Desenvolvimento de modelos didáticos de demonstração de integração num ambiente de Indústria 4.0

João Pedro Coelho Alturas

Dissertação de Mestrado

Orientador: Prof. Francisco Jorge Teixeira de Freitas

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Março de 2021

Aos meus pais, irmão e namorada.

Resumo

Nesta dissertação foi feita uma análise e o desenvolvimento de um modelo didático de demonstração da aplicação do conceito de Indústria 4.0. O sistema desenvolvido permite dar a conhecer os primeiros três níveis da pirâmide da Indústria 4.0, evidenciando a comunicação entres os vários níveis que constituem este sistema, permitindo mostrar a troca de informações entre um controlador principal que realiza o nível 3 da pirâmide, e 4 controladores, aos quais é atribuída a caraterização de controladores escravos. Os controladores escravos, para além da troca de informações com o controlador mestre, são responsáveis por controlar um sistema automático, cada. Desta forma, o controlador principal, para além de ter a capacidade de gerir o fluxo de informação de toda a rede, é também capaz de supervisionar cada um dos controladores escravos, pois é no controlador mestre que reside toda a capacidade de decisão e onde as ordens são criadas e enviadas aos restantes controladores.

Para a realização deste trabalho, tendo em conta a necessidade de acompanhamento do conhecimento acerca aplicação concreta dos conceitos da Indústria 4.0, foi feita uma pesquisa de literatura relacionada com a Indústria 4.0 e assim descrita neste relatório. Foi ainda feita uma análise detalhada aos principais elementos de *hardware* utilizados bem como ao *software* disponibilizado de modo a permitir uma maior integração de capacidades. No que diz respeito ao *software* foi usado o *SoMachine V4.2*, o *SoMachine Basic* para a programação de controladores e o *Vijeo Designer 6.2* para a programação de HMI's da marca Schneider Electric.

Foi realizada a programação do funcionamento automático de cada um dos modelos didáticos disponíveis, designados por "Display's", e foi ainda feita a programação das HMI associadas a cada um deles. Por último foi feita a programação do controlador mestre e a programação da HMI associada a este controlador.

Este projeto permitiu a aquisição de imensos novos conhecimentos associados a uma realidade funcional efetiva, sobretudo a nível de programação de autómatos e de HMI's, mas também acerca da comunicação entre dispositivos veiculando informação quer associada a ordens de fabrico quer a resultados de produção simuladas.

O resultado final foi, assim, muito enriquecedor permitindo uma nova capacidade para defrontar novos desafios na área da automação.

Abstract

This project has focused on the analysis and development of a didactic demonstration model for the application of the concept of Industry 4.0. The system developped allows for the understanding of the first 3 levels of the Industry 4.0 pyramide, with the emphasys on the communication requirements between a central supervision controller, which embodies level 3 of the pyramid, and the 4 local controllers, which are regarded as slave controllers. These local controllers beyond fulfilling the purpose of supporting communication with the supervisor, are also able to assure the automatic functioning of the shop floor system associated, each. This way, the main controller beyon assuring the capability to manage the global flux of information of the whole network is also capable to supervise each of the slave controllers, as it is on the master controller where the decision capability is held and where tasks are created and sent to the remaining controllers.

For this work to be fulfilled, it was necessary to acquire specific understanding of the Industry 4.0 concepts for its real application, through literature research, which has been explained on the present report. A detailed analysis was also made of the main hardware used, as well as the software applications which were required to be used for the automation integration. The Schneider Electric “SoMachine V4.2” and “SoMachine Basic” controller programming applications were used and the “Vijeo Desinger 6.2” was also used for HMI interface programming.

The programming of the automatic functioning of each of the didactic models, named Display’s, was built, as well as the programming of the HMI associated to them. Lastly, the master supervision controller was also programmed as well as its HMI interface.

This project has allowed for a thorough acquisition of new concepts in real application environment, mainly regarding PLC controller programming and HMI’s interface developments. Communication development between devices was also enriching, involving production tasks and simulated results.

The final resul was, thus, very enriching allowing for the development of new capabilities to face new challenges in the area of automation.

Agradecimentos

Quero deixar aqui o meu sincero agradecimento a todos que das mais diversas e variadas formas me apoiaram e ajudaram tonando possível a realização deste trabalho, nomeadamente:

Ao meu orientador, Professor Francisco Freitas, por toda a dedicação, paciência e conhecimento transmitido ao longo deste projeto, bem como por todo o apoio prestado na resolução de problemas que surgiram na elaboração deste projeto.

Ao Engenheiro Rui Rodrigues, da Schneider, por me ter apoiado sempre que necessitei, de esclarecer dúvidas com os programas e equipamentos da marca.

Ao Assistente Técnico Joaquim Silva, por toda a disponibilidade demonstrada ao longo de todo o projeto.

Aos meus pais e ao meu irmão, por terem sido sempre incansáveis no apoio e no afeto transmitido ao longo do meu percurso académico, e por todo o esforço que fizeram para que sempre me conseguissem dar as melhores condições ao longo da minha formação académica.

À minha namorada, por toda a motivação, paciência e carinho transmitido.

À minha família pela preocupação e motivação sempre demonstrada.

Aos meus colegas de laboratório pelo bom ambiente criado, pela ajuda, apoio e boa disposição sempre transmitida.

Por fim, aos meus amigos de faculdade, por todo o apoio e ânimo prestado, nomeadamente nos momentos mais complicados, e por todos os bons momentos que partilhamos.

Índice de Conteúdos

Resumo v
Abstract vi
Agradecimentos viii
Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xviii
Siglas e Acrónimos xix
1 Introdução 1
1.1 Enquadramento do projeto e motivação 1
1.2 Método seguido no projeto 2
1.3 Estrutura da dissertação 2
2 Estado da Arte 3
2.1 Indústria 4.0 3
3 Problema proposto 14
4 Solução desenvolvida 21
4.1 Display 1 – Manipulação de veios 21
4.2 Display 2 – Movimentação de porta de acesso 29
4.3 Display 3 – Manipulação de tubos 33
4.4 Display 4 – Manipulação de bolas 76
4.5 Display supervisor 80
5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro 112
5.1 Conclusões 112
5.2 Trabalhos futuros 112
Referências 114

Índice de Figuras

Figura 1.1- Arquitetura que se pretende utilizar para integrar os modelos de sistemas automáticos num ambiente de Indústria 4.0 1
Figura 2.1 – Alguns modelos de negócio com o aparecimento da Indústria 4.0 4
Figura 2.2 – Alguns exemplos de aplicação de processos de criação de valor 4
Figura 2.3 – Documentação *online* 4
Figura 2.4 – Conectividade 4
Figura 2.5 – *Digital Twin* 5
Figura 2.6 – *Plug & Operate* 5
Figura 2.7 – Comunicação e conectividade 5
Figura 2.8 – Modelação e simulação 5
Figura 2.9 – Autonomia e inteligência artificial 5
Figura 2.10 – Tecnologias semânticas e *Big Data* 6
Figura 2.11 – Processos de criação de valor nas indústrias 7
Figura 2.12 – Rede de valor produção controlada por pedido 8
Figura 2.13 – Rede de valor fábricas adaptaveis 9
Figura 2.14 – Rede de valor sistema logistíco auto-organizado (**SAL**) 9
Figura 2.15 – Rede de valor serviços baseados em valor 10
Figura 2.16 – Rede de valor transparência e adaptabilidade dos produtos entregues 10
Figura 2.17 – Rede de valor suporte ao operador na produção 11
Figura 2.18 – Rede de valor desenvolvimento inteligente do produto para uma produção inteligente 12
Figura 2.19 – Rede de valor desenvolvimento inovador de produtos 12
Figura 2.20 – Rede de valor economia circular 13
Figura 2.21 – Pirâmide da Indústria 4.0 13
Figura 3.1 – Comando *Display* 1 (manip. veios), *Display* 2 (mov. porta), *Display* 3 (manip. tubos) e *Display* 4 (manip. bolas) 14
Figura 3.2 – *Display* 1 – Manipulação de veios 15
Figura 3.3 – *Display* 2 – Movimentação de porta de acesso 15
Figura 3.4 – *Display* 3 – Manipulação de tubos 15
Figura 3.5 – *Display* 4 – Manipulação de bolas 16
Figura 3.6 – Esquema eletropneumático do *Display* 1 17
Figura 3.7 – Esquema eletropneumático do *Display* 2 18
Figura 3.8 – Esquema eletropneumático do *Display* 3 19
Figura 3.9 – Esquema eletropneumático do *Display* 4 20
Figura 4.1 – *Display* 1, com a zona de carga (C) e a de descarga (D1 e D2), o atuador A1, os detetores S1, S2, S5 e S6, bem como os solenóides, de Y1 a Y9. 21
Figura 4.2 – *Display* 1, peças cilíndricas 1, 2, 3 e 4 manipuladas neste processo 21
Figura 4.3 – *Display* 1, com a peça cilíndrica inserida na zona de carga C, e onde são visíveis os detetores de identificação de peça S9, 10, 11 e de presença S12 23

Figura 4.4 – *Display* 1, onde estão representados os atuadores A2, A3 e A4, bem como os detetores S3 e S4, e a indicação dos movimentos 23
Figura 4.5 – *Display* 1, onde estão representados os detetores S7 e S8, e movimentos 24
Figura 4.6 – *Display* 1, onde estão representados movimentos 24
Figura 4.7 – *Display* 1, onde estão representados os movimentos 25
Figura 4.8 – *Display* 1, onde estão representados os atuadores A5 e A6, o detetor S13 e os movimentos 25
Figura 4.9 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 1 26
Figura 4.10 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 1 26
Figura 4.11 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 1 27
Figura 4.12 – Configuração das saídas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 1 27
Figura 4.13 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DI8G do *Display* 1 27
Figura 4.14 – *Grafcet* do *Display* 1 28
Figura 4.15 Display 2 de demonstração de porta de acesso automático 29
Figura 4.16 – *Display* 2, onde estão representados o atuador A41 e A42, bem como os detetores S1 e S2 30
Figura 4.17 Movimentação dos operadores 31
Figura 4.18 – *Display* 2, onde estão representados os movimentos pretendidos para o atuador A41 e A42 31
Figura 4.19 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 2 32
Figura 4.20 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 2 32
Figura 4.21 – Configuração das saídas analógicas do módulo TM3AQ2 do *Display* 2 32
Figura 4.22 – *Grafcet* do *Display* 2 33
Figura 4.23 – *Display* 3, com a zona de carga (C) e a de descarga (D), bem como os solenóides, de Y1 a Y9. 34
Figura 4.24 – *Display* 3, onde estão representadas as 3 zonas de descarga, bem como o atuador A1 e o transdutor de posição T1 35
Figura 4.25 – *Display* 3, onde está representado o atuador angular A2, bem como os detetores S1 e S2 35
Figura 4.26 – *Display* 3, onde estão representados os atuadores A3 e A4 e movimentos 36
Figura 4.27 – *Display* 3, representado o movimento de recuo do atuador A3 36
Figura 4.28 – *Display* 3, representado o movimento angular do atuador A2 36
Figura 4.29 – *Display* 3, representando o ejetor que provoca o sopro de ar, bem como o movimento desejado pelo atuador A4 37
Figura 4.30 – *Display* 3, depois de uma ejeção correta do tubo, e localização do detetor S3 .37
Figura 4.31 – *Software* SoMachine Basic®, com o controlador do *Display* 3 já configurado ...38
Figura 4.32 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 3 38
Figura 4.33 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 3 39
Figura 4.34 – Configuração das entradas analógicas do PLC TM221CE16R do *Display* 3 39
Figura 4.35 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 3 39
Figura 4.36 – Configuração das saídas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 3 39
Figura 4.37 – Configuração do canal série do *Display* 3 39

