o rácio de travessia se mantém constante e o ângulo de enrolamento tem uma variação reduzida. A transição entre passos ocorre quando o ângulo de enrolamento atinge um limite de variação face ao seu valor original, sendo que no novo passo este é restabelecido através da implementação de um novo rácio de travessia (Figura 2.12).

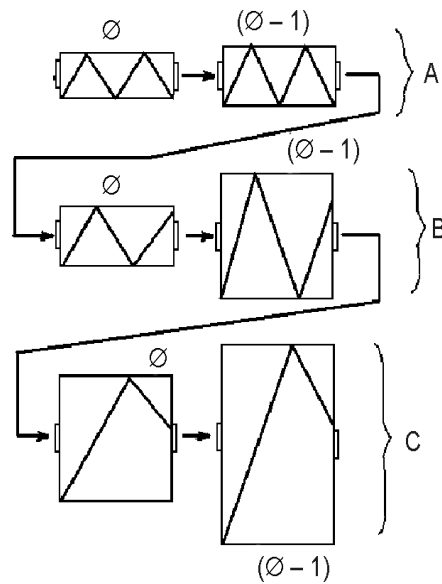


Figura 2.12 - Princípio de funcionamento do enrolamento de precisão por passos.

Este método trata-se da conjugação dos dois anteriores e por isso apresenta as vantagens dos mesmos permitindo a obtenção de embalagens sem o fenómeno de *patterning*, e com a possibilidade de escolher a combinação de rácios de travessia e o ângulo de enrolamento mais adequados para a embalagem a obter. A única desvantagem desta técnica está associada ao custo elevado de implementação decorrente da elevada complexidade a ela associada [10].

2.1.3.3 Sistemas de Enrolamento Cruzado

Os sistemas de enrolamento de fio são constituídos essencialmente por dois sistemas principais o sistema de movimentação da embalagem e o de travessia de fio. A Tabela 2.4 e a Tabela 2.5 apresentam as soluções tecnológicas existentes para cada um dos sistemas [10].

Estas soluções agrupam-se em conjuntos segundo o tipo de enrolamento pretendido e demais requisitos para os sistemas. Tendo em conta apenas o tipo de enrolamento apresentam-se de seguida para cada um, conjuntos de soluções tecnológicas tipo (Tabela 2.6) [10].

Tabela 2.4 – Soluções tecnológicas para o sistema de movimentação da embalagem.

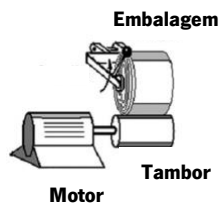
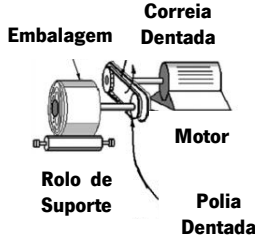
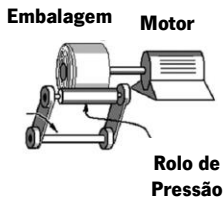
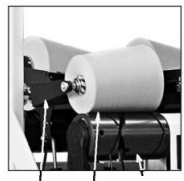

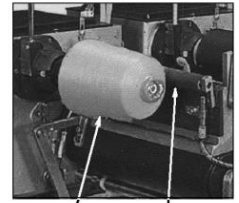
Tecnologia	Movimentação por Atrito	Movimentação por Correia / Corrente	Movimentação Direta
Esquema	 <p>Embalagem Motor Tambor</p>	 <p>Embalagem Correia Dentada Motor Rolo de Suporte Polia Dentada</p>	 <p>Embalagem Motor Rolo de Pressão</p>
Sistema Real	 <p>Tambor Embalagem Suporte da Embalagem</p>	 <p>Rolo de Suporte Embalagem Braço de Suporte</p>	 <p>Rolo de Pressão Embalagem</p>

Tabela 2.5 - Soluções tecnológicas para o sistema de travessia de fio.

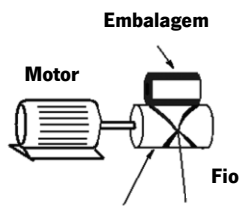
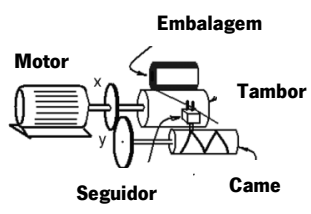
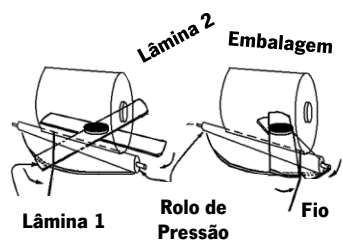
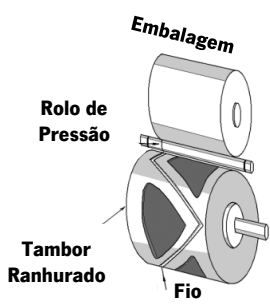
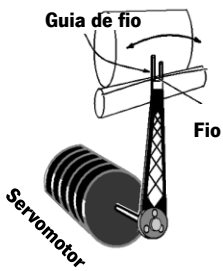
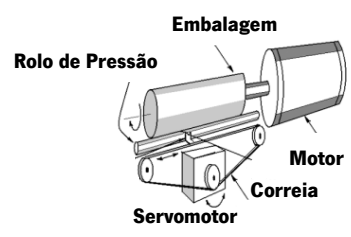
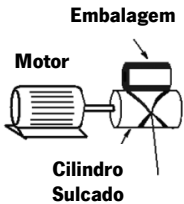
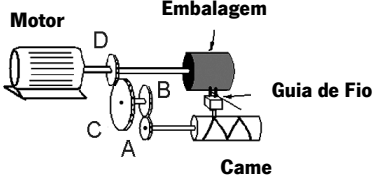
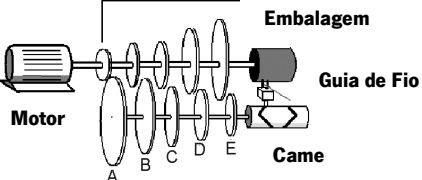
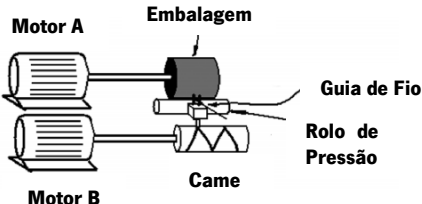
Tecnologia	Cilindro Sulcado	Guia Recíproca Guiada por Came Sulcado	Lâminas Rotativas
Esquema	 <p>Embalagem Motor Fio Cilindro Sulcado</p>	 <p>Embalagem Motor Tambor Seguidor Came</p>	 <p>Lâmina 2 Embalagem Lâmina 1 Rolo de Pressão Fio</p>
Tecnologia	Cilindro com Ranhura	Guia Movimentada por Servomotor	Guia de Fio Movimentada por Correia
Esquema	 <p>Embalagem Rolo de Pressão Tambor Ranhurado Fio</p>	 <p>Guia de fio Fio Servomotor</p>	 <p>Embalagem Rolo de Pressão Motor Correia Servomotor</p>

Tabela 2.6 - Conjuntos de soluções tecnológicas tipo para cada tipo de enrolamento.

Tipo de Enrolamento	Solução Tecnológica
<p>Enrolamento Aleatório</p>	 <p>Embalagem Motor Cilindro Sulcado</p>
<p>Enrolamento de Precisão</p>	 <p>Motor Embalagem Guia de Fio Came A B C D</p>
<p>Enrolamento de Precisão por Passos</p>	 <p>Embalagem Guia de Fio Came Motor A B C D E</p>
<p>Flexível (escolha entre os três tipos de enrolamento)</p>	 <p>Motor A Embalagem Guia de Fio Rolo de Pressão Came Motor B</p>

2.1.4 Controlo de Tensão

A tensão no fio é importante no processamento do fio têxtil, já que, é fundamental para garantir a compactidade das bobines enroladas e para assegurar que o fio permanece nas guias adequadas. A tensão em excesso poderá provocar alterações nas propriedades físicas e na textura do fio, pelo que, de forma a evitar que tal aconteça deverá limitar-se a tensão a 10% da tensão de rotura [10][14].

2.1.4.1 Medição de Tensão no Fio

A medição de tensão é levada por cabo medidores de tensão agrupando-se estes em duas categorias [14][15]:

- **Mecânicos** – dispositivos que se baseiam inteiramente em princípios e componentes mecânicos, apresentando por esse motivo limitações relacionadas com a inercia (funcionamento deficiente a elevada velocidade de fio), incapacidade para guardar dados ou ligar-se a qualquer outro dispositivo. Além disto, estes apresentam, geralmente, uma exatidão reduzida (Figura 2.13);
- **Eletrônicos e Eletromecânicos** – equipamentos que se baseiam em princípios elétricos para o seu funcionamento, tais como, variação da tensão elétrica ou da resistência elétrica (em extensómetros), variação da capacitância (em transdutores capacitivos) ou do campo magnético (em sensores de efeito de Hall). A estes princípios aliam-se, frequentemente, elementos mecânicos como rolos ou polias. Estes dispositivos de medição caracterizam-se por permitir extensos intervalos de leitura, pela elevada precisão em medições executadas com grande velocidade de fio e pela mobilidade das suas cabeças de leitura. Estes permitem ainda a recolha dos dados obtidos e a ligação a outros equipamentos (Figura 2.14).



Figura 2.13 - Medidor de tensão mecânico.



Figura 2.14 - Medidores de tensão eletrônicos/eletromecânicos.

2.1.4.2 Geração de Tensão no Fio

A tensão num fio em movimento poderá ser aplicada de diversas formas, sendo que a principal se trata da aplicação de tensão por via da fricção (Figura 2.15) [10].

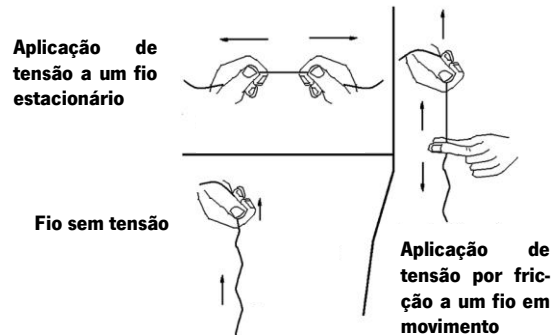


Figura 2.15 - Métodos para aplicação de tensão num fio têxtil.

O método de aplicação de tensão tendo por base a fricção é utilizado em três tipos principais de dispositivos de geração de tensão, sendo estes [10][15]:

- **Aditivos** – dispositivos que adicionam uma porção de tensão fixa ao fio em movimento. Os tensores de disco (Figura 2.16 - (a)), são o exemplo tipo deste tipo de dispositivos. Estes consistem em dois discos comprimidos um contra o outro, no meio dos quais circula o fio. A lei que rege a tensão aplicada por estes equipamentos, apresentada na equação (2.5), indica que a tensão do fio à saída é proporcional à força com que os discos são comprimidos, sendo também dependente da tensão do fio à entrada. Os tensores de disco caracterizam-se pela ocorrência de picos de tensão aquando do surgimento de um nó no fio, e pela diminuição da tensão imprimida ao fio devido à acumulação de algodão. Além disto, estes não são autoajustáveis e interferem na quantidade de torção do fio. No entanto, permitem uma fácil inserção do fio e não amplificam eventuais variações de tensão que o fio possa apresentar à entrada;

$$T_2 = T_1 + 2\mu W \quad (2.5)$$

T_2 – tensão à saída; / T_1 – tensão à entrada; / μ - coeficiente de atrito; / W – força de compressão aplicada nos discos.

- **Multiplicativos** – dispositivos que se baseiam no atrito criado pelo envolvimento de um fio em movimento em torno de uma superfície (Figura 2.16 - (b)).

Estes equipamentos multiplicam a tensão à entrada, sendo que o fator multiplicativo é selecionado variando a deflexão do fio, que conseqüentemente varia o ângulo de enrolamento em torno da superfície. Este fenômeno é regido pela expressão de *Capstan*, apresentada na equação (2.6). Os tensores multiplicativos têm a desvantagem de amplificar as variações de tensão que o fio apresenta à sua entrada, e de possuírem uma montagem do fio mais trabalhosa do que os tensores aditivos. Além disto, estes alteram as propriedades do fio, nomeadamente a torção, e deterioram a qualidade de alguns fios originando pequenos nós. Apesar disto, o surgimento de nós no fio em movimento não provoca picos de tensão, a tensão não se altera com a acumulação de algodão, e por fim, estes dispositivos poderão ter a capacidade de autocompensar variações de tensão de reduzida frequência. A Figura 2.16 – (c) e (d) apresenta dois tipos de tensores multiplicativos que ajustam autonomamente a tensão imprimida ao fio, aumentando o ângulo de enrolamento quando a tensão é reduzida e diminuindo-o quando esta é elevada;

$$T_2 = T_1 \times e^{\mu\theta} \quad (2.6)$$

T_2 – tensão à saída; / T_1 – tensão à entrada; / μ - coeficiente de atrito; / θ – ângulo de enrolamento em torno da superfície.

- **Aditivos e Multiplicativos** – dispositivos que combinam as características dos tensores aditivos e multiplicativos num único componente.

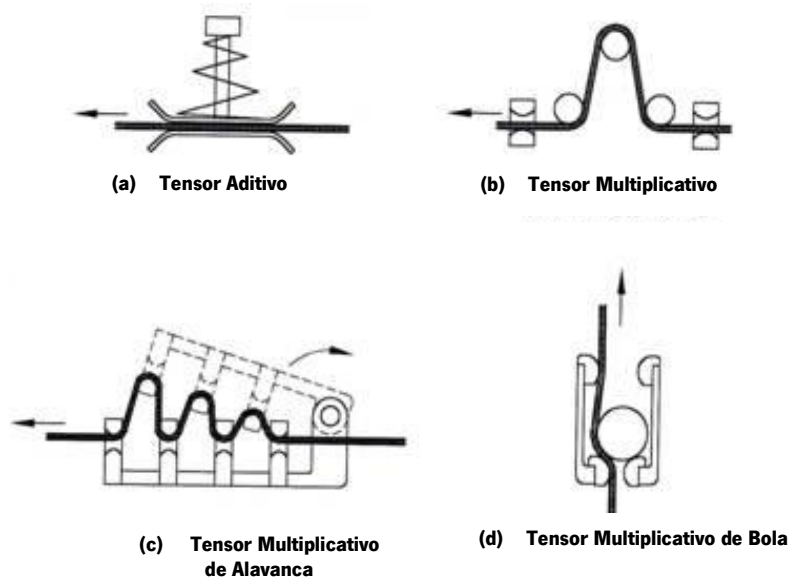


Figura 2.16 - Representação dos tipos de tensores.

2.1.4.3 Sistemas Automáticos de Controlo de Tensão no Fio

Os sistemas automáticos de controlo de tensão são constituídos por sensores que avaliam a tensão do fio em tempo real, e atuadores que ajustando os tensores ou outras variáveis da movimentação do fio mantêm a sua tensão no intervalo pretendido. No mercado existe uma elevada diversidade de sistemas automáticos de controlo de tensão, sendo estes baseados em [10][15]:

- **Ajuste automático da altura da guia de fio no desenrolamento por cima** (Figura 2.17) – estes sistemas aplicam-se a condições de velocidade de desenrolamento constante, caracterizando-se pela alteração ativa da altura da guia de fio em função do diâmetro da embalagem a ser desenrolada. Este ajuste permite o controlo das características do balão de fio e, conseqüentemente da tensão no fio. Este tipo de controlo é o responsável pela funcionalidade “*Tensio*” das máquinas de enrolamento de fio da SSM;

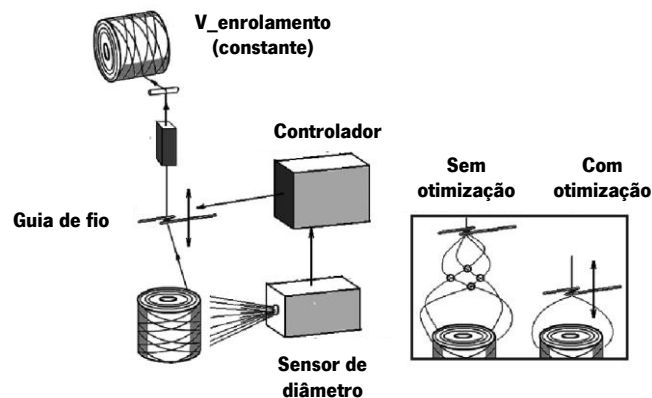


Figura 2.17 - Representação do sistema de controlo de tensão por ajuste automático da altura da guia de fio no desenrolamento por cima.

- **Ajuste da velocidade de enrolamento** – estes sistemas controlam em malha fechada a velocidade de enrolamento face à tensão lida em tempo real pelo sensor. Nos momentos em que a tensão aumenta a velocidade de enrolamento é reduzida, quando a tensão diminui a velocidade de enrolamento é aumentada. Este método é o responsável pela função “*Autospeed*” da máquina de enrolamento de fio *Schlafhorst Autoconer 238*;
- **Ajuste da tensão imprimida pelo tensor** – nestes sistemas o controlo da tensão é feito em malha fechada, alterando-se a tensão gerada pelos tensores em função das leituras obtidas dos sensores de tensão.

Este método por vezes não tem capacidade de ajustar a tensão no fio em todos os estágios de funcionamento, sendo por isso, combinado com outras técnicas. Esta estratégia de controlo de tensão é aplicada em máquinas de enrolamento de fio como as *Schlafhorst Autoconer 338/ 5/ X5* (funcionalidade “*Autotense FX*”), SSM (funcionalidade “*Digitens*”) ou Savio Polar;

- **Sistema de alimentação positiva de fio** (Figura 2.18) – nestes sistemas o fio após a secção de desenrolamento é enrolado em torno de um tambor cuja velocidade é controlada. A relação entre a velocidade superficial deste e a velocidade de enrolamento permite a regulação da tensão do fio. Assim, considerando a velocidade de enrolamento constante, quando o sensor deteta que a tensão é demasiado elevada o controlador aumenta a velocidade superficial do tambor e vice-versa. Este controlo só é efetivo quando a embalagem utilizada no enrolamento é cilíndrica. Além disto, o enrolamento do fio em torno do tambor permite mitigar as variações de tensão geradas no desenrolamento. O método apresentado é utilizado nas máquinas de enrolamento de fio SSM mais concretamente na funcionalidade “*Digitens F-Mode*”;

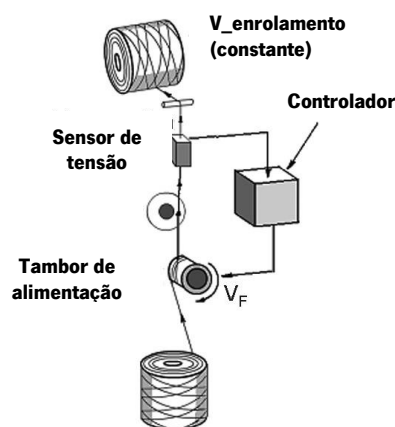


Figura 2.18 - Representação do sistema de controlo de tensão por alimentação positiva de fio.

- **Sistema de alimentação positiva de fio para desenrolamento pelo lado** (Figura 2.19) – estes sistemas permitem controlar tensão através da relação entre a velocidade de desenrolamento e de enrolamento. Este controlo é conseguido mantendo a velocidade de enrolamento constante, e controlando a velocidade de rotação da embalagem no desenrolamento tendo em conta os valores da tensão lidos pelo sensor. Este sistema está implementado em máquinas de enrolamento de fio SSM, mais concretamente naquelas que possuem a funcionalidade “*Precitens*”.

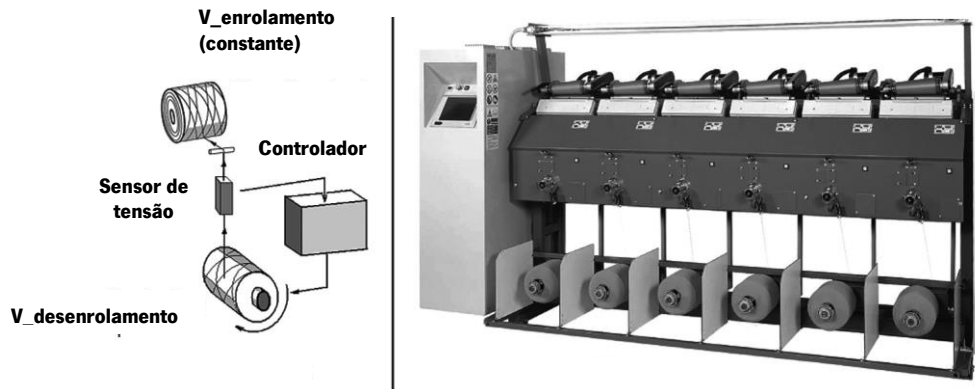


Figura 2.19 - Representação e apresentação de máquina com ajuste automático de tensão por sistema de alimentação positiva de fio para desenrolamento pelo lado.

As metodologias de controlo de tensão acima apresentadas estão muito presentes como indicado em máquinas de enrolamento de fio têxtil. No entanto, dado que o fornecimento de fio a tensão constante é também fundamental para outros processos têxteis, existem sistemas que podem ser integrados numa grande quantidade de processos têxteis permitindo o fornecimento de fio a tensões constantes, como é o caso do *Ultrafeeder* da *BTSR* e do *EFS 800* da *MEMMINGER-IRO* [15].

2.2 Metodologia – Norma VDI 2206

A norma VDI 2206 propõe um suporte metodológico para o desenvolvimento multidisciplinar de sistemas mecatrónicos, principalmente, os que incluem componentes eletrónicos e mecânicos em simbiose com tecnologia da informação. Esta metodologia possui como elemento central o modelo em V (Figura 2.20) [16].

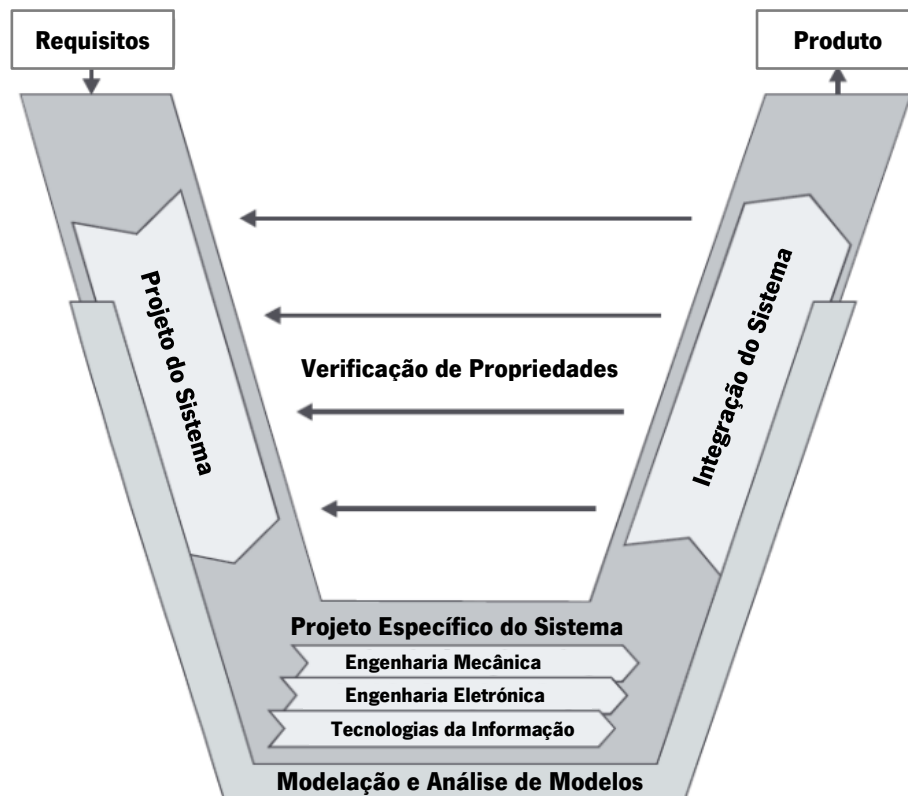


Figura 2.20 - Modelo em V para o projeto de um Sistema Mecatrónico – VDI 2206.

O modelo em V propõe uma sequência de passos para a conceção de sistemas mecatrónicos, sendo estes [16]:

- 1. Requisitos** – trata-se da primeira etapa, e consiste na descrição do sistema a obter sob a forma de requisitos, em relação aos quais o sistema obtido será avaliado posteriormente;
- 2. Projeto do Sistema** – etapa que permite criar um conceito de solução multidisciplinar que conduza às características exigidas para o sistema a obter. Para tal, é proposta a divisão da função principal em subfunções, para as quais são encontrados individualmente princípios de solução ou de operação, cujo desempenho é dividido pelos diversos domínios envolvidos e avaliado no contexto do sistema;

- 3. Projeto Específico do Sistema** – este passo consiste em desenvolver as secções da solução global relativas às diversas áreas envolvidas (Engenharia Mecânica, Eletrónica, Informática, entre outros domínios);
- 4. Integração** – os resultados das diversas parcelas da solução global desenvolvidos no seio de cada domínio, são integrados no sentido de se obter uma solução global para o sistema;
- 5. Verificação de Propriedades** – esta etapa consiste na comparação das propriedades do sistema em desenvolvimento com as definidas para o mesmo, estando associada aos conceitos de verificação e de validação. A verificação, trata-se de analisar formalmente se o sistema cumpre todos os requisitos propostos. A validação trata-se de verificar se o sistema é o indicado, sendo tal verificado geralmente de forma informal. O processo de verificação de propriedades é contínuo ao longo de todo projeto, embora esteja localizado formalmente aquando da integração do sistema. Este poderá ser executado virtualmente, fisicamente ou numa vertente mista;
- 6. Modelação e Análise de Modelos** – etapa é paralela a todos os passos exceto os requisitos, e consiste na aferição das propriedades do sistema através de modelos ou ferramentas computadorizadas para simulação.

O projeto desenvolvido centrando-se, apenas, num sistema de automação não se trata de um projeto multidisciplinar. Desta forma, não requer a utilização do modelo em V na sua totalidade, tendo sido descartadas as etapas “Projeto do Sistema” e “Integração do Sistema”.

A etapa “Requisitos” apresenta uma importância central no projeto de um sistema, já que se trata de um meio de garantir que este cumpre as necessidades e expectativas propostas, constituindo o principal *input* para o projeto. Neste sentido, apresentam-se de seguida mais alguns conceitos relativos a este tema [17].

Requisitos

Os requisitos são propriedades que um determinado sistema deverá possuir, para cumprir as necessidades e restrições impostas pelo utilizador. Estes aplicados concretamente à área da automação/*software* poderão dividir-se em duas categorias, os *explícitos* e os *implícitos*, e os *funcionais* e *não-funcionais*. Os *requisitos explícitos* são os elementos pedidos diretamente pelos clientes, e os *implícitos* são aqueles que a equipa de desenvolvimento com base no seu conhecimento técnico inclui, embora estes não tenham sido mencionados pelo cliente.

Os *requisitos funcionais* tratam-se dos elementos associados à funcionalidade do sistema, e os *não-funcionais* envolvem aspetos relacionados com o seu desempenho. Os *requisitos funcionais* deverão ser coerentes e incidir sobre todas as necessidades para o sistema, caracterizando a resposta do mesmo a determinados estímulos, sem vinculação a aspetos do projeto e implementação de forma a maximizar o campo de soluções a explorar.

Os *requisitos não-funcionais* pela sua natureza não têm influência nas funcionalidades do sistema a desenvolver, e podem ser classificados em oito tipos, sendo estes: aparência, usabilidade, desempenho, operacionalidade (caraterísticas que permitam o funcionamento adequado do sistema no ambiente em que está inserido), manutenção e suporte, segurança, aspetos culturais e políticos, e aspetos legais. Note-se que não existe necessidade de identificar requisitos de todos os tipos num mesmo projeto [17][18].

3. EQUIPAMENTO A AUTOMATIZAR E REQUISITOS

Neste capítulo, apresenta-se o equipamento que foi alvo do processo de automatização sendo, também, exposta uma síntese dos principais aspectos do mesmo considerados nesse processo. Após isto, são apresentados os requisitos essenciais para verificação da concordância do sistema de automação obtido com os objetivos e expectativas iniciais do projeto.

3.1 Equipamento a Automatizar

3.1.1 Finalidade e Princípios Básicos de Funcionamento

O equipamento a automatizar (Figura 3.1) trata-se de um sistema portátil que permite o desenrolamento, a condução e o enrolamento de fio têxtil, sendo que, na etapa de condução a oscilação do fio é mitigada e a luminosidade controlada, de forma a permitir a captura de imagens de qualidade para análise das características do fio [5].

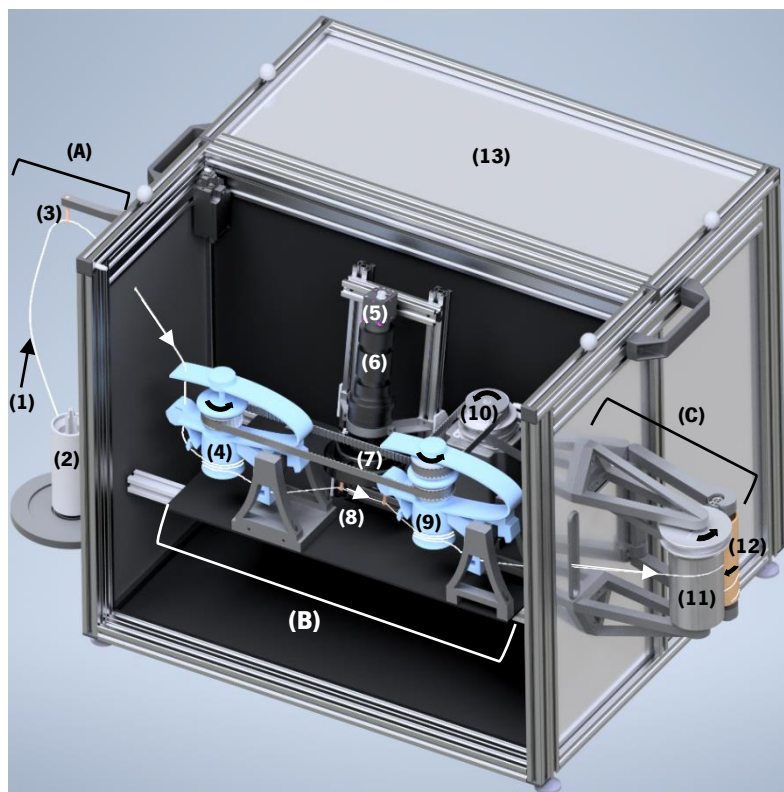


Figura 3.1 - Representação CAD do sistema de desenrolamento, condução e enrolamento de fio têxtil a automatizar, sem a tampa frontal.

(A) – Subsistema de desenrolamento;
(B) – Subsistema de condução;
(C) – Subsistema de enrolamento;
(1) – Fio têxtil;
(2) – Bobine de desenrolamento;
(3) – Guia de fio (desenrolamento);
(4) – Alimentador positivo 1;
(5) – Câmara;
(6) – Lente;

(7) – Lâmpada;
(8) – Guias de fio (condução);
(9) – Alimentador positivo 2;
(10) – Servomotor;
(11) – Cilindro sulcado;
(12) – Bobine de enrolamento;
(13) – Compartimento para o quadro elétrico do equipamento.

O funcionamento deste sistema inicia-se por um desenrolamento por cima, em que o fio é puxado pela parte superior de uma bobine (2) e guiado por uma guia cerâmica (3) posicionada nessa região. A esta etapa segue-se a condução, que consiste na passagem do fio com reduzida oscilação pela frente da lente de uma câmara (6), com recurso a guias cerâmicas (8), e a dois alimentadores positivos (4)(9) em série que isolam oscilações de tensão provenientes do desenrolamento e do enrolamento. Esta fase, ocorre no interior de uma caixa, de forma, a evitar a entrada de luz natural, possuindo esta paredes interiores negras mitigando reflexões de luz, sendo a iluminação do fio executada por uma lâmpada existente na extremidade da lente (7). Por fim, o enrolamento é feito por meio de um cilindro sulcado (11) que em contacto com a bobine a enrolar (12), permite, simultaneamente a sua movimentação e o direccionamento do fio, obtendo-se um enrolamento aleatório.

3.1.2 Subsistemas e Componentes

Este equipamento é constituído por três subsistemas principais designados por, desenrolamento, condução e enrolamento.

Os componentes de maior relevância para o sistema de automação a desenvolver são a cadeia cinemática, os alimentadores positivos de fio e o binómio cilindro sulcado/ bobine de enrolamento.

A cadeia cinemática entre o servomotor e os alimentadores positivos (Figura 3.2 – (A)) caracteriza-se por uma relação de transmissão de 1.00, e pela transmissão de movimento por correia dentada. Entre o servomotor e o cilindro sulcado (Figura 3.2 – (B)) a relação de transmissão é de 0.75, sendo o movimento transmitido por correia plana. Nesta última, realça-se a importância do controlo da aceleração do servomotor como forma de evitar o deslizamento da correia plana, garantindo sincronismo entre o subsistema de condução e o de enrolamento. Além disto, dada a disposição desta cadeia cinemática, a movimentação do servomotor no sentido anti-horário conduz à deslocação do fio do subsistema de desenrolamento para o de enrolamento (sentido de funcionamento), já a movimentação do servomotor no sentido horário, permite a deslocação do fio no sentido oposto ao referido [5].