Figura 4.38 – *Grafcet* do *Display* 3 40
Figura 4.39 – Programação da etapa 13 do *Display* 3 41
Figura 4.40 – Transição da etapa 13 para a etapa 1 do *Display* 3 41
Figura 4.41 – Programação da etapa 1 do *Display* 3 41
Figura 4.42 – Transição da etapa 1 para a etapa 10 do *Display* 3 42
Figura 4.43 – Transição da etapa 1 para a etapa 11 do *Display* 3 42
Figura 4.44 – Transição da etapa 1 para a etapa 12 do *Display* 3 42
Figura 4.45 – Programação da etapa 10 do *Display* 3 43
Figura 4.46 – Transição da etapa 10 para a etapa 2 do *Display* 3 43
Figura 4.47 – Programação da etapa 11 do *Display* 3 43
Figura 4.48 – Transição da etapa 11 para a etapa 2 do *Display* 3 44
Figura 4.49 – Programação da etapa 12 do *Display* 3 44
Figura 4.50 – Transição da etapa 12 para a etapa 2 do *Display* 3 44
Figura 4.51 – Programação da etapa 2 do *Display* 3 45
Figura 4.52 – Transição da etapa 2 para a etapa 3 do *Display* 3 45
Figura 4.53 – Programação da etapa 3 do *Display* 3 46
Figura 4.54 – Transição da etapa 3 para a etapa 4 do *Display* 3 46
Figura 4.55 – Programação da etapa 4 do *Display* 3 46
Figura 4.56 – Transição da etapa 4 para a etapa 5 do *Display* 3 47
Figura 4.57 – Programação da etapa 5 do *Display* 3 47
Figura 4.58 – Transição da etapa 5 para a etapa 6 do *Display* 3 47
Figura 4.59 – Programação da etapa 6 do *Display* 3 48
Figura 4.60 – Transição da etapa 6 para a etapa 7 do *Display* 3 48
Figura 4.61 – Programação da etapa 7 do *Display* 3 48
Figura 4.62 – Transição da etapa 7 para a etapa 8 do *Display* 3 49
Figura 4.63 – Programação da etapa 8 do *Display* 3 49
Figura 4.64 – Transição da etapa 8 para a etapa 9 do *Display* 3 49
Figura 4.65 – Programação da etapa 9 do *Display* 3 50
Figura 4.66 – Transição da etapa 9 para a etapa 1 do *Display* 3 50
Figura 4.67 – Transição da etapa 9 para a etapa 13 do *Display* 3 51
Figura 4.68 – Ajuste inicial dos valores dos temporizadores TM0 e TM1, em função do tipo de peça, no *Display* 3 51
Figura 4.69 – Ajuste do valor atual do temporizador TM1, em função do feedback do lançamento, no *Display* 3 52
Figura 4.70 – Ajuste do valor atual do temporizador TM1, em função do feedback do lançamento, no *Display* 3 53
Figura 4.71 – Contagem de tempo que o atuador A2 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3 54
Figura 4.72 – Contagem de tempo que o atuador A1 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3 54
Figura 4.73 – Contagem de tempo que o atuador A1 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3 55

Figura 4.74 – Alarmes ativos devido a problemas no atuador A2, no *Display* 3.....56
Figura 4.75 – Contagem do número de peças executadas e aceites, no *Display 3*.....56
Figura 4.76 – Contagem do número de peças rejeitadas, no *Display 3* 57
Figura 4.77 – Valores atuais dos temporizadores quando se faz ajuste de parâmetros no *Display* 3 57
Figura 4.78 – Pacote de envio de informação da ordem de fabrico 0 do *Display* 3 58
Figura 4.79 – Pacote de receção de informação da ordem de fabrico 0 do *Display* 3 58
Figura 4.80 – Ativação do alarme de lançamento de uma ordem de fabrico no *Display* 3.....59
Figura 4.81 – Arquivo da ordem de fabrico 0, no pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3 60
Figura 4.82 – Limpeza da ordem de fabrico 0, após arquivar os valores da ordem de fabrico, do *Display* 3 60
Figura 4.83 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, do *Display* 3 61
Figura 4.84 – Atualização dos valores da ordem de fabrico 1, quando a ordem de fabrico 0 é arquivada, no *Display* 3 62
Figura 4.85 – Atualização dos valores da ordem de fabrico 1, quando a ordem de fabrico 0 é arquivada, no *Display* 3 63
Figura 4.86 – Transferência do pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3 para o *Display* supervisor 64
Figura 4.87 – Limpeza do pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3 64
Figura 4.88 – Estrutura do projeto da HMI do *Display* 3 65
Figura 4.89 – Configuração da porta de comunicação da HMI do *Display* 3.....66
Figura 4.90 – Tela 1 da HMI do *Display* 3 66
Figura 4.91 – Níveis de segurança da HMI do *Display* 3 66
Figura 4.92 – Tela 2 da HMI do *Display* 3 66
Figura 4.93 – Tela 12 da HMI do *Display* 3 67
Figura 4.94 – Tela 7 da HMI do *Display* 3 67
Figura 4.95 – Alarmes do grupo de alarme 1 da HMI do *Display* 3 67
Figura 4.96 – Tela 3 da HMI do *Display* 3 68
Figura 4.97 – Tela 6 da HMI do *Display* 3 68
Figura 4.98 – Tela 8 da HMI do *Display* 3 68
Figura 4.99 – Tela 9 da HMI do *Display* 3 69
Figura 4.100 – Alarmes do grupo de alarme 2 da HMI do *Display* 3 69
Figura 4.101 – Janela de *popup* 10006 da HMI do *Display* 3 69
Figura 4.102 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (1ª configuração) 70
Figura 4.103 – Janela de *popup* 10002 da HMI do *Display* 3 70
Figura 4.104 – Janela de *popup* 10003 (1ª e 2ª configuração) da HMI do *Display* 3 71
Figura 4.105 – Janela de *popup* 10004 da HMI do *Display* 3 71
Figura 4.106 – Janela de *popup* 10005 (1ª e 2ª configuração) da HMI do *Display* 3 71
Figura 4.107 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (2ª configuração) 72
Figura 4.108 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (3ª configuração) 72

Figura 4.109 – Janela de *popup* 10011 da HMI do *Display* 3 72
Figura 4.110 – Tela 4 da HMI do *Display* 3 73
Figura 4.111 – Janela de *popup* 10010 da HMI do *Display* 3 73
Figura 4.112 – Janela de *popup* 10012 da HMI do *Display* 3 73
Figura 4.113 – Tela 5 da HMI do *Display* 3 74
Figura 4.114 – Janela de *popup* 10008 da HMI do *Display* 3 74
Figura 4.115 – Janela de *popup* 10009 da HMI do *Display* 3 74
Figura 4.116 – Janela de *popup* 10013 da HMI do *Display* 3 75
Figura 4.117 – Tela 13 da HMI do *Display* 3 75
Figura 4.118 – Janela de *popup* 10007 da HMI do *Display* 3 76
Figura 4.119 – *Display* 4, com a zona de carga (C) e a de descarga (D), bem como os solenóides, de Y1 a Y4 e o sensor de cor S COR 76
Figura 4.120 – *Display* 4, onde estão representados os atuadores A3 e A4, os detetores S1, S2 e S3, e movimentos 77
Figura 4.121 – *Display* 4, onde está representado o atuador A3 e movimentos 77
Figura 4.122 – *Display* 4, onde estão representados movimentos 78
Figura 4.123 – *Display* 4, onde está representado o detetor de cor e movimentos 78
Figura 4.124 – *Display* 4, onde está representado o atuador A2 e movimentos 79
Figura 4.125 – *Display* 4, onde estão representados movimentos 79
Figura 4.126 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 4 80
Figura 4.127 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 4 80
Figura 4.128 – Configuração das entradas digitais do módulo PLC TM3DI8G do *Display* 4 ... 80
Figura 4.129 – Rede de comunicação Ethernet entre dispositivos 81
Figura 4.130 – PLC TM251MESE, módulos TM4ES4 e cabos Ethernet utilizados no *Display* supervisor. 81
Figura 4.131 – Rede de comunicação entre dispositivos incluída no programa do PLC do *Display* supervisor 82
Figura 4.132 – Parâmetros da rede Ethernet 2 do controlador do *Display* supervisor 82
Figura 4.133 – Endereço de IP do controlador do *Display* 1 83
Figura 4.134 – Endereço de IP do controlador do *Display* 2 83
Figura 4.135 – Endereço de IP do controlador do *Display* 3 83
Figura 4.136 – Endereço de IP do controlador do *Display* 4 84
Figura 4.137 – Variáveis de comunicação do *Display* 3, utilizadas no *Display* supervisor 85
Figura 4.138 – Programação *Ladder* do pacote de leitura 300, da ordem de fabrico 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor 86
Figura 4.139 – Programação *Ladder* do pacote de leitura 310, do histórico de produção 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor 87
Figura 4.140 – Tabela de visualização 3, das ordens de fabrico do *Display* 3, no *Display* supervisor 88
Figura 4.141 – Programação *Ladder* onde se associa a ordem de fabrico 0 à tabela de visualização 3, do *Display* 3, no *Display* supervisor 88

Figura 4.142 – Programação *Ladder* do pacote de escrita 300, da ordem de fabrico 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor 90
Figura 4.143 – Programação *Ladder* que garante a transferência de dados, de uma ordem de fabrico, do *Display* 3, no *Display* supervisor 91
Figura 4.144 – Programação *Ladder* que garante a transferência de dados, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor 92
Figura 4.145 – Programação *Ladder* que permite a interrupção, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor 93
Figura 4.146 – Programação *Ladder* que permite a interrupção, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor 94
Figura 4.147 – Ativação dos alarmes das ordens de fabrico do *Display* 3, depois de lançadas no *Display* supervisor 95
Figura 4.148 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico do *Display* 3, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, no *Display* supervisor 96
Figura 4.149 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico do *Display* 3, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, no *Display* supervisor 97
Figura 4.150 – Forçar a limpeza do histórico de produção do *Display* 3, durante 400ms, no *Display* supervisor 97
Figura 4.151 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor 98
Figura 4.152 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor 99
Figura 4.153 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor 100
Figura 4.154 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no Supervisor 101
Figura 4.155 – Estrutura do projeto da HMI do *Display* supervisor 102
Figura 4.156 – Rede de comunicação utilizada para a comunicação entre a HMI e o PLC do *Display* supervisor 103
Figura 4.157 – Configuração do nome da HMI do Supervisor, na rede de comunicação 103
Figura 4.158 – Configuração do nome do PLC do Supervisor, na rede de comunicação.....103
Figura 4.159 – Nome do PLC e da HMI utilizados no *Display* supervisor 104
Figura 4.160 – Tela 1 da HMI do Supervisor.....104
Figura 4.161 – Níveis de segurança da HMI do Supervisor.....104
Figura 4.162 – Tela 2 da HMI do *Display* supervisor 104
Figura 4.163 – Tela 3 da HMI do Supervisor.....105
Figura 4.164 – Tela 3 da HMI do Supervisor.....105
Figura 4.165 – Tela 16 da HMI do *Display* supervisor 105
Figura 4.166 – Tela 17 da HMI do *Display* supervisor 106
Figura 4.167 – Tela 18 da HMI do *Display* supervisor 106
Figura 4.168 – Alarmes do grupo de alarme 3 da HMI do *Display* supervisor.....107
Figura 4.169 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (1ª configuração).....107

Figura 4.170 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (2ª configuração) 107
Figura 4.171 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (3ª configuração) 108
Figura 4.172 – Janela de *popup* 10001, 10002, 10003 ou 10004 da HMI do *Display* supervisor 108
Figura 4.173 – Tela 28 a 37 da HMI do *Display* supervisor (1ª configuração) 109
Figura 4.174 – Tela 28 a 37 da HMI do *Display* supervisor (2ª configuração) 109
Figura 4.175 – Janela de *popup* 10005, 10006, 10007 ou 10008 da HMI do Supervisor 110
Figura 4.176 – Tela 39 a 48 da HMI do Supervisor 111

Índice de Tabelas

Tabela 4-1 – Valores da variável VAR06 e correspondente estado da ordem de fabrico 70
Tabela 4-2 – Tela para a qual somos redirecionados ao premir um certo interruptor na janela de *popup* 10001, 10002, 10003 ou 10004 108
Tabela 4-3 – Tela para a qual somos redirecionados ao premir um certo interruptor na janela de *popup* 10005, 10006, 10007 ou 10008 110