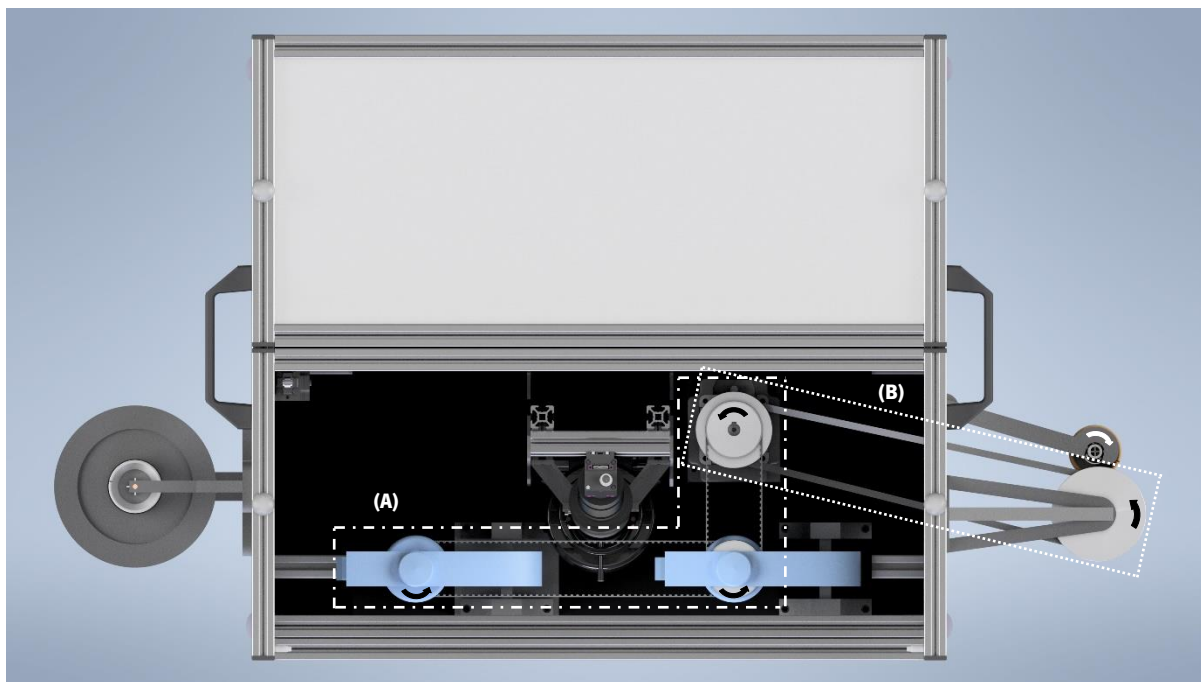


Figura 3.2 – Modelação CAD do sistema de desenrolamento, condução e enrolamento de fio têxtil a automatizar, evidenciando a cadeia cinemática do mesmo.

(A) – Cadeia cinemática servomotor/alimentadores positivos (modo de transmissão de movimento: correia dentada / relação de transmissão: 1.00);

(B) - Cadeia cinemática servomotor/cilindro sulcado (modo de transmissão de movimento: correia plana / relação de transmissão: 0.75).

No respeitante aos alimentadores positivos de fio destaca-se a relevância do parâmetro do consumo de fio por volta do alimentador, 145.8 mm. A necessidade de um mínimo de 20 voltas de fio no tambor para um correto funcionamento, é também uma característica relevante. Além disto, realça-se ainda o facto do alimentador positivo 1 poder ser desengrenado da cadeia cinemática principal e de cada alimentador positivo possuir sensores de rotura/inexistência de fio integrados, tal como, será mencionado em 4.2.2. Por fim, a natureza do sistema mecânico formado pelos dois alimentadores positivos em série, permite ajustar a tensão do fio estaticamente através do desfasamento angular dos seus tambores [19]. No binómio cilindro sulcado/bobine de enrolamento salienta-se a necessidade de um controlo da aceleração do servomotor, para que não haja movimento relativo entre estes componentes garantindo o sincronismo entre o subsistema de condução e de enrolamento, e com isto, a qualidade do enrolamento.

3.1.3 Funcionamento Pretendido

O sistema a desenvolver para automatizar o equipamento apresentado deverá permitir uma colocação e retirada do fio no equipamento semiautomática, além da execução automática dos testes ao fio, e o controlo/monitorização completa das variáveis mais relevantes de forma simples, intuitiva, rápida e com reduzida incerteza, por via de uma *interface* com o utilizador. Além disto, a componente física do sistema de automação deverá ser compacta, e o *software* a desenvolver deverá permitir variações nas proporções dos componentes físicos do sistema. Por fim este sistema deve, também, permitir salvaguardar a integridade do utilizador e do equipamento em todos os momentos do seu funcionamento.

3.1.4 Considerações Gerais sobre Segurança

O sistema de automação a desenvolver deve garantir a segurança, preservando a integridade física do utilizador e do próprio equipamento. Assim, tendo em conta o funcionamento pretendido, definiram-se três indicações a cumprir pelo comando do sistema para que este cumpra as exigências de segurança, sendo estas:

1. Paragem imediata em situação de emergência;
2. Paragem controlada em caso de evento que supõe risco para a segurança do utilizador e/ou do equipamento;
3. Permissão para a edição de parâmetros e/ou execução de ações, passíveis de pôr em causa a segurança do utilizador e/ou do sistema, apenas a utilizadores habilitados para essas tarefas.

3.2 Requisitos

A primeira etapa do projeto, tal como referido em 2.2, trata-se da clarificação dos requisitos, tendo por base os objetivos apresentados em 1.2. Assim, como sugerido no capítulo 2.2 dividiram-se os requisitos em funcionais e não-funcionais, tendo-se aos solicitados inicialmente, explícitos, adicionado os implícitos considerados indispensáveis para se obter o sistema solicitado (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Clarificação dos requisitos do projeto.

Funcionais		Não-Funcionais		
1	Movimentar o fio com deslocamento, velocidade (velocidade máxima superior ou igual a 4.2 m/s) e aceleração controlados em movimentos prolongados	1	Aparência	a Possuir uma <i>interface</i> esteticamente agradável
2	Permitir paragem do sistema num período inferior ou igual a 1 segundo em situações de emergência	2	Usabilidade	a Possuir uma <i>interface</i> com o utilizador simples, intuitiva e rápida
3	Permitir a paragem controlada do sistema em situações de potencial risco para o utilizador e/ou para o equipamento			b Auxiliar o utilizador nas tarefas manuais de colocação e retirada de fio do sistema
4	Permitir retoma do estado de movimentação do servomotor após pausa			c Permitir troca simples e rápida entre funcionalidades do sistema
5	Detetar automaticamente a rotura/inexistência de fio e a abertura de tampas de segurança em todos os subsistemas do equipamento (desenrolamento, condução e enrolamento)	3	Operacionalidade	a Possuir incerteza máxima de medição da quantidade e velocidade do fio inferior ou igual a 0.2%
				*continua na página seguinte →

Tabela 3.1 - Clarificação dos requisitos do projeto.

Funcionais		Não-Funcionais			
6	Monitorizar e armazenar os dados de movimentação do fio relevantes	3	Operacionalidade	b	Ser compacto e portátil
7	Monitorizar e armazenar os dados relevantes das paragens do sistema devidas a anomalias			c	Possuir flexibilidade para acomodar alterações nas proporções dos elementos mecânicos do sistema
				d	Ser fiável
8	Automatizar a colocação e retirada do fio do sistema	4	Segurança	a	Minimizar erros nas tarefas de colocação e retirada de fio do sistema
9	Permitir a movimentação livre do servomotor nos momentos em que o utilizador interage manualmente com o sistema mecânico			b	Permitir a execução de ações que supõe risco para o equipamento e/ou para o utilizador, apenas por utilizadores habilitados para tal
10	Permitir o ajuste de parâmetros de funcionamento do sistema			c	Permitir a monitorização e edição de parâmetros passíveis de pôr em causa a segurança do equipamento e/ou do utilizador, apenas por utilizadores habilitados para tal
11	Permitir o teste das funcionalidades do sistema				
12	Interagir com o utilizador localmente				

4. SELEÇÃO DE COMPONENTES

Neste capítulo é apresentada a abordagem teórico-prática, que justifica a escolha e ligação dos componentes do circuito de potência e de comando do sistema. Para tal, apresenta-se para cada componente, nos casos em que tal se justifica, um enquadramento teórico associado ao componente em estudo, seguido do conjunto de requisitos exigidos para o mesmo, terminando-se com a apresentação das características relevantes do dispositivo escolhido e a respetiva fundamentação da escolha.

No final do capítulo é apresentado um esquema com as ligações e configurações dos componentes instalados, que tem por base o enquadramento teórico e as características de cada dispositivo.

4.1 Circuito de Potência

4.1.1 Servomecanismo

O servomecanismo permite um controlo da posição e da velocidade do servomotor e dos restantes órgãos a jusante do mesmo na cadeia cinemática [20].

4.1.1.1 Enquadramento Teórico

O servomecanismo (Figura 4.1) trata-se de um conjunto de dispositivos que controlam a posição e a velocidade do servomotor pela minimização da diferença entre os valores destas variáveis definidos e lidos [20][21].

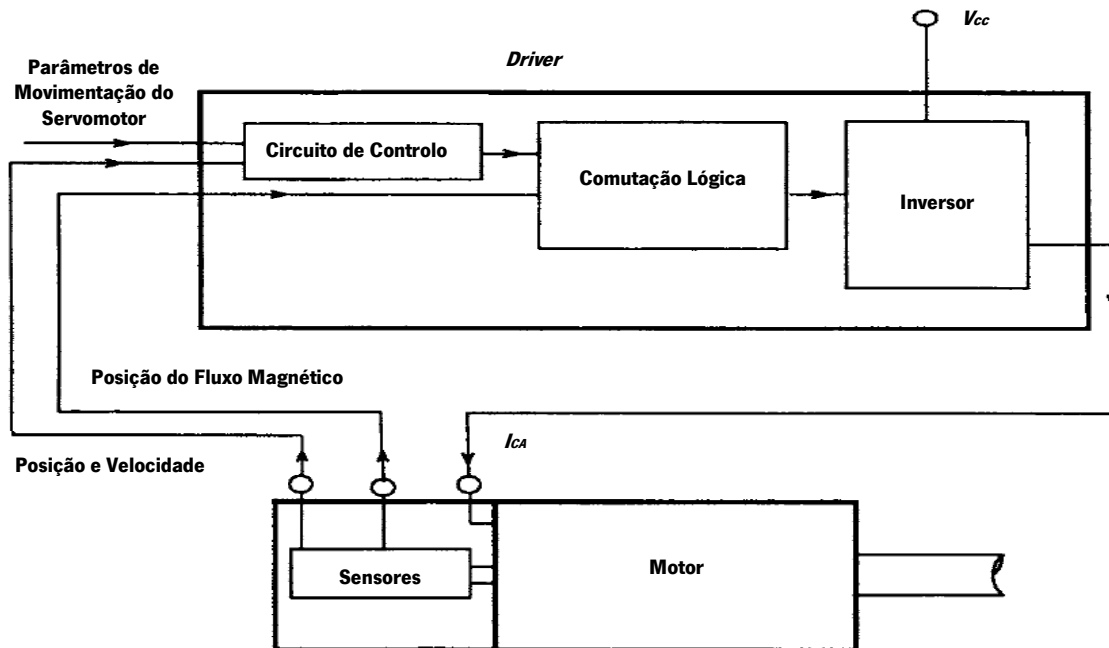


Figura 4.1 – Esquema de ilustrativo do funcionamento de um servomecanismo.

O servomecanismo é constituído por [20][21]:

- **Servomotor** – concretiza a movimentação comandada pelo *driver* acionando a cadeia cinemática;
- **Encoder** – sensor que permite a monitorização dos parâmetros da movimentação do servomotor, velocidade e posição;
- **Sensor de fluxo magnético** – permite a monitorização da posição do fluxo magnético no interior do servomotor;

- **Driver** – dispositivo toma como valores de entrada os parâmetros de movimentação do servomotor definidos e os dados da movimentação do servomotor recolhidos pelo *encoder*. De seguida os comandos resultantes do processamento destas informações pelo circuito de controlo, associados à posição do fluxo magnético fornecida pelos respetivos sensores, permitem a comutação lógica do inversor³ modelando a onda da corrente fornecida ao servomotor, responsável pelo controlo efetivo do seu movimento.

Encoder

O *encoder* (Figura 4.2) apresenta sinais de saída digitais derivados por princípios óticos a partir de faixas padronizadas de um disco de material translucido que roda solidário com o veio do servomotor, sendo para tal utilizado um emissor e um recetor de luz em lados opostos do disco [20][21].

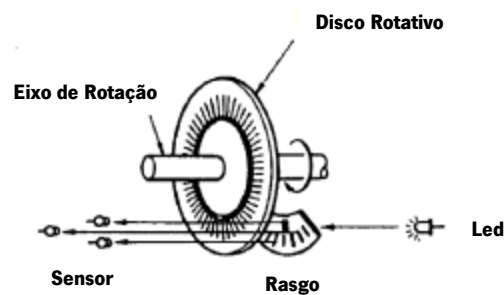


Figura 4.2 - Ilustração da estrutura de um *encoder*.

Os *encoders* quanto à sua tipologia poderão ser incrementais ou absolutos. Os incrementais caracterizam-se pela determinação da posição pela adição ou subtração de pulsos segundo o servomotor rode para um lado ou para o outro da referência. Os absolutos distinguem-se pelo facto de apresentarem um único valor binário para cada posição, não necessitando assim da definição de uma posição de referência [20][21].

³ **Inversor** – dispositivo eletrónico que permite modelar a onda da corrente à sua saída pela comutação lógica dos elementos semicondutores do seu circuito. Um exemplo comum da utilização destes dispositivos é a transformação de corrente contínua em corrente alternada sinusoidal [21].

O *encoder* integrado em um servomecanismo comunica com o *driver* via *serial*, no entanto, o *driver* converte esta saída para pulsos. Estes pulsos dividem-se geralmente nas fases A e B que apresentam o número de pulsos por revolução concordante com a resolução do dispositivo, e encontram-se desfasadas noventa graus. A estas soma-se a fase Z que, geralmente, apresenta um pulso por revolução (Figura 4.3).

Estes sinais poderão ser *open collector* ou *differential driver* (Figura 4.4). A tipologia *open collector* caracteriza-se por um sinal de saída constituído pelas fases e uma linha comum (geralmente a zero volt), apresentando reduzida resistência a elevadas distâncias e ao ruído. A *differential driver* caracteriza-se por uma saída constituída pelas fases e pela sua respetiva negação, permitindo transmissões a altas frequências com elevada resistência ao ruído [20].

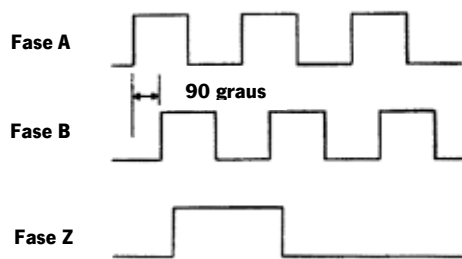


Figura 4.3 - Elementos da saída de pulsos de um *encoder*.

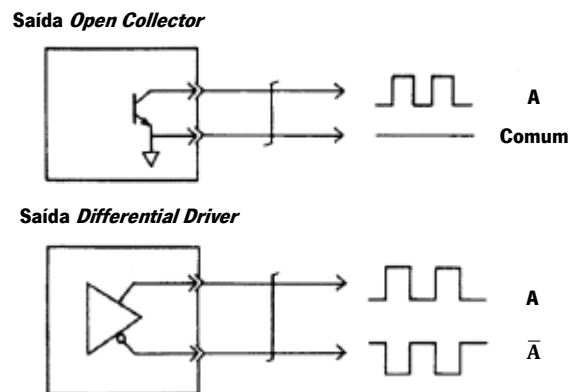


Figura 4.4 - Tipologia dos sinais de saída de pulsos de um *encoder*.

A resolução de um *encoder* é determinada pelo quociente entre a amplitude angular de uma volta do servomotor, pelo menor incremento angular de medição necessário, tal como, o apresentado na equação (4.1). A resolução elevada destes dispositivos está associada a elevadas frequências de resposta, e maior exatidão no posicionamento e medição da velocidade [20][22].

$$\text{Resolução} = \frac{360^{\circ}}{\text{Menor incremento angular}} \quad (4.1)$$

Controlo do Servomotor – Comando por Pulsos

O servomotor, o *driver* e os respetivos sensores permitem um controlo em malha fechada. Este controlo é feito no *driver* tendo em conta os sinais de comando e de monitorização do servomotor [21].

O comando por pulsos é uma técnica precisa para o controlo da movimentação do servomotor. Este baseia-se no envio de pulsos de comando para o *driver*, sendo que, o número de pulsos é proporcional ao deslocamento do servomotor e a sua frequência à velocidade do mesmo. O controlo é desenvolvido de forma a que o número e frequência de pulsos enviada ao *driver* iguale a monitorizada (Figura 4.5).

Além disto, esta técnica de controlo caracteriza-se pelo bloqueio da movimentação do servomotor quando um determinado comando de posicionamento é completo, já que, qualquer desvio do servomotor é compensado de imediato pelo sistema.

Dada a natureza deste método de controlo do servomotor deve garantir-se a consistência da correspondência em movimentação do servomotor dos pulsos de comando e dos recolhidos pelo *encoder*. Além disto, é essencial assegurar que a frequência de pulsos à velocidade máxima do servomotor é compatível tanto com o *driver* como com o controlador de posição. Assim de forma a assegurar estes aspetos recorre-se, frequentemente, a uma relação de transmissão eletrónica para conversão de pulsos, de forma a garantir uma concordância interna entre o número e frequência de pulsos de comando e de monitorização [20].

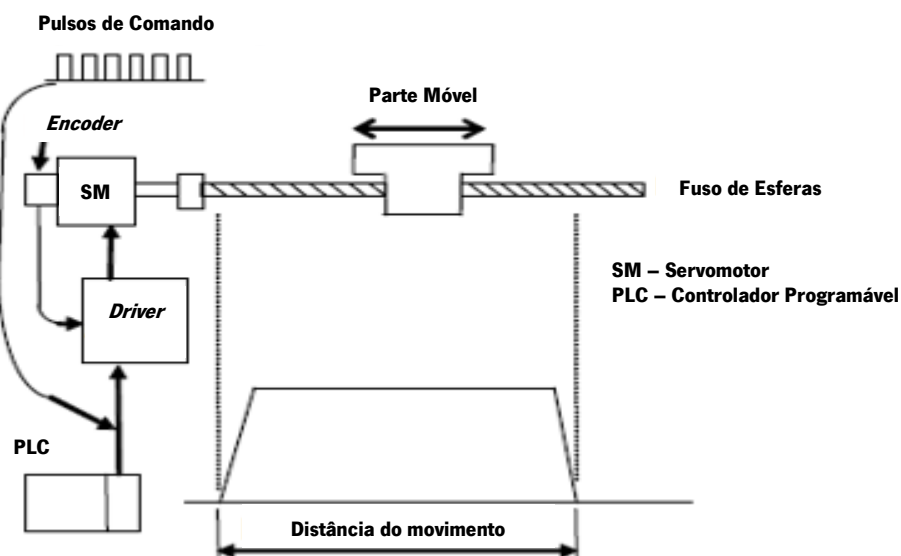
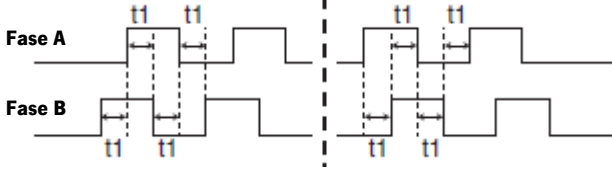
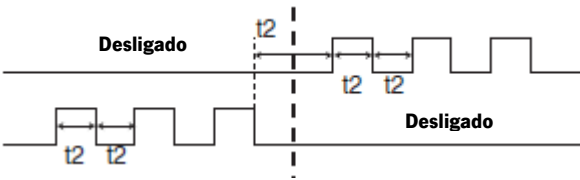
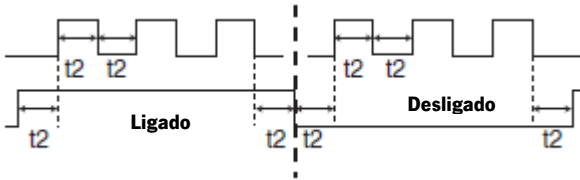


Figura 4.5 - Ilustração de um servomecanismo comandado por pulsos.

Os pulsos enviados ao *driver* poderão estar modelados de diferentes formas, sendo que, a principal diferença entre estas reside na forma como se traduz o sentido de rotação. Este é modelado pelo desfasamento positivo ou negativo de uma determinada fase em relação à outra (fase A e B desfasadas de 90°), pelo envio de pulsos apenas pelo terminal relativo a determinado sentido de rotação (pulsos de avanço e recuo), ou pela existência de um sinal apenas afeto ao sentido de rotação (pulsos de movimentação e sinal de avanço e recuo) (Tabela 4.1)[23].

Tabela 4.1 - Tipos de comando por pulsos.

Tipos de Pulsos de Comando	Comando de Avanço	Comando de Recuo
<p>Fases A e B Desfasadas de 90°</p>		
<p>Pulsos de Avanço e Recuo</p>		
<p>Pulsos de Movimentação e Sinal de Avanço ou Recuo</p>		

4.1.1.2 Requisitos

A análise das características do sistema a automatizar, conjugada com os objetivos a alcançar nesta automatização, permitiu estipular os seguintes requisitos para o servomecanismo a selecionar:

1. Permitir o controlo exato da posição, velocidade e aceleração do servomotor;
2. Permitir o controlo do servomotor de forma simples e flexível;
3. Permitir a monitorização exata da posição e velocidade do servomotor;
4. Permitir a monitorização dos parâmetros de movimentação do servomotor de forma simples;
5. Permitir o controlo e monitorização da movimentação do servomotor com implementação simples numa linguagem de programação de controladores industriais;
6. Ser um sistema compacto.

4.1.1.3 Seleção do Servomecanismo

A análise dos requisitos e das propriedades dos servomecanismos existentes, permitiu a seleção de um servomecanismo cujos componentes são os seguintes:

- **Driver** – *OMRON R7D-BP02HH* (Figura 4.6);
- **Servomotor e *encoder*** – *OMRON R88M-G20030H-S2* (Figura 4.7).

Esta seleção é aprovada pela adequação do servomotor ao sistema mecânico, tal como apresentado em [5]. Na Tabela 4.2 são apresentadas as propriedades dos elementos do servomecanismo de maior importância no processo de seleção do equipamento [24][25].



Figura 4.6 - Driver *OMRON R7D-BP02HH*.



Figura 4.7 — Servomotor e *encoder OMRON R88M-G20030H-S2*.

Tabela 4.2 - Propriedades relevantes dos elementos do servomecanismo selecionado.

Servomotor e <i>encoder</i>	
Método de Controlo do Servomotor	Analógico, MECHATROLINK II ou comando por pulsos
Tipo de <i>Encoder</i>	Incremental
Resolução do <i>Encoder</i>	13 Bit
Driver	
Método de Controlo do Servomotor	Comando por pulsos

O sistema apresentado pelas propriedades que possui satisfaz os requisitos propostos, tal como é apresentado de seguida [20][23][24][25]:

- 1. Controlo exato da posição, velocidade e aceleração do servomotor** – o controlo da posição, velocidade e aceleração é permitido pelos vários métodos de controlo do servomotor apresentados na Tabela 4.2. A exatidão no controlo destas variáveis assenta na elevada resolução do *encoder* acoplado ao motor, que permite uma resolução angular na ordem de grandeza da centésima de grau;
- 2. Controlo do servomotor de forma simples e flexível** – este requisito é cumprido, primeiramente, pela possibilidade de utilização do comando por pulsos, que é uma metodologia de controlo do servomotor simples, que se baseia apenas no número de pulsos e na frequência dos mesmos. A esta soma-se a possibilidade de modelar os pulsos de controlo utilizando blocos de funções que podem ser utilizados na generalidade dos controladores industriais atualmente. Estes blocos permitem gerar diretamente os pulsos de acordo com os parâmetros inseridos, facilitando este processo;
- 3. Monitorização exata da posição e velocidade do servomotor** – a monitorização da posição e velocidade é permitida pelo *encoder* incremental, que é aplicável ao sistema dado que a posição de referência será sempre conhecida, nos momentos em que será necessário monitorizar a movimentação do servomotor. Além do *encoder* adequado ao sistema, a monitorização é possível porque o *driver* apresenta como sinais de saída, pulsos baseados nas informações transmitidas pelo *encoder* ao mesmo. Por fim, a exatidão na monitorização é proporcionada pela elevada resolução do *encoder*;
- 4. Monitorização dos parâmetros de movimentação do servomotor de forma simples** – a monitorização é simplificada pela possibilidade de obter a posição e a velocidade do servomotor recorrendo a blocos de funções, que permitem a obtenção direta dos dados pretendidos de acordo com os parâmetros introduzidos na função;

5. Controlo e monitorização da movimentação do servomotor com implementação simples numa linguagem de programação de controladores industriais – este requisito é salvaguardado pela possibilidade de utilização de blocos de funções para o controlo e monitorização, uma vez que, esta é uma das linguagens para controladores programáveis industriais previstas na norma IEC 61131-3. Além disto, esta pode ser integrada em programas elaborados em outras linguagens referenciadas na mesma norma, nomeadamente em diagramas de *Ladder*;

6. Ser um sistema compacto – requisito satisfeito pelo facto de este sistema incluir no mesmo corpo, o motor e o *encoder*.

4.1.2 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação é o componente responsável por alimentar o controlador, o HMI, os sensores de rotura/inexistência de fio e os relés.

4.1.2.1 Requisitos

A análise das funcionalidades exigidas a este dispositivo aliada às suas condições de utilização, permitiu clarificar os seguintes requisitos:

1. Possuir alimentação a 230V CA - 50 Hz;
2. Possuir saída a 24V CC;
3. Possuir potência superior ou igual a 40 W.

O terceiro requisito foi obtido pelo arredondamento à dezena da soma das potências dos dispositivos alimentados pela fonte de alimentação, acrescida de uma margem de 20W, de forma, a que no caso de ampliação da parte física do sistema de automação, esta possa alimentar mais dispositivos.

4.1.2.2 Seleção da Fonte de Alimentação

A análise dos requisitos permitiu a seleção da fonte de alimentação *Weidmüller* PRO ECO 72W 24V 3A (Figura 4.8), cujas principais características estão apresentadas de seguida (Tabela 4.3) [26].



Figura 4.8 - Fonte de alimentação *Weidmüller* PRO ECO 72W 24V 3A.

Tabela 4.3 - Propriedades relevantes da fonte de alimentação selecionada.

Tensão de Entrada	100 – 240 V CA
Frequência de Entrada	47 – 63 Hz
Tensão de saída Nominal	24 V CC (regulável 22 – 28 V CC)
Corrente de saída Nominal	3A
Potência Nominal	72 W

A análise conjunta das propriedades e dos requisitos apresentados permite depreender as razões que justificam a escolha deste dispositivo.

4.2 Circuito de Comando

4.2.1 Controlador Industrial

O controlador garante o funcionamento pretendido para o sistema através do controlo dos elementos que o constituem. Neste projeto optou-se por utilizar um controlador industrial (PLC), já que, é mais fiável que os restantes tipos de controladores, contribuindo para o cumprimento do requisito não-funcional 3d.

4.2.1.1 Enquadramento Teórico

Os controladores industriais (PLC's) são equipamentos que poderão ser utilizados tanto para o controlo de equipamentos simples e individuais, como para o controlo e sincronização de vários equipamentos, ou a supervisão e controlo de unidades de fabrico ou conjuntos de subsistemas. Estes equipamentos distinguem-se dos restantes controladores baseados em microprocessadores, uma vez que, não requerem para a sua programação peritos em informática, já que, são de programação simples.

Os PLC's são constituídos por entradas e saídas (aquisição e saída de informação), microprocessador (tratamento de informação), memória (guardar programas) e fonte de alimentação (Figura 4.9).

O ciclo operacional destes equipamentos é constituído por três secções principais, o *scan* das entradas, o do programa e o das saídas, sendo executadas por esta ordem [27].

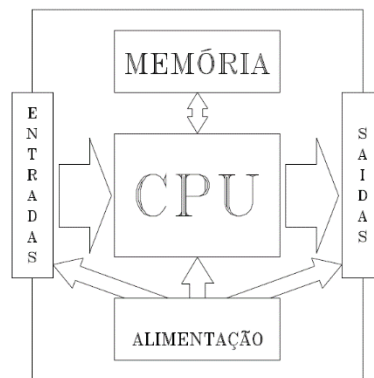


Figura 4.9 - Esquema da estrutura de um PLC.

Estes equipamentos podem dividir-se em compactos ou modulares. Os compactos caracterizam-se por integrar no mesmo bloco todas as partes que o constituem, ao passo que os modulares apresentam estas partes por módulos possuindo assim um maior volume, custo e versatilidade [27].

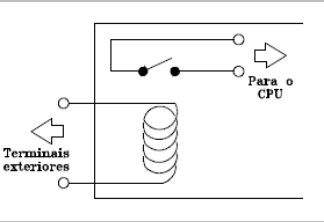
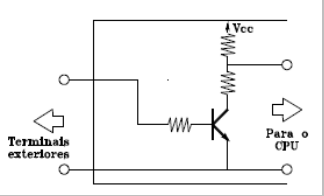
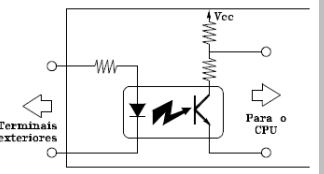
Saídas

As saídas de um PLC podem ser baseadas em relés, transístores, acopladores óticos ou triacs. As saídas por relés, transístores ou acopladores óticos estão implementadas de maneira inversa à das entradas do PLC, estando ligado ao CPU o que nas entradas são os terminais exteriores. As vantagens e desvantagens associadas as estas saídas são semelhantes às suas entradas homólogas transpostas para uma lógica de saídas. No que respeita às saídas por triac, estas apresentam a vantagem de permitir a comutação de cargas em corrente alternada a frequências elevadas sem desgaste significativo, e com isolamento total entre o CPU e os circuitos exteriores mediante a utilização de um foto-triac [27].

Entradas

As entradas mais comuns de um PLC são as baseadas em relés, transístores ou acopladores óticos, apresentando cada uma das soluções tecnológicas vantagens e desvantagens (Tabela 4.4) [27][28].

Tabela 4.4 - Tipos de entrada de um PLC e as suas vantagens e desvantagens.

Tipo de Entrada	Vantagens	Desvantagens
<p>Relés Mecânicos</p> 	<p>Garante isolamento elétrico entre a entrada do PLC e o CPU</p> <p>Compatibilidade com correntes alternadas ou contínuas</p> <p>Menos suscetível a interferências (devido ao elevado consumo de corrente na entrada)</p>	<p>Atraso no sinal lido</p> <p>Elevado consumo de corrente na entrada</p>
<p>Transístores*</p> 	<p>Rapidez no sinal lido</p> <p>Maior fiabilidade</p> <p>Reduzido consumo de corrente na entrada</p>	<p>Mais suscetível a interferências (reduzido consumo de corrente na entrada)</p> <p>Não garante isolamento elétrico entre a entrada do PLC e o CPU</p>
<p>Acopladores Óticos (díodo foto-emissor e foto-transistor)*</p> 	<p>Garante isolamento elétrico entre a entrada do PLC e o CPU</p> <p>Reduzido consumo de corrente na entrada</p> <p>Rapidez no sinal lido</p> <p>Maior fiabilidade</p>	<p>Mais suscetível a interferências (reduzido consumo de corrente na entrada)</p>

* estas entradas poderão ser PNP (*sourcing*) ou NPN (*sinking*), conforme o comum seja positivo ou negativo, respetivamente.

Memória

A memória do PLC tem como função guardar todas as instruções do programa a ser executado pelo PLC, mesmo quando o equipamento deixa de ser alimentado. Além disto, este é responsável por reter em *bits* informação lógica (estado ligado ou desligado / 1 ou 0) necessária para a execução do programa. Estes *bits* denominados de relés agrupam-se em conjuntos de dezasseis. A estes conjuntos é atribuído o nome de *word* ou canal, sendo devidamente numerados à semelhança dos *bits* neles contidos.

Assim, o endereçamento de um *bit* em memória é feito, geralmente, através do número do canal seguido da posição no mesmo, por exemplo, “0106” é o endereço do *bit* em memória presente na sétima posição do segundo canal [27].

Programação

A programação de um PLC define a atuação das saídas mediante os dados recolhidos nas entradas. Os programas são constituídos por instruções e funções, que são constituídas por relés internos (elementos da programação associados a *bits* de memória). Os relés internos disponíveis nos PLC são diversos, destacando-se [27]:

- **Relés internos I/O** - associados a entradas e saídas;
- **Relés internos com retenção** - mantêm o seu estado quando existe falha na alimentação do PLC, sendo utilizados apenas para armazenar dados;
- **Relés internos de temporizadores e contadores** – têm o seu estado associado a um determinado temporizador ou contador;
- **Relés internos especiais** - associados a funções pré-definidas de monitorização de operações do PLC, acesso a impulsos de *clock* ou sinalização de erros.

A linguagem de programação a utilizar deve ser normalizada e concordante com o exigido pela marca para o modelo de PLC. A norma IEC 61131-3 propõe quatro linguagens de programação sendo duas gráficas, o *Ladder Diagram* e o *Function Block Diagram*, e duas textuais, *Instruction List* e *Structured Text* [27][29].

4.2.1.2 Requisitos

A análise das características e do funcionamento pretendido para o sistema a desenvolver, em conjunto com determinados aspetos associados ao projeto de um sistema de automação, permitiu estipular os requisitos para o PLC a utilizar, sendo estes os apresentados de seguida.

1. Ser um equipamento compacto;
2. Possuir as seguintes entradas: sete entradas por transistor ou acoplador ótico; três entradas por relé; uma entrada por transistor ou acoplador ótico para *encoder*;
3. Possuir as seguintes saídas: quatro saídas por transistor ou acoplador ótico, sendo duas destas saídas de pulsos;
4. Permitir programação nas linguagens *Ladder Diagram* e *Function Block Diagram*, sendo que na última se deverá permitir a utilização de funções para a determinação do número e frequência dos pulsos de *feedback*, e para o controlo da movimentação do servomotor com comando por pulsos;
5. Possuir quantidade de memória adequada ao sistema de automação a implementar;
6. Possuir uma capacidade de programa e tempo de execução adequados ao sistema de automação a implementar;
7. Possuir *Real Time Clock* (para que o sistema situe corretamente os dados recolhidos no tempo, sem que dependa de informações temporais externas, como por exemplo, de um computador);
8. Possuir *backup* de memória;
9. Permitir comunicação com um HMI e um computador.

4.2.1.3 Seleção do Controlador Industrial

O controlador industrial selecionado, tendo em conta os requisitos apresentados, trata-se do PLC *OMRON* CP2E-N30DT1-D (Figura 4.10). Este é um equipamento compacto, e as suas propriedades mais relevantes são apresentadas na Tabela 4.5 [30][31][32].



Figura 4.10 - PLC *OMRON* CP2E-N30DT1-D.

Tabela 4.5 - Propriedades relevantes do PLC *OMRON* CP2E-N30DT1-D.

Tensão de Alimentação	24 V - CC
Corrente Consumida	0.03 A
Nº das Entradas Digitais e Tipologia	18 (PNP/NPN)
Nº de Entradas para <i>Encoder</i> e Frequência Máxima	6 – 100 KHz
Nº das Saídas Digitais e Tipologia	12 - Por transístor (PNP)
Nº de Saídas de Pulsos e Frequência Máxima	4 (Pulsos de movimentação e sinal de avanço ou recuo) - 100 KHz
Nº de Portas de Comunicação de Cada Tipo e Redes Associadas	2 portas <i>Ethernet</i> → <u>rede</u> : <i>Ethernet</i> 2 portas frontais → <u>redes</u> : <i>CompoBus/S Slave</i> , <i>Serial RS-232C</i> , <i>Serial RS-422</i> , <i>Serial RS-485</i> *
Protocolos de Comunicação Relevantes e Portas Associadas	<i>Ethernet</i> TCP/IP (informação); <i>Ethernet</i> FINS (comandos) // <i>Host Link</i> ; <i>1: N NT Link</i> (normal ou elevada velocidade) → Porta Frontal (RS-232C)
Linguagens de Programação Suportadas	<i>Ladder Diagram</i> e <i>Function Block Diagram</i> **
<i>Backup</i> de Memória	✓ (sem recurso a bateria)
Quantidade de Memória para Armazenamento de Dados	16 000 <i>words</i>
Capacidade do Programa	20 000 passos
Tempo de Execução Lógica	0.23 µs
<i>Real Time Clock</i>	✓

* A inserção nas portas frontais de adaptadores permite anexar ao PLC novas portas de compatíveis com as redes mencionadas;

** Este PLC permite a utilização de blocos de funções que permitem, a monitorização do número de pulsos e respetiva frequência dos sinais de entrada (PRV), e o controlo de um servomotor através de comando por pulsos (ACC e PLS2).

A análise direta da Tabela 4.5 justifica as razões para a seleção deste equipamento, importando apenas esclarecer alguns aspetos. No respeitante às entradas relé mencionadas nos requisitos, apesar de o equipamento não as possuir, a sua necessidade poderá ser facilmente suprimida com a utilização de um relé mecânico externo.

A quantidade de memória para armazenamento de dados, capacidade do programa e velocidade de execução lógica, consideram-se suficientes dada a reduzida quantidade de dados recolhidos, a simplicidade do programa e a não preponderância do fator tempo para o correto funcionamento do sistema, respetivamente. Por fim, este equipamento permite a comunicação com um HMI e um computador, já que, as portas de comunicação que possui, ou que lhe poderão ser adicionadas, e respetivas redes e protocolos de comunicação são compatíveis com a generalidade destes equipamentos.

4.2.2 Sensores de Fio

Os sensores de rotura/inexistência de fio são os componentes que permitem a obtenção do sinal, que indica rotura nas fases de desenrolamento, condução e enrolamento.

4.2.2.1 Requisitos

A aglomeração das funções pretendidas para estes componentes com as condições a que estes estão sujeitos durante o seu funcionamento, permitiu clarificar os seguintes requisitos para os mesmos:

1. Emitirem um sinal aquando da ocorrência da rotura de fio, isto é, possuírem pelo menos um contacto NF ou NA;
2. Possuírem integração simples com a componente mecânica do sistema;
3. Possuírem alimentação a 24 V CC (para permitir a utilização de uma única fonte de alimentação).

4.2.2.2 Seleção dos Sensores de Fio

Os sensores de fio selecionados, tendo por base os requisitos apresentados, tratam-se dos detetores de rotura/inexistência de fio localizados nos alimentadores positivos escolhidos para a parte mecânica do sistema [5], os MPF P da *MEMMINGER-IRO*. De seguida, apresentam-se as propriedades mais relevantes destes dispositivos.

Um alimentador positivo MPF P possui um sensor de fio na entrada e outro na saída, cada sensor está associado a um circuito em série com a lâmpada interna do alimentador, tendo como terminais o corpo metálico do alimentador e os terminais superior ou inferior, tal como sugere a Figura 4.11 e a Figura 4.12 [19].

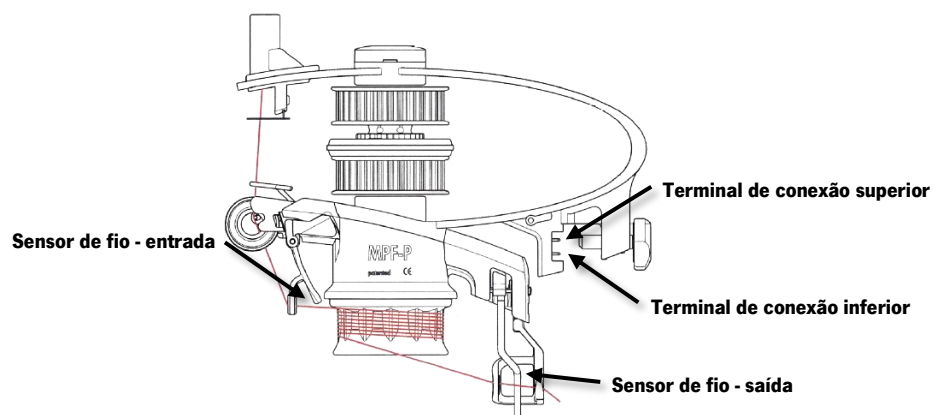


Figura 4.11 - Representação dos componentes associados aos sensores de fio do alimentador positivo MPF P.

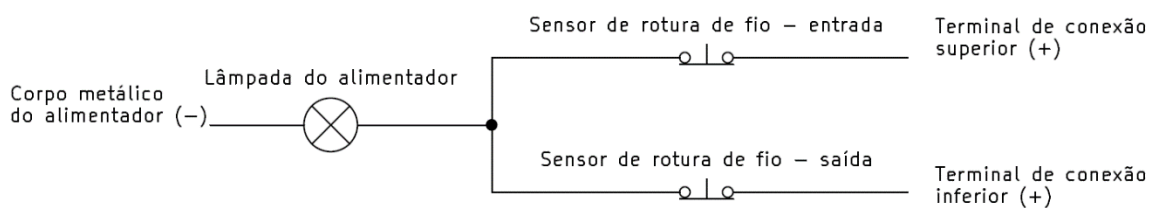


Figura 4.12 - Circuito elétrico associado aos sensores de fio do alimentador positivo.

Os sensores de fio presentes neste dispositivo têm ainda a opção de encravamento mecânico, que permite ativar ou desativar a função do sensor, como o esquematizado na Figura 4.13 [19].

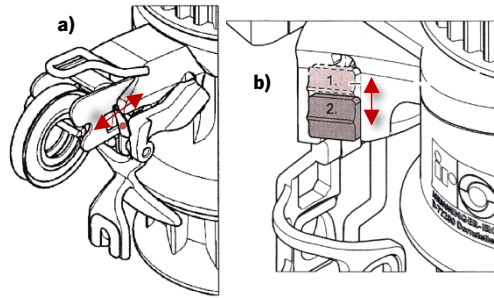


Figura 4.13 - Representação da opção de bloqueio mecânico dos sensores de fio [a] – sensor de entrada / b) – sensor de saída].

As propriedades elétricas do circuito associado aos sensores de fio estão as apresentadas na Tabela 4.6 [19].

Tabela 4.6 - Propriedades elétricas do circuito associado aos sensores de fio do alimentador positivo.

Tensão de Alimentação	12/24 V CC ou CA (50 - 60 Hz)
Consumo de Corrente por Dispositivo	60 mA
Tipologia dos Contactos	NF (na ausência de fio)

A análise das especificações dos dispositivos em conjunto com os seus requisitos, permite concluir de forma inequívoca que a seleção destes componentes se trata de uma escolha acertada.

4.2.3 Relés

Os relés são utilizados para a transferência do sinal associado à rotura de fio dos sensores de fio para as respetivas entradas do controlador, protegendo-as de eventuais oscilações que possam ocorrer no circuito dos sensores.

4.2.3.1 Requisitos

O estudo das funções pretendidas para estes componentes em conjunto com as condições a que os mesmos estarão sujeitos em funcionamento, permitiu delinear um conjunto de requisitos, sendo estes:

1. Possuírem tensão de alimentação de 24V CC (para permitir a utilização de uma única fonte de alimentação);
2. Possuírem corrente nominal inferior a 60 mA (corrente consumida pelo circuito de cada sensor de rotura de fio);
3. Possuírem diodo *free-wheel* (proteção dos restantes elementos do circuito do sensor contra picos de tensão).

4.2.3.2 Seleção dos Relés

Os relés escolhidos tratam-se dos relés mecânicos *Weidmüller* TRZ 24VDC 1CO (Figura 4.14), sendo as suas principais propriedades apresentadas de seguida (Tabela 4.7) [33].



Figura 4.14 - Relé mecânico *Weidmüller* TRZ 24VDC 1CO.

Tabela 4.7 – Propriedades relevantes dos relés seleccionados.

Tensão de Alimentação	24 V CC
Corrente Nominal	10 mA
Circuitos de Proteção	Diodo <i>Free-wheel</i>
Tipologia dos Contactos	1 NA e 1 NF

A análise das características destes componentes tendo em conta os requisitos apresentados, denota as razões que motivaram a escolha dos mesmos.

4.2.4 Sensor da Tampa de Segurança

O sensor da tampa de segurança é utilizado para a deteção da abertura da tampa do compartimento correspondente ao subsistema de condução da máquina.

4.2.4.1 Requisitos

O estudo da função pretendida para este componente e das condições de funcionamento a que o mesmo está sujeito, permitiram a definição de um conjunto de requisitos, sendo estes:

1. Possuir pelo menos um contacto NA ou NF;
2. Ser compatível com uma tensão nos seus terminais de 24V CC (para que seja compatível com a fonte de alimentação e PLC seleccionados);
3. Possuir atravancamento e posicionamento dos parafusos de suporte, que conduzam a uma integração física na máquina, que permita a execução da função pretendida.

4.2.4.2 Seleção do Sensor da Tampa de Segurança

O sensor de abertura de tampa selecionado, trata-se do sensor de fim de curso *OMRON* D4N-9132, sendo as suas principais características apresentadas na Tabela 4.8 [34].

Tabela 4.8 - Propriedades relevantes do sensor da tampa de segurança selecionado.

Tipologia dos Contactos	1 NF e 1 NA
Tensão e Corrente Nominal	250 V CC (0.27A)

A análise das características da tabela acima permitem depreender a concordância do sensor escolhido com os requisitos 1 e 2. No respeitante ao requisito 3, esta concordância foi aferida através da integração do referido sensor na modelação em CAD do equipamento (Figura 4.15).

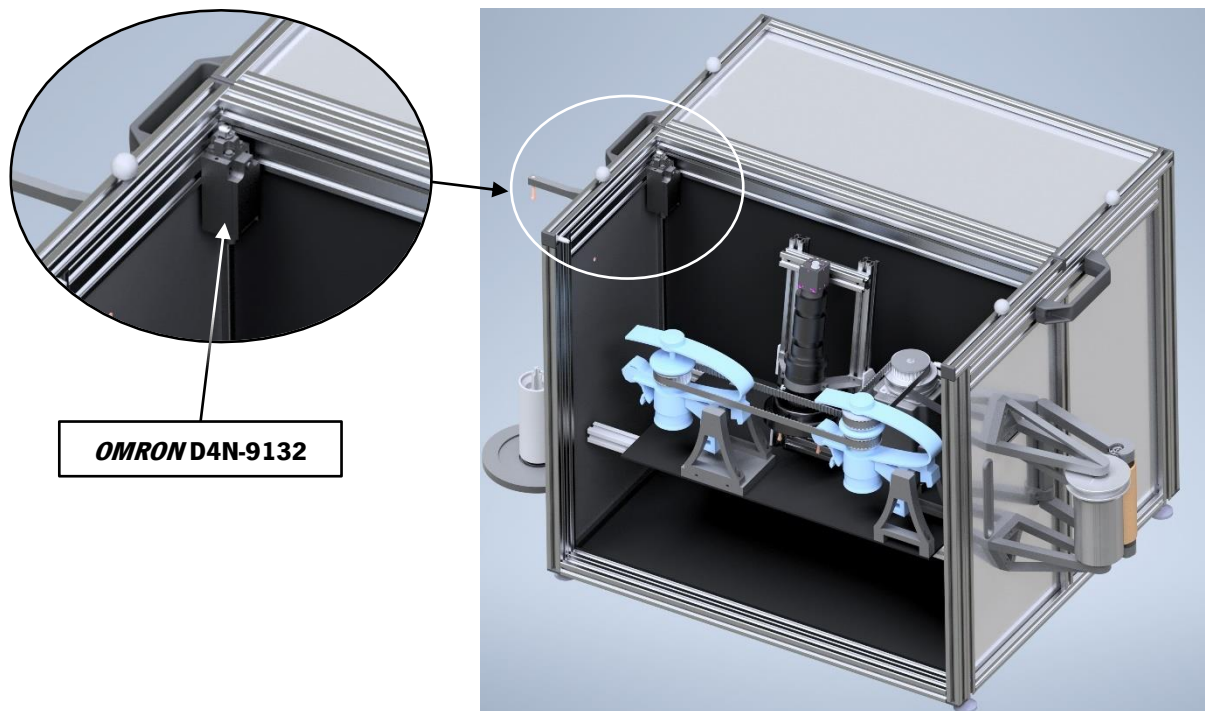


Figura 4.15 - Integração do sensor *OMRON* D4N-9132 na modelação CAD do equipamento.

4.2.5 Sistema SCADA

O SCADA neste projeto permite o controlo do sistema, assim como, a monitorização e o armazenamento dos dados decorrentes do seu funcionamento em tempo real.

O sistema SCADA (Figura 4.16) é um conjunto de *hardware* e *software* que permite a supervisão e controlo de linhas de produção localmente ou remotamente em tempo real. Além disto, a informação recolhida é frequentemente armazenada para análise da especificidade dos processos. Este sistema é, geralmente, constituído por sensores e/ou atuadores, PLC's e/ou RTU's⁴, e HMI's e/ou computadores [35].

Os sensores e atuadores fornecem dados do processo, que os PLC's e/ou RTU's processam e transmitem para a rede mediante um protocolo de comunicação, que é interpretado pelos HMI's e/ou computadores, que apresentam nos seus ecrãs a informação recolhida mediante gráficos, indicadores e botões, permitindo que o utilizador monitorize e controle o sistema [35].

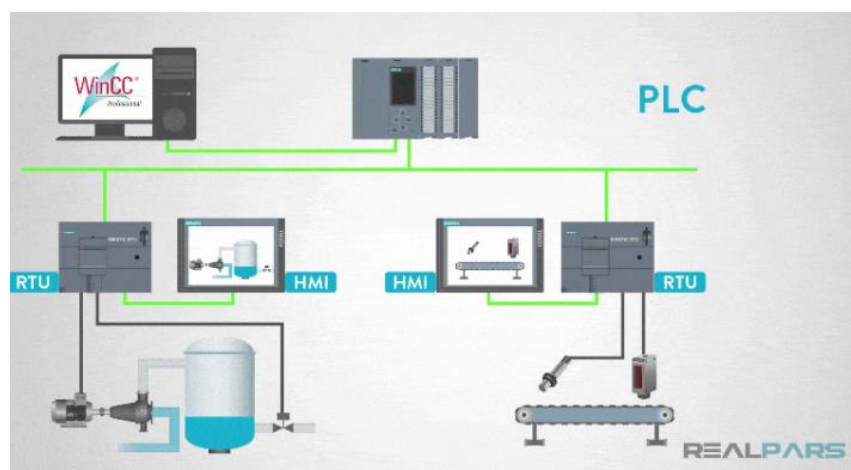


Figura 4.16 - Representação de um sistema SCADA.

O conjunto SCADA a utilizar no sistema a desenvolver é constituído por um HMI local, instalado no próprio corpo do equipamento, e um HMI em conjunto com um sistema de organização e armazenamento de dados, ambos, executados por um computador que se situa nas imediações da máquina. De seguida, será apresentado o enquadramento teórico, os requisitos e as escolhas para cada um destes sistemas, assim como, para os respetivos protocolos de comunicação.

⁴ **RTU** – controlador que tem como unidade de processamento um microprocessador, e é responsável pela monitorização e controlo dos dispositivos que estão em contacto direto com o processo. Este destaca-se pela resistência a condições extremas e localizações remotas, como por exemplo, plataformas petrolíferas [36].

4.2.5.1 HMI - Máquina

Um HMI trata-se de um ecrã, geralmente, táctil que permite monitorizar e controlar um sistema automatizado em tempo real.

A sua programação é feita num computador com o *software* indicado pela marca para o modelo de HMI, e transferido do computador para o equipamento mediante um determinado protocolo de comunicação compatível com os dois dispositivos [37][38].

Requisitos

Os requisitos estipulados para o HMI da máquina, tendo por base as características e o funcionamento pretendido para o sistema a desenvolver, são:

1. Permitir comunicação com o PLC seleccionado, sem necessidade de programação adicional para o propósito;
2. Atravancamento inferior 460 x 180 x 80 mm;
3. Possuir ecrã táctil;
4. Permitir uma programação e *debugging* simples;
5. Alimentação a 24 V CC ou 230 V CA.

Seleção do HMI

O HMI seleccionado, considerando os requisitos apresentados trata-se de um *OMRON* da gama *NS-Series*, o NS5-SQ10-V2 (Figura 4.17). As propriedades do equipamento mais relevantes são apresentadas na Tabela 4.9 [32][38][39][40].



Figura 4.17 - HMI *OMRON* NS5-SQ10-V2.

Tabela 4.9 - Propriedades relevantes do HMI *OMRON* NS5-SQ10-V2.

Nº de Portas de Comunicação e Tipo	2 portas RS-232C // 1 porta USB
Protocolos de Comunicação Relevantes e Portas Associadas	<i>Host Link</i> *; <i>NT Link</i> (1:1 NT Link ou 1:N NT Link (normal ou elevada velocidade)* → Porta RS-232C
Atravancamento	195 x 142 x 49 mm
Tipo de Ecrã	Táctil
Software de Programação	<i>Cx-Designer</i> **
Tensão de Alimentação	24 V CC
Potência Consumida Máxima	15 W
Aspect Ratio e Dimensão do Ecrã	4:3 - Diagonal de 5,7" (117 x 88 mm)
Resolução	320 x 240 pixéis

*Protocolos que permitem a comunicação com o PLC sem necessidade de programação específica [32].

**Este *software* de programação de HMI's é o recomendado pela marca para o modelo escolhido, destacando-se pela facilidade de criação e reutilização de ecrãs. A esta soma-se o facto de este *software* permitir uma simulação integrada PLC/HMI inteiramente no computador através de um emulador do HMI, e do *Cx-Simulator* que simula um PLC que executa o comando presente num determinado ficheiro em *Cx-Programmer*. O emulador de HMI permite, também, testar os diferentes ecrãs com o PLC real sem necessidade da transferência destes para o HMI físico. Estas capacidades tornam mais eficiente o desenvolvimento e *debugging* quer dos ecrãs do HMI quer do próprio comando [41].

A análise da Tabela 4.9 em conjunto com os requisitos apresentados, e os protocolos de comunicação aceites pelo PLC (capítulo 4.2.1), permite depreender diretamente as razões que tornam a seleção deste HMI uma decisão correta no contexto deste projeto.

4.2.5.2 Interface HMI, Recolha, Tratamento e Armazenamento de Dados - Computador Local

No computador local deve de estar instalado um *software* capaz de executar um programa que permita, continuamente (independentemente do estado do comando da máquina), recolher dados do PLC, tratá-los, armazená-los em ficheiros e apresentá-los ao utilizador no ecrã do computador mediante uma *interface* HMI.

Requisitos

O conjunto das características do sistema pretendidas transpostas para este subsistema, permitiram estipular os requisitos que o pacote de *software(s)* selecionado deverá respeitar:

1. Permitir a comunicação com o PLC selecionado;
2. Permitir a recolha de dados do PLC;
3. Permitir o tratamento de dados;
4. Permitir o armazenamento de dados;
5. Permitir apresentação de dados no ecrã de um computador através de uma *interface* HMI;
6. Permitir uma programação simples.

Seleção de *Software*

O pacote de *software* selecionado foi o *LabVIEW* com o seu *add-on NI OPC Servers*, sendo as suas propriedades e funcionalidades apresentadas de seguida.

O *LabVIEW* trata-se de um ambiente de programação gráfica, que tornando visíveis todos os aspetos do programa desenvolvido facilita a programação e, respetivo, *debugging*. Este permite, também, a recolha consistente de dados e o seu tratamento. Estes dados podem ser armazenados, com a formatação pretendida, em ficheiros *standard* como texto ou CSV, e visualizados num ecrã mediante uma *interface* HMI. Este programa torna possível uma simples integração do *hardware* de um amplo conjunto de fabricantes, já que, possui um alargado portfólio de protocolos de comunicação industrial com os quais é compatível, tais como, *EtherCAT*, *Ethernet/IP*, *Modbus*, *OPC UA* ou *PROFIBUS*. Desta forma, o *LabVIEW* poderá utilizado no desenvolvimento de sistemas de teste e de equipamento industrial [42][43].

O *OPC Servers* é um *add-on* de *software* para *LabVIEW* que transpõe os protocolos industriais fechados em protocolos abertos OPC clássico e OPC UA. Esta conversão permite que as aplicações do *LabVIEW* estabeleçam comunicação com diversos PLC's. Entre os protocolos industriais fechados com os quais é compatível inclui-se o *OMRON Ethernet FINS*, utilizado por PLC's da *OMRON* [44][45].

O funcionamento do *LabVIEW* com o *OPC servers* para comunicação com um PLC está apresentada na Figura 4.18. Neste sistema o PLC publica dados na rede e o *OPC server* utilizando o protocolo proprietário designa uma *tag* para os endereços de memória do PLC pretendidos, transpondo os seus dados para OPC clássico ou OPC UA. De seguida, o *shared variable engine* através do *OPC client I/O server* acede a cada uma das *tags* por via do protocolo OPC adequado, criando para estes *bound variables* que podem ser acedidas pelo *LabVIEW* através de *shared variables* [46].

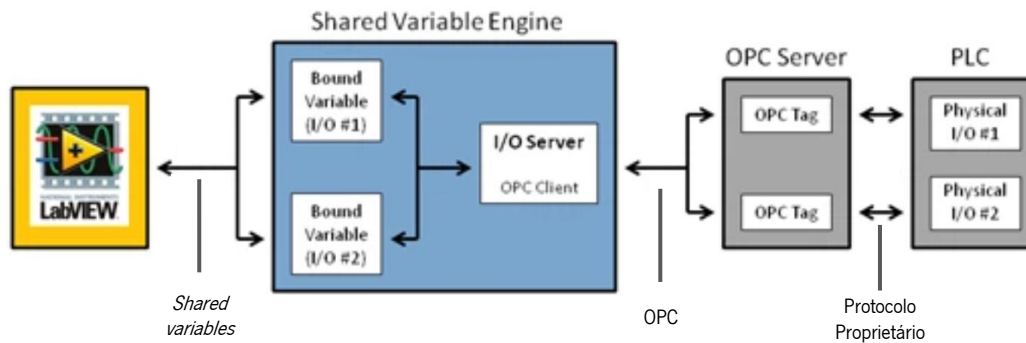


Figura 4.18 - Esquematização do funcionamento conjunto do *LabVIEW / NI OPC Servers* para comunicação com um PLC.

A análise conjunta dos requisitos para o pacote de *software* a selecionar, e das especificações do *LabVIEW* com o seu *add-on NI OPC Servers*, permitem concluir que esta opção se trata de uma escolha correta no contexto do projeto.

4.2.5.3 Protocolos de Comunicação

Os protocolos de comunicação que estruturam o fluxo de informação entre os componentes controlador/HMI e controlador/*LabVIEW*, são apresentados de seguida.

Controlador / HMI

A comunicação entre o controlador e o HMI selecionados, tendo em conta as suas características, apenas pode ser efetuada mediante os protocolos de comunicação *Host Link* ou *1:N NT Link*.

O *Host Link* trata-se de um protocolo de comunicação em série por RS-232 ou RS-422, aceitando um máximo de trinta e dois nós. Este baseia-se na lógica *master/slave*, em que o dispositivo *master* é responsável por solicitar ou escrever dados na memória dos respetivos dispositivos *slave* [47][48].

O *NT Link* é um protocolo especial para comunicação em série a elevada velocidade entre PLC's e HMI's da *OMRON*, possuindo duas vertentes a *1:1 NT Link* e a *1:N NT Link*. A última poderá acomodar até 8 HMI's ligados a uma mesma porta do controlador, podendo ainda estabelecer comunicações com velocidade máxima de 115,2 Kbps [32][38][49].

A seleção do protocolo de comunicação recaiu sobre o *1:N NT Link*, já que, este permite velocidades de comunicação superiores ao *Host Link*, permitindo um tempo de envio e recessão de dados entre o HMI e o controlador mínimo.

Controlador / LabVIEW

A seleção do *LabVIEW* e do seu *add-on NI OPC Servers* aliada às características do PLC e da generalidade dos computadores limita os protocolos de comunicação a utilizar. Assim, a comunicação entre o PLC e o *NI OPC Servers* poderá ser feita via FINS/TCP, e a comunicação entre o *NI OPC Servers* e o *LabVIEW* por OPC UA.

O FINS/TCP trata-se de um método de envio de comunicações FINS através do protocolo de comunicação TCP/IP. O TCP/IP é um protocolo de comunicação em que é necessário definir quais são os nós “cliente” e “servidor”, sendo que numa comunicação entre um PLC e um computador, geralmente, o PLC é o nó “servidor” e o computador o “cliente”.

Este protocolo de comunicação caracteriza-se pela utilização do ACK após a receção de informação, possuindo também procedimentos automáticos de envio de informação em caso de erro na comunicação. Esta característica torna a comunicação mais lenta quando comparada com outros protocolos, no entanto, permite uma maior fiabilidade na comunicação. Este protocolo permite ainda que um nó possa comunicar com um máximo de dezasseis outros nós, simultaneamente [50].

O OPC trata-se de um *standard* que garante uma troca de informação fiável e segura entre dispositivos de diferentes vendedores. Este permite um acesso ou edição dos dados por parte de sistemas SCADA, através de protocolos *standard*, dados estes que o OPC lê ou escreve na memória dos PLC's comunicando com os mesmos por protocolos específicos [51].

O OPC mais recente e a versão do mesmo mais utilizada nos dispositivos atuais, OPC UA, caracteriza-se principalmente por ser independente de plataforma, podendo ser implementado na *cloud*, em computadores comuns, em PLC's e até microcontroladores, isto com os sistemas operativos mais utilizados atualmente, *Windows*, *Apple OSX* e *Linux*. Este distingue-se, também, pela segurança na comunicação permitindo vários níveis de encriptação, verificação da origem e integridade dos dados, e autorização ou restrição de acesso à informação mediante autenticação [52].

4.3 Ligação entre Componentes Físicos do Sistema

A componente física deste sistema de automação, é formada pelos equipamentos selecionados em 4.1 e 4.2, sob a arquitetura apresentada na Figura 4.19 (note-se que todas as ligações apresentadas são meramente indicativas), importando destacar as ligações elétricas efetivas do sistema, apresentadas no Apêndice A.

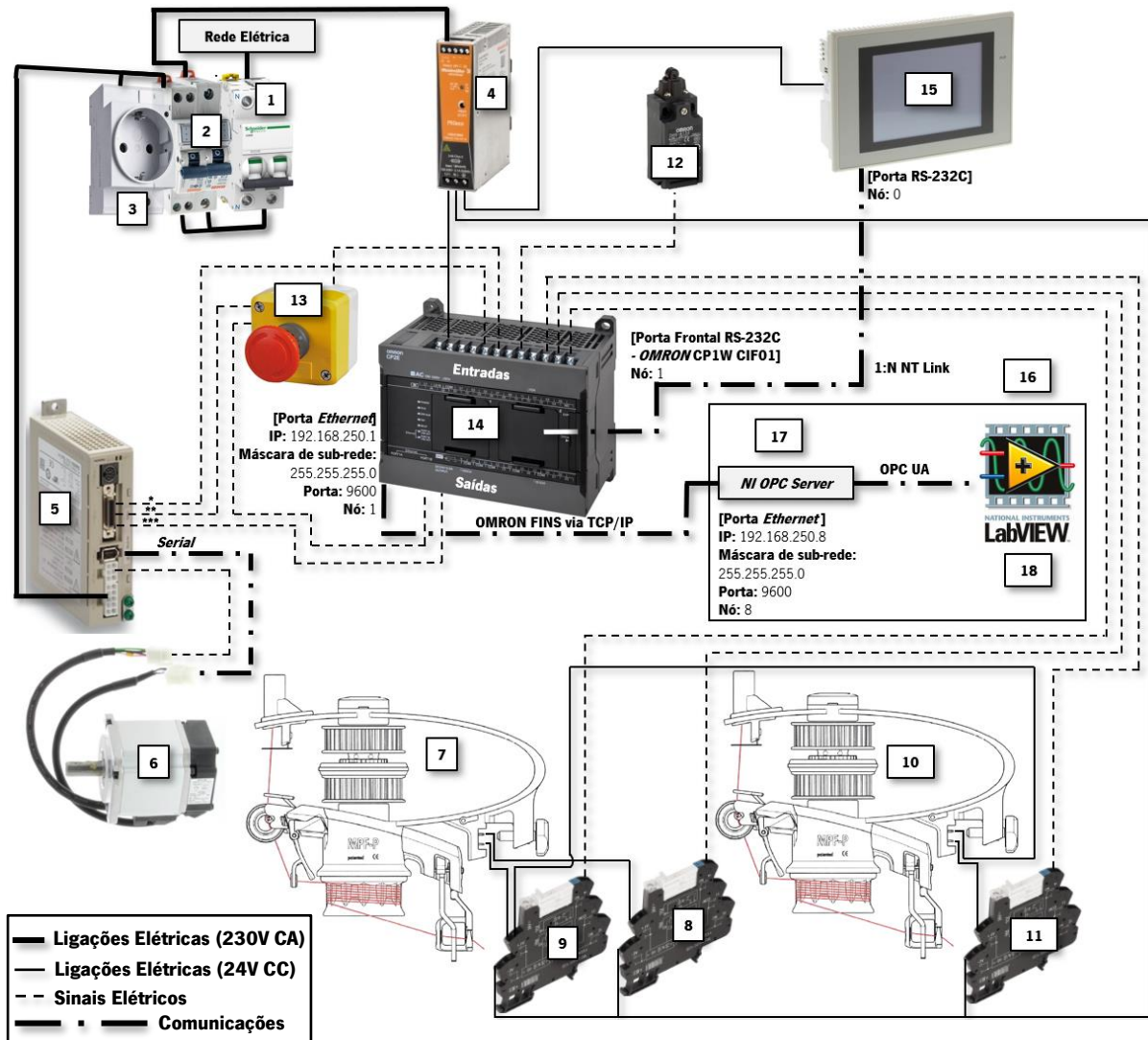


Figura 4.19 - Ligação entre os componentes físicos do sistema.