Siglas e Acrónimos

PLC – Controlador Lógico Programável
HMI – Interface Homem Máquina
TI – Tecnologia de Informação
RFID – Identificação Por RadioFrequência
MES – Sistema de Execução de Manufatura
CNC – Controlo Numérico Computadorizado
ERP – Planeamento de Recursos Empresariais
SCADA – Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Este projeto está inserido no âmbito da Unidade Curricular Dissertação, do 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, ramo de automação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
O tema do projeto de dissertação é "Desenvolvimento de modelos didáticos de demonstração de integração num ambiente de Indústria 4.0".
Este projeto pretende ser uma plataforma, com intuitos didáticos, para a demonstração simplificada de algumas das características que se esperam ser associadas ao paradigma da Indústria 4.0
Quando este tema foi apresentado, pelo orientador, também apresentaram os 4 modelos de sistemas automáticos que era necessário programar, os quais estavam nomeados de *Display* 1, 2, 3 e 4. O que se pretendia neste trabalho era, não só desenvolver os respetivos programas que permitissem que os controladores fossem capazes de controlar autonomamente os respetivos *Display's*, mas também integrá-los num ambiente de Indústria 4.0, e este foi o tema que mais me interessou.
Cada vez mais o conceito Indústria 4.0 tem mais importância no mundo da automação, e o facto de ter de programar PLC's, HMI's e ainda ter de fazer a comunicação entre os vários controladores, de modo a criar um ambiente de Indústria 4.0, foram fatores cruciais na escolha do tema.
Para ser um pouco mais percetível do que é necessário fazer para realizar este projeto, na Figura 1.1 é possível ver a arquitetura de ligação que se pretende utilizar de modo a integrar os modelos de sistemas automáticos, os quais estão nomeados de *Display* 1, 2, 3 e 4, num ambiente de Indústria 4.0. Além de se ter de criar a ligação adequada entre todos os dispositivos, é também necessário criar as várias aplicações de *software* que permitam o funcionamento autónomo de todo o sistema.

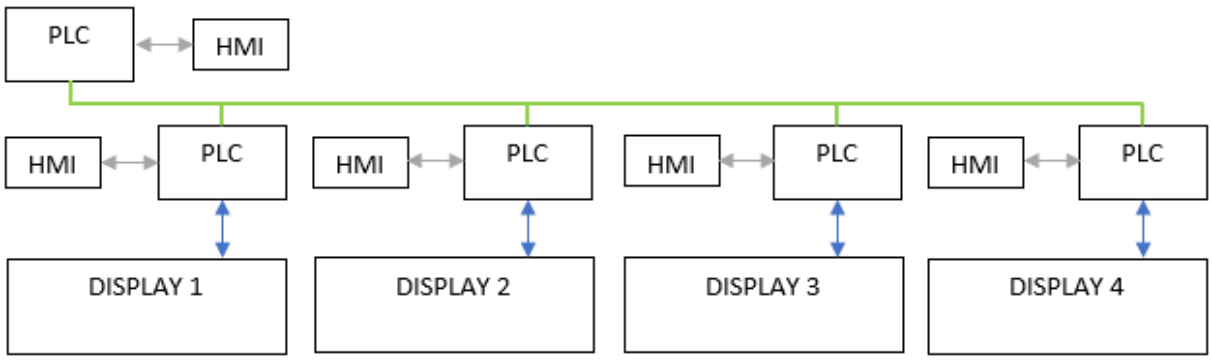


Figura 1.1- Arquitetura proposta para integrar os modelos de sistemas automáticos num ambiente de Indústria 4.0

A realização deste trabalho fez-se no laboratório de óleo-hidráulica, do edifício L da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

1.2 Método seguido no projeto

Para a realização deste projeto a metodologia utilizada foi a seguinte:
1. Análise do estado da arte;
2. Análise dos modelos de sistemas automáticos e desenvolvimento dos *softwares* para os respetivos PLC's e HMI's;
3. Implementação da arquitetura de ligação dos dispositivos para integração dos mesmo num ambiente de Indústria 4.0;
4. Desenvolvimento do *software* do PLC responsável por toda a comunicação dos dispositivos integrados na rede, e da HMI associada ao mesmo;
5. Escrita da dissertação.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura a dissertação é constituida por:

No Capítulo1 é feita uma introdução ao projeto com a apresentação do Enquadramento do projeto e da motivação para a sua realização.

No Capítulo 2 é feita uma breve apresentação dos conceitos associados com a Indústria 4.0, baseada na literatura disponível na *Platform Industrie* 4.0 que demonstra o empenho alemão nesta matéria.

No Capítulo 3 é apresentado o Problema Proposto para o desenvolvimento do projeto, com uma visão detalhada dos sistemas de "chão de fábrica" que foram alvo de automatização.

No capítulo 4 é feita apresentação da solução de automação desenvolvida com detalhe da programação dos controladores locais e da supervisão.

No Capítulo 5 são apresentadas as Conclusões e dados elementos para eventuais perspetivas de trabalho futuro.

2 Estado da Arte

2.1 Indústria 4.0

Ao longo dos anos foram ocorrendo várias revoluções industriais, que marcaram mudanças no setor, através de desenvolvimentos, principalmente tecnológicos, que permitiram agilizar procedimentos, de modo a acelerar e ampliar os processos produtivos.

A 1ª Revolução Industrial teve lugar no ano de 1750, na Inglaterra, e ficou marcada pela introdução de tecnologias que marcaram profundamente a indústria. A descoberta do potencial do carvão, como fonte energética, originou a criação da máquina a vapor, o que permitiu a introdução de determinadas máquinas nas indústrias, deixando de haver apenas manufatura. Esta descoberta também foi fundamental no setor dos transportes, a descoberta da locomotiva facilitou, e muito, a mobilidade de pessoas e de mercadorias.[3]

A 2ª Revolução Industrial teve lugar no ano de 1850, e está associada ao aparecimento de novas fontes energéticas, introduzindo a energia elétrica e os motores de combustão. Deste modo foi possível aumentar o ritmo produtivo nas indústrias e explorar novos mercados. A esta revolução também está associada a produção em massa, aplicada por Henry Ford na produção de veículos da marca *Ford*.[3]

A 3ª Revolução Industrial teve lugar no ano de 1950, e ficou marcada por desenvolvimentos e avanços nas áreas da robótica, informática, telecomunicações, transportes e biotecnologia. Com isto os modelos produtivos passaram a ser altamente competitivos, passando a requerer um menor número de recursos humanos, no entanto com um nível de qualificação mais elevado.[3]

A 4ª Revolução Industrial, também designada como Indústria 4.0, iniciou-se no ano de 2010, na Alemanha, estando associada à digitalização e comunicação aplicada à indústria produtiva. Cada vez mais vivemos num mundo mais interconectado, com diversos sistemas complexos e heterogéneos. Estima-se que a quantidade de dados armazenados em todo o mundo atingirá, este ano, os 44 *zettabytes* e cerca de 50 biliões de dispositivos estarão conectados *online*. [1]

Tal como aconteceu com as transformações associadas às revoluções anteriores, é muito comum nos dias de hoje observarmos o aparecimento de novos modelos de negócios nas diversas áreas, modelos esses que surgiram com o aparecimento da Indústria 4.0.

Existem vários exemplos desses novos modelos de negócios, alguns estão representados na Figura 2.1, como é o caso de *sites* de compras *online* (compras de livros, eletrodomésticos, etc.), *sites* e aplicações bancárias que nos permitem fazer diversas operações (como por exemplo transferências bancárias e pagamentos de serviços) e até aplicações que permitem pedir um transporte para nos deslocarmos para um dado local para outro (por exemplo os *Uber*). [1]



Figura 2.1 – Alguns modelos de negócio com o aparecimento da Indústria 4.0

Os processos de criação de valor estão a mudar continuamente, baseando-se na distribuição de conhecimento e de informação que observamos frequentemente, desde protótipos físicos a virtuais, de atualizações executadas presencialmente nos dispositivos a atualizações *online*, desde o contacto físico com um dado produto à compra *online* do mesmo e até mesmo desde o controlo manual, no próprio chão da fábrica, até ao controlo remoto. Na Figura 2.2, estão representados alguns dos exemplos de aplicação de processos de criação de valor. [1]



Figura 2.2 – Alguns exemplos de aplicação de processos de criação de valor

Cada vez mais os produtos estão digitalizados nas diferentes partes de interesse ao longo do seu ciclo de vida. É muito comum constatarmos a digitalização dos produtos no que toca à:

- Documentação *Online*: Utilização e Vendas [1], como simbolizada na Figura 2.3, mostrando a disponibilização fácil e remota dos produtos e da facilidade da sua aquisição.



Figura 2.3 – Documentação *online*

- Conectividade: Monitorização e Acesso [1], como simbolizada na Figura 2.4, mostrando a enorme facilidade de comunicação global.



Figura 2.4 – Conectividade

- *Digital Twin*: Engenharia e Operação [1], como simbolizado na Figura 2.5, que representa a imagem na forma digital de um produto de engenharia.



Figura 2.5 – *Digital Twin*

- *Plug & Operate*: Instalação e Atualização [1], como simbolizada na Figura 2.6,evidenciando a grande facilidade de colocação em funcionamento de novos produtos e sistemas conectados.



Figura 2.6 – *Plug & Operate*

Contudo é cada vez mais notável que a grande evolução tecnológica se deve em muito ao crescimento exponencial do poder computacional. Situações em que isso é notável, são:

- Comunicação e conectividade: [1], como simbolizada na Figura 2.7, com a imagem de comunicação global ao nível planetário.



Figura 2.7 – Comunicação e conectividade

- Modelação e simulação: [1], como simbolizada na Figura 2.8, mostrando as novas capacidades de criação modelos tridimensionais de produtos e sistemas e sua simulação funcional com grande realismo.

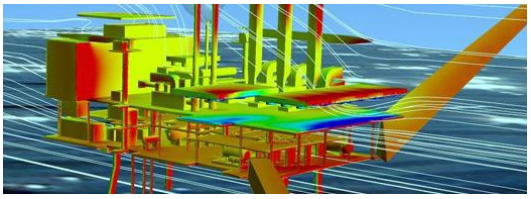


Figura 2.8 – Modelação e simulação

- Autonomia e inteligência artificial: [1], como simbolizada na Figura 2.9, beneficiando dos enormes avanços das capacidades de inteligência e de tomadas de decisão dos equipamentos automáticos.



Figura 2.9 – Autonomia e inteligência artificial

- Tecnologias semânticas e *Big Data*: [1], como simbolizada na Figura 2.10, evidenciando os desafios que são colocados a toda a sociedade pela geração e disponibilidade de informação em muito larga escala.