1 → Disjuntor de corte de fase e neutro;
2 → Disjuntores de corte de fase;
3 → Tomada para ligação da iluminação do fio;
4 → Fonte de alimentação (*Weidmüller* PRO ECO 72W 24V 3A);
5 → *Driver* do servomotor (*OMRON* R7D-BP02HH);
6 → Servomotor (*OMRON* R88M-G20030H-S2);
7 → Alimentador Positivo 1 (*MEMMINGER-IRO* MPF P);
8 → Relé do sensor de fio do desenrolamento (*Weidmüller* TRZ 24VDC 1CO);

9 → Relé do sensor de fio da condução (*Weidmüller* TRZ 24VDC 1CO);
10 → Alimentador Positivo 2 (*MEMMINGER-IRO* MPF P);
11 → Relé do sensor de fio do enrolamento (*Weidmüller* TRZ 24VDC 1CO);
12 → Sensor de abertura de tampa do subsistema de condução (*OMRON* D4N-9132);
13 → Botão de Emergência;
14 → PLC (*OMRON* CP2E-N30DT1-D);
15 → HMI Local (*OMRON* NS5-SQ10-V2);
16 → Computador Local;
17 → *NI OPC Server*;
18 → *LabVIEW*.

*Pulsos do *encoder* / estado do servomotor / estado de execução dos comandos;

**Ordem de movimentação;

***Comando por pulsos / *reset* de erros.

Em suma, o sistema é composto por um PLC responsável pelo controlo, um servomotor comandado por pulsos, que permite por meio do acionamento da cadeia cinemática a movimentação do fio, e diversos sensores que asseguram a deteção da rotura/inexistência de fio e da abertura de tampa. Este possui ainda um botão de emergência físico, e um sistema SCADA, responsável pela interação com o utilizador, constituído por um HMI no corpo do equipamento, e por um programa executado no computador local. Por fim, a alimentação do sistema apresentado é feita por via de um conjunto de disjuntores e uma fonte de alimentação.

5. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE COMANDO DO SISTEMA DE DESENROLAMENTO, CONDUÇÃO E ENROLAMENTO DE FIO TÊXTIL

Neste capítulo é apresentado detalhadamente o comando principal, desde a especificação do comando até ao programa implementado no PLC selecionado. Além disto, é exposto também o sistema SCADA desenvolvido. E no final, são exibidos os aspetos mais relevantes resultantes da implementação e teste deste sistema de automação, entre os quais se destaca a metodologia de implementação e a verificação da concordância do sistema obtido com os requisitos estipulados.

5.1 Descrição Comportamental do Funcionamento da Máquina

Neste subcapítulo são apresentadas as variáveis de entrada, saída e internas do sistema seguidas da especificação do comando, permitindo uma descrição detalhada do funcionamento da máquina.

5.1.1 Variáveis de Entrada, Saída e Internas

As variáveis de entrada, saída e internas do sistema são apresentadas detalhadamente no Apêndice B, C e D, respetivamente.

As variáveis de entrada do sistema estão divididas em variáveis booleanas e numéricas, de acordo com a sua natureza. As booleanas, dada a sua diversidade, foram classificadas de acordo com o domínio do sistema ao qual estão associadas, resultando daí as seguintes categorias:

- Servomotor e *driver*;
- *Encoder*;
- Botões (gerais; menu principal; modo de preparação do teste; modo de teste; modo de término do teste; modo manual);
- Sensores.

No respeitante às variáveis de saída estas foram, também, divididas em booleanas e numéricas, sendo que as booleanas foram seccionadas nas classes:

- Servomotor e *driver*;
- Monitorização do estado do comando do sistema;
- Armazenamento dos dados recolhidos na monitorização das variáveis de funcionamento.

As variáveis internas possuindo, também, elevada diversidade foram divididas nas categorias:

- *Encoder*;
- Ativação de funções de cálculo auxiliares;
- Ativação de funções de controlo do servomotor;
- Ativação de funções de monitorização das variáveis de funcionamento.

5.1.2 Especificação do Comando

Nesta secção é apresentado o comando desenvolvido para suprir os requisitos apresentados em 3.2. Dado que, o sistema a desenvolver é sequencial e controlado a eventos discretos, especificou-se o comando recorrendo-se ao formalismo Grafcet (IEC 60 848), que é especialmente indicado para estes casos de aplicação [53].

Além disto, utilizou-se como base para a estruturação do comando, o GEMMA [27].

A edição e simulação da especificação do comando foi feita com recurso ao *software Automation Studio*.

O comando do sistema encontra-se dividido em partes lógicas designadas de modos, sendo estes:

- **Modo de Preparação do Teste** – controlo do sistema numa lógica semiautomática auxiliando o utilizador nas tarefas de preparação do teste de qualidade ao fio;
- **Modo de Teste** – execução das tarefas de controlo e monitorização do sistema necessárias para a execução dos testes de qualidade ao fio têxtil;
- **Modo de Término do Teste** - controlo do sistema numa lógica semiautomática auxiliando o utilizador nas tarefas de encerramento do teste de qualidade ao fio;
- **Modo de Paragem** – controlo e monitorização do sistema em situações que exigem a paragem do mesmo devido a emergência ou falhas;
- **Modo Manual** – teste, ajuste e monitorização do sistema nas diversas vertentes do seu funcionamento.

Assim, foi elaborado um conjunto de Grafcet's especificando o comando dos diferentes modos apresentados, e um Grafcet adicional, o de maior hierarquia, que garante a coordenação dos modos, por via da coordenação vertical de Grafcet's [54].

No respeitante à implementação da emergência neste sistema, esta foi feita recorrendo-se a uma sequência de emergência acessível a partir de qualquer estado do sistema [55].

5.1.2.1 Coordenação dos Modos de Funcionamento

A coordenação dos modos de funcionamento segundo o apresentado na Figura 5.1, tem o seu comando base especificado pelo Grafcet de maior hierarquia, apresentado no Apêndice E. Este gere os diferentes modos de funcionamento com recurso à coordenação vertical, e possui seis etapas, uma correspondente ao menu principal (etapa 1 – inicial) e as restantes associadas a cada um dos modos.

O acesso a todos os modos é feito a partir do menu principal, através da ativação das variáveis associadas às botoneiras correspondentes aos mesmos, à exceção do modo manual e do modo de paragem. O acesso ao modo manual necessita, também, da autenticação de um utilizador habilitado, já que, permite o acesso a configurações e ações, cuja incorreta utilização é passível de colocar em risco o utilizador e/ou o equipamento. No modo de paragem o acesso ocorre mediante uma emergência ou uma falha, partindo do menu principal ou de qualquer um dos estados dos restantes modos. O evento emergência consiste no acionamento do botão de emergência. As falhas consideradas no encaminhamento para o modo de paragem, variam conforme o modo ou estado de funcionamento (Tabela 5.1), sendo estas:

- 1. Falha por anomalia no servomecanismo (falha crítica)** – acionamento de um dos sinais de alarme do servomecanismo. Esta é considerada uma falha crítica por possuir uma gravidade maior (põe em causa a segurança do utilizador e/ou do equipamento), e ser expectável que ocorra com reduzida frequência;
- 2. Falha por rotura ou inexistência de fio (falha não crítica)** – ativação de um ou mais sensores de fio, relativos ao subsistema de desenrolamento, condução ou enrolamento. Esta é considerada uma falha não crítica por ser um evento de gravidade menor (não é tão suscetível de pôr causa segurança do utilizador e/ou do equipamento), e ser expectável que ocorra com elevada frequência.

Tabela 5.1 – Falhas consideradas nos diversos modos e estados de funcionamento do sistema.

Modo ou Estado de Funcionamento	Falha(s)	Observações
Menu Principal	1 e 2	_____
Modo de Preparação do Teste	1	Sendo um modo de colocação do fio descartam-se anomalias no mesmo.
Modo de Teste	1 e 2	_____
Modo de Término do Teste	1	Sendo um modo de retirada do fio descartam-se anomalias no mesmo.
Modo Manual	_____	Sendo um modo acedido por utilizadores habilitados e de utilização livre, descartam-se quaisquer falhas.

O acesso ao menu principal acontece a partir de qualquer um dos estados dos modos do sistema (excluindo os do modo de paragem), que não envolvem a movimentação do servomotor.

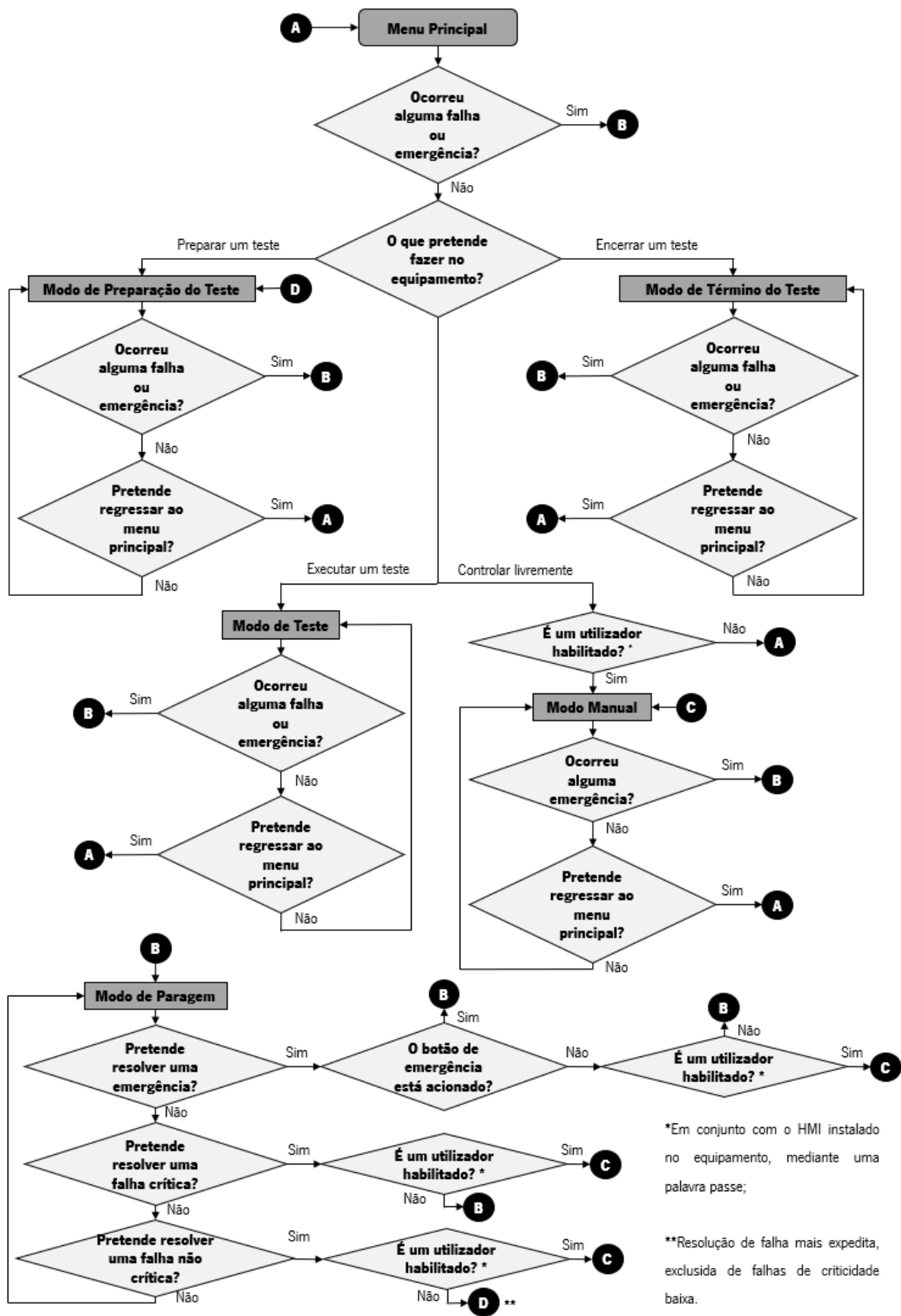


Figura 5.1 – Fluxograma da coordenação dos modos de funcionamento do sistema.

5.1.2.2 Modo de Preparação do Teste

O modo de preparação do teste, cujos Grafcet's de especificação do comando são apresentados no Apêndice E, tem como principal objetivo auxiliar o utilizador nas tarefas de colocação do fio na máquina numa lógica sequencial e semiautomática. Assim, o comando deste modo está seccionado num conjunto de passos lógicos associados às etapas de colocação do fio na máquina (Figura 5.2). As secções do comando apresentadas na Figura 5.2 são expostas e detalhadas de seguida por ordem sequencial.

- 1. Preparação do desenrolamento** – secção do comando correspondente à etapa manual de colocação do fio no subsistema de desenrolamento, segundo as indicações apresentadas no HMI instalado no equipamento;
- 2. Preparação do alimentador 1** – fase do comando associada à colocação manual do fio nas guias do alimentador 1 segundo o indicado no HMI instalado no equipamento;
- 3. Movimento de preparação do alimentador 1** – secção do comando que corresponde ao enrolamento automático da quantidade de fio adequada em torno dos tambores do alimentador. Nesta, o movimento do servomotor é controlado de forma a que este rode o número de voltas pretendido pelo utilizador;
- 4. Preparação do alimentador 2** – porção do comando correspondente aos estados em que é repetido, para o alimentador 2, o processo apresentado em 2;
- 5. Movimento de preparação do alimentador 2** – parte do comando em que se repete, para o alimentador 2, o procedimento apresentado em 3;
- 6. Preparação do enrolamento** – porção do comando em que o utilizador, coloca manualmente o fio no subsistema de enrolamento, seguindo as recomendações apresentadas no HMI instalado no equipamento;
- 7. Movimento de preparação do enrolamento** – fase do comando em que se enrola um determinado número de voltas de fio em torno da bobine de enrolamento;

- 8. Preparação do ajuste de tensão do fio no subsistema de condução** – primeira fase do conjunto de estados que permitem um ajuste estático e semiautomático da tensão do fio no subsistema de condução (espaço entre os alimentadores 1 e 2), em que o utilizador poderá recorrer um medidor da força aplicada no fio e seguir como referência a força máxima a aplicar apresentada no HMI instalado no equipamento, e calculada a partir da força de rotura do fio introduzida. Nesta fase, são apresentadas no HMI, um conjunto de indicações para a preparação do ajuste de tensão;
- 9. Movimento de ajuste de tensão no fio no subsistema de condução** – secção do comando responsável pelo controlo e monitorização da movimentação do servomotor que permite o ajuste de tensão no fio;
- 10. Destrancar os sensores de fio** – porção do comando executada enquanto o utilizador destranca manualmente os sensores de fio, em que são apresentadas no HMI instalado no equipamento as indicações para a execução desta ação;
- 11. Teste de funcionamento** – secção do comando responsável pelo controlo e monitorização da movimentação do servomotor, de acordo com o tempo de movimentação e velocidade do fio definidos, permitindo a execução do teste de funcionamento para comprovação da correta colocação do fio na máquina.

Nos estados que implicam a movimentação do servomotor a velocidade do mesmo está limitada, devido ao risco inerente ao facto de as tampas de segurança do sistema estarem abertas neste modo, e deste poder ser acedido por qualquer utilizador. No respeitante à emergência e às falhas, destaca-se que nos estados que envolvem movimentação do servomotor, uma ocorrência de emergência implica a paragem instantânea do mesmo, ao passo que numa ocorrência de falha esta paragem é controlada. A exceção ocorre para as movimentações de curta extensão (movimentos de ajuste da tensão no fio), em que em ambas as situações o movimento é cessado instantaneamente.

O comando deste modo é especificado por dois Grafcet's, um de hierarquia maior (Grafcet A), responsável pelo comando associado às etapas sequenciais apresentadas, e o outro de hierarquia menor (Grafcet B) destinado a especificar o controlo e monitorização da movimentação do servomotor nas tarefas de preparação dos alimentadores e do enrolamento.

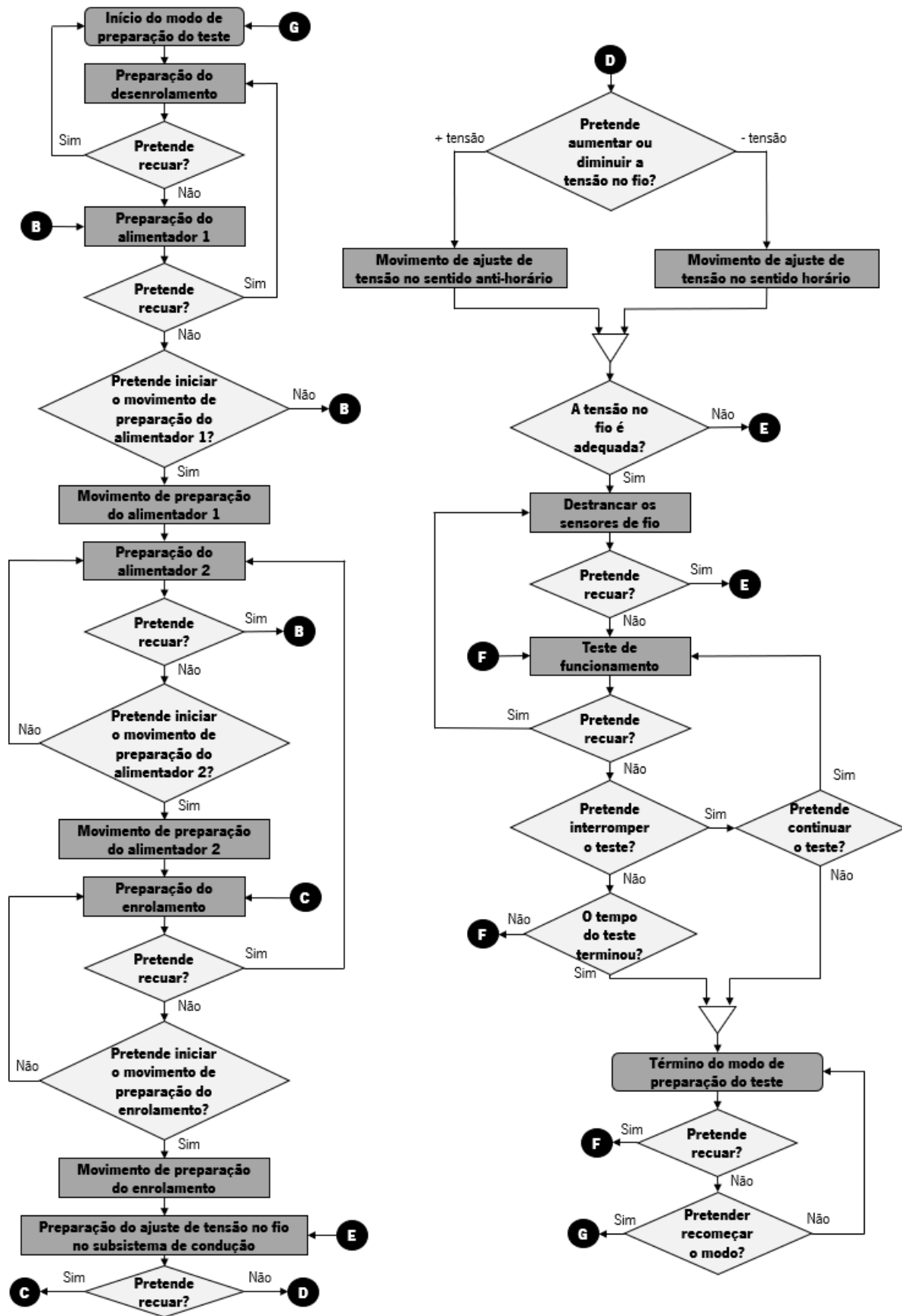


Figura 5.2 – Fluxograma do modo de preparação do teste.

5.1.2.3 Modo de Teste

O modo de teste possibilita a escolha entre diferentes tipos de teste de qualidade ao fio, permitindo o controlo e a monitorização do movimento do fio durante a execução dos mesmos.

O fluxograma apresentado na Figura 5.3 e Figura 5.4 sintetiza o comportamento do sistema neste modo de funcionamento.

No caso de ocorrência de uma falha ou emergência nos estados de movimentação, o servomotor imobiliza-se de diferentes formas, caso se trate de uma ocorrência de falha ou de emergência. No caso de uma falha este imobiliza-se de forma controlada, ao passo que numa ocorrência de emergência este é desativado, imobilizando-se imediatamente.

Neste modo de funcionamento considera-se mais uma tipologia de falha além das existentes nos restantes modos, a falha por abertura de tampas de segurança no subsistema de desenrolamento, condução ou enrolamento. Esta é acessível de todos os estados do modo, implicando o congelamento da evolução do mesmo, sendo que nos estados de movimentação significa uma prévia imobilização controlada do servomotor. Esta falha é considerada, já que, neste modo estando o teste a decorrer a elevadas velocidades de processamento de fio, a abertura da tampa de segurança de um dos referidos subsistemas põe em causa a segurança do utilizador e/ou do equipamento. Além disto, no caso específico do subsistema de condução, esta ação implica também a deterioração da qualidade de imagem captada no teste de qualidade ao fio, devido à entrada de luz natural no compartimento.

A especificação do comando deste modo de funcionamento é apresentada no Apêndice E, estando dividida em três Grafcet's, A, B e C, que possuem uma ordem decrescente de hierarquia, respetivamente. O Grafcet A permite a recolha das ordens do utilizador, o Grafcet B é responsável pelo controlo e monitorização da movimentação do servomotor, e o Grafcet C tem como função guardar, através do seu estado, o tipo de teste em execução.

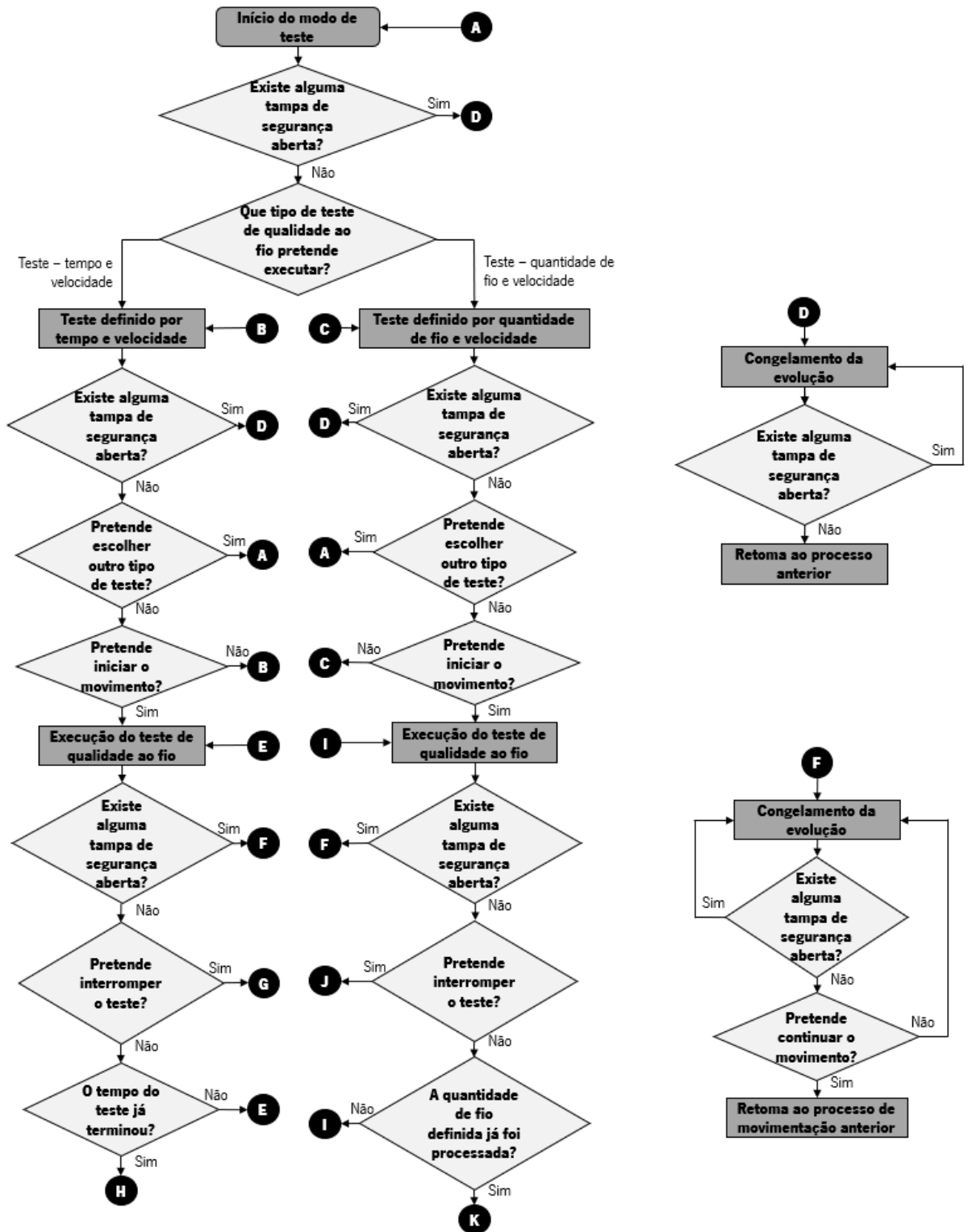
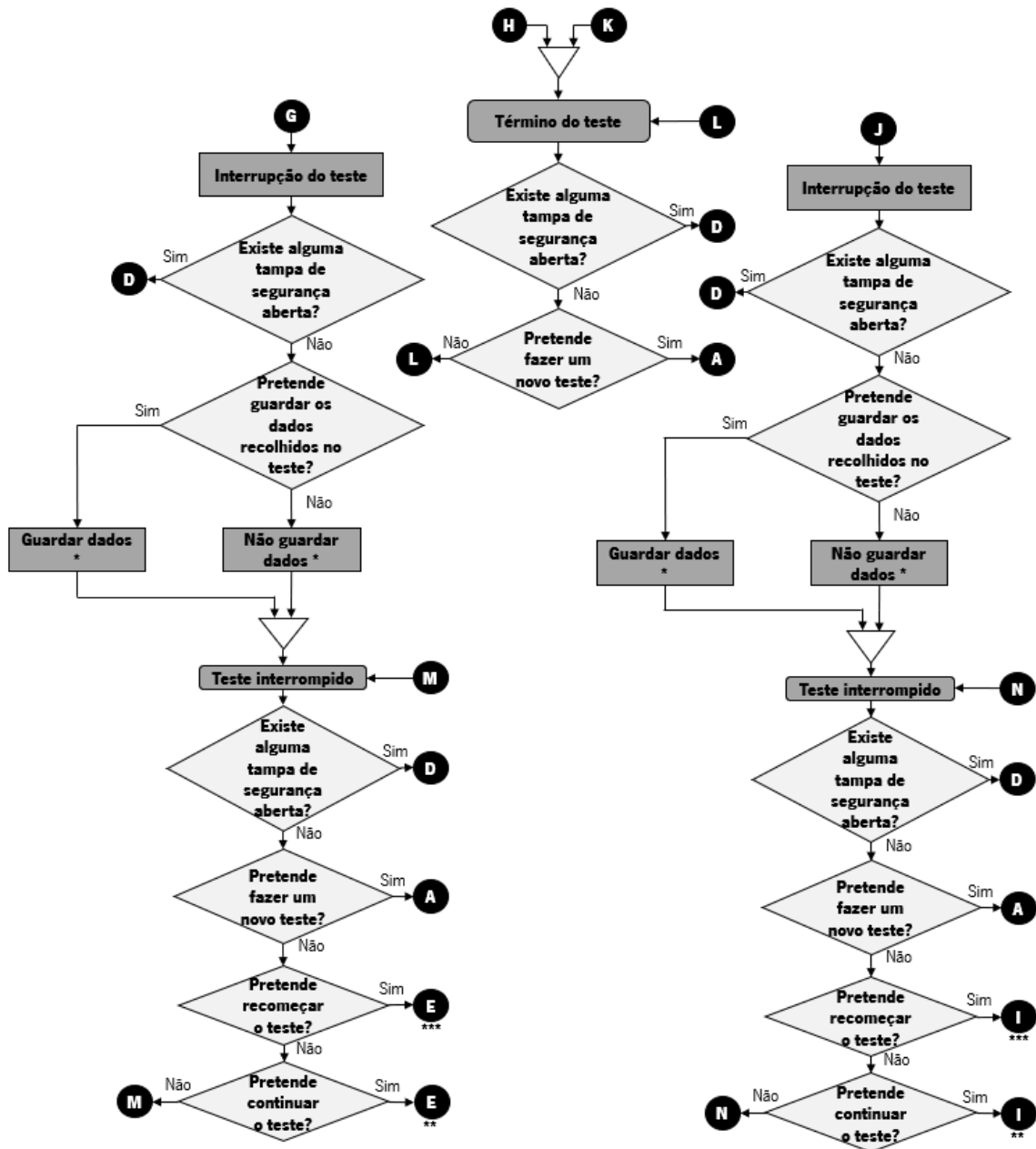


Figura 5.3 – Fluxograma do modo de teste (parte 1).



* Em conjunto com o programa a executar no computador local (SCADA);

** Continuação do teste do ponto onde este foi interrompido;

*** Recomeço de um teste da mesma tipologia do interrompido.

Figura 5.4 - Fluxograma do modo de teste (parte 2).

5.1.2.4 Modo de Término do Teste

O modo de término do teste tem a função de auxiliar o utilizador de forma semiautomática na retirada completa do fio do sistema. A especificação do comando afeto a este modo consiste em apenas um Grafcet, que é apresentado no Apêndice E.

O comando deste modo possui como estrutura central um conjunto de etapas sequenciais para a correta retirada do fio da máquina, sendo o seu funcionamento esquematizado no fluxograma apresentado na Figura 5.5. As etapas sequenciais mencionadas são:

- 1. Trancamento dos sensores de fio** – porção do comando executada enquanto o utilizador tranca os sensores de fio, para que após a retirada do fio seja possível o acesso ao menu principal sem paragem do sistema por falha devido à inexistência ou rotura do fio. Nesta secção do comando, são apresentadas no HMI do equipamento as indicações de como trancar corretamente os sensores de fio;
- 2. Corte do fio** – secção do comando executada paralelamente à ação de corte do fio por parte do utilizador do equipamento. Nesta são apresentadas no HMI do equipamento as recomendações para o corte correto do fio. Além disto, monitoriza-se o estado dos sensores de fio, como forma de verificar se estes estão corretamente trancados;
- 3. Retirada automática do fio do sistema** – porção do comando responsável pelo controlo da movimentação do servomotor, de forma a que este gire o número de voltas necessário para a retirada automática do fio do equipamento. Aqui a velocidade do servomotor está limitada, devido ao perigo inerente à necessidade de abertura de tampas de segurança neste modo, aliada ao facto de este poder ser acedido por qualquer utilizador. Esta secção contém ainda a monitorização do estado dos sensores de fio após a retirada completa do mesmo, de maneira a verificar se estes sensores estão corretamente trancados;
- 4. Limpeza do compartimento** – porção do comando executada aquando da limpeza dos resíduos resultantes do processamento do fio têxtil no compartimento afeto ao subsistema de condução, na qual se apresenta no HMI do equipamento as recomendações para esta tarefa;
- 5. Retirada das bobines de desenrolamento e enrolamento de fio** – comando executado quando o utilizador retira as bobines de enrolamento e desenrolamento de fio do equipamento, no qual se apresentam no HMI do equipamento as indicações para a correta execução destas ações.

Neste modo, quando ocorre um evento de emergência ou de falha num estado de funcionamento do servomotor, este é desativado imobilizando-se imediatamente.

A opção por este comportamento numa falha, justifica-se pelo facto de tal não implicar um *stress* significativo nem no servomotor nem no sistema mecânico, devido às reduzidas velocidades praticadas.

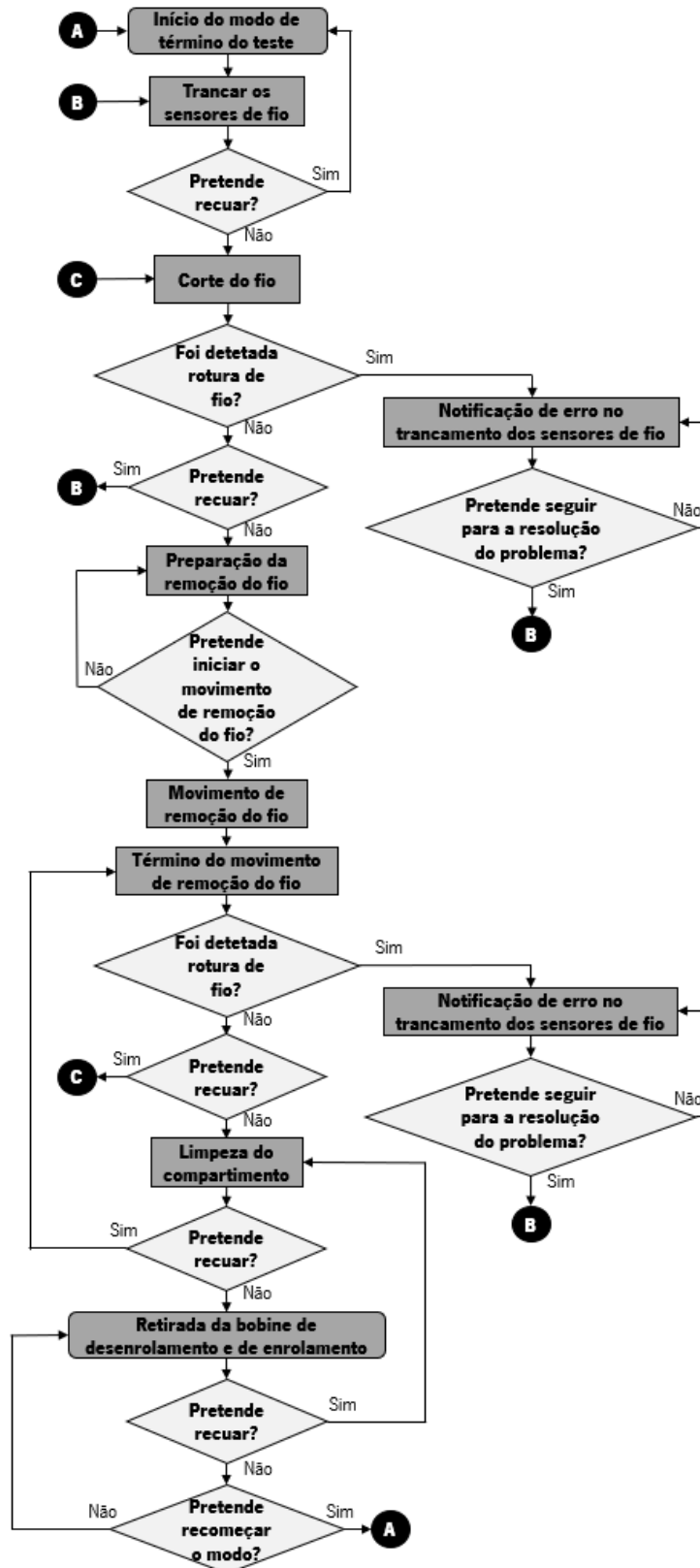


Figura 5.5 – Fluxograma do modo de término do teste.