Figura 2.10 – Tecnologias semânticas e *Big Data*

As necessidades de transformação na indústria nos próximos anos passarão por conseguir uma maior eficácia, um menor tempo de desenvolvimento dos produtos e atingir uma maior flexibilidade. Consequentemente, os ambientes de produção devem sofrer alterações e envolverão:

- Redes dinâmicas compostas por controladores locais [1]
- Etapas de produção que sejam flexíveis de modo a poderem ser facilmente configuradas para dar uma resposta rápida às mudanças impostas pelo mercado [1]
- Planeamento da produção com maior detalhe e antecedência [1]
- Otimização da produção através da utilização de sistemas de produção ciber-fisícos [1]
- Auto-organização para que o produto oriente o seu próprio caminho através dos processos de produção [1]
- *Digital Twin* de todo o processo e dos seus elementos constituintes. [1]

Quatro aspetos muito importantes da automação no futuro serão:

- a "Modularidade", pois o processo de produção é implementado de forma flexível, tendo em consideração a situação atual,
- a "Conectividade", com base em toda a cadeia de valor, deve existir uma organização dos equipamentos para que estes se liguem em rede,
- a "Autonomia", futuramente a inteligência artificial deve permitir executar tarefas complexas sem que exista uma programação prévia, e
- o "*Digital Twin"*, ou seja, deve haver uma sincronização, um paralelismo, entre o mundo digital e o físico, onde deverá existir digitalização de todo o ciclo de vida de um determinado produto através de sistemas de produção ciber-físicos. [1]

Para superar estes desafios surgiu a Plataforma Indústria 4.0. Esta plataforma foi criada pelo Governo Alemão, com o objetivo de ajudar as empresas do país a implementar o conceito Indústria 4.0 nas fábricas, tornando-as, desta forma, mais competitivas. Para isso o Governo criou um grupo de trabalho que acompanha esta plataforma, e faz diversas publicações na mesma. Essas publicações visam declarações sistemáticas e opiniões de especialistas que utilizam a pesquisa acadêmica atual para fins industriais. Para além das publicações feitas pelo grupo de trabalho alemão, também grupos de trabalho de outros países podem fazer publicações nesta plataforma. Assim, é possível partilhar informações acerca da Indústria 4.0 entre os diversos países, de modo a poder implementar medidas mais eficazes na indústria, para aumentar a produtividade das empresas. Os princípios gerais desta baseiam-se em:

- Colocar os benefícios do cliente em primeiro lugar:
  - A Indústria 4.0 só terá êxito se existir mercado para as soluções concebidas. [2]
  - É necessário criar soluções que gerem benefícios para o cliente. [2]
- Desenvolver as competências próprias e colocar a ênfase nos pontos fortes:
  - Ter um profundo conhecimento do mundo físico, por ex., das máquinas. [2]

- Perceber todos os processos de criação de valor nas indústrias. [2]
- Reforçar os pontos fortes com a digitalização. [2]

▪ A abordagem utilizada para combater os desafios baseia-se em casos de uso:
- Dificilmente existe uma única abordagem numa indústria de transformação dada a sua heterogeneidade. [2]
- Deve-se elaborar um conjunto de problemas e de soluções. [2]
- Nem todos os problemas abordados têm interesse para um cliente específico.
- Uma abordagem com uma solução específica pode solucionar vários problemas.

Com o objetivo de demonstrar as novas tecnologias aplicadas nas fábricas modernas, a Plataforma Indústria 4.0 concebeu vários cenários de aplicação. Esses cenários têm como objetivo descrever a forma como a indústria alemã desenvolve o futuro digital, mostrando as inovações tecnológicas que quer utilizar no futuro digital. [2]
Assim, é possível ter uma visão metódica de como a Indústria 4.0 irá ser projetada. Desse modo consegue-se ter um plano específico que contém os passos a executar para desenvolver a Indústria 4.0, fazendo recomendações políticas e corporativas baseadas nos diferentes cenários, e refinando o plano traçado para o futuro tendo em consideração os principais intervenientes. Estes planos indicam como e onde devem ser aplicadas as inovações tecnologias através de exemplos de aplicações implementados nos diversos cenários, de modo a ilustrar os passos a seguir para a implementação na indústria. [2]
A Indústria 4.0 descreve um nível de organização e gestão de toda a cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos. Nessa ordem de ideias existem, do ponto de vista técnico, quatro processos principais de valor acrescentado para as empresas:

- Gestão do ciclo de vida do produto (**PLM – Product Life Cycle Management**): Engloba todo o ciclo de vida do produto, incluindo a fase de conceção do produto, a produção e a reciclagem do mesmo. [2]
- Gestão do ciclo de vida dos sistemas de produção (**PSLM – Production Systems Life Cycle Management**): Engloba todo o ciclo de vida dos meios de produção, isto é, os equipamentos, desde o seu desenvolvimento, até à sua reciclagem, não esquecendo o seu ciclo produtivo e a sua manutenção. [2]
- Gestão do sistema de fornecimento (**SCM – Supply Chain Management**): Abrange todos os processos relacionados com os pedidos, incluindo o planeamento e controlo de encomendas, todo o processo logístico e a gestão de entregas. [2]
- Serviços: Está relacionado com os processos associados ao produto após a entrega do mesmo, como garantias, peças de reposição ou atualização do software, e com serviços relacionados com o sistema de produção, como a otimização dos sistemas de produção. [2]

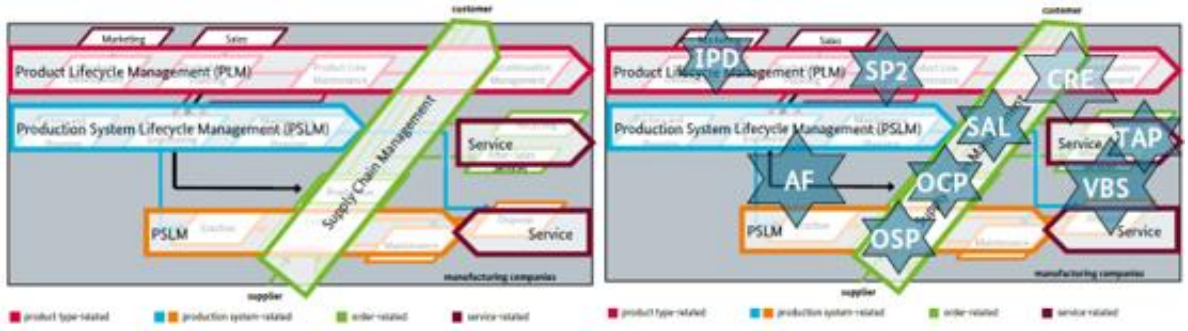


Figura 2.11 – Processos de criação de valor nas indústrias

Baseando-se nos processos de valor acrescentado de várias empresas, classificou-se os vários cenários de aplicação. De seguida estão representados os vários tipos de cenários:

- Produção controlada pelos pedidos **(OCP-Order Controlled Production**): neste cenário de aplicação a produção é movida pelos pedidos o que exige uma produção flexível. A capacidade de produção estende-se para além dos limites da própria fábrica e da empresa, o que requer uma rápida adaptação a um mercado em constante mudança, conseguindo dessa forma uma melhor utilização da capacidade das instalações de produção. Para isso as empresas oferecem as capacidades de produção disponíveis a outras empresas, fazendo um melhor aproveitamento das suas capacidades de produção, e evitando desse modo que as máquinas se encontrem paradas. O objetivo é facilitar a ligação entre fábricas externas e a produção no interior da empresa, devendo essa ligação ser o mais automatizada possível, através de colocação automática de pedidos. Assim, as empresas podem expandir automaticamente as suas capacidades de produção de acordo com as suas necessidades, utilizando módulos de produção externos, sem ter de fazer qualquer investimento.
  Deste modo, as empresas conseguem reagir de forma eficaz às mudanças impostas pelo mercado e, por outro lado, através da disponibilização das suas máquinas no mercado conseguem otimizar as suas taxas de utilização. [2]

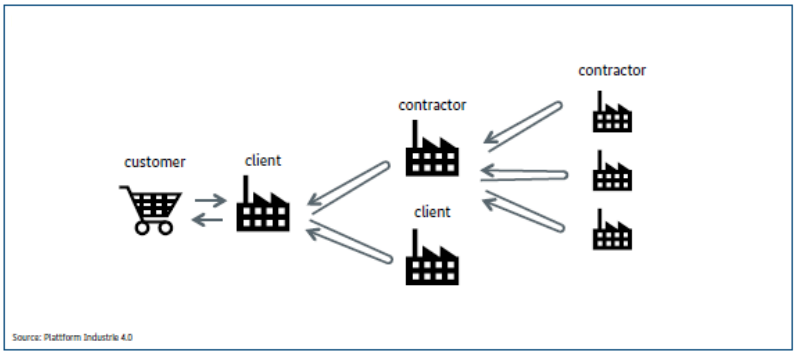


Figura 2.12 – Rede de valor produção controlada por pedido

- Fábricas adaptáveis (**AF–Adaptable Factory**): Ao contrário da solução referida anteriormente, que se concentra nos pedidos dos clientes, este cenário de aplicação concentra-se num recurso de produção específico e explica como este pode ser adaptado e como isso afeta os fornecedores de recursos e os integradores de sistemas.
  A ideia deste conceito consiste na possibilidade de configurar uma fábrica, de modo a poder alterar rapidamente as capacidades de produção. Nos dias de hoje, a utilização de um computador que comunique e permita configurar os diversos equipamentos de uma instalação fabril é muito frequente e tem uma elevada importância, pois isto atribui um grau de flexibilidade e adaptabilidade elevado a uma instalação fabril.
  Módulos inteligentes e interoperáveis permitem que uma dada máquina faça o seu próprio ajuste conseguindo produzir de forma mais eficaz, e também permitem uma rápida e eficaz reconfiguração de uma determinada máquina, algo cada vez mais importante nos dias de hoje, dadas as constantes mudanças do mercado.
  Quando se pensa em criar uma linha de produção, o foco principal, nos dias de hoje, para além de ser a qualidade com que o produto vai ser fabricado, também a maximização da produtividade e da rentabilidade da linha é um fator muito importante. Daí a utilização de fábricas adaptáveis que permitam atingir esse objetivo, onde as diversas máquinas se encontram todas interligadas entre si e com um computador central que permite uma fácil e rápida adaptação da fábrica, quer com o objetivo de aumentar

a produção da mesma, quer com o objetivo de ser facilmente reconfigurada para produzir novos produtos, permitindo desta forma responder às necessidades dos clientes. [2]

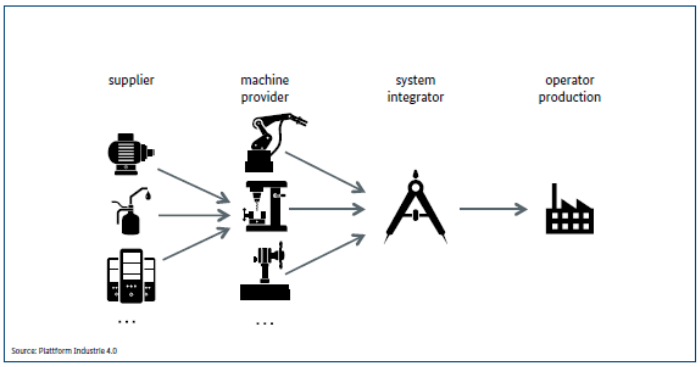


Figura 2.13 – Rede de valor fábricas adaptaveis

- Sistema logístico auto-organizado (**SAL–Self Organising Adaptive Logistics**):Quando se produz um produto é necessário adquirir matéria prima, fazer a sua transformação e, por fim, proceder à sua distribuição, daí que a logística seja muitíssimo importante para que a produção seja feita da forma programada, sem inconvenientes, e é aí que este cenário de aplicação se foca. Cada vez mais frequentemente os sistemas de produção necessitam que as matérias primas sejam entregues no momento certo, para serem processadas logo de seguida. Obviamente que o atraso da entrega da matéria prima implica atrasos sucessivos na produção, não aceitáveis em empresas que adotam este tipo de produção. Além disso, também no interior das fábricas, é cada vez mais comum utilizar sistemas de transporte autónomos e sistemas de armazenamento automáticos, pois estes permitem fazer uma alocação correta a uma determinada estação de trabalho e permitem ainda ter um melhor controlo da localização de determinado produto. A produção e a logística fundem-se cada vez mais, pois com uma adequada logística existe a possibilidade de ter uma produção mais flexível, ter prazos de entrega mais curtos, utilizar menos stocks e, consequentemente, obter um preço do produto final mais competitivo. [2]

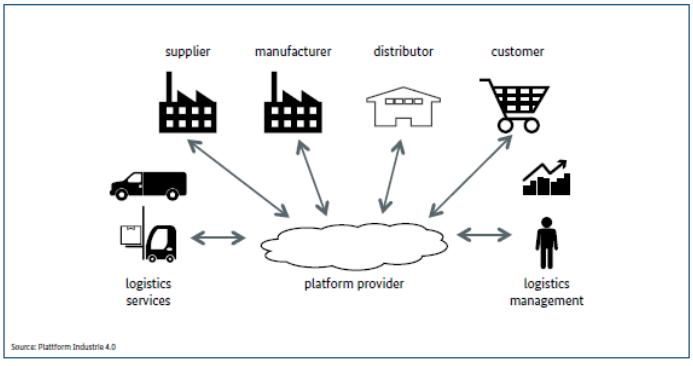


Figura 2.14 – Rede de valor sistema logistíco auto-organizado (**SAL**)