5.1.2.5 Modo de Paragem

O modo de paragem cuja especificação do comando, constituída por um único Grafcet, se encontra no Apêndice E, inclui um estado para cada tipo de paragem, sendo estas por emergência ou falha. As paragens por falha subdividem-se em paragem por anomalia no servomecanismo, ou paragem por rotura ou inexistência de fio no subsistema de desenrolamento, condução, enrolamento ou em múltiplos subsistemas. O comando deste modo apresenta o comportamento descrito na Figura 5.6 e Figura 5.7.

O acesso à paragem de emergência neste modo, à semelhança dos restantes, poderá ser feito a partir de qualquer estado que não o da própria paragem de emergência.

Por fim, o acesso a uma modalidade de paragem do sistema aquando da ocorrência simultânea de eventos associados a diferentes tipos de paragens, é feito segundo a seguinte ordem hierárquica decrescente: emergência; anomalia no servomecanismo; falha ou inexistência de fio.

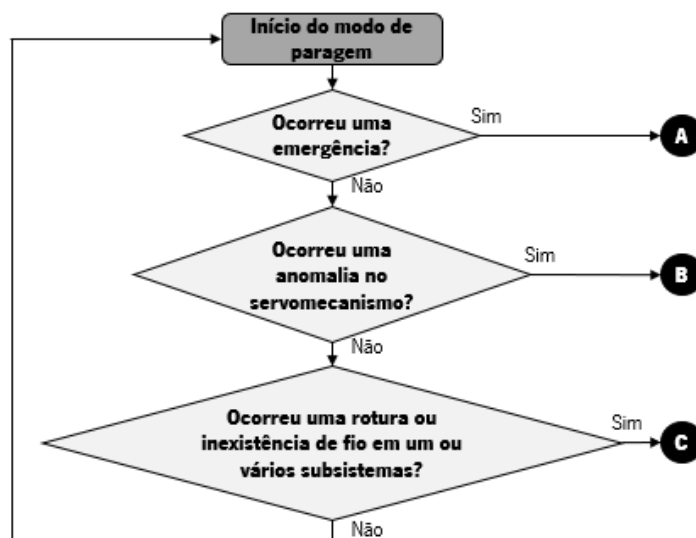


Figura 5.6 - Fluxograma do modo de paragem (parte 1).

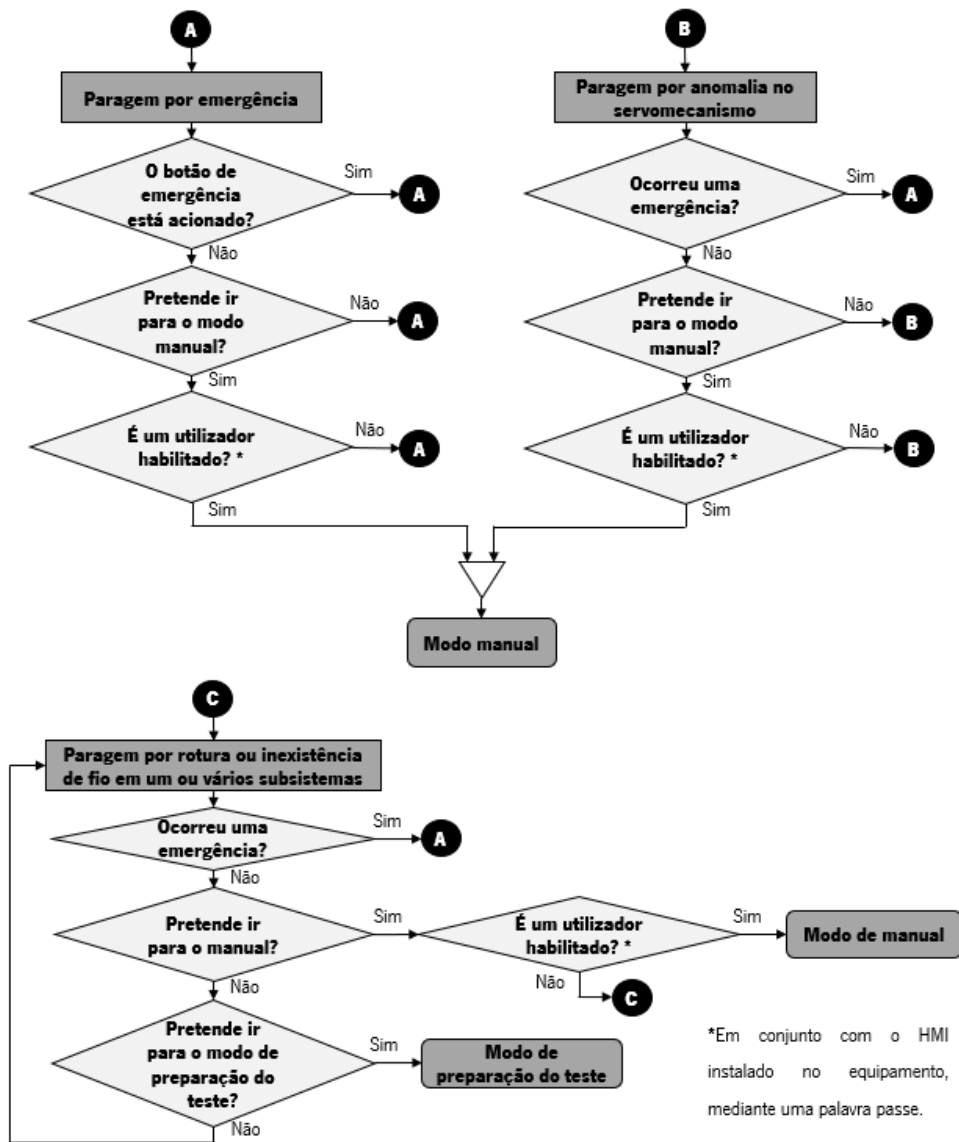


Figura 5.7 – Fluxograma do modo de paragem (parte 2).

5.1.2.6 Modo Manual

O modo manual trata-se na porção do comando do sistema de automação que concede a utilizadores habilitados a possibilidade de ajustar, testar e monitorizar o sistema nas suas diversas variantes de funcionamento.

O comando deste modo, esquematizado na Figura 5.8, permite seis modalidades de movimentação do servomotor e uma ação de configuração.

A ação de configuração trata-se da possibilidade de eliminar os erros do servomecanismo pelo acionamento de uma botoneira. As seis modalidades de movimentação do servomotor, distinguem-se pelos parâmetros de controlo e monitorização do movimento do servomotor, sendo estas:

- Movimentação para o enrolamento de fio na bobine de enrolamento;
- Movimentação para o enrolamento do fio nos alimentadores positivos;
- Movimentação para a retirada automática do fio do sistema;
- Movimentação do servomotor controlada por quantidade de fio e velocidade;
- Movimentação do servomotor para movimentos de curta extensão (ajuste de tensão no fio);
- Movimentação do servomotor controlada por tempo de movimentação e velocidade do fio.

Neste modo, quando ocorre um episódio de emergência com o servomotor em movimento, este é desativado immobilizando-se imediatamente, salvaguardando a segurança do utilizador e do equipamento.

A especificação desta porção do comando é apresentada no Apêndice E. Esta encontra-se dividida em três Grafcet's A, B e C, que possuem grau de hierarquia decrescente, respetivamente. O Grafcet A é o responsável pela recolha das ordens do utilizador, o Grafcet B é responsável pelo controlo e monitorização direta do movimento do servomotor, e o Grafcet C tem como função guardar o tipo de movimentação a decorrer.

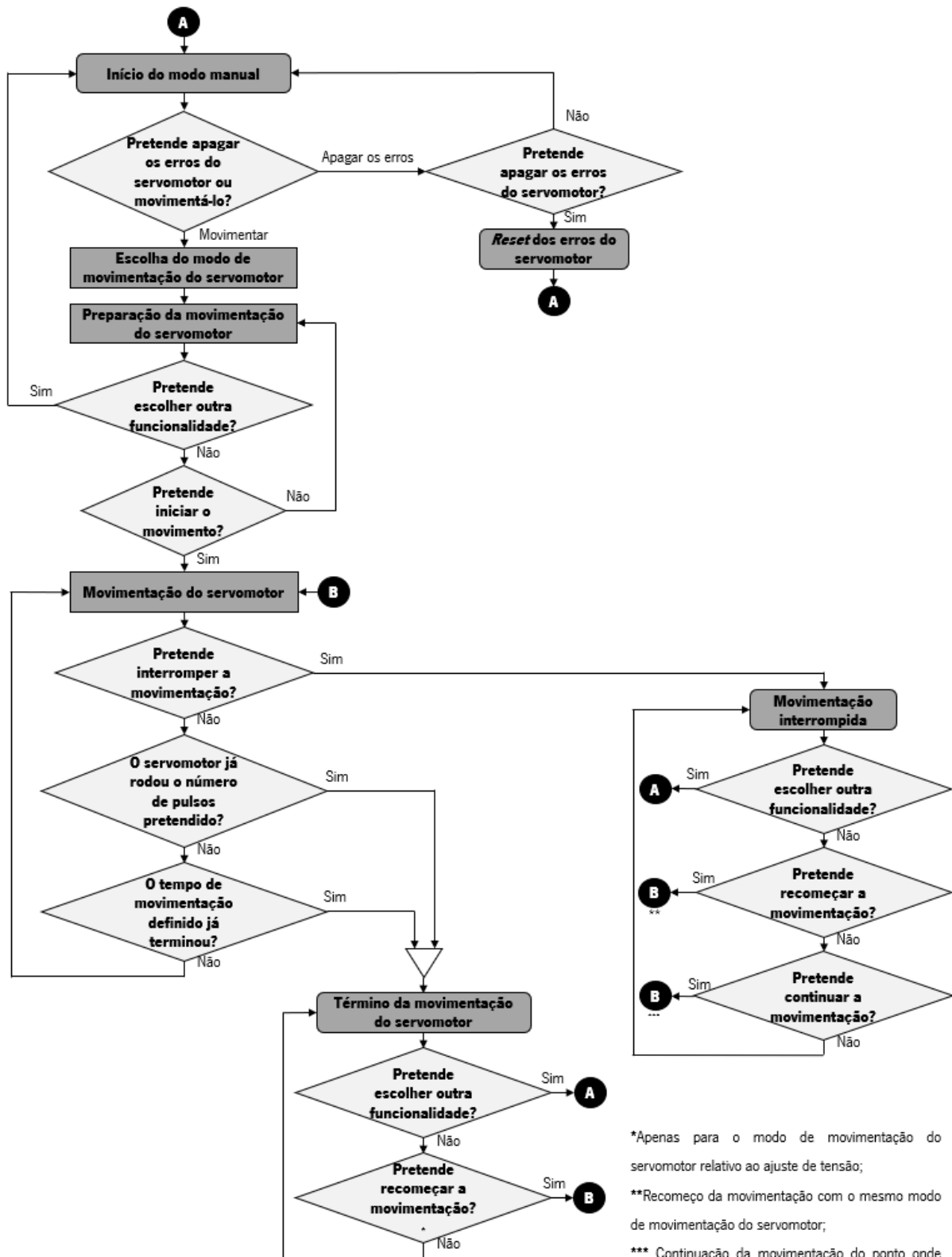


Figura 5.8 – Fluxograma do modo manual.

5.2 Programa Desenvolvido e Metodologia Aplicada

A análise das características do controlador selecionado (capítulo 4.2.1), em conjunto com as propriedades do formalismo escolhido para a especificação do comando (Grafcet - IEC 60 848), permitiu selecionar de entre as linguagens de programação de PLC's descritas na norma IEC 61 131-3, as linguagens *Ladder Diagram* e *Function Block Diagram*. Assim, a seleção do *Ladder Diagram* tem por base a sua compatibilidade com o PLC escolhido, e o facto de permitir uma tradução direta a partir do formalismo Grafcet. A escolha da linguagem *Function Block Diagram* justifica-se, também, pela compatibilidade com o PLC selecionado, e por neste permitir aceder a um conjunto de funções, que simplificam as operações de controlo e monitorização da movimentação do servomotor [29].

O *software* utilizado para editar o programa e programar o PLC é o *Cx-Programmer* da OMRON, uma vez que, é o recomendado para a programação do PLC selecionado [32].

O programa do sistema está seccionado em duas partes distintas, o programa principal e as funções auxiliares. O programa principal é a secção estruturante do comando, tendo sido obtido diretamente da especificação do comando. Este é responsável pelo desencadeamento de saídas simples (ativação de variáveis booleanas), a partir de sinais de entrada despoletados pelo utilizador ou pelo próprio sistema físico. As funções auxiliares, são responsáveis pela execução das tarefas mais complexas que o comando principal é incapaz de realizar, sendo ativadas pelo mesmo através das suas saídas.

A atribuição de variáveis aos endereços de memória do PLC encontra-se no separador *symbols* do programa em *Cx-Programmer*, tendo sido executada de acordo com as características de cada uma das áreas de memória do PLC. Por fim, destaca-se que as variáveis relativas às entradas e saídas do PLC foram atribuídas de acordo com as ligações físicas, já mencionadas e apresentadas no Apêndice A.

5.2.1 Programa Principal

O programa principal tem por base a especificação do comando apresentada no Apêndice F, simplificada a partir da especificação do comando já referida e que consta no Apêndice E.

Esta simplificação foi feita para esta primeira fase de implementação, de forma, a facilitar as tarefas de *debugging*, consistindo na eliminação do modo de preparação e término do teste, e na abreviação do modo manual e da coordenação dos modos.

Este programa foi obtido pela tradução direta para *Ladder Diagram* da especificação do comando em Grafcet mencionada. Este processo iniciou-se pela tradução da especificação do comando em Grafcet para expressões algébricas, seguindo-se a tradução das mesmas para *Ladder Diagram* permitindo, neste último, a seguinte ordem de execução: condições de transposição das transições; ativação das etapas; ativação das saídas do sistema; temporizadores (Figura 5.9) [53].

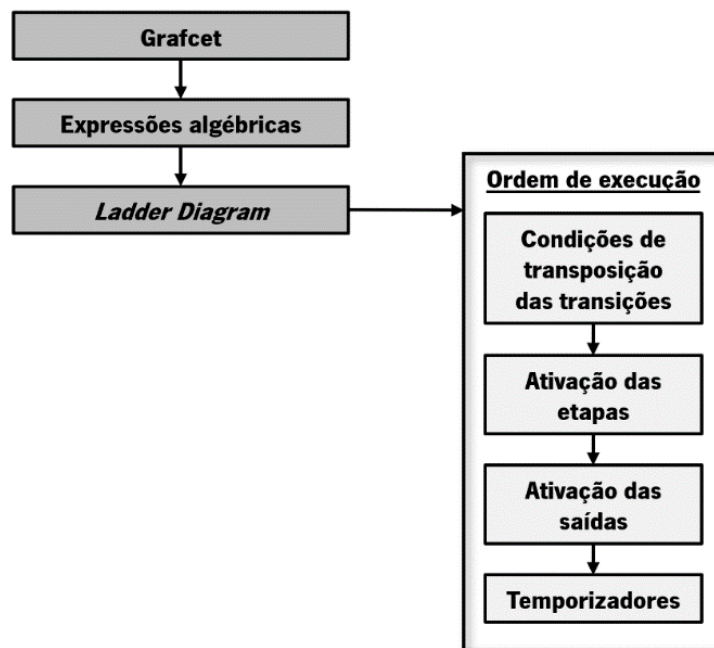


Figura 5.9 - Esquematização do processo de tradução de Grafcet para *Ladder Diagram*.

5.2.2 Funções Auxiliares

As funções auxiliares permitem o cálculo e conversão de parâmetros, e o controlo e monitorização da movimentação do servomotor, sendo invocadas pelo programa principal.

No Apêndice G é apresentada uma lista detalhada de todas as funções auxiliares utilizadas no programa. As funções auxiliares apresentadas relativas ao controlo da movimentação do servomotor, apresentam como base os blocos de função ACC e PLS2, já as que são relativas à monitorização da movimentação do servomotor assentam no bloco de função PRV. Na Tabela 5.2 é apresentada uma descrição detalhada dos blocos de função mencionados.

Tabela 5.2 – Blocos de função utilizados no controlo e monitorização da movimentação do servomotor.

Designação do Bloco de Função	Função	Entradas	Saídas
PLS2	Controlo do servomotor mediante quantidade e frequência de pulsos de comando	Porta do PLC para emissão de pulsos de comando	Movimentação do servomotor com velocidade e deslocamento controlados
		Modo de emissão de pulsos de comando do servomotor	
		Aceleração (Hz/4 ms)	
		Desaceleração (Hz/4 ms)	
		Frequência de pulsos de comando do servomotor (Hz)	
		Número total de pulsos de comando do servomotor	
Frequência de iniciação / término da movimentação (Hz)	*continua na página seguinte →		

Tabela 5.2 – Blocos de função utilizados no controlo e monitorização da movimentação do servomotor.

Designação do Bloco de Função	Função	Entradas	Saídas
ACC	Controlo do servomotor mediante frequência de pulsos de comando	Porta do PLC para emissão de pulsos de comando Modo de emissão de pulsos de comando do servomotor Aceleração / desaceleração (Hz/4 ms) Frequência de pulsos de comando para o servomotor (Hz)	Movimentação do servomotor com velocidade controlada
PRV	Monitorização dos pulsos lidos por um <i>encoder</i>	Pulsos lidos pelo <i>encoder</i> Porta do PLC para a entrada de pulsos lidos pelo <i>encoder</i> Tipo de funcionamento (leitura da frequência, contagem do número de pulsos de entrada, entre outros) Localização da porção de memória para registo dos dados recolhidos	Quantidade ou frequência de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>

No respeitante ao cálculo e conversão de parâmetros, este baseia-se num conjunto de expressões afetas às características do sistema a automatizar (subcapítulo 3.1) apresentadas de seguida.

A primeira expressão (5.1) tem como função converter a quantidade de fio a analisar definida pelo utilizador, em pulsos de comando para servomotor.

$$Pls_{com} = \frac{Q_f \times R_t \times Pls_{com/volta}}{P_{tmb}} \quad (5.1)$$

Pls_com – número de pulsos de comando do servomotor; / **Q_f** – quantidade de fio a analisar definida (mm); / **R_t** – relação de transmissão polia do alimentador ⁵/ polia do servomotor; / **Pls_com/volta** – número de pulsos de comando por volta do servomotor; / **P_tmb** – perímetro do tambor do alimentador positivo (mm).

A conversão da velocidade do fio a analisar definida para frequência de pulsos de comando do servomotor, é feita mediante a aplicação da expressão (5.2).

$$F_{pls\ com} = \frac{V_{fio\ def} \times R_t \times Pls_{com/volta}}{P_{tmb}} \quad (5.2)$$

F_pls com – frequência de pulsos de comando (Hz); / **V_fio def** – velocidade do fio definida (mm/s); / **R_t** – relação de transmissão polia do alimentador/ polia do servomotor; / **Pls_com/volta** - número de pulsos de comando por volta do servomotor; / **P_tmb** - perímetro do tambor do alimentador positivo (mm).

A transformação da frequência de pulsos lidos pelo *encoder* para velocidade do fio analisado, e a conversão da quantidade de pulsos lidos pelo *encoder* para quantidade de fio analisado, é feita pelas expressões (5.3) e (5.4), respetivamente.

⁵ Na transmissão de movimento por correia, a relação de transmissão poderá ser determinada pela razão entre os diâmetros ou as velocidades das polias [56].

$$i = \frac{D}{d} = \frac{n}{N}$$

i – relação de transmissão; / **D** – diâmetro da polia movida; / **d** – diâmetro da polia motora; / **n** – velocidade angular da polia motora; / **N** – velocidade angular da polia movida.

$$V_{\text{fio lida}} = \frac{F_{\text{pls encoder}} \times P_{\text{tmb}}}{\text{Pls}_{\text{encoder/volta}} \times R_t} \quad (5.3)$$

V_fio lida – velocidade do fio lida (m/s); / **F_pls encoder** – frequência de pulsos lida no *encoder* (Hz); / **P_tmb** - perímetro do tambor do alimentador positivo (m); / **Pls_encoder/volta** – número de pulsos lidos pelo *encoder* por volta do servomotor; / **R_t** - relação de transmissão polia do alimentador/ polia do servomotor.

$$Q_{\text{f lida}} = \frac{\text{Pls}_{\text{encoder}} \times P_{\text{tmb}}}{\text{Pls}_{\text{encoder/volta}} \times R_t} \quad (5.4)$$

Q_f lida – quantidade de fio lida (m); / **Pls_encoder** – número de pulsos lidos pelo *encoder*; / **P_tmb** - perímetro do tambor do alimentador positivo (m); / **Pls_encoder/volta** – número de pulsos lidos pelo *encoder* por volta do servomotor; / **R_t** - relação de transmissão polia do alimentador/ polia do servomotor.

O cálculo do tempo de aceleração e permanência à velocidade máxima definida é calculado segundo a expressão (5.5).

$$T_{\text{ac vmax}} = T_{\text{def}} - T_{\text{desaceleração}} = T_{\text{def}} - \left(\frac{\Delta f \times 4}{\text{dcl} \times 100} \right) \quad (5.5)$$

T_ac vmax – tempo de aceleração e permanência à velocidade máxima definida (ds); / **T_def** – tempo total de movimentação do fio definido (ds); / **T_desaceleração** – tempo de desaceleração (ds); / **Δf** – diferença entre a frequência de funcionamento e a de imobilização do servomotor (Hz); / **dcl** – desaceleração definida (Hz/4ms).

5.3 Sistema SCADA

O sistema SCADA é o responsável por possibilitar o controlo e a monitorização em tempo real do funcionamento do equipamento. Este encontra-se dividido em duas secções, uma destas trata-se de um HMI que consiste em um ecrã tátil no corpo da máquina. A outra secção consiste em um sistema que possui uma *interface* HMI e permite a recolha, tratamento e armazenamento de dados que é executado por um computador local.

5.3.1 *Interface* HMI - Máquina

O HMI instalado no corpo da máquina (Figura 5.10) permite o controlo e a monitorização direta dos parâmetros fundamentais do funcionamento do sistema. O HMI foi programado utilizando o *software Cx-Designer* conforme o mencionado capítulo 4.2.5. A programação deste sistema consistiu na definição de um conjunto de ecrãs predefinidos, que trocam entre si conforme o estado do comando do sistema. Estes ecrãs possuem indicadores e botoneiras associados a localizações de memória do PLC. Por fim, a língua utilizada na elaboração destes ecrãs é o Inglês, já que, sendo um idioma universal torna o sistema acessível a um maior número de utilizadores.

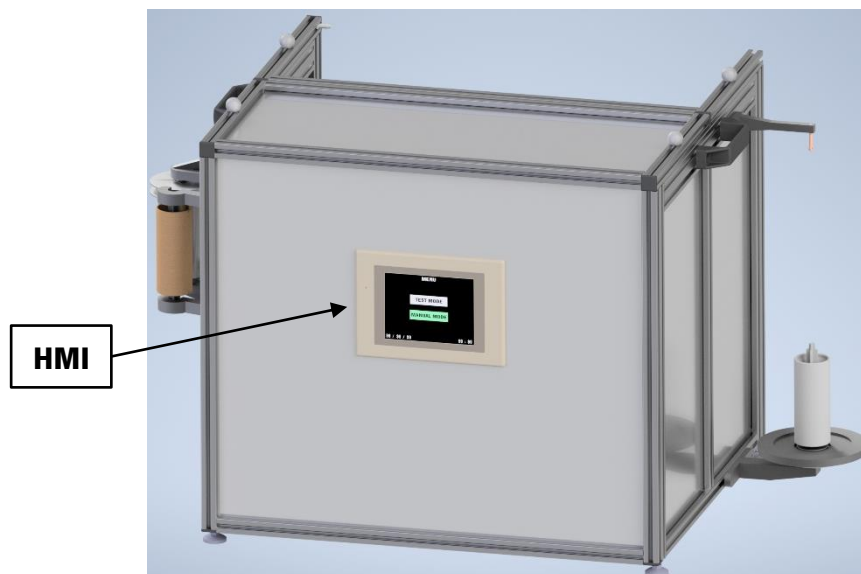


Figura 5.10 – Representação em CAD do equipamento evidenciando o HMI nele instalado.

Assim, foram desenvolvidos ecrãs para o menu principal (Figura 5.11) e para todos os modos de funcionamento do sistema, segundo o ordenamento detalhado no Apêndice H. No modo de paragem programaram-se ecrãs para todos os tipos de falhas que conduzem a este modo (rotura/inexistência de fio, e anomalias no servomecanismo) e para a emergência (Figura 5.12).

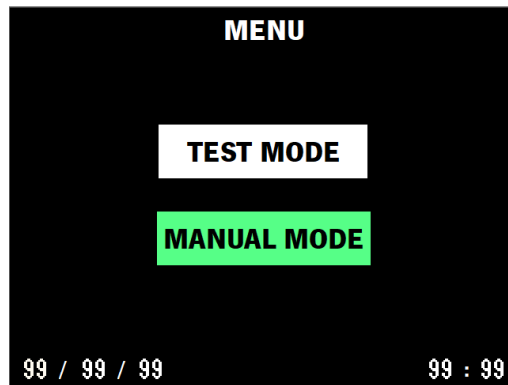


Figura 5.11 - Ecrã correspondente ao menu principal.

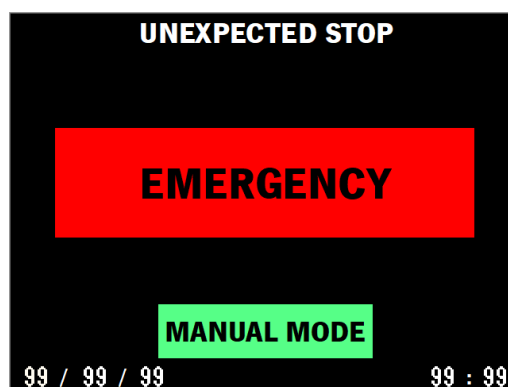


Figura 5.12 - Ecrã correspondente à paragem por emergência.

No modo de teste, foram definidos ecrãs para os diversos estados de movimentação (Figura 5.13 – (a) e (b)), e para os que antecedem e precedem a mesma. O modo manual implicou o desenvolvimento de dois ecrãs, um dos quais possui as indicações necessárias para a retoma ao menu principal sem que o sistema pare devido a anomalias (Figura 5.14).

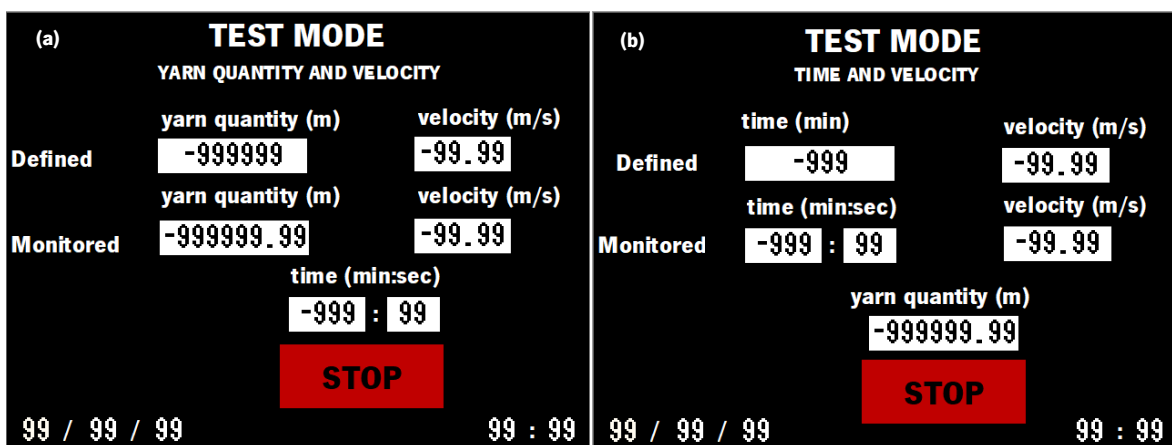


Figura 5.13 – Ecrãs correspondentes ao teste “quantidade de fio e velocidade” (a); e ao teste “tempo e velocidade” (b).

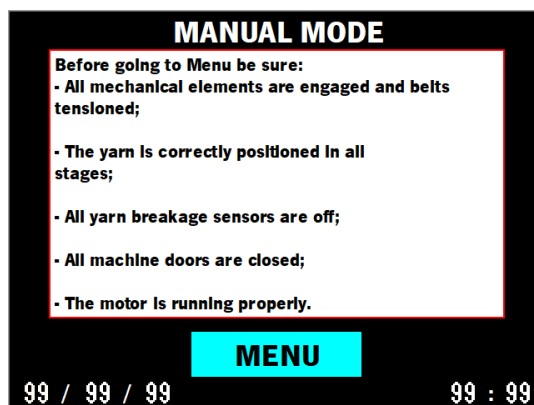


Figura 5.14 - Ecrã correspondente ao modo manual.

5.3.2 Interface HMI, Recolha, Tratamento e Armazenamento de Dados - Computador Local

A secção do sistema SCADA que permite a recolha, tratamento e armazenamento de dados é executada por um computador local nas imediações da máquina, no ecrã do qual é apresentada a respetiva *interface* HMI.

Tal como referido no capítulo 4.2.5, o programa para este sistema foi desenvolvido com recurso ao *software LabVIEW*. A língua utilizada para a comunicação com o utilizador é o Inglês, uma vez que, permite uma maior abrangência de utilizadores.

O programa desenvolvido permite ao utilizador, através da *interface* HMI que este possui (Apêndice I), monitorizar todas as variáveis de funcionamento relevantes e controlar variáveis específicas, não acessíveis através do HMI instalado no corpo da máquina. Além disto, o programa permite a exportação para ficheiros *excel*/ dos dados relativos aos testes ao fio, com uma cadência de 500 milissegundos (Figura 5.15 e Figura 5.16).

DATE	TIME	USER	TYPE OF TEST	DEFINED VELOCITY (m/s)	DEFINED YARN QUANTITY (m)
21 / 10 / 21	11:34:59	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30
21 / 10 / 21	11:35:00	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30
21 / 10 / 21	11:35:00	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30
21 / 10 / 21	11:35:01	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30
21 / 10 / 21	11:35:01	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30
21 / 10 / 21	11:35:02	Pedro Caldas	Yarn Quantity and Velocity Test	1.5	30

MEASURED YARN QUANTITY (m)	MEASURED YARN VELOCITY (m/s)	MEASURED TEST DURATION (min)	MEASURED TEST DURATION (s)
0.03645	0	0	0
0.03645	0	0	0
0.21246	0.046014	0	1
0.21246	0.046014	0	1
0.533803	0.188782	0	2
0.533803	0.188782	0	2

Figura 5.15 - Documento *excel*/resultante da exportação dos dados relativos a um teste definido por quantidade de fio e velocidade.

DATE	TIME	USER	TYPE OF TEST	DEFINED VELOCITY (m/s)	DEFINED TEST DURATION (min)
21 / 10 / 21	11:48:22	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1
21 / 10 / 21	11:48:23	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1
21 / 10 / 21	11:48:23	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1
21 / 10 / 21	11:48:24	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1
21 / 10 / 21	11:48:24	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1
21 / 10 / 21	11:48:25	User	Yarn Time and Velocity Test	1.5	1

MEASURED YARN QUANTITY (m)	MEASURED YARN VELOCITY (m/s)	MEASURED TEST DURATION (min)	MEASURED TEST DURATION (s)
0.014288	0.009856	0	0
0.014288	0.009856	0	0
0.151749	0.126846	0	1
0.151749	0.126846	0	1
0.434834	0.272646	0	2
0.434834	0.272646	0	2

Figura 5.16 - Documento *excel*/resultante da exportação dos dados relativos a um teste definido por tempo de movimentação e velocidade do fio.

A exportação de informação para ficheiros *excel*/ inclui, também, os dados relativos às paragens por emergência e às paragens por falha devidas a anomalia no servomecanismo ou a rotura/inexistência de fio (Figura 5.17).

DATE	TIME	USER	TYPE OF PROBLEM	Emg	ALM	WARN	ff_d	ff_c	ff_e	BEGINING
21 / 10 / 21	18:48:39	Pedro Caldas	Emergency Stop	On	On	Off	Off	Off	Off	
										ENDING
21 / 10 / 21	18:49:02	Pedro Caldas	Emergency Stop	Off	On	Off	Off	Off	Off	

DATE	TIME	USER	TYPE OF PROBLEM	Emg	ALM	WARN	ff_d	ff_c	ff_e	BEGINING
21 / 10 / 21	18:49:32	Pedro Caldas	Servomechanism Failure	Off	On	On	Off	Off	Off	
										ENDING
21 / 10 / 21	18:49:50	Pedro Caldas	Servomechanism Failure	Off	On	Off	Off	Off	Off	

DATE	TIME	USER	TYPE OF PROBLEM	Emg	ALM	WARN	ff_d	ff_c	ff_e	BEGINING
21 / 10 / 21	19:44:41	Pedro Caldas	Yarn Breakage - Unwinding	Off	On	Off	On	Off	Off	
										ENDING
21 / 10 / 21	19:44:57	Pedro Caldas	Yarn Breakage - Unwinding	Off	On	Off	On	Off	Off	

Figura 5.17 - Documento *excel*/resultante da exportação dos dados relativos a paragens devidas a anomalias no sistema.

Por fim, o programa é responsável, também, pelo envio de notificações por *e-mail*/ao utilizador indicando os dados mais relevantes associados aos eventos ocorridos. Os eventos considerados são as paragens devidas a emergência ou falha (anomalia no servomecanismo, rotura/inexistência de fio) (Figura 5.18) e a finalização de testes de qualidade ao fio “longos” (quantidade de fio analisada superior a 300 metros) (Figura 5.19).













<p>Emergency - Begin</p> <p>  qui, 21/10/2021 18:48 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 18 : 48 : 39 User: Pedro Caldas</p>	<p>Emergency - End</p> <p>  qui, 21/10/2021 18:49 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 18 : 49 : 02 User: Pedro Caldas</p>
<p>Servomechanism Failure - Begin</p> <p>  qui, 21/10/2021 18:49 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 18 : 49 : 32 User: Pedro Caldas</p>	<p>Servomechanism Failure - End</p> <p>  qui, 21/10/2021 18:49 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 18 : 49 : 50 User: Pedro Caldas</p>
<p>Yarn Breakage - Begin</p> <p>  qui, 21/10/2021 19:44 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 19 : 44 : 41 User: Pedro Caldas Yarn Breakage Type: Unwinding</p>	<p>Yarn Breakage - End</p> <p>  qui, 21/10/2021 19:45 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 21 / 10 / 21 Time: 19 : 44 : 57 User: Pedro Caldas Yarn Breakage Type: Unwinding</p>

Figura 5.18 – E-mails de notificação de anomalia no sistema.





<p>Yarn Test - End</p> <p>  sáb, 23/10/2021 15:10 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 23 / 10 / 21 Time: 15 : 10 : 37 User: Pedro Caldas Type of Test: Yarn Time and Velocity Test</p> <p>Defined Test Duration (min): 1 Defined Yarn Velocity (m/s): 5.7</p> <p>Measured Yarn Quantity (m): 339.03717 Measured Teste Duration (min): 1 Measured Teste Duration (sec): 1</p>	<p>Yarn Test - End</p> <p>  sáb, 23/10/2021 15:52 Para: Pedro Miguel de Sousa Caldas</p> <p>Date: 23 / 10 / 21 Time: 15 : 52 : 52 User: User Type of Test: Yarn Quantity and Velocity Test</p> <p>Defined Yarn Quantity (m): 302 Defined Yarn Velocity (m/s): 5.7</p> <p>Measured Yarn Quantity (m): 301.995209 Measured Teste Duration (min): 0 Measured Teste Duration (sec): 53</p>
---	--

Figura 5.19 – E-mails de notificação de término de testes “longos”.

No que respeita à segurança, o sistema apenas permite o acesso ao *back end* do programa mediante a introdução de uma palavra passe, e os elementos da *interface* HMI (*front end*) do sistema SCADA visíveis, variam conforme o grupo ao qual pertence o utilizador autenticado, existindo três categorias de utilizadores, sendo estes:

- **Administrador** – utilizador que possui um conhecimento profundo do sistema de automação e que, portanto, não possui restrições de acesso aos elementos do *front end*;
- **Técnico de Manutenção** – utilizador com conhecimento profundo do sistema mecânico e que, por isso, tem acesso a todos os elementos do *front end*, exceto os que estão relacionados com a manutenção do programa;
- **Operador** – utilizador com noções básicas da operação da máquina e que, desta forma, tem acesso apenas aos elementos essenciais para a monitorização do sistema (elementos com fundo cinzento no *front end*).

5.4 Implementação e Testes

Após o projeto do sistema de automação, seguiu-se a implementação do mesmo, sendo esta faseada de forma a facilitar a identificação de anomalias e execução de ajustes. Assim, consideraram-se as seguintes fases de implementação numa lógica cumulativa: comando principal, HMI instalado do corpo da máquina e porção do sistema SCADA executada pelo computador local.

No decorrer de cada uma destas fases foram executados testes, de forma a avaliar a concordância do sistema em desenvolvimento com os requisitos detalhados em 3.2.

A primeira fase de implementação consistiu no teste do programa implementado no PLC, através do acionamento do sistema mecânico por via do servomotor controlado, e da integração ou simulação dos restantes elementos periféricos (botão de emergência, sensores de fio e de abertura de tampas de segurança).

O teste executado ao sistema nesta fase, consistiu no funcionamento do mesmo em todas as modalidades e situações previstas no seu comando, tendo-se monitorizado o seu comportamento e comparado o mesmo com os requisitos.

Desta forma, verificou-se o cumprimento dos requisitos funcionais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 e 10, e os não-funcionais 2c, 3a, 3b, 3c, 3d. Neste sentido, importa destacar as razões que sustentam o cumprimento de alguns requisitos. No respeitante ao requisito funcional 1, o seu cumprimento está associado ao facto da frequência máxima da saída e entrada de pulsos do PLC ser de 100 KHz, o que torna possível com um número de pulsos de comando e de *feedback* por volta do servomotor de 2500, comandar e monitorizar o servomotor até um limite de velocidade do fio de 5.8 m/s. O cumprimento do requisito 9 baseia-se na não ativação do sinal RUN nos estados do comando que não implicam a movimentação do servomotor. A parametrização dos cálculos associados às funções auxiliares do sistema (capítulo 5.2.2), permitiu aceder aos requisitos 10 e 3c. O requisito 3a é verificado, dada a elevada resolução dos pulsos de comando e de *feedback* da movimentação do servomotor, 2500 pulsos por rotação, que associada a cálculos intermédios com 6 casas decimais, perfaz um erro máximo de 1 pulso por rotação do servomotor, o que traduz um erro na quantidade e velocidade do fio inferior a 0.2%. Por fim, a verificação do requisito 3b, mais concretamente, o aspeto associado à portabilidade do sistema, é permitido não só pela reduzida massa e volume do sistema físico, mas, também, pelo facto de todos os cálculos e conversões paralelas ao comando principal serem executadas no próprio PLC, sem recurso a unidades de processamento externas à máquina, que possam limitar a sua mobilidade.

Além do referido, este teste permitiu verificar que a ocorrência de uma paragem de emergência a velocidade elevada pode despoletar um alarme no *driver* devido pela elevada desaceleração que implica. Tal facto, despertou a necessidade de colocação no sistema SCADA, de uma forma de ativação do sinal para *reset* de alarmes do servomecanismo.

A segunda fase de implementação consistiu na implementação do HMI no corpo da máquina, e a integração do seu programa com o comando principal. O teste executado nesta fase consistiu na utilização de todas as funções do sistema, sendo o comando e monitorização realizado com recurso ao HMI referido. Este foi realizado por utilizadores que se enquadram nas três tipologias de previstas para o sistema, sendo estes: o administrador, que possui conhecimentos profundos do sistema de automação; o técnico de manutenção, com conhecimentos profundos do sistema mecânico; o utilizador corrente caracterizado pelos seus básicos do funcionamento do sistema. Tendo por base a avaliação dos utilizadores, foi possível verificar o cumprimento dos requisitos funcionais 6 (monitorização), 7 (monitorização), 10 e 12, e dos não-funcionais 1a, 2a, 2c e 4b. A razão que justifica a verificação do requisito 4b, trata-se da restrição de acesso ao modo manual apenas a utilizadores habilitados mediante palavra passe, após anomalia no servomecanismo ou ocorrência de emergência.

Na terceira fase, implementou-se o restante sistema SCADA, que é executado pelo computador local. O teste realizado nesta etapa seguiu a mesma linha do realizado na segunda etapa, tendo o *feedback* dos utilizadores envolvidos permitido constatar a verificação dos requisitos funcionais 6 (monitorização e armazenamento), 7 (monitorização e armazenamento), 10 e 12, e dos não-funcionais 1a, 2a, 2c, 4c. O requisito 4c é verificado pela modalidade de acesso ao controlo e monitorização de parâmetros, de acordo com o grupo ao qual pertence o utilizador autenticado.

Após os diversos testes realizados em todas as etapas de implementação, não foi possível ainda a verificação prática dos requisitos funcionais 8, 11 e os não-funcionais 2b e 4a, já que, apesar de estarem contemplados no comando completo desenvolvido (capítulo 5.1.2), não estão incluídos na porção implementada até ao momento. A verificação completa do requisito funcional 5 não foi possível, dada a não existência no presente protótipo de tampa de segurança no subsistema de desenrolamento e enrolamento.

Desta forma, pode concluir-se que a porção do sistema de automação implementada até ao momento (Figura 5.20) é correta. Além disto, pelo *feedback* dos utilizadores tudo indica que este sistema é o indicado, já que, satisfaz as necessidades atuais com uma qualidade muito satisfatória.

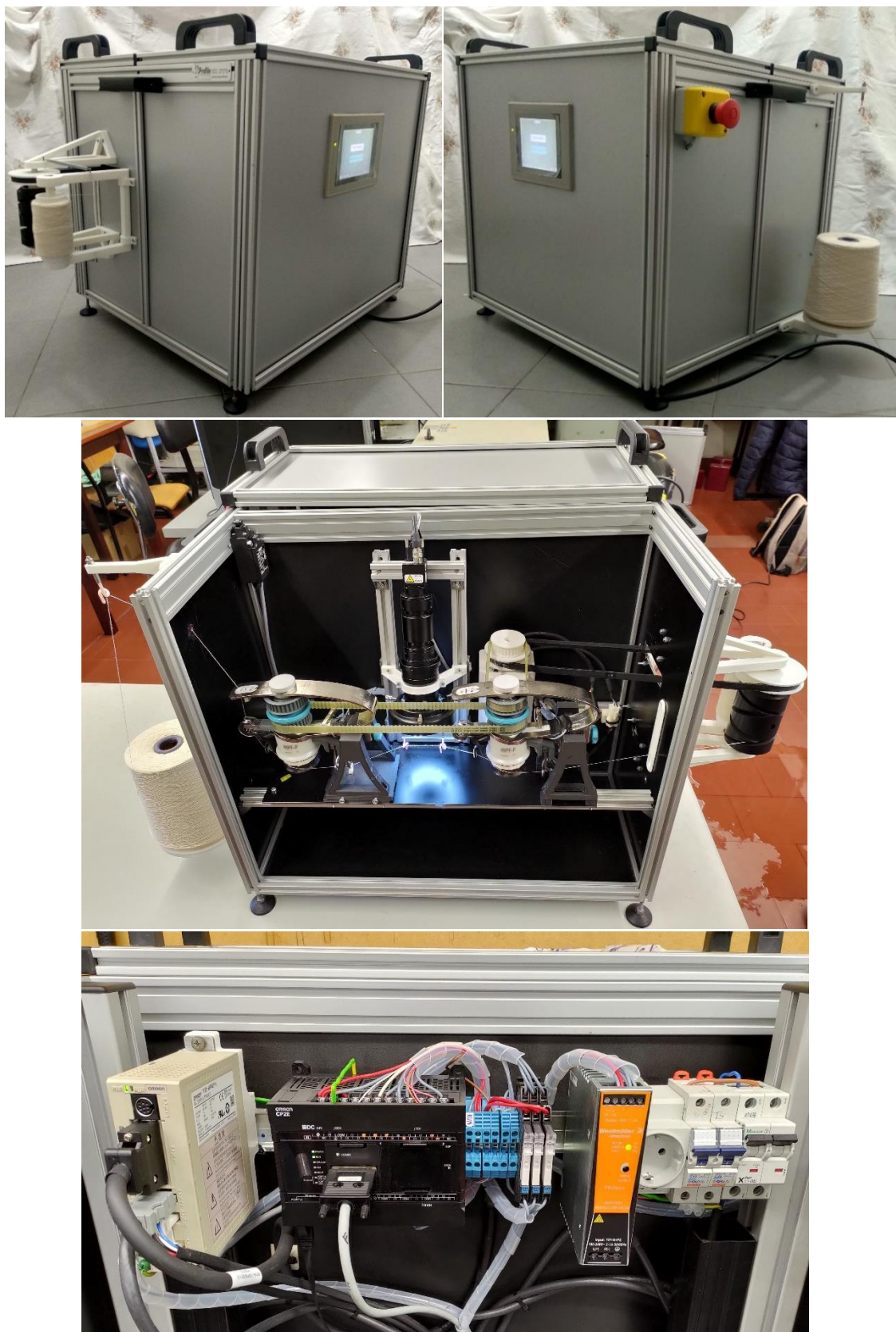


Figura 5.20 - Sistema de automação implementado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo discorre-se sobre os principais aspetos a reter do trabalho desenvolvido, e apresenta-se um conjunto de tarefas a desenvolver no futuro no sentido de aprimorar o sistema de automação obtido.

6.1 Conclusões

O projeto descrito neste documento é parte fundamental de um projeto inovador, que pretende dar resposta a uma necessidade específica da indústria têxtil.

A conceção e implementação do referido sistema de automação, assentou em três pilares fundamentais.

O primeiro pilar, consiste do conhecimento do processo e do sistema mecânico envolvidos, de forma a compreender as variáveis relevantes para a sua automatização. Tal implicou o estudo dos conceitos fundamentais do fio têxtil e do estado da arte dos sistemas mecânicos associados, assim como, o conhecimento profundo da solução mecânica implementada.

O segundo pilar, resumiu-se ao seguimento das recomendações da norma VDI 2206, como forma de garantir uma estruturação do projeto, que facilitasse a obtenção do resultado esperado.

O terceiro pilar, traduziu-se no desdobramento claro e completo dos objetivos e expectativas do projeto em requisitos tangíveis, que permitam aferir a qualidade do sistema de automação obtido.

O projeto específico do sistema iniciou-se pela seleção dos seus componentes físicos, e pela definição as ligações entre os mesmos. Após isto, foi desenvolvida a especificação do comando que foi traduzida, posteriormente, para o programa a executar pelo PLC, e que é responsável pela resposta do sistema a estímulos externos. O projeto específico terminou com a programação/configuração do sistema SCADA, que permite ao utilizador controlar e monitorizar o sistema de forma completa.

A última etapa do projeto, a implementação e o teste do sistema, permitiu aferir que este cumpre todos os requisitos correspondentes à presente fase de implementação estando, portanto, de acordo com os objetivos iniciais definidos. Além disto, nesta fase, foi ainda possível recolher dos utilizadores do protótipo um *feedback* informal muito positivo.

O sucesso do sistema de automação obtido justifica-se, pelo facto, deste possuir uma componente física compacta e portátil, um comando que permite um controlo exato do processo em todas as funcionalidades pretendidas, sem recurso a unidades de processamento no exterior da máquina, e que é capaz de acomodar alterações nas proporções dos elementos mecânicos. Além do referido, o sistema SCADA obtido possibilita a interação local com o utilizador, permitindo ao mesmo controlar todas funcionalidades, monitorizar e guardar os dados relevantes dos testes de qualidade ao fio e do funcionamento do sistema, de forma intuitiva e rápida. A par das referidas funcionalidades, este sistema garante a segurança do utilizador e do equipamento, assegurando a imobilização do sistema mecânico nos episódios de emergência, abertura de tampas de segurança, anomalias no servomecanismo e rotura/inexistência de fio.

Deste modo, é possível concluir que o projeto desenvolvido e implementado até ao momento, dá uma resposta muito satisfatória às necessidades de automatização do protótipo, no seu atual estado de desenvolvimento.

6.2 Trabalhos Futuros

No respeitante a futuros desenvolvimentos deste projeto de automação sugere-se, primeiramente, o término da implementação do sistema projetado, mais concretamente, das porções do comando respeitantes ao teste das funcionalidades do sistema, e da preparação e término dos testes ao fio. Além deste aspeto pendente, sugere-se as seguintes tarefas futuras:

- Integração do sistema de automação com o sistema de visão, nomeadamente, para o controlo dos momentos de captura de imagem, com base na quantidade de fio analisado e na sua velocidade;
- Acesso remoto ao HMI executado pelo computador local, no interior e exterior da rede local;
- Análise dos dados do processo e do sistema na *cloud*;
- Integração de um sensor de tensão de fio no subsistema de condução, que permitindo um maior controlo sobre essa variável, aumentaria a fiabilidade nos resultados obtidos no teste de qualidade ao fio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *USTER TESTER staple yarn*. [Online]. Disponível em: <https://www.uster.com/en/instruments/staple-yarn-testing/uster-tester-staple-yarn>. Acedido em: 20/10/2021.
- [2] F. Pereira, V. Carvalho, F. Soares, R. Vasconcelos e J. Machado, "Computer vision techniques for detecting yarn defects," in *Applications of Computer Vision in Fashion and Textiles*, W.K. Wong. Woodhead Publishing, 2018, pp. 123-145.
- [3] A. Sengupta, S. Roy, S. Sengupta, "Development of a low cost yarn parameterisation unit by image processing," *Measurement*, Vol.59, pp. 96-109, janeiro 2015.
- [4] F. Pereira, E.L. Oliveira, G.G. Ferreira, F. Sousa, P. Caldas, "Textile Yarn Winding and Unwinding System," in *Innovations in Mechanical Engineering*, J. Machado, F. Soares, J. Trojanowska, E. Ottaviano. Springer, 2021, pp. 347-358.
- [5] F. Sousa, "Projeto Mecânico de um Sistema de Desenrolamento e Enrolamento de Fio Têxtil", Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2021.
- [6] B. C. Goswami, J. G. Martindale e F. L. Scardino, *Textile Yarns – Technology, Structure and Applications*. E.U.A.: John Wiley & Sons, 1977.
- [7] M. Araújo, E. M. M. Castro, *Manual de Engenharia Têxtil Vol.II*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986-1987.
- [8] T. Hasan. (2017). *Systems of Yarn Count Measurement*. [Online]. Disponível em: <https://têxtilstudycenter.com/yarn-count-measurement/>. Acedido em: 22/02/2021.
- [9] M. Costa, C. Pires. (2015). *Manual Técnico Têxtil e Vestuário – N°2 Fios Têxteis*. [Online]. Disponível em: https://issuu.com/senaitêxtilvestuario/docs/manual2_fios. Acedido em: 22/02/2021.
- [10] M. Koranne, *Fundamentals of yarn winding*. New Delhi: Woodhead Publ, 2013.
- [11] M. Mahmud. (20/04/2019). Full concept of winding. *Têxtil BD* [Online]. Disponível em: <https://shourov43.blogspot.com/2019/04/full-concept-of-winding.html>. Acedido em: 23/02/2021.
- [12] S. Mohammed, "The Mechanism of Package Unwinding," pp.2 a 19.
- [13] S. Pracek, F. Sluga, and K. Mozina, "Oscillations in the Yarn Tension During the Yarn Unwinding from Packages," in *DAAAM International scientific book 2011*, B. Katalinic. Viena: DAAAM International, 2011, pp.433 e 444.
- [14] P. H. Ukey, C. D. Kane, H. R. Shah. (2010, jul.). Studies on tension measurement in winding. *The Indian Têxtil Journal* [Online]. Disponível em: <https://indiantêxtiljournal.com/articles/FAde-tails.asp?id=2898>. Acedido em: 15/03/2021.
- [15] V. P. S. Narayana, "Novel Method for Dynamic Yarn Tension Measurement and Control in Direct Cabling Process", Universidade do Estado da Carolina do Norte, E.U.A., 2005.
- [16] Design methodology for mechatronic systems, VDI 2206, 2004.
- [17] C. C. Insaurralde and A. Zoitl, "System requirements in industrial automation," *11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp. 572-577, 2013.
- [18] J. M. Fernandes e R. J. Machado, *Requirements in Engineering Projects*, 1ed. Suíça: Springer, 2016.
- [19] *Manual de Instruções MPF-P*. Dornstetten: MEMMINGER-IRO GMBH, 2019.
- [20] *AC Servo Practice Course (MELSERVO-J4)*. Japão: Mitsubishi Electric.
- [21] P. Moreton, *Industrial Brushless Servomotors*. Elsevier, 2000.
- [22] D. Ferbert. *How to Calculate Encoder Resolution*. [Online]. Disponível em: <https://www.dynapar.com/knowledge/how-to-calculate-encoder-resolution>. Acedido em: 02/05/2021.
- [23] *SmartStep 2 servo system – User's Manual*. Japão: OMRON Corporation.
- [24] *R88M-G20030H-S2 – Specifications*. [Online]. Disponível em: <https://industrial.OMRON.eu/en/products/R88M-G20030H-S2>. Acedido em: 10/05/2021.

- [25] *R7D-BP02HH - Specifications*. [Online]. Disponível em: <https://industrial.OMRON.eu/en/products/R7D-BP02HH> . Acedido em: 10/05/2021.
- [26] *Data sheet PRO ECO 72W 24V 3A*. Detmold: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, 2014.
- [27] J. M. Machado, “Concepção e Realização do Comando Operacional de Sistemas Industriais de Eventos Discretos”, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica – Componente Científica, Universidade do Minho, Guimarães, 2001.
- [28] T. Mortenson. (2021, fev.). Sinking and Sourcing PLC Outputs Explained. *RealPars Blog* [Online]. Disponível em: <https://realpars.com/sinking-output/> . Acedido em: 20/05/2021.
- [29] Programmable controllers – Part 3: Programming languages, IEC 61131-3, 2003.
- [30] *CP2E-N30DT1-D – Specifications*. [Online]. Disponível em: <https://industrial.OMRON.eu/en/products/CP2E-N30DT1-D>. Acedido em: 20/05/2021.
- [31] *Programmable Controller CP2E*. Japão: OMRON Corporation.
- [32] *SYSMAC CP Series - CP2E CPU Unit Software – User’s Manual*. Japão: OMRON Corporation, 2019.
- [33] *Data sheet TERMSERIES TRZ 24VDC 1CO*. Detmold: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, 2015.
- [34] *Miniature Safety Limit Switch D4N*. OMRON.
- [35] M. Anderson. (2019, jun.). What is SCADA? *RealPars Blog* [Online]. Disponível em: <https://realpars.com/scada/>. Acedido a: 22/05/2021.
- [36] M. Anderson. (2018, set.). What is RTU? *RealPars Blog* [Online]. Disponível em: <https://realpars.com/rtu/>. Acedido a: 22/05/2021.
- [37] K. Cope. (2018, abr.). What is an HMI? *RealPars Blog* [Online]. Disponível em: <https://realpars.com/what-is-hmi/>. Acedido a: 22/05/2021.
- [38] *NS-Series – Programmable Terminals – Setup Manual*. Japão: OMRON Corporation, 2003.
- [39] *NS5-SQ10-V2 – Specifications*. [Online]. Disponível em: <https://industrial.OMRON.eu/en/products/NS5-SQ10-V2#all> . Acedido a: 25/05/2021.
- [40] *NS – Series*. Países Baixos: OMRON EUROPE B.V.
- [41] *Cx-Designer – User’s Manual*. OMRON, 2007.
- [42] *LabVIEW*. [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-pt/shop/software/products/labview.html>. Acedido a: 27/05/2021.
- [43] *What is LabVIEW?* [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-pt/shop/labview.html>. Acedido a: 27/05/2021.
- [44] *OPC servers*. [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-pt/support/downloads/software-products/download.opc-servers.html#305861>. Acedido a: 28/05/2021.
- [45] (2020, fev.). *Supported Device and Driver Plug-in List for NI OPC Servers*. [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-pt/support/documentation/supplemental/07/supported-device-driver-plugin-list-for-ni-opc-servers.html#section-1585654776> . Acedido a: 28/05/2021.
- [46] (2020, out.). *Introduction to OPC*. [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-pt/innovations/white-papers/08/introduction-to-opc.html>. Acedido a: 28/05/2021.
- [47] *About OMRON Host Link Communications*. [Online]. Disponível em: https://www.ge.com/digital/documentation/cimlicity/version10/oxy_ex-2/device_communications/topics/g_cimlicity_device_communications_about_OMRON_host_link_communications.html. Acedido a: 07/09/2021.
- [48] Host Link. *Glossary of Industrial Automation* [Online]. Disponível em: <https://www.ia.OMRON.com/support/glossary/meaning/4243.html>. Acedido a: 07/09/2021.
- [49] NT Link. *Glossary of Industrial Automation* [Online]. Disponível em: <https://www.ia.OMRON.com/support/glossary/meaning/279.html>. Acedido a: 07/09/2021.

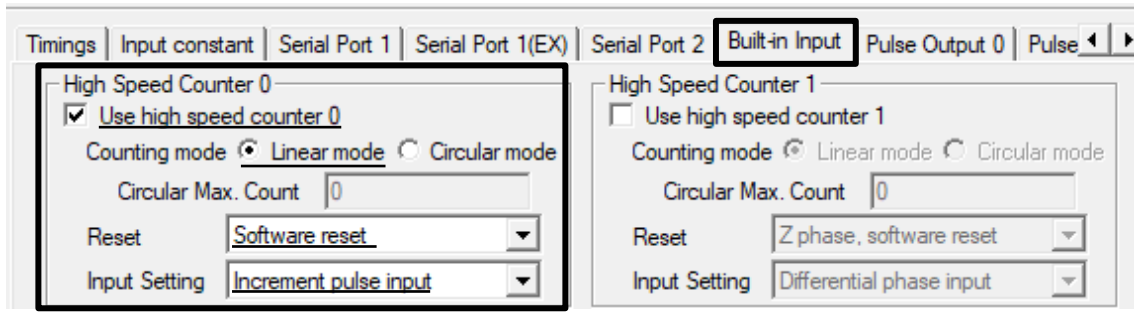
- [50] *SYSMAC CS and CJ Series - Ethernet/IP Units – Operation Manual*. Japão: OMRON Corporation, 2010.
- [51] *What is OPC?* [Online]. Disponível em: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>. Acedido a: 09/09/2021.
- [52] *Unified Architecture*. [Online]. Disponível em: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>. Acedido a: 09/09/2021.
- [53] J. Machado, “Da Especificação em Grafcet (IEC 60 848) à Implementação em Ladder (IEC 61 131-3)”, Texto Pedagógico, Universidade do Minho, Guimarães, 2003.
- [54] J. Machado e E. Seabra, “Implementação do GEMMA por Coordenação Vertical – Caso de Aplicação”, Texto Pedagógico, Universidade do Minho, Guimarães, 2007.
- [55] J. Machado e E. Seabra, “Tratamento da Paragem de Emergência – Caso de Aplicação”, Texto Pedagógico, Universidade do Minho, Guimarães, 2007.
- [56] P. Flores, F. Marques, “T.02 – Transmissão por Correias”, Órgãos de Máquinas II, Universidade do Minho, Guimarães, 2019.

APÊNDICE A – LIGAÇÕES ELÉTRICAS DO SISTEMA

PLC	<u>Entradas</u>	
	+	Fonte + (24V)
	-	Fonte - (0V)
	<i>Protective Ground</i>	Rede elétrica <i>Protective ground</i>
	COM	Fonte + (24V)
	1.04	<i>Driver</i> INP/TGON [via cabo rosa (1 lista preta)]
	0.00 (<i>high speed counter 0</i>)	<i>Driver</i> A+ [via cabo branco (2 listas vermelhas)] *
	1.03	<i>Driver</i> /ALM [via cabo rosa (1 lista vermelha)]
	1.02	<i>Driver</i> WARN [via cabo laranja (2 listas pretas)]
	0.11	Relé do sensor de fio do desenrolamento (porta 14 - NO) – ff_d **
	0.09	Relé dos sensores de fio da condução (porta 14 - NO) – ff_c **
	1.05	Relé do sensor de fio do enrolamento (porta 14 - NO) – ff_e **
	0.10	Botão de emergência NO 3
	0.03	Fonte - (0V) – FsD (não utilizado)
	0.05	Sensor de tampa de segurança da condução – Porta 13 – FsC
	0.07	Fonte - (0V) – FsE (não utilizado)
	<u>Saídas</u>	
	COM's	Fonte + (24V)
	101.03	Botão de emergência - NC 1
	100.00 (com resistência de 2 K Ω em série) (<i>pulse output 0-pulse</i>)	<i>Driver</i> +CCW [via cabo branco (3 listas vermelhas)]***
	101.00 (com resistência de 2 K Ω em série) (<i>pulse output 2-pulse</i>)	<i>Driver</i> +CW [via cabo cinzento (3 listas vermelhas)]***
	101.02	<i>Driver</i> RESET [via cabo cinzento (1 lista vermelha)]
	<u>Porta frontal</u> [via adaptador RS-232C]	HMI instalado no equipamento – porta A
	<u>Porta Ethernet</u>	Computador local – porta <i>ethernet</i>

Notas:

*



Apesar de os sinais A+, A-, B+, B-, Z+, Z- serem normalmente ligados em *differential mode* (recurso a amplificadores operacionais que fazendo a diferença dos sinais, amplificam-nos e eliminam o ruído), dado que este equipamento será de utilização em laboratório e não em chão de fábrica não sendo, portanto, o ruído um fator preponderante, considerou-se a utilização de apenas um dos sinais mencionados. Assim, constatando-se que os sinais positivos correspondem ao sinal original, sendo os negativos a sua negação, foi ligado o sinal A+ em *open collector* a uma entrada do PLC compatível com a função *high speed counter*. Por fim, foi selecionada a opção de *reset* por *software*, a tipologia entrada de pulsos incremental (soma de pulsos independentemente do sentido do movimento) e o modo de contagem linear;

**As saídas do PLC estão ligadas à porta 14 (NA) do relé, de forma a evitar que quando o relé não está acionado a porta 12 (NF), que não está em utilização, possua um potencial de 24V;

***O comando do servomotor é feito utilizando como saída do PLC, *pulse + direction* (pulsos de movimentação e sinal de avanço ou recuo) (4.1.1). No entanto, dado que, o *driver* tem como predefinição o modo de entrada de pulsos de avanço e recuo, um terminal de pulsos para o movimento no sentido dos ponteiros do relógio (CW), o outro terminal para o sentido contrário (CCW), optou-se por ligar o terminal de pulsos de movimentação do PLC ao terminal do *driver* correspondente ao sentido do movimento do servomotor pretendido (CW ou CCW), tendo-se duplicado o procedimento para permitir que o servomotor se movimente em ambos os sentidos.