- Serviços baseados em valor (**VBS–Value Based Services**): Este cenário de aplicação permite descrever como se pode integrar um serviço na rede de valor, disponibilizando informações específicas dos produtos e/ou processos numa plataforma de TI. Os serviços vão muito para além de, apenas, a produção de um determinado produto. Existem serviços que estão relacionados direta ou indiretamente com os produtos, como por exemplo o *leasing*, e que cada vez são mais importantes nos modelos de negócios adotados. Através de plataformas de TI, que recolhem dados acerca de um

dado produto, como por exemplo, as máquinas necessárias para obter o produto e os parâmetros utilizados para o obter, é possível analisar e processar os dados recolhidos para otimizar os produtos e os processos, mas também para criar novos serviços. O objetivo é, para além de melhorar as cadeias de valor existentes, criar novos elementos de valor acrescentado. [2]

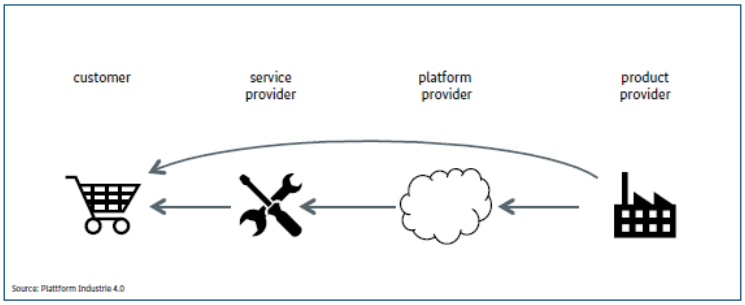


Figura 2.15 – Rede de valor serviços baseados em valor

- Transparência e adaptabilidade dos produtos entregues (**TAP–Transparency and Adaptability of delivered Products**): Ao contrário do cenário anterior, este cenário de aplicação concentra-se mais no produto, e na maneira como devemos usar a plataforma de TI de modo a garantir que os produtos são transparentes e adaptáveis. Fazendo uma recolha automática de dados baseada na utilização dos produtos, conseguem-se otimizar processos de negócios, novos modelos de negócios e adaptação dinâmica de recursos do produto. Logo que um produto sai da fábrica, para que se obtenham informações acerca desse produto é necessário fazer um grande esforço. Também não é fácil fazer alterações num dado produto caso este tenha de ser adaptado a condições de utilização distintas. Como tal, através da aquisição de dados do produto em funcionamento, é possível ter perceção se o mesmo está a funcionar de forma correta ou não, e está cada vez mais presente a ideia de que, no futuro, seja possível que os objetos tenham capacidade de se conectarem numa rede que permita a comunicação com o seu fabricante de modo a ser possível reconfigurar e atualizar esses produtos, como afinal existe atualmente nos computadores.
  No entanto questões de segurança são importantíssimas. Nos dias de hoje, com crimes informáticos cada vez mais frequentes, é necessário acompanhar a evolução das técnicas usadas por piratas informáticos de modo a evitar danos com graves consequências para as empresas. Com isto, os clientes podem beneficiar de serviços mais adaptados ao uso individual do produto e de uma manutenção mais eficiente dos produtos. [2]

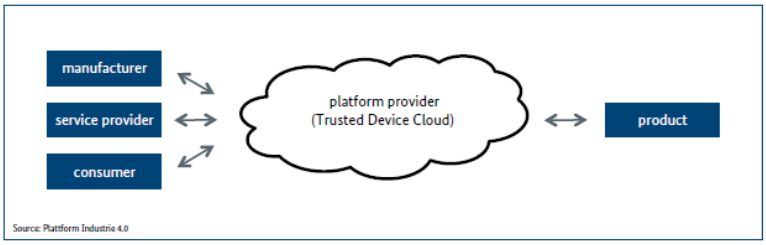


Figura 2.16 – Rede de valor transparência e adaptabilidade dos produtos entregues

- Suporte ao operador na produção (**OSP–Operator Support in Production**): O aumento da digitalização está também a influenciar a produção industrial, ajudando os operadores em todas as áreas de trabalho possíveis. Desse modo a motivação e a produtividade aumenta e permite aos operadores tomar decisões mais rápidas e mais precisas. Através da utilização de máquinas inteligentes, que têm maior flexibilidade e

que têm menor intervenção de operadores na sua programação e preparação para novas tarefas, e de maneira mais rápida e simples, é possível atribuir tarefas a essas mesmas máquinas que não sejam tão complexas, permitindo que os seres humanos se concentrem noutras tarefas em que a sua intervenção seja indispensável. Também atividades de maiores esforços manuais, mais perigosas, mais sujas e mais monótonas podem ser realizadas por máquinas automáticas em vez de serem realizadas manualmente por humanos.

A Indústria 4.0 coloca à disposição das empresas e dos funcionários novos meios para enfrentar os desafios impostos pelas drásticas mudanças demográficas e aumentar a volatilidade do mercado.

A digitalização imposta pela Indústria 4.0 permite, através de uma maior utilização de máquinas automáticas para realizar o maior número de tarefas que seja possível, um maior controlo de toda a fábrica. Ações de ajuda à manutenção e ao diagnóstico de problemas existentes nas máquinas, e à reconfiguração das máquinas para obter produtos distintos, tornam-se mais simples e mais eficazes deste modo. [2]

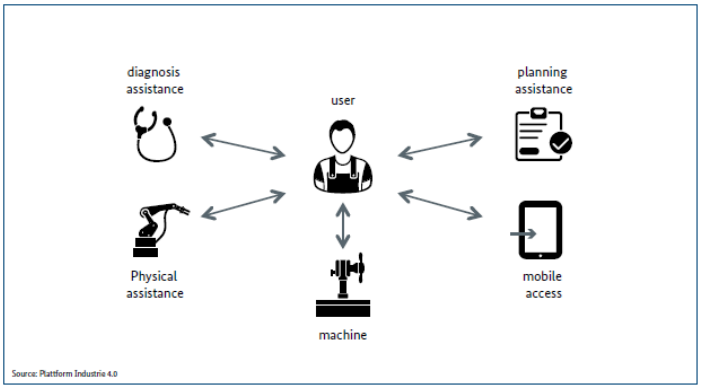


Figura 2.17 – Rede de valor suporte ao operador na produção

- Desenvolvimento inteligente do produto para uma produção inteligente (**SP2– Smart Product development for Smart Production**): O desenvolvimento de produtos em suporte digital, realizado por equipas de engenharia em programas adequados, permite criar e guardar uma imagem do produto. Assim é possível ter um produto virtual e fabricá-lo sempre que seja necessário, evitando ter um grande *stock*, o que reflete uma redução de custos para as empresas. Para certas empresas é também muito útil obter um produto em formato virtual. Nos dias de hoje as equipas de engenharia começam sempre por desenvolver soluções em formato digital e a disponibilização dos produtos em formato virtual é muito útil para estas equipas.

  Mais uma vez questões de segurança são muito importantes e devem ser tidas em consideração, pois o risco de roubar produtos a uma empresa aumenta consideravelmente. A digitalização em redes de engenharia otimiza os processos existentes, eleva a competitividade, através da colaboração, e garante a capacidade da solução de problemas. [2]

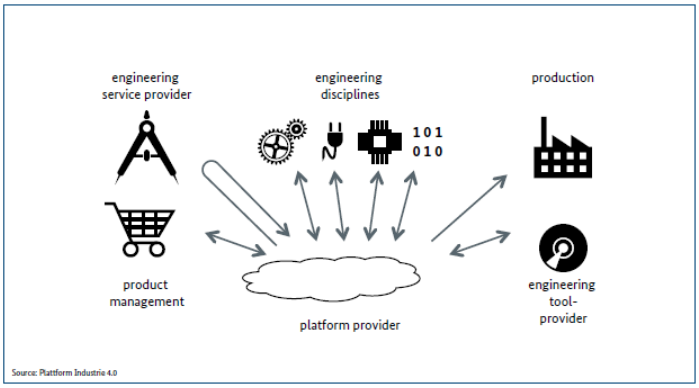


Figura 2.18 – Rede de valor desenvolvimento inteligente do produto para uma produção inteligente

- Desenvolvimento inovador de produtos (**IPD– Innovative Product Development**): As interconexões de um grande número de participantes com as equipas de engenharia tornar-se-ão cada vez mais importantes para o setor da produção. Com o crescimento da procura de produtos individualizados por parte dos consumidores e com a crescente complexidade dos produtos, surge a necessidade do aparecimento de processos de desenvolvimento inovadores que se baeiam em redes inteligentes de colaboram com os mais diversos participantes, pois dessa forma poder-se-ão tornar os produtos mais fortes. O objetivo das empresas neste cenário é desenvolver o produto certo e que corresponda às necessidades reais do mercado e dos clientes. [2]

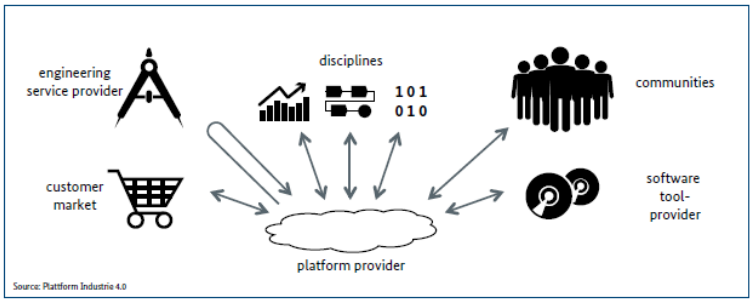


Figura 2.19 – Rede de valor desenvolvimento inovador de produtos

- Economia circular (**CRE– Circular Economy**): Todos os dias são produzidos 3,5 milhões de toneladas de lixo, um número que poderá aumentar significativamente no futuro. Além do desperdício de matérias-primas, também a poluição provocada por esses resíduos irá aumentar consideravelmente.
  Para combater essa situação têm de se tomar medidas.
  Como tal, os produtos deverão, cada vez mais, ser projetados de modo a se poderem utilizar materiais reciclados nos seus componentes e, também, se deve considerar, durante a fase de projeto, como, e de que forma, os materiais podem ser reciclados no final do ciclo de vida do produto.
  Com os processos de reciclagem clássicos, a qualidade dos produtos é muitas vezes alterada, o que faz com que muitas vezes esses produtos não possam voltar a ser reutilizados para a finalidade original, como é o caso de alguns plásticos. É também nesse sentido que se deve trabalhar, pois embora esses produtos não se possam utilizar para a sua finalidade original, podem se utilizados para outras finalidades.
  As tecnologias da Indústria 4.0, particularmente as tecnologias de sensores, a conectividade, etc., podem ajudar a atingir esses objetivos, auxiliando o processo de recuperação, reconstrução e reutilização de componentes, produtos e máquinas. Através da utilização de sensores RFID, por exemplo, pode ser possível a identificação da composição de um determinado produto que poderá ser muito importante na altura da reciclagem do mesmo. Assim, com a ajuda da digitalização e com o objetivo de gerir o

ciclo de vida ao reciclar as matérias-primas, é possível reduzir custos na produção e, simultaneamente, reduzir emissões que contribuem para o aquecimento global. [2]



Figura 2.20 – Rede de valor economia circular

A implementação do conceito da Indústria 4.0 leva à necessidade de se estabelecerem níveis hierárquicos de construção como representado na Figura 2.21, através de uma pirâmide.