<u>Driver</u>	Porta CN1 (via cabo R7A-CPB001S)	+24 VIN [via cabo laranja (1 lista vermelha)]	Fonte – (0V)
		GND [via cabo cinzento (2 listas pretas)]	
		-CCW [via cabo branco (3 listas pretas)]	
		-CW [via cabo cinzento (3 listas pretas)]	
		OGND [via cabo cinzento (2 listas vermelhas)]	
		INP/TGON [via cabo rosa (1 lista preta)]	PLC 1.04
		Driver A+ [via cabo branco (2 listas vermelhas)]	PLC 0.00 (<i>high speed counter</i> 0)
		Driver /ALM [via cabo rosa (1 lista vermelha)]	PLC 1.03
		Driver WARN [via cabo laranja (2 listas pretas)]	PLC 1.02
		Driver RUN [via cabo laranja (1 lista preta)]	Botão de emergência - NC 2
	Driver + CCW [via cabo branco (3 listas vermelhas)]	PLC 100.00 (pulse output 0 - pulse) (com resistência de 2 K Ω em série)	
	Driver + CW [via cabo cinzento (3 listas vermelhas)]	PLC 101.00 (pulse output 2 - pulse) (com resistência de 2 K Ω em série)	
	Driver RESET [via cabo cinzento (1 lista vermelha)]	PLC 101.02	
	Porta CN2 (via cabo R88A-CRGB003CR-E)	<i>Encoder</i>	
Porta CNB (via cabo R7A-CAB003SR-E)	Motor		
Porta CNA (via cabo R7A-CLB002S2-E)	Rede elétrica		
Protective Ground (carcaça metálica)	Rede elétrica <i>protective ground</i>		

<u>Servomotor</u>	<i>Encoder</i>	<i>Driver</i> Porta CN2
	Motor	<i>Driver</i> Porta CNB

<u>HMI</u> <u>Instalado no</u> <u>Equipamento</u>	+	Fonte + (24V)
	-	Fonte - (0V)
	<i>Protective Ground</i>	Rede elétrica <i>protective ground</i>
	Porta A	Adaptador RS-232C (porta frontal do PLC)

<u>Computador</u> <u>Local</u>	Porta <i>Ethernet</i>	PLC porta <i>Ethernet</i>
---	------------------------------	---------------------------

<u>Fonte de Alimentação</u>	- (0 V)	PLC – (0V)	
		PLC 0.03	
		PLC 0.07	
		<i>Driver +24 VIN</i> [cabo laranja (1 lista vermelha)]	
		<i>Driver GND</i> [cabo cinzento (2 listas pretas)]	
		<i>Driver -CCW</i> [cabo branco (3 listas pretas)]	
		<i>Driver -CW</i> [cabo cinzento (3 listas pretas)]	
		<i>Driver OGND</i> [cabo cinzento (2 listas vermelhas)]	
		Alimentador positivo 1 - carcaça	
		Alimentador positivo 2 - carcaça	
		Relé do desenrolamento - COM	
		Relé da condução - COM	
		Relé do enrolamento - COM	
		HMI instalado no equipamento - (0V)	
		Sensor de abertura de tampa - Porta 14	
		Botão de emergência - NO 4	
		+ (24V)	PLC + (24V)
			PLC COM (entradas)
	PLC COM (saídas)		
	Relé do desenrolamento - A1+		
	Relé da condução - A1+		
	Relé do enrolamento - A1+		
	HMI instalado no equipamento - + (24V)		
	L	Rede elétrica fase	
	N	Rede elétrica neutro	
	<i>Protective Ground</i>	Rede elétrica <i>protective ground</i>	

<u>Relé do Sensor de Fio do Desenrolamento</u>	Potência	A1+	Fonte + (24V)
		A2-	Alimentador positivo 1 - pino superior
	Sinal	COM	Fonte – (0V)
		14 NO	PLC 0.11

<u>Relé dos Sensores de Fio da Condução</u>	Potência	A1+	Fonte + (24V)
		A2-	Alimentador positivo 1 - pino inferior Alimentador positivo 2 – pino superior
	Sinal	COM	Fonte – (0V)
		14 NO	PLC 0.09

<u>Relé do Sensor de Fio do Enrolamento</u>	Potência	A1+	Fonte + (24V)
		A2-	Alimentador positivo 2 – pino inferior
	Sinal	COM	Fonte – (0V)
		14 NO	PLC 1.05

<u>Botão de Emergência</u>	NC 1	PLC 101.03
	NC 2	<i>Driver RUN</i>
	NO 3	PLC 0.10
	NO 4	Fonte – (0V)

<u>Sensor da Tampa de Segurança da Condução</u>	Porta 14	Fonte – (0V)
	Porta 13	PLC 0.05

<u>Alimentador Positivo 1</u>	Pino superior	Relé do sensor de fio do desenrolamento – A2-
	Pino inferior	Relé dos sensores de fio da condução – A2-
	Carcaça	Fonte – (0V)

<u>Alimentador Positivo 2</u>	Pino superior	Relé dos sensores de fio da condução – A2-
	Pino inferior	Relé do sensor de fio do enrolamento – A2-
	Carcaça	Fonte – (0V)

APÊNDICE B – VARIÁVEIS DE ENTRADA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

			Símbolo	Descrição	
<u>Variáveis Booleanas</u>	Servomotor e Driver		INP/TGON	Posicionamento completo (NA)	
			/ALM	Sinal de alarme do <i>driver</i> do servomotor (desligado durante cerca de 2 segundos após o início da alimentação do <i>driver</i>) (NF)	
			WARN	Sinal de alarme do <i>driver</i> do servomotor devido a elevada regeneração, sobrecarga ou erro na velocidade da ventoinha (NA)	
		Encoder	A+	Pulsos do emitidos pelo <i>encoder</i> (2500 pulsos por rotação)	
	Botões	Gerais		Emg	Emergência (NA)
				Menu	Sair do modo e aceder ao menu principal (NA)
				COMEÇAR	Início da movimentação (NA)
				PARAR	Fim da movimentação (NA)
				CONTINUAR	Continuação da movimentação (NA)
				RECOMEÇAR	Recomeço da movimentação (NA)
				Volt_atras	Voltar ao estado anterior do modo (NA)
			Sim	Guardar a informação do teste como teste de sucesso (NA)	
				*continua na página seguinte →	

			Símbolo	Descrição		
<u>Variáveis</u> <u>Booleanas</u>	Botões	Gerais	Não	Guardar a informação do teste como teste sem sucesso (NA)		
			M_Tensao	Imprimir mais tensão no fio entre alimentadores positivos (NA)		
			m_tensao	Imprimir menos tensão no fio entre alimentadores positivos (NA)		
			S_R_Tempo	Eliminação da restrição de tempo da movimentação (NA)		
			Nov_Testes	Começo de um novo teste (NA)		
		Menu Principal	Mpt	Modo de preparação do teste (NA)		
			Mt	Modo de teste (NA)		
			Mm	Modo manual (NA)		
			Mtt	Modo de término do teste (NA)		
		Modo de Preparação do Teste	Pd	Preparação do desenrolamento (NA)		
			Pa1	Preparação do alimentador 1 (NA)		
			M_Pa1	Movimento de preparação do alimentador 1 (NA)		
			Pa2	Preparação do alimentador 2 (NA)		
			M_Pa2	Movimento de preparação do alimentador 2 (NA)		
			Pe	Preparação do enrolamento (NA)		
			M_Pe	Movimento de preparação do enrolamento (NA)		
			P_At	Preparação do ajuste de tensão (NA)		
						*continua na página seguinte →

			Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Botões	Modo de Preparação do Teste	M_At	Movimento de ajuste de tensão (NA)
			F_At	Fim do ajuste de tensão (NA)
			DTsf	Destrancar sensores de fio (NA)
			Tf	Teste de funcionamento (NA)
		Modo de Teste	Teste_T_V	Teste definido por tempo e velocidade (NA)
			Teste_Qf_V	Teste definido por quantidade de fio e velocidade (NA)
		Modo de Término do Teste	Tsf	Trancar sensores de fio (NA)
			Cf	Corte do fio (NA)
			Rf	Retirada de fio (NA)
			Lc	Limpar compartimento (NA)
		Modo Manual	Rb	Remover bobines (NA)
			Mcm_Qf_V	Modo de controlo da movimentação do servomotor com quantidade de fio e velocidade (NA)
			Mcm_T_V	Modo de controlo da movimentação do servomotor com tempo e velocidade (NA)
			Mcm_P_a	Modo de controlo do servomotor por pulsos, tendo por base o número de voltas do alimentador positivo introduzidas pelo utilizador (NA)

			Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Botões	Modo Manual	Mcm_P_e	Modo de controlo do servomotor por pulsos, tendo por base o número de voltas do cilindro sulcado de enrolamento introduzidas pelo utilizador (NA)
			Mcm_P_Tt	Modo de controlo do servomotor por pulsos, tendo por base o número de voltas necessárias para retirar completamente o fio no término do teste (NA)
			Mcm_D	Modo de controlo do servomotor por movimentação de natureza discreta (NA)
			Apg_Alm_Mot	Apagar o alarme devido a anomalia no servomotor e/ou respetivo <i>driver</i> (NA)
		Sensores	ff_d	Falha no fio no desenrolamento (NA)
	ff_c		Falha de fio na condução (NA)	
	ff_e		Falha de fio no enrolamento (NA)	
	FsD		Falha de segurança no desenrolamento (abertura de tampa no desenrolamento) (NF)	
	FsC		Falha de segurança na condução (abertura de tampa na condução) (NF)	
	FsE		Falha de segurança no enrolamento (abertura de tampa no enrolamento) (NF)	

<u>Variáveis</u> <u>Numéricas</u>	Quantidade de fio a analisar (m)
	Quantidade de fio a retirar do sistema (m)
	Velocidade do fio a analisar (m/s)
	Tempo de análise do fio (min)
	Número de pulsos de comando do servomotor
	Frequência de pulsos de comando do servomotor – iniciação (Hz)
	Frequência de pulsos de comando do servomotor – funcionamento (Hz)
	Aceleração do servomotor (Hz/4ms)
	Desaceleração do servomotor (Hz/4ms)
	Número de voltas pretendidas para o alimentador positivo 1
	Número de voltas pretendidas para o alimentador positivo 2
	Número de voltas pretendidas para o cilindro sulcado do enrolamento
	Força de rotura do fio (N ou cN)
	Resolução do movimento discreto do servomotor (graus)
	Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm)
	Relação de transmissão servomotor/alimentador positivo
	Relação de transmissão servomotor/cilindro sulcado de enrolamento
Número de pulsos por volta do servomotor	

APÊNDICE C – VARIÁVEIS DE SAÍDA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

		Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Servomotor e Driver	RUN	Ativação do servomotor (monoestável)
		+CCW	Pulsos para movimentação anti-horária do servomotor – controlo por pulsos de avanço e recuo (2500 pulsos por rotação)
		+CW	Pulsos para a movimentação horária do servomotor – controlo por pulsos de avanço e recuo (2500 pulsos por rotação)
		RESET	Eliminação de mensagens de erro do servomecanismo (monoestável)
	Monitorização do Estado do Comando do Sistema	Tt	Término do teste (monoestável)
		Pi_emg	Paragem inesperada devida a emergência (monoestável)
		Pi_ff_d	Paragem inesperada devida a falha de fio no desenrolamento (monoestável)
		Pi_ff_c	Paragem inesperada devida a falha de fio na condução (monoestável)
		Pi_ff_e	Paragem inesperada devida a falha de fio no enrolamento (monoestável)
		Pi_ff_complex	Paragem inesperada devida a falha de fio múltipla (monoestável)
		Pi_fm	Paragem inesperada devida a falha no servomotor (monoestável)
Pi_fs	Paragem inesperada devida a falha de segurança (monoestável)		
			*continua na página seguinte →

		Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Armazenamento dos Dados Recolhidos na Monitorização das Variáveis de Funcionamento	G_Dados	Guardar os dados do teste terminado como sendo um teste bem-sucedido (monoestável)
		N_G_Dados	Guardar os dados do teste terminado como sendo um teste mal sucedido (monoestável)

<u>Variáveis Numéricas</u>	Quantidade de fio medida (m)
	Número de pulsos de comando do servomotor
	Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>
	Velocidade do fio medida (m/s)
	Velocidade do servomotor (rpm)
	Frequência de pulsos de comando do servomotor – funcionamento (Hz)
	Frequência de pulsos emitidos pelo <i>encoder</i>
	Tempo de movimentação do servomotor (minutos: segundos)
	Tempo de movimentação restante
	Tempo de aceleração e permanência à velocidade máxima do servomotor
	Tensão ideal para o fio (N ou cN)
	Data
	Hora

APÊNDICE D – VARIÁVEIS INTERNAS DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

		Símbolo	Descrição	
<u>Variáveis Booleanas</u>	<i>Encoder</i>	xeqypuls	<i>Encoder</i> regista um número de pulsos igual ao definido pelo utilizador (NA)	
		V0Hz	Servomotor imobilizado (NA)	
	Ativação de Funções de Cálculo Auxiliares	Cv_a_VLT_p_PLS	Conversão de voltas do tambor do alimentador positivo introduzidas pelo utilizador para pulsos (monoestável)	
		Cv_e_VLT_p_PLS	Conversão das voltas do cilindro sulcado de enrolamento introduzidas pelo utilizador para pulsos (monoestável)	
		Cv_DT_p_PLS	Conversão da distância com a qual se pretende esticar o fio a cada incremento, introduzida pelo utilizador para pulsos (monoestável)	
		Calc_F_Max	Cálculo da força máxima permitida para que as propriedades originais do fio não sejam alteradas durante a sua passagem pelo equipamento (monoestável)	
		Cv_V_p_F	Conversão da velocidade introduzida pelo utilizador para frequência (monoestável)	
		T_Ac_Vmax	Cálculo do tempo de aceleração e permanência do servomotor à velocidade máxima quando o servomotor é controlado por velocidade e tempo (monoestável)	
				*continua na página seguinte →

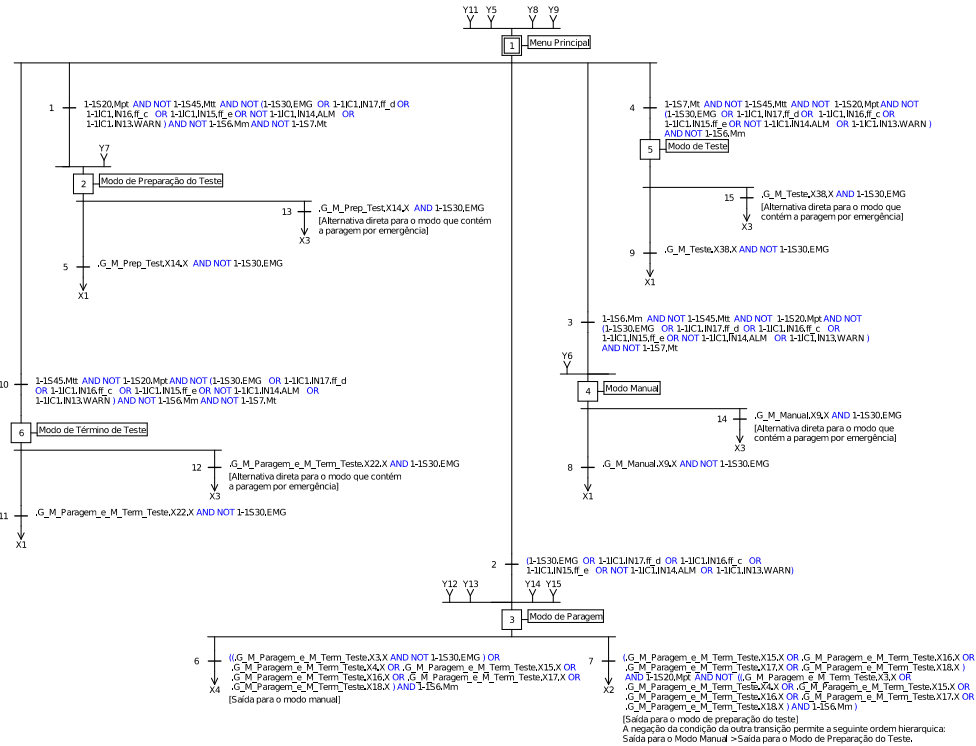
		Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Ativação de Funções de Cálculo Auxiliares	Cv_Qf_V_p_PLS_F	Conversão dos valores da quantidade de fio a processar e da sua velocidade para pulsos e frequência (monoestável)
		Cv_PLS_p_Qf	Conversão dos pulsos medidos em quantidade de fio analisada (monoestável)
		Cv_PLS_p_VLT_a	Conversão dos pulsos medidos em número de voltas do alimentador (monoestável)
		Cv_PLS_p_VLT_e	Conversão dos pulsos medidos em número de voltas do cilindro sulcado de enrolamento (monoestável)
		Cv_F_p_V	Conversão da frequência medida em velocidade do fio (monoestável)
		Mot_V_Parametros_Continuacao	Definição dos parâmetros para a continuação do teste no caso do controlo do servomotor por tempo e velocidade (monoestável)
		Mot_P_Parametros_Continuacao	Definição dos parâmetros para a continuação do teste no caso do controlo do servomotor por quantidade de fio e velocidade (monoestável)
	Calc_PLS_Rf	Variável de iniciação da função de cálculo do número total de pulsos necessários para a retirada completa do fio (monoestável)	
	Ativação de Funções de Controlo do Servomotor	Rst_s_pls	<i>Reset</i> da saída de pulsos (monoestável)

*continua na página seguinte →

		Símbolo	Descrição
<u>Variáveis Booleanas</u>	Ativação de Funções de Controlo do Servomotor	Mot_P_sah_a	Movimentação do servomotor no sentido anti-horário – modo de controlo por pulsos – aceleração (monoestável)
		Mot_P_sah_d	Movimentação do servomotor no sentido anti-horário – modo de controlo por pulsos – desaceleração (monoestável)
		Mot_P_sh_a	Movimentação do servomotor no sentido horário – modo de controlo por pulsos – aceleração (monoestável)
		Mot_P_sh_d	Movimentação do servomotor no sentido horário - modo de controlo por pulsos – desaceleração (monoestável)
		Mot_V_a	Movimentação do servomotor no sentido anti-horário – modo de controlo por velocidade – aceleração (monoestável)
		Mot_V_d	Movimentação do servomotor no sentido anti-horário – modo de controlo por velocidade – desaceleração (monoestável)
	Ativação de Funções de Monitorização das Variáveis de Funcionamento	Mon_PLS	Monitorização em tempo real dos pulsos provenientes do <i>encoder</i> , resultantes da movimentação do servomotor (monoestável)
		Mon_F	Monitorização em tempo real da frequência dos pulsos emitidos pelo <i>encoder</i> que resultam da movimentação do servomotor (monoestável)
		Mon_T	Monitorização do tempo de movimentação do servomotor (monoestável)

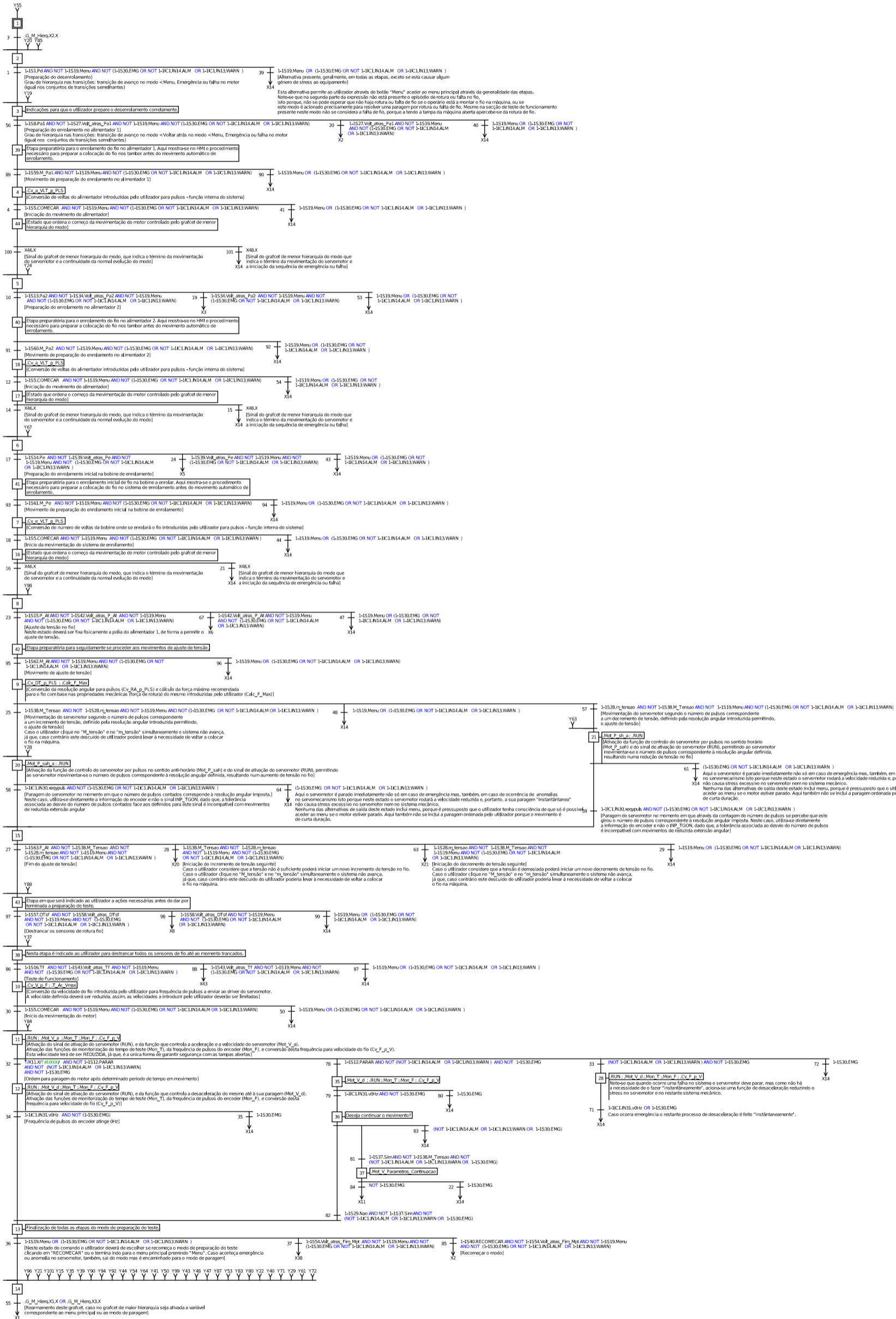
APÊNDICE E – ESPECIFICAÇÃO DO COMANDO DO SISTEMA COMPLETO

Grafcet de Maior Hierarquia – Coordenação dos Modos de Funcionamento



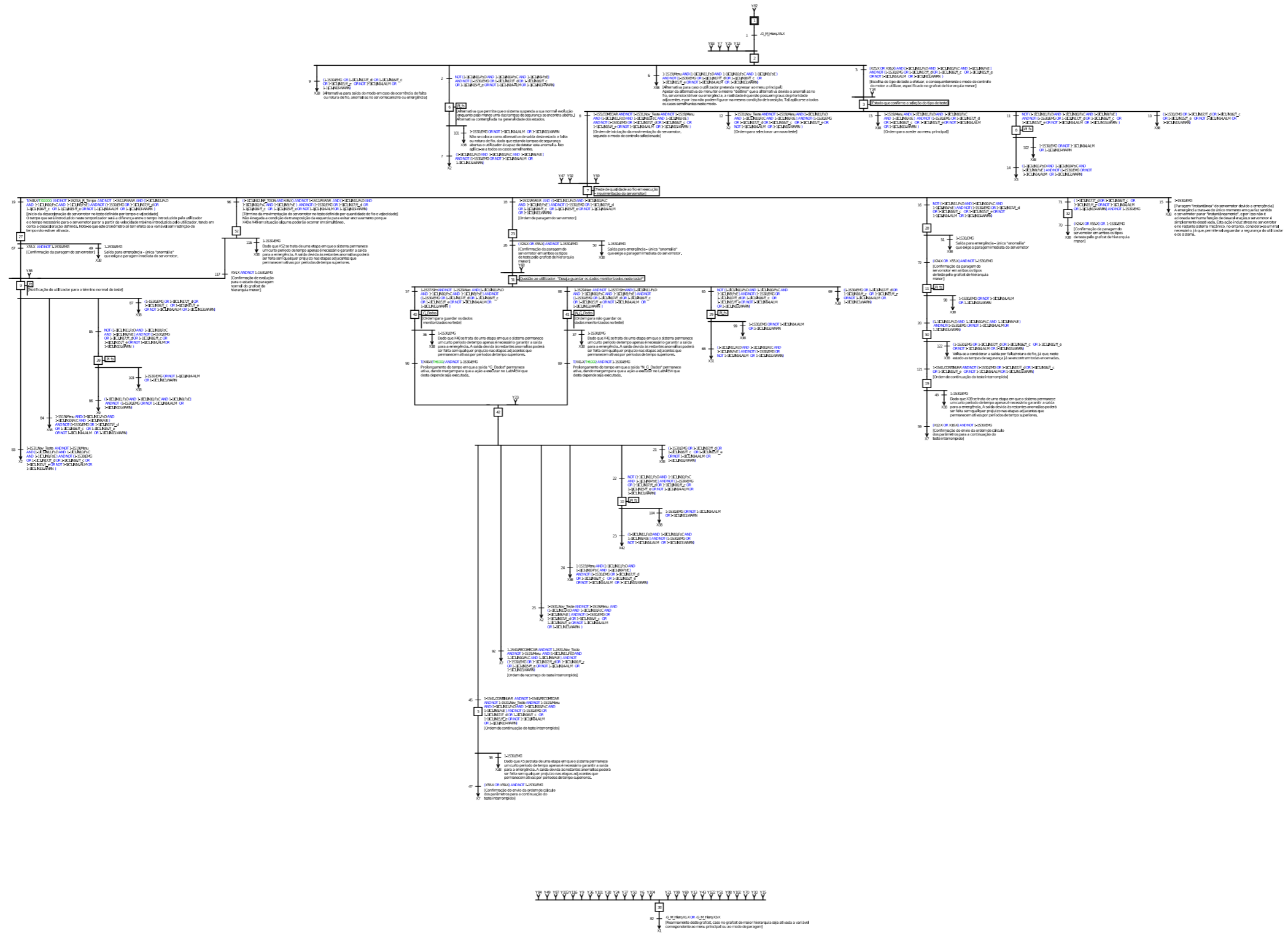
Grafcet's – Modo de Preparação do Teste

Grafcet A

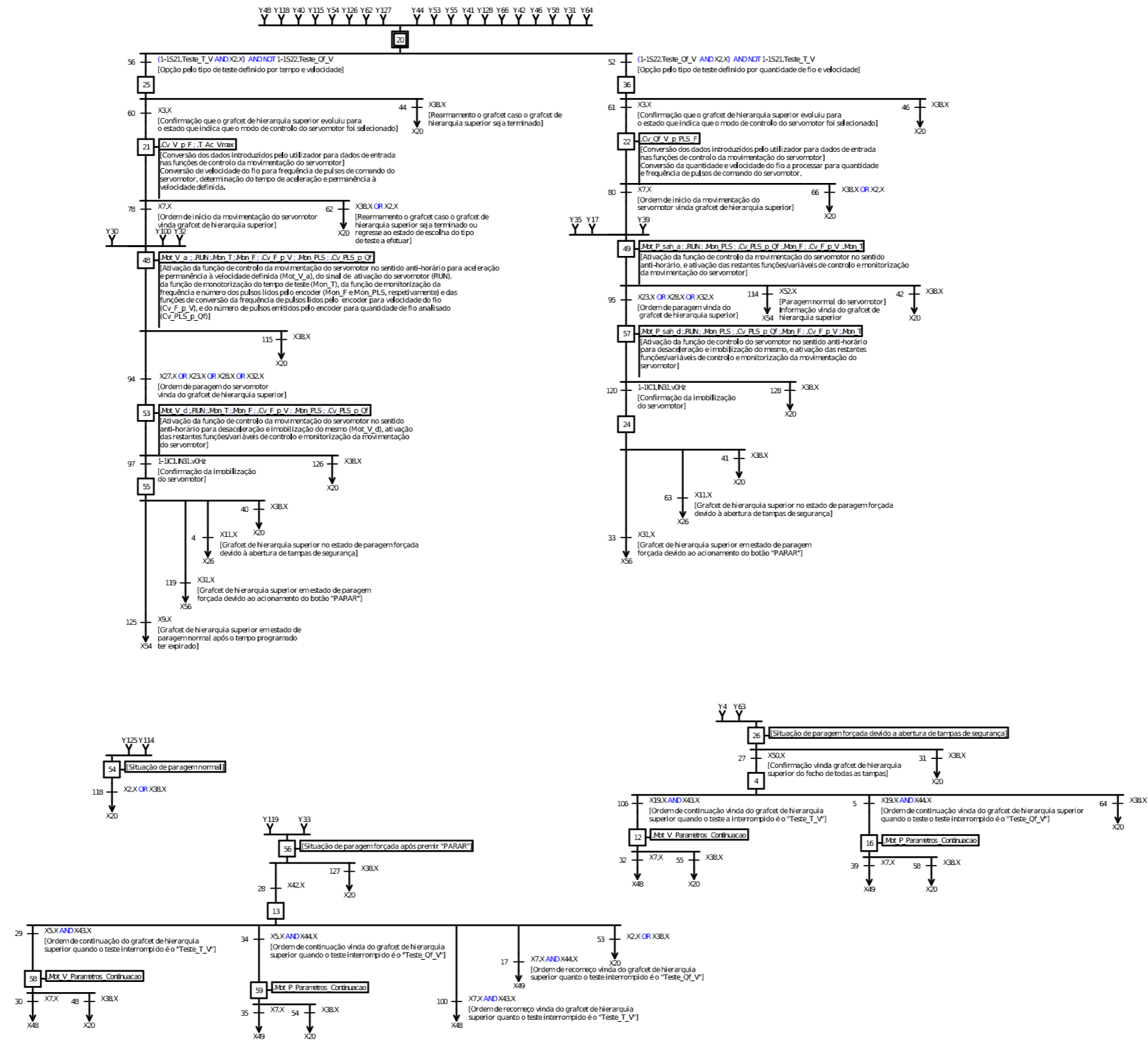


Grafcet's do Modo de Teste

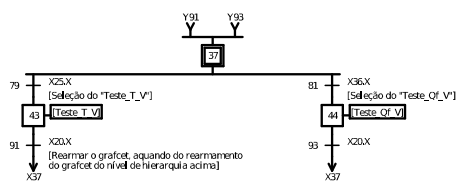
Grafcet A



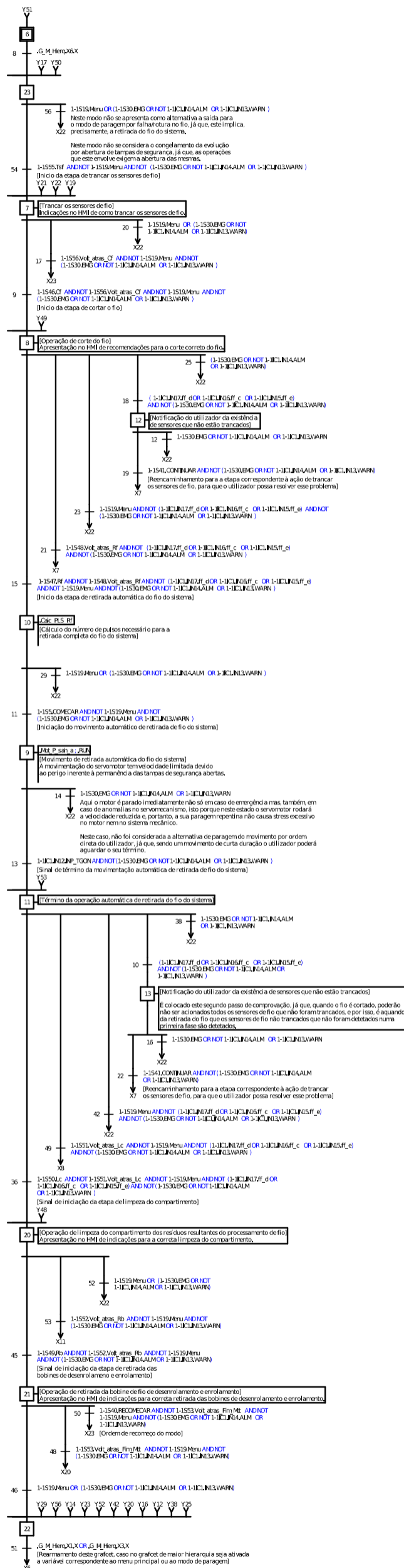
Grafcet B



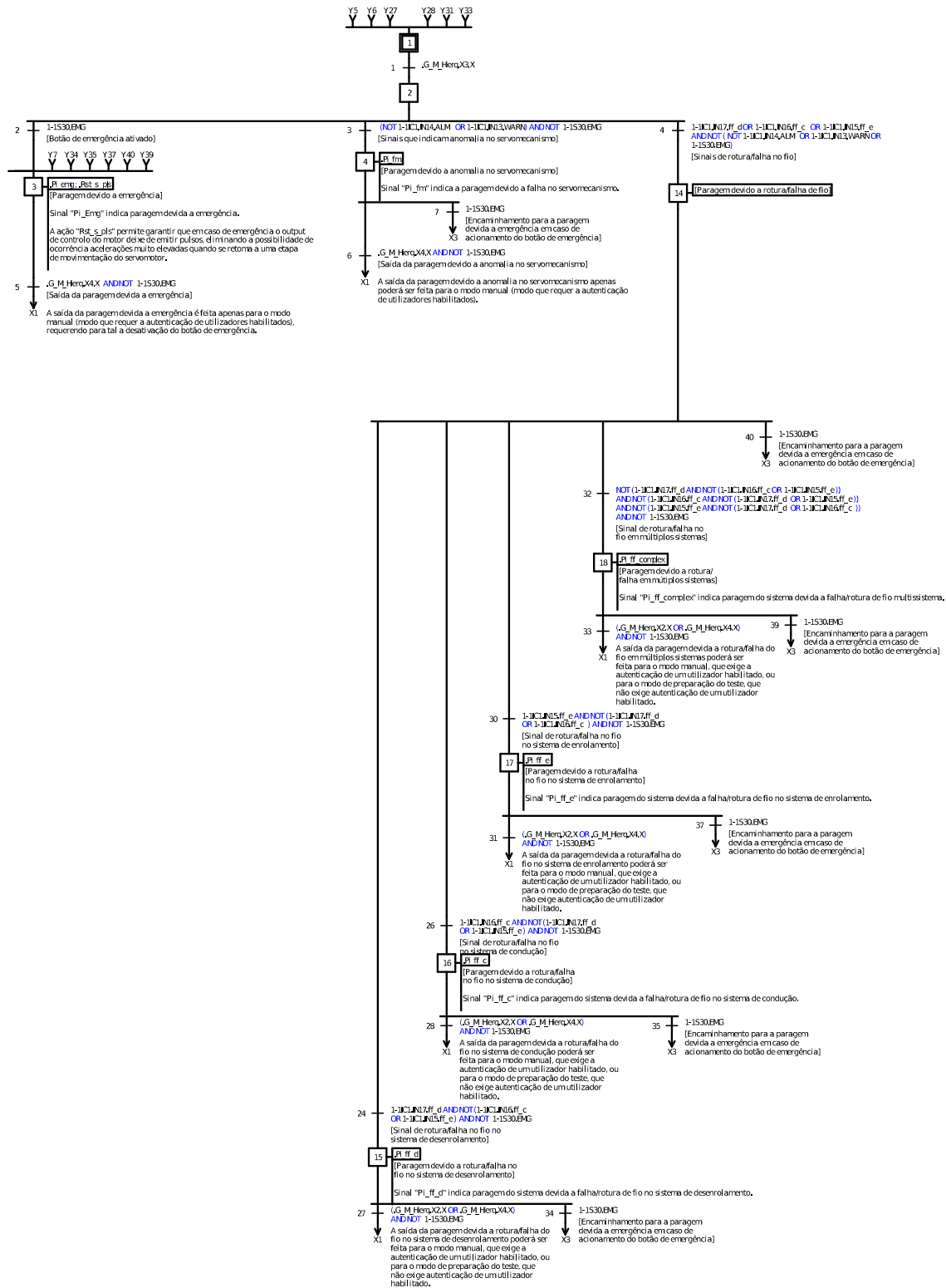
Grafcet C



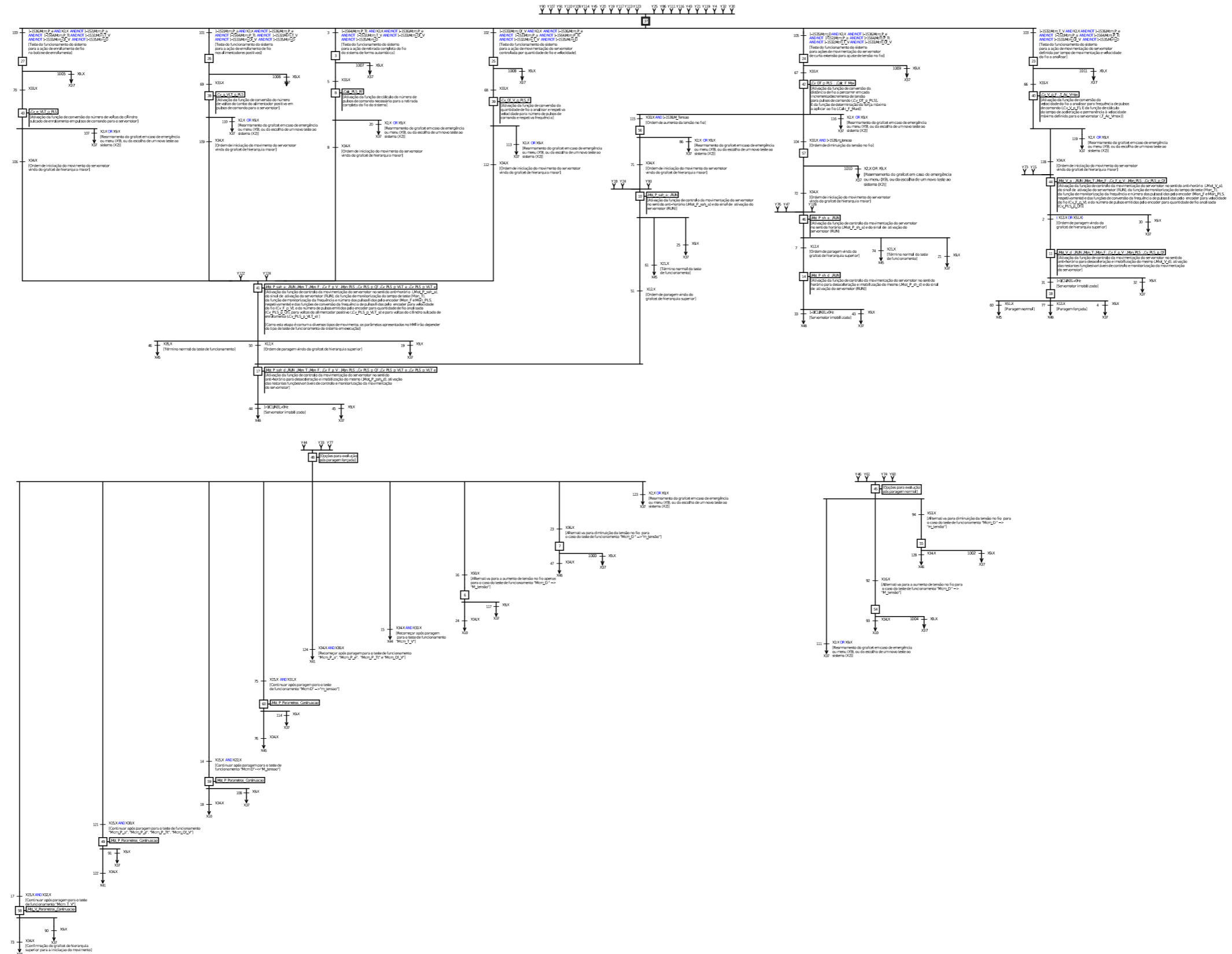
Grafcet do Modo de Término do Teste



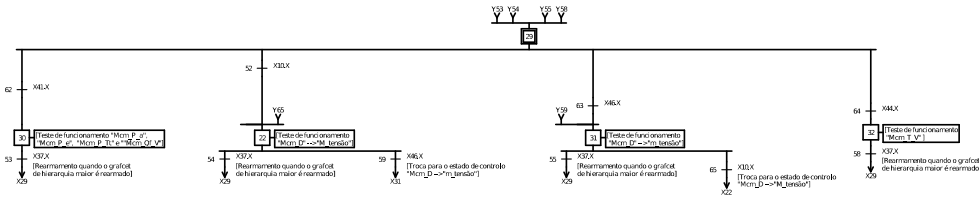
Grafcet do Modo de Paragem



Grafcet B

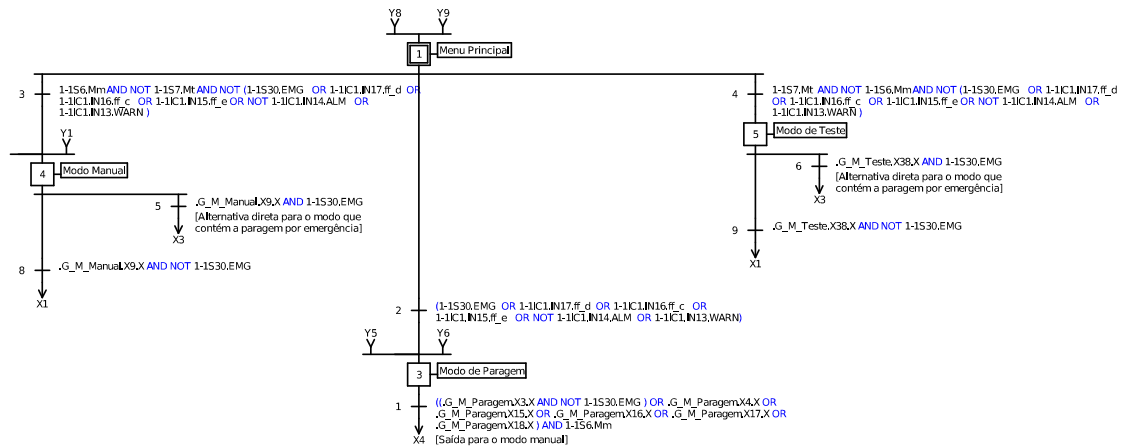


Grafcet C

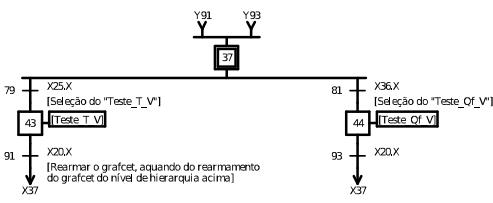


APÊNDICE F – ESPECIFICAÇÃO DO COMANDO DO SISTEMA IMPLEMENTADO

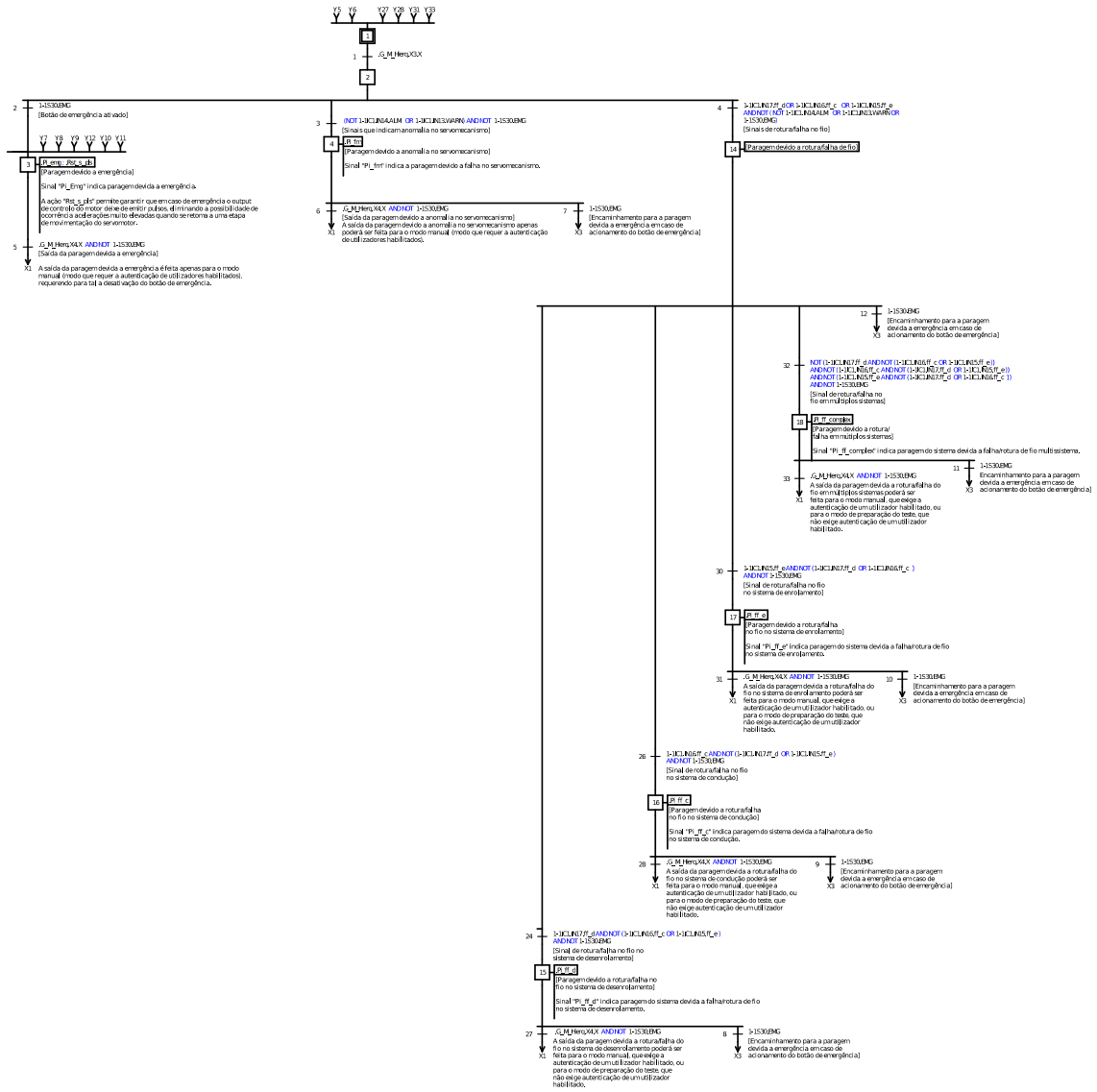
Grafcet de Maior Hierarquia – Coordenação dos Modos de Funcionamento



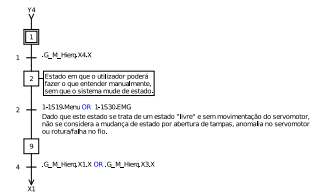
Grafcet C



Grafcet do Modo de Paragem



Grafcet do Modo Manual



APÊNDICE G – LISTA DAS FUNÇÕES AUXILIARES DO PROGRAMA

Designação	Função	Entradas	Saídas
Cv_Qf_V_p_PLS_F	Conversão da quantidade de fio e velocidade definidas para quantidade e frequência de pulsos de comando do servomotor	Quantidade de fio definida (m) Perímetro do tambor alimentador positivo (mm) Número de pulsos de comando por volta do servomotor Velocidade do fio definida (m/s) Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor	Número de pulsos de comando para o servomotor total Frequência dos pulsos de comando para o servomotor (Hz)
Mot_P_sah_a	Controlo do movimento do servomotor no sentido anti-horário nos momentos de aceleração, permanência à velocidade definida e desaceleração, com base no número e frequência de pulsos de comando	Aceleração (Hz/4 ms) Desaceleração (Hz/4 ms) Frequência de pulsos de comando para o servomotor (Hz)	Pulsos de comando do servomotor com a quantidade e a frequência definidas
Mot_P_sah_d	Controlo do movimento do servomotor no sentido anti-horário nos momentos de desaceleração, com base no número e frequência de pulsos de comando	Número de pulsos de comando para o servomotor total Frequência de iniciação / término da movimentação (Hz)	

*continua na página seguinte →

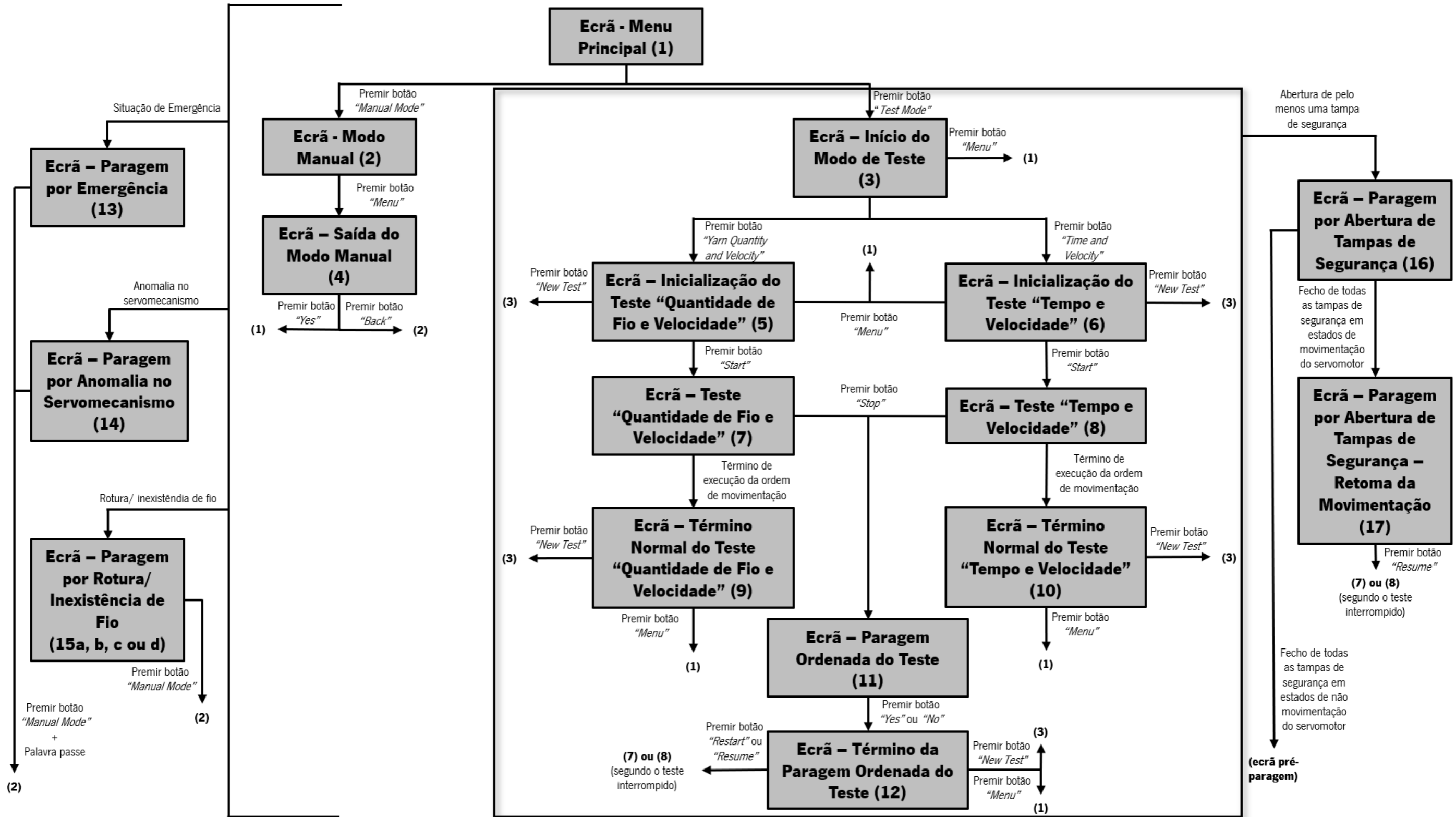
Designação	Função	Entradas	Saídas
Mot_P_Parametros_Continuacao	Cálculo da quantidade de pulsos de comando do servomotor necessária para a conclusão da ordem de movimentação	Número de pulsos de comando para o servomotor total Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	Número de pulsos de comando do servomotor restantes
T_Ac_Vmax	Cálculo do tempo de aceleração e permanência à velocidade definida	Velocidade inicial do fio (m/s) Velocidade final do fio (m/s) Tempo de movimentação definido (min) Aceleração/Desaceleração (Hz/ 4 ms) Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm) Número de pulsos de comando por volta do servomotor Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor	Tempo de aceleração e permanência à velocidade pretendida (ds)
Cv_V_p_F	Conversão da velocidade de fio definida para frequência de pulsos de comando do servomotor	Velocidade do fio definida (m/s) Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm) Número de pulsos de comando por volta do servomotor	Frequência dos pulsos de comando para o servomotor (Hz) *continua na página seguinte →

Designação	Função	Entradas	Saídas
Cv_V_p_F	-----	Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor	-----
Mot_V_a	Controlo do movimento do servomotor no sentido anti-horário nos momentos de aceleração e permanência à velocidade definida, com base na frequência de pulsos de comando	Aceleração / Desaceleração (Hz/4 ms) Frequência de pulsos de comando para o servomotor (Hz)	Pulsos de comando do servomotor com a frequência definida
Mot_V_d	Controlo do movimento do servomotor no sentido anti-horário nos momentos de desaceleração, com base na frequência de pulsos de comando		
Mot_V_Parametros_Continuacao	Cálculo do tempo de aceleração e permanência à velocidade definida necessário para a conclusão da ordem de movimentação	Tempo de movimentação decorrido (min e seg) Tempo de movimentação definido (min) Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor Número de pulsos de comando por volta do servomotor Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm)	Tempo de aceleração e permanência à velocidade pretendida necessário para a conclusão da ordem de movimentação (ds) *continua na página seguinte →

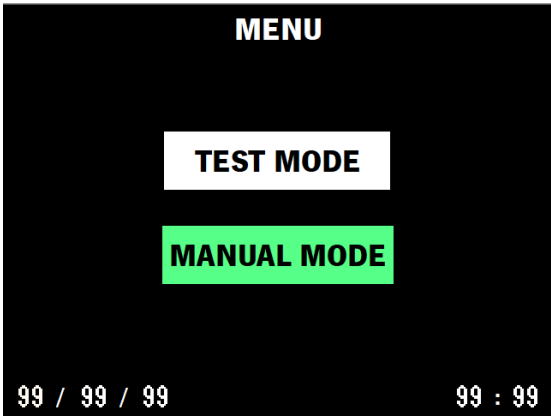
Designação	Função	Entradas	Saídas
Mot_V_Parametros_Continuacao	-----	Desaceleração (Hz / 4 ms) Velocidade inicial do fio (m/s) Velocidade final do fio (m/s)	-----
Rst_s_pls	Término da saída de pulsos de comando para o servomotor	Aceleração (Hz / 4 ms) Frequência de término da movimentação (Hz)	-----
Mon_PLS	Monitorização, em tempo real, do número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	Pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i>
Cv_PLS_p_Qf	Conversão dos pulsos lidos pelo <i>encoder</i> em quantidade de fio analisado	Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i> Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i> por volta do servomotor Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm) Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor	Quantidade de fio analisado (m) *continua na página seguinte →

Designação	Função	Entradas	Saídas
Mon_F	Monitorização, em tempo real, da frequência dos pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	Pulsos lidos pelo <i>encoder</i>	Frequência dos pulsos lidos pelo <i>encoder</i> (Hz) Sinal v0Hz (indicação da imobilização do servomotor)
Cv_F_p_V	Conversão da frequência dos pulsos lidos pelo <i>encoder</i> para velocidade do fio e do servomotor	Frequência dos pulsos lidos pelo <i>encoder</i> (Hz) Perímetro do tambor do alimentador positivo (mm) Número de pulsos lidos pelo <i>encoder</i> por volta do servomotor Relação de transmissão entre o alimentador positivo e o servomotor	Velocidade do fio (m/s) Velocidade do servomotor (rpm) Velocidade do alimentador (rpm)
Mon_T	Monitorização do tempo de movimentação do fio	-----	Tempo de movimentação do fio (min e seg)
Mon_Data_Hora	Monitorização da data e hora	-----	Data Hora

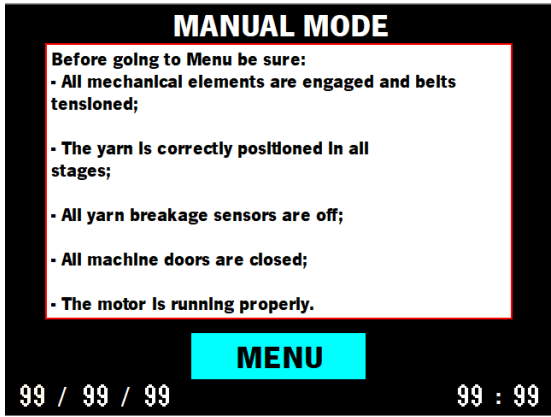
APÊNDICE H – ECRÃS PREDEFINIDOS PARA HMI INSTALADO NO CORPO DA MÁQUINA



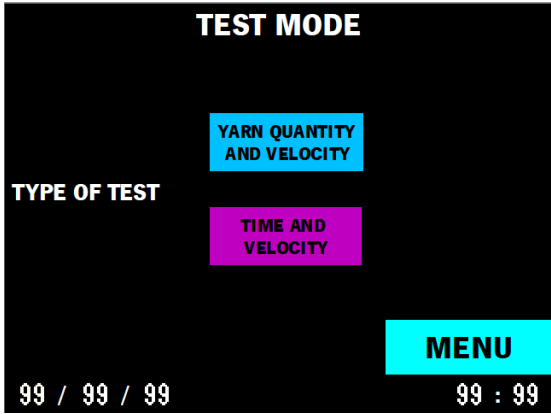
1



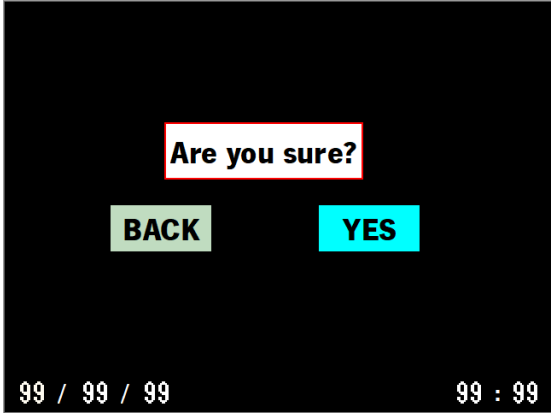
2



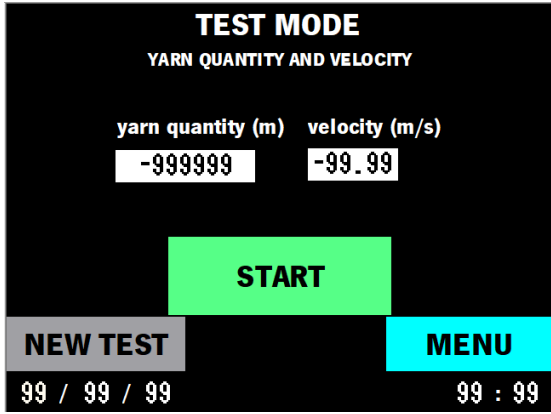
3



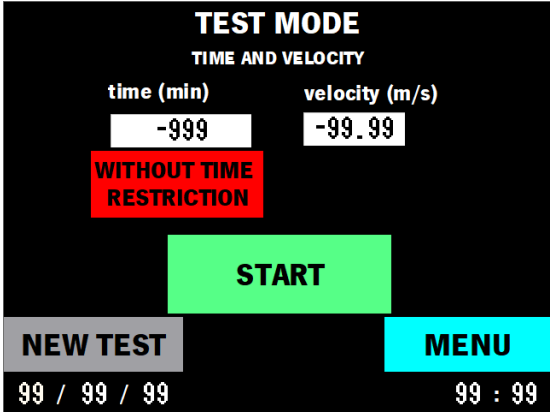
4



5



6



7

TEST MODE
YARN QUANTITY AND VELOCITY

	yarn quantity (m)	velocity (m/s)
Defined	-999999	-99.99
	yarn quantity (m)	velocity (m/s)
Monitored	-999999.99	-99.99
	time (min:sec)	
	-999 : 99	

STOP

99 / 99 / 99 99 : 99

8

TEST MODE
TIME AND VELOCITY

	time (min)	velocity (m/s)
Defined	-999	-99.99
	time (min:sec)	velocity (m/s)
Monitored	-999 : 99	-99.99
	yarn quantity (m)	
	-999999.99	

STOP

99 / 99 / 99 99 : 99

9

TEST MODE
YARN QUANTITY AND VELOCITY

TEST COMPLETED

NEW TEST **MENU**

99 / 99 / 99 99 : 99

10

TEST MODE
TIME AND VELOCITY

TEST COMPLETED

NEW TEST **MENU**

99 / 99 / 99 99 : 99

11

DO YOU WANT TO SAVE THE MONITORING DATA?

NO **YES**

99 / 99 / 99 99 : 99

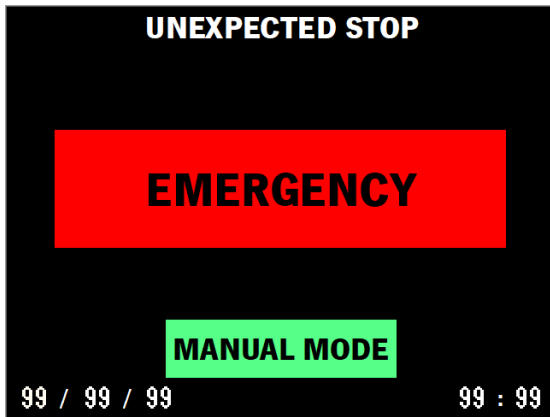
12

RESUME **RESTART**

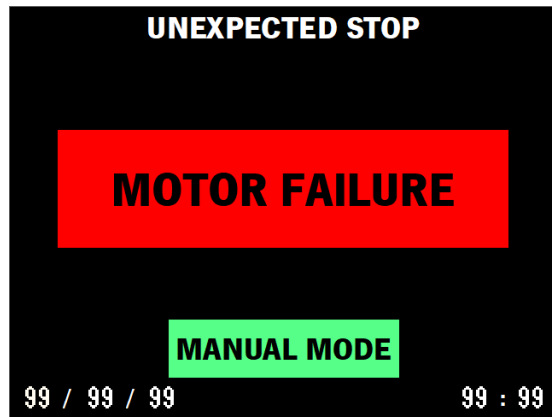
NEW TEST **MENU**

99 / 99 / 99 99 : 99

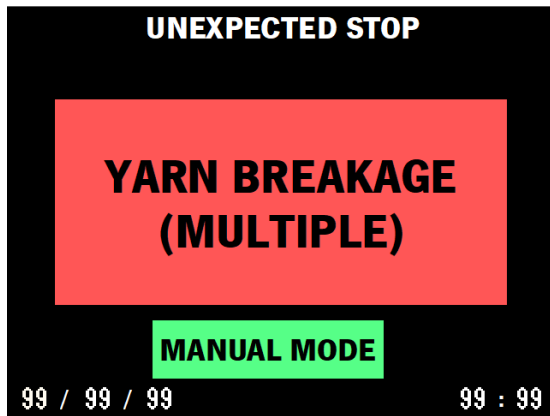
13



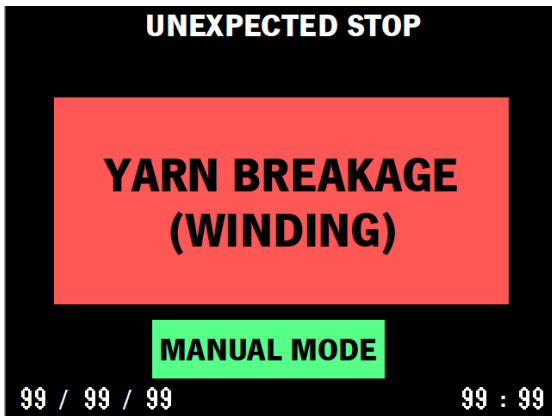
14



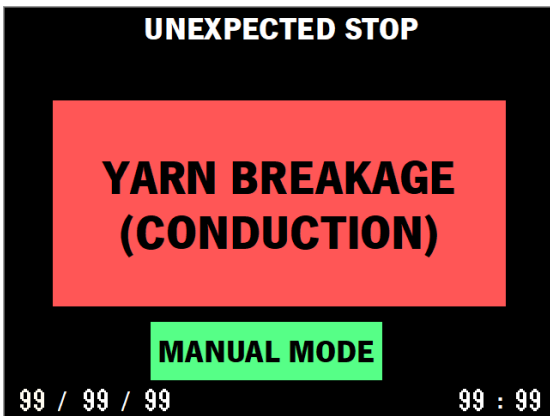
15a



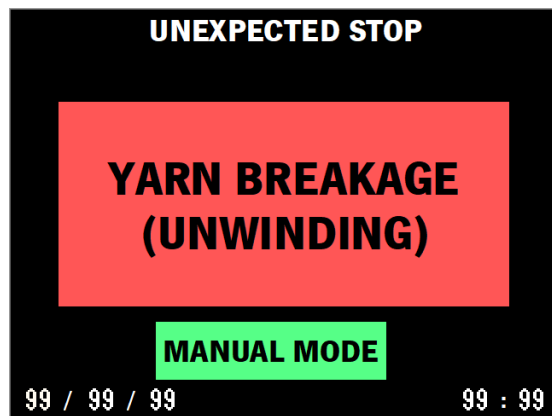
15b



15c



15d



16

UNEXPECTED STOP

**SECURITY FAIL
(DOOR(S) OPENENED)**

CLOSE DOOR(S) TO CONTINUE

99 / 99 / 99 99 : 99

17

RESUME

99 / 99 / 99 99 : 99

APÊNDICE I – INTERFACE HMI – COMPUTADOR LOCAL

Date: 24 / 10 / 21

Time: 10 : 43 : 10

Data Logging File Name:

Test Data - Export File Directory:

Unexpected Stop - Export File Directory:

Menu ▶

Time / Velocity Test ● Without Tme Restriction Button ●

Defined Test Duration (min):

Defined Yarn Velocity (m/s):

Yarn Quantity / Velocity Test ●

Defined Yarn Quantity (m):

Monitored Test Duration: min s

Monitored Yarn Velocity (m/s):

Monitored Yarn Quantity (m):

Test Completed ●

Security Fail ● Security Fail - Conduction ● Security Fail - Unwinding ● Security Fail - Winding ●

Don't Save Data ● End of Order (INPTGON) ● V = 0Hz ● Run ●

Defined Command Pulses Frequency (Hz) - Yarn Quantity and Velocity Test:

Defined Acceleration / Deceleration (Hz/4ms) - Time and Velocity Test:

Defined Number of Command Pulses - Yarn Quantity and Velocity Test:

Defined Time of Aceleration and Maximum Velocity (dcs) - Time and Velocity Test:

Defined Acceleration (Hz/4ms) - Yarn Quantity and Velocity Test:

Defined Yarn Feeder Drum Perimeter:

Defined Deceleration (Hz/4ms) - Yarn Quantity and Velocity Test:

Defined Command Pulses per Servomotor Turn:

Defined Command Pulses Beginning Frequency (Hz) - Yarn Quantity and Velocity Test:

Defined Feedback Pulses per Servomotor Turn:

Defined Command Pulses Frequency (Hz) - Time and Velocity Test:

Defined Gear Ratio - (Yarn Feeder Pulley Teeth Number / Servomotor Pulley Teeth Number):

Monitored Number of Feedback Pulses:

Monitored Feedback Pulses Frequency (Hz):

Monitored Motor Velocity (rpm):

Monitored Yarn Feeder Velocity (rpm):

Monitored Remaining Time (s) - Movement Resume - Time and Velocity Test:

Monitored Number of Command Pulses - Movement Resume - Yarn Quantity and Velocity Test:

Test Mode ● ▶

Velocity Monitorization

Defined Velocity Measured Velocity

Stop Mode ● ▶

Emergency Stop ● Emergency Button ●

Servomechanism Failure ● Alarm ● Warn ●

Yarn Failure ● Yarn Breakage - Unwinding ● Yarn Breakage - Conduction ● Yarn Breakage - Winding ● Yarn Breakage - Multiple ●

ff_d ● ff_c ● ff_e ●

Manual Mode ● ▶

Servomechanism Alarm Reset