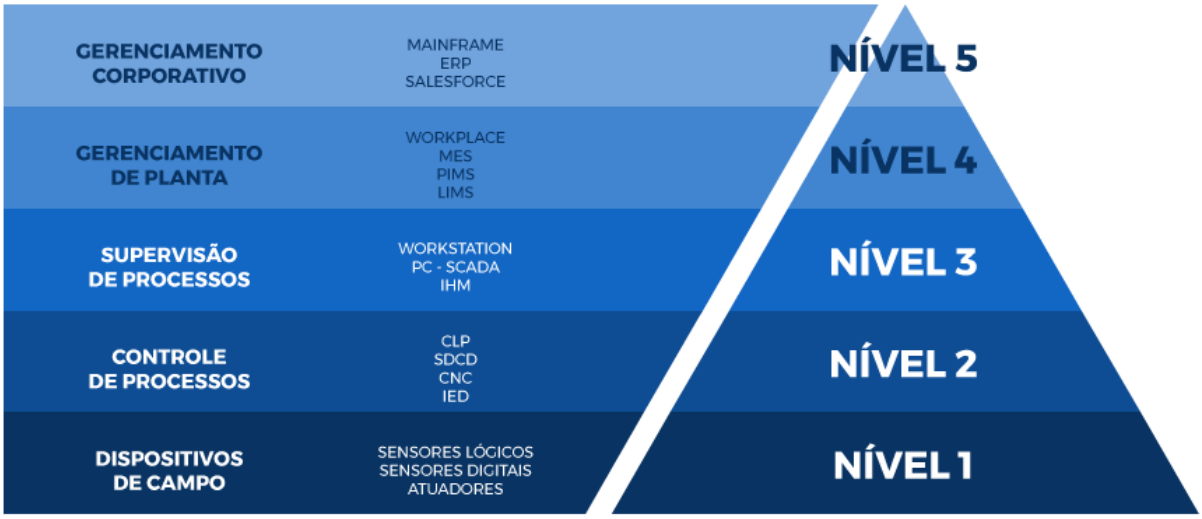


Figura 2.21 – Pirâmide da Indústria 4.0

A pirâmide da Indústria 4.0 é composta por 5 níveis. Os níveis são os seguintes:

- Nível 1: é conhecido como o "chão da fábrica". Este nível é composto pelos dispositivos de campo, é neste nível que se encontram as máquinas, e é nestas que encontramos os vários atuadores e sensores necessários para o correto funcionamento das mesmas. [4]
- Nível 2: neste nível é feito o controlo dos processos. Aqui encontramos, os PLC's, ou as CNC's, por exemplo, e só com a ajuda destes equipamentos é que se consegue controlar as máquinas automaticamente. [4]
- Nível 3: a supervisão dos processos faz-se neste nível. Com o auxílio de HMI's ou até mesmo sistemas SCADA, que estão ligados aos PLC's, é possível supervisionar os diversos processos, através da aquisição e avaliação de dados produtivos. [4]
- Nível 4: toda a gestão da fábrica é feita neste nível. Recorrendo a ferramentas como o MES, e consolidando dados adquiridos no nível 3, é possível ter controlo total da fábrica. [4]
- Nível 5: a gestão da empresa está representada neste nível. O planeamento estratégico é feito com a ajuda de software, o ERP é o exemplo de um software desse tipo, que auxilia na tomada de decisões. [4]

3 Problema proposto

No âmbito da realização da Unidade Curricular Dissertação, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, foi proposto o tema "Desenvolvimento de modelos didáticos de demonstração de integração num ambiente de Indústria 4.0". O problema apresentado neste tema consiste, como o próprio nome da Dissertação indica, na integração de 4 modelos automáticos didáticos de demonstração num ambiente de Indústria 4.0, como descrito no Capítulo 2.

Quando este problema foi apresentado, os modelos didáticos já estavam fisicamente criados e todos dispunham de um comando manual associado que permitia movimentar os diversos atuadores do respetivo modelo, e todos eles eram constituídos por dois módulos. O primeiro módulo continha as partes físicas de atuação e sensorização associadas aos diversos movimentos existentes em cada sistema (módulo 1). O segundo módulo, destinado ao controlo automático do sistema (módulo 2) encontrava-se fisicamente construído, mas sem qualquer desenvolvimento de *software* realizado.

Aos 4 modelos didáticos de demonstração que foram propostos, atribuíram-se os nomes de *Display* 1, 2, 3 e 4, para se identificarem de forma rápida e eficaz.

Na Figura 3.1 podem ser vistas as consolas de comando manual, sendo cada uma específica para cada um dos *Display's*. Os 4 *Display's* que, para todos os efeitos, constituem o exemplo de equipamentos produtivos de uma empresa que aqui pretendem ser simulados. Constituem, também, para o caso deste trabalho, o exemplo do Nível 1 da pirâmide da Indústria 4.0 tal como mostrado na Figura 2.21.



Figura 3.1 – Comando *Display* 1 (manip. veios), *Display* 2 (mov. porta), *Display* 3 (manip. tubos) e *Display* 4 (manip. bolas)

O *Display 1*, denominado "Manipulação de veios", realiza inicialmente uma identificação de peças cilíndricas que são alimentadas na sua entrada. Em função do tipo de peça que é identificada o ciclo automático específico para a sua manipulação é empreendido.

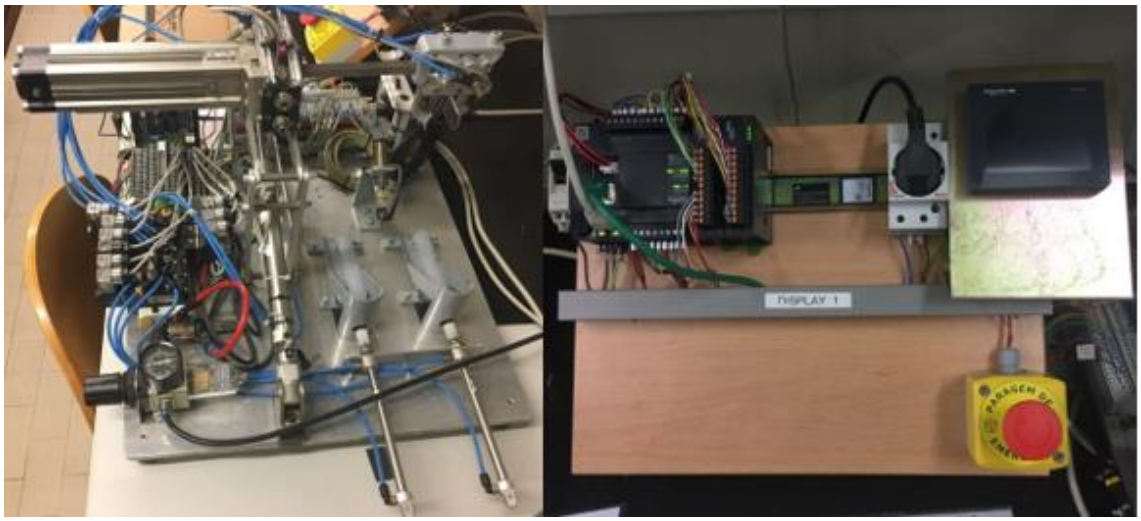


Figura 3.2 – *Display* 1 – Manipulação de veios

O *Display 2*, corresponde à movimentação de uma "Porta de Acesso" automático, que simula o acesso a um armazém para depósito de peças.

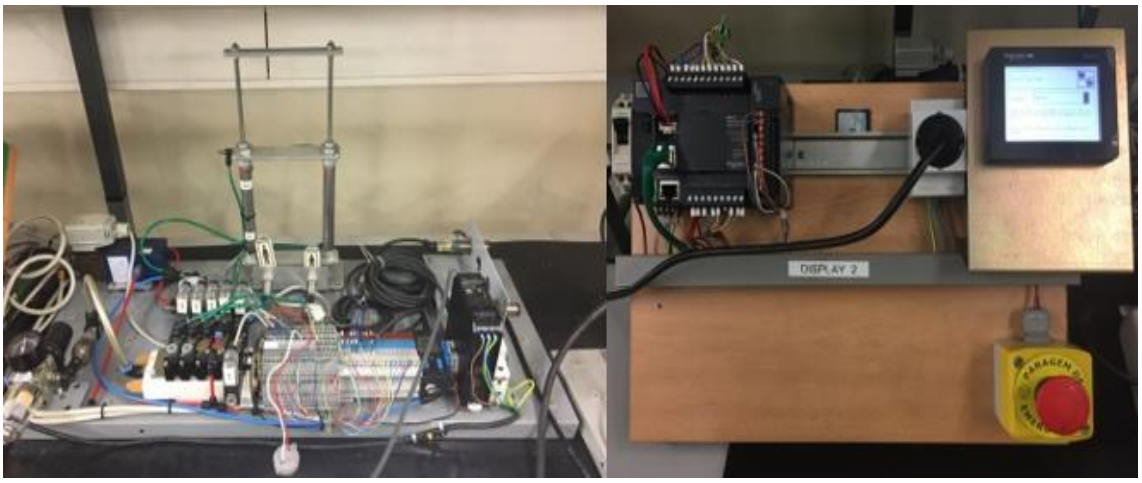


Figura 3.3 – *Display* 2 – Movimentação de porta de acesso

O *Display 3*, denominado "Manipulação tubos", recebe umas peças tubulares de um armazém vertical e recolhe-os e vai colocá-los, em função do seu tipo, num recipiente ou em outro, realizando-se uma operação de controlo de qualidade associada.



Figura 3.4 – *Display* 3 – Manipulação de tubos

O *Display 4*, denominado “Manipulação de bolas”, realiza uma identificação uma bola que lhe é fornecida na sua entrada. Essa bola é movimentada até ser ejetada para um recipiente, sendo este processo associado a uma avaliação de qualidade.

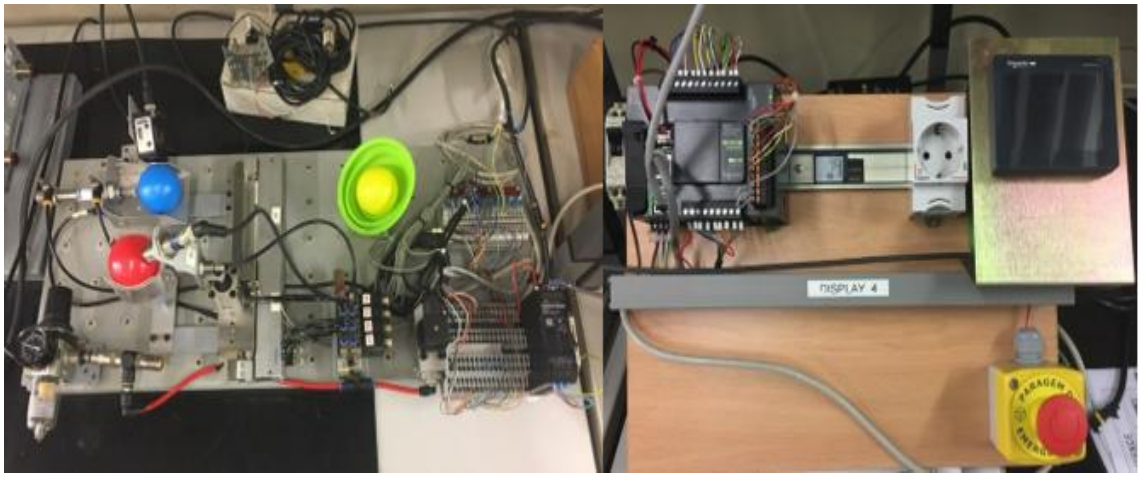


Figura 3.5 – *Display* 4 – Manipulação de bolas

Os controladores que se encontram nestes equipamentos (os PLC’s) bem como as consolas de interface, comando e visualização (HMI’s) constituem para este trabalho os módulos 2 referidos anteriormente, bem como o Nível 2 da pirâmide da Indústria 4.0 apresentada na Figura 2.21.

O primeiro objetivo deste trabalho consiste na programação de todos os controladores e das correspondentes HMI’s de cada um dos *Display’s*, de modo que todos eles executem um determinado processo produtivo de forma automática, como pretendido.

O segundo objetivo do presente trabalho consiste na inserção dos 4 equipamentos, isto é, dos 4 *Display’s*, num ambiente de Indústria 4.0 de modo a constituir o Nível 3 da pirâmide apresentada na Figura 2.21. Para isso é necessário utilizar mais um controlador, e respetiva HMI, ao qual se atribui o nome de “*Display* supervisor”, que seja capaz de comunicar com todos os restantes controladores, construindo uma rede de comunicação que fornece e recolhe informação, permitindo dessa forma que todos os *Display’s* estejam interligados uns com os outros, formando, assim, o nível de supervisão de um processo num ambiente de Indústria 4.0.

A informação fornecida e recolhida no Nível 3, diz respeito não só ao processo que envolve cada um dos equipamentos, mas a informação sobre os próprios equipamentos e a qualidade de produto final.

Os esquemas eletropneumáticos são muito importantes, não só para compreender o circuito pneumático, mas também para perceber quais são os elementos responsáveis pelo controlo de movimento de um determinado atuador.

Na Figura 3.6, Figura 3.7, Figura 3.8 e na Figura 3.9 estão representados os esquemas electropneumáticos dos Display’s 1, 2, 3 e 4, respetivamente.

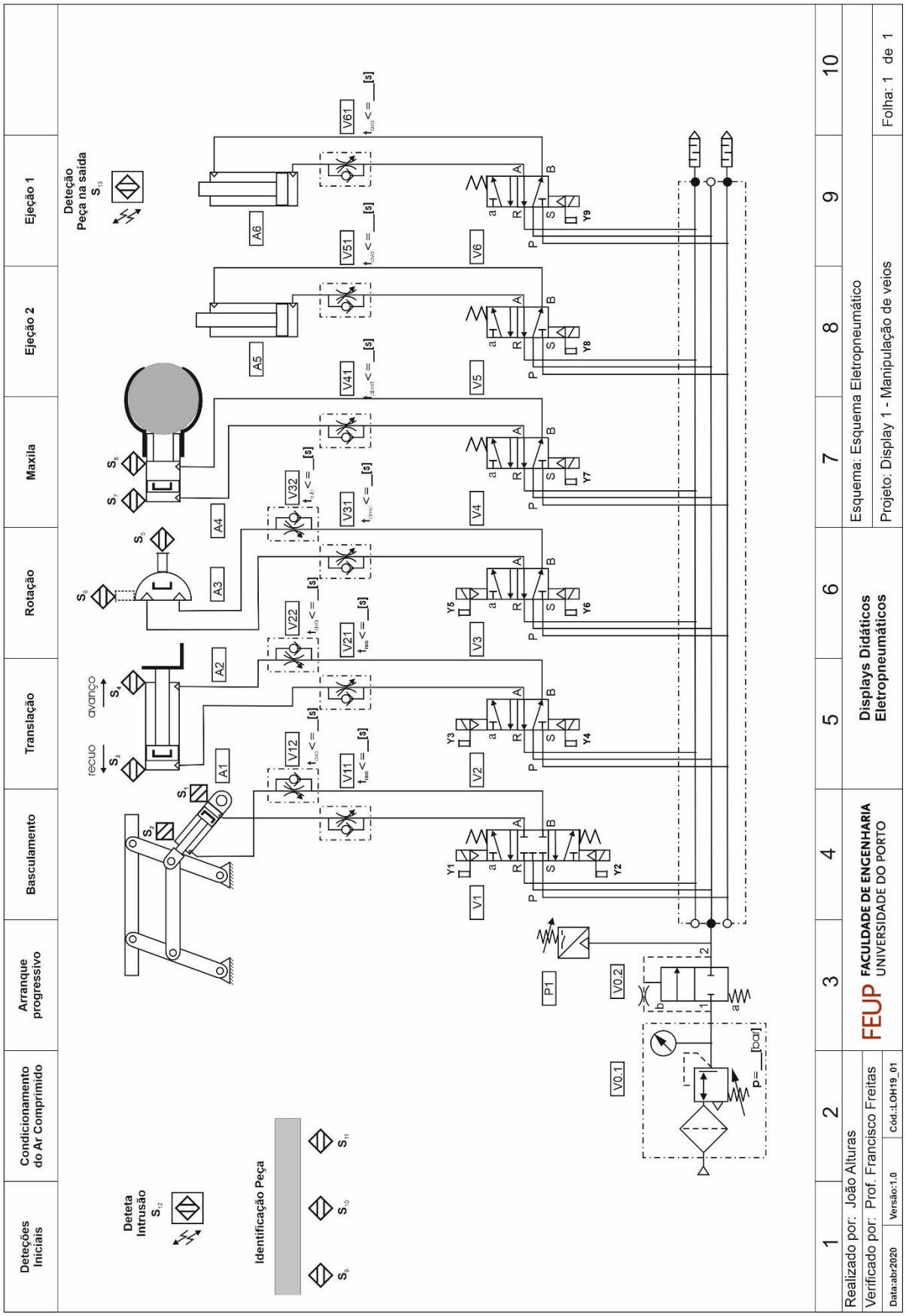


Figura 3.6 – Esquema eletropneumático do *Display* 1

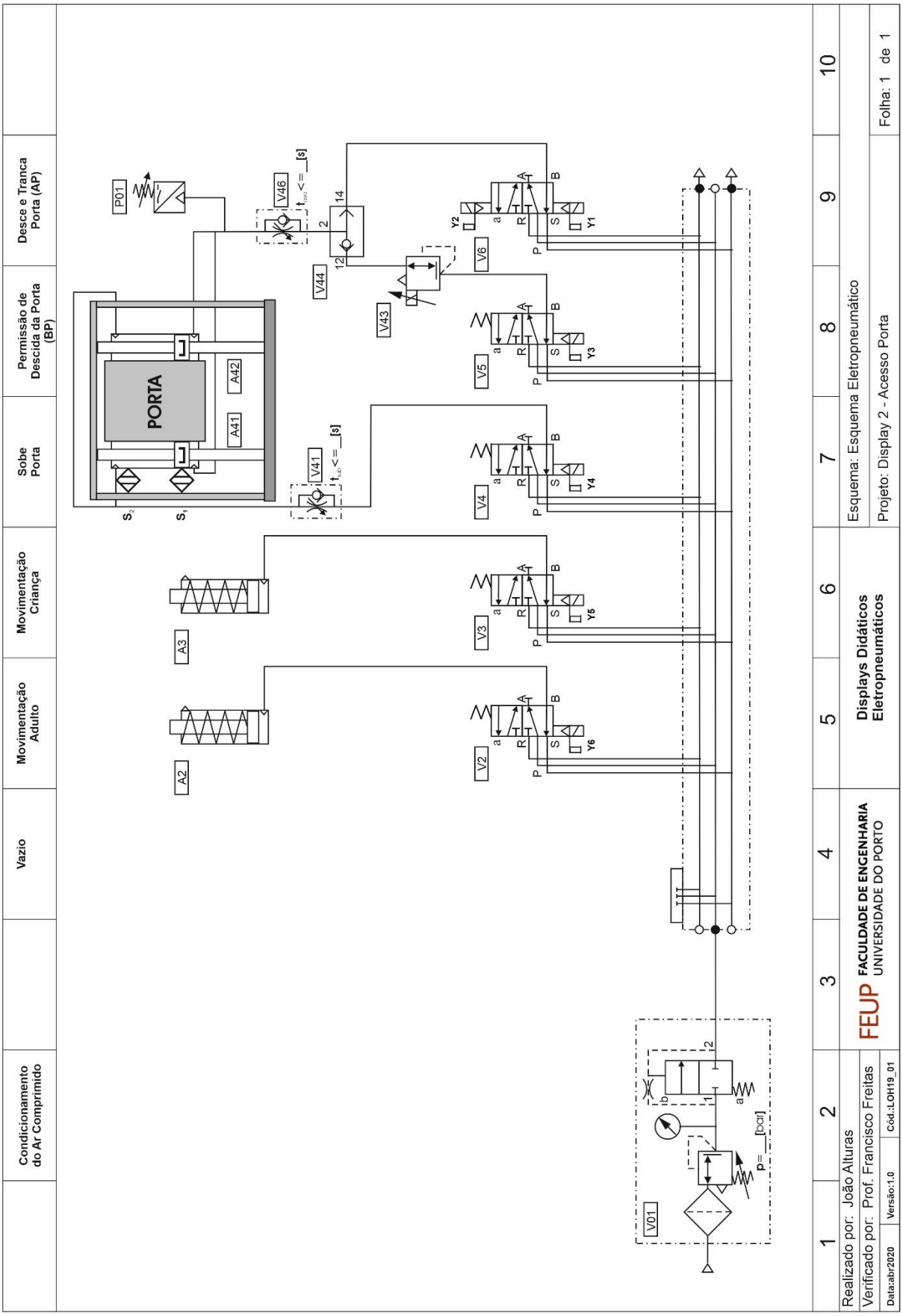


Figura 3.7 – Esquema eletropneumático do *Display* 2

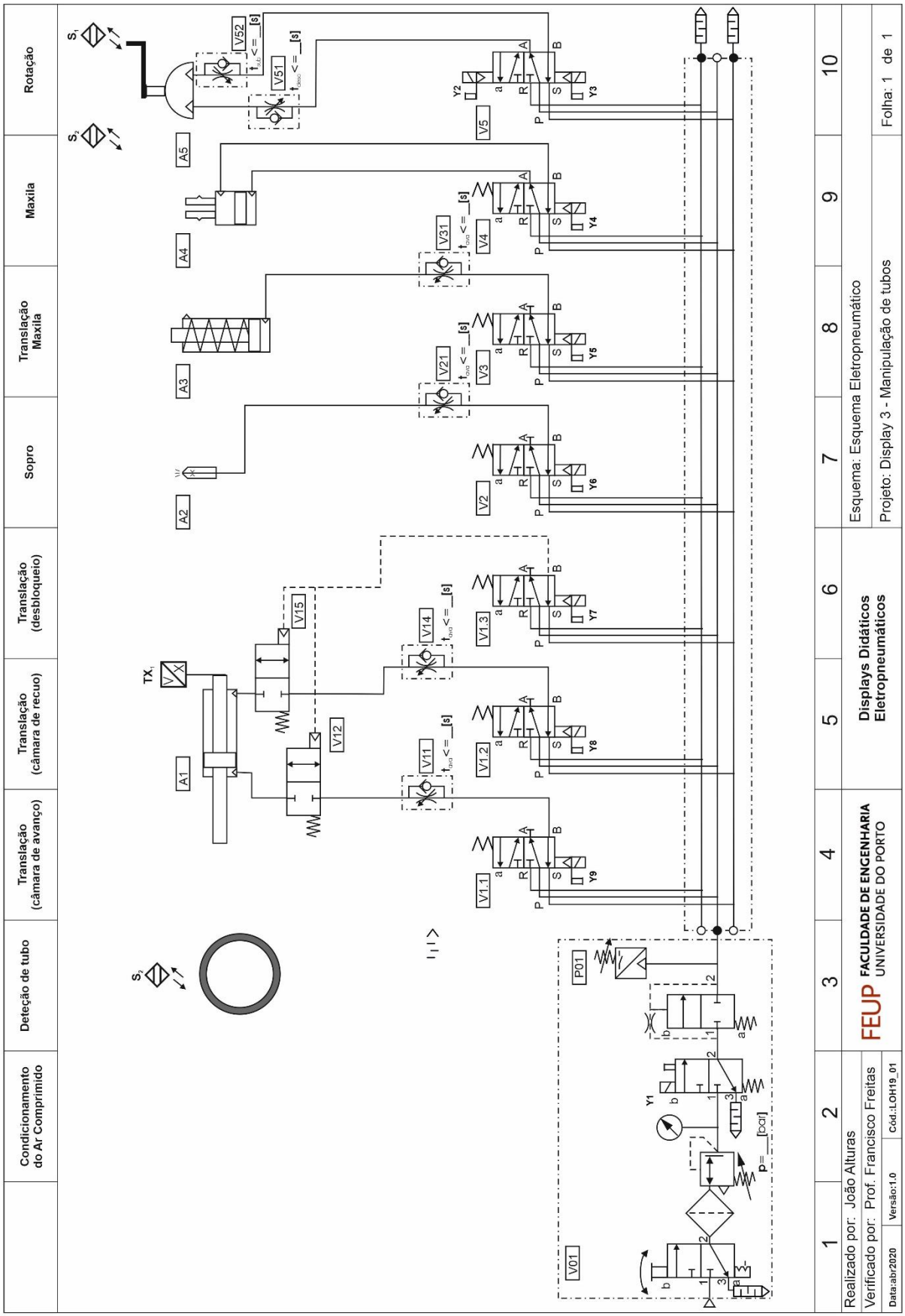


Figura 3.8 – Esquema eletropneumático do *Display* 3

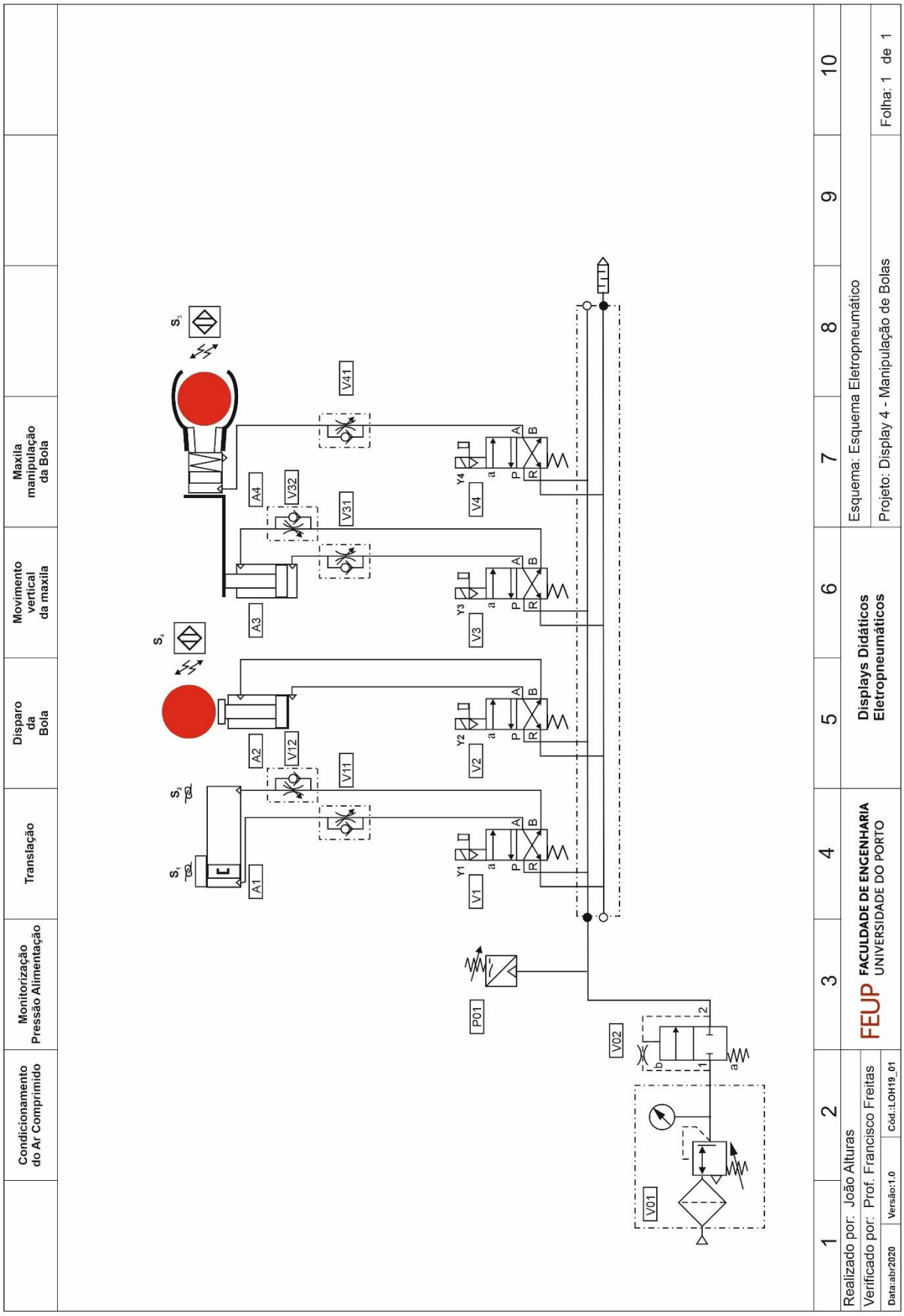


Figura 3.9 – Esquema eletropneumático do *Display* 4

4 Solução desenvolvida

Neste capítulo é apresentada, de maneira detalhada, a solução desenvolvida para dar resposta ao problema que foi proposto. Para que seja mais fácil compreender a solução desenvolvida, este capítulo irá ser dividido em sub-capítulos, sendo que em cada um deles é explicado de forma detalhada cada um dos *Display's* utilizados, existindo também um sub-capítulo onde se explica a comunicação entre os dispositivos.

Esta apresentação foca-se, inicialmente, nas realidades físicas e tecnológicas existentes em cada equipamento para poder realizar e suportar os objetivos de movimentação pretendidos ser executados, bem como os objetivos de produção.

4.1 Display 1 – Manipulação de veios

Visão global do *Display* 1

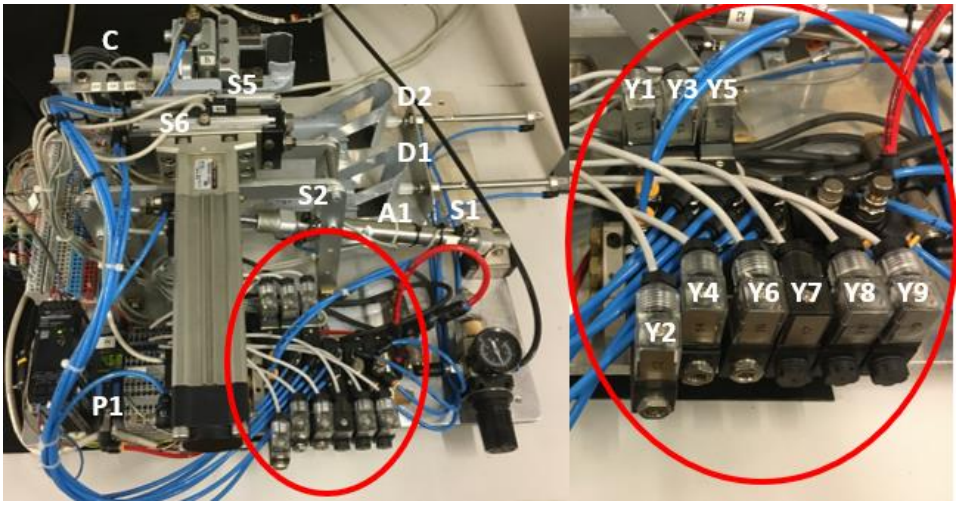


Figura 4.1 – *Display* 1, com a zona de carga (C) e a de descarga (D1 e D2), o atuador A1, os detetores S1, S2, S5 e S6, bem como os solenóides, de Y1 a Y9.

Este sistema automático de demonstração tem capacidade para movimentar peças cilíndricas, desde uma zona de carga (C), até uma, das duas zonas de descarga (D1 ou D2), como representado na Figura 4.1.

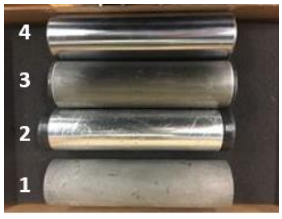


Figura 4.2 – *Display* 1, peças cilíndricas 1, 2, 3 e 4 manipuladas neste processo

Existem quatro peças cilíndricas, como mostrado na Figura 4.2, tendo todas a mesma forma e dimensões. No entanto, têm materiais e propriedades construtivas distintas. Quando é lançada uma ordem de fabrico, um dos parâmetros definidos é o tipo de peça que se quer transportar, e para a sua identificação, foram utilizados três detetores, S9, S10 e S11, como representado na Figura 4.3, para conseguir identificar o tipo de peça que será transportada. Os detetores S9 e S10 são indutivos, já o detetor S11 é um detetor optoeletrónico.

Uma vez que as peças têm característica diferentes, estás também ativarão diferentes detetores. Os detetores ativos, conforme a peça, são os seguintes:

- **Peça 1**: ativa o detetor 9, detetor 10 e detetor 11;
- **Peça 2**: ativa o detetor 9, detetor 10 e detetor 11;
- **Peça 3**: ativa o detetor 9;
- **Peça 4**: ativa o detetor 9 e detetor 11.

De notar que quer a peça 1 quer a peça 2 ativam o mesmo tipo de detetores. Assim sendo, estas peças são distinguidas porque têm pesos consideravelmente diferentes, a peça 1 é mais pesada, e também porque a peça 2 nos seus topos tem uma tampa de borracha. Para evitar enganos, quando uma ordem de fabrico é aceite, deverá aparecer uma imagem na HMI do tipo de peça que deverá ser inserida na zona de carga.

Sendo assim, o objetivo central da automatização é transportar cada peça cilíndrica de C para D1 ou D2, descarregando-a na posição específica, conforme o número de lançamento da peça, isto é, as peças lançadas em número ímpar são descarregadas no local D1, e as peças lançadas em número par são descarregadas no local D2. Para que se perceba melhor o dito anteriormente, se for lançada uma ordem de fabrico em que o número de peças é igual a quatro, por exemplo, a primeira e a terceira peça transportadas deverão ser descarregadas em D1, já a segunda e a quarta peça transportadas devem ser descarregadas em D2.

Um processo de funcionamento automático deste equipamento pode, assim, constituir uma ordem de fabrico, que é enviada pelo dispositivo supervisor do processo onde constará o tipo de peça que será transportada, e qual, o número de peças que irão ser transportadas, que ditará para que localização final essas peças deverão ser transportadas.

Assim, o funcionamento deste processo produtivo, uma vez definida, recebida e validada uma ordem de fabrico, será o seguinte:

1) Verificar o equipamento: sendo este equipamento eletropneumático a sua ativação corresponde à ativação da alimentação do ar comprimido e da verificação de que essa alimentação atingiu o nível correto de pressão. Após um tempo de espera, o pressostato (P1) deverá confirmar a efetiva alimentação do ar.
2) Colocação da peça na zona de carga: Conforme o tipo de peças que se pretende transportar, deve-se colocar na zona de carga a peça indicada, conforme a Figura 4.3. Depois de uma colocação correta da peça na zona de carga, os detetores S9, S10 e S11 deverão fazer a leitura, e só no caso de a sua leitura corresponder ao tipo de peça pretendido é que poderemos efetuar o transporte da peça. O detetor S12, é um detetor de identifica a presença da mão do operador a colocar a peça na zona de carga. Só quando estiver desativado, ou seja, quando o operador já tiver deixado a zona de carga da peça, é que pode ser dada autorização para passar para a etapa seguinte.

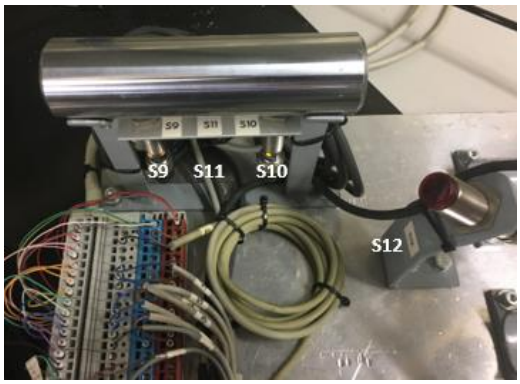


Figura 4.3 – *Display* 1, com a peça cilíndrica inserida na zona de carga C, e onde são visíveis os detetores de identificação de peça S9, 10, 11 e de presença S12

3) Pré-posicionamento inicial para a carga: O atuador A3 é um atuador angular pneumático de cremalheira que tem por função colocar a garra pneumática ou na direção adequada para pegar na peça a partir do posto de carga ou na direção adequada para descarregar a peça. Visto que na posição inicial o atuador A3 se encontra na posição de descarga da peça, de acordo com a Figura 4.1, o detetor S4 encontra-se ativo e, para que esse mesmo atuador atinja a posição de carga da peça deve rodar 90º no sentido horário tendo que, para isso, atuar o solenóide Y5, até que o detetor S5 esteja ativo.
De seguida, o atuador linear de duplo efeito, A2, que na posição inicial está recuado, estando o detetor S3 ativo, deve avançar até que se ative o detetor S4. O comando do movimento do atuador A2, bem como o do A3, são feitos através das eletroválvulas biestáveis V2 e V3, para evitar que na falha de energia de comando o atuador possa realizar um movimento não pretendido. Assim sendo, para que o atuador A2 avance, até que o detetor S4 se ative, tem que realizar uma atuação impulsional no solenóide Y3.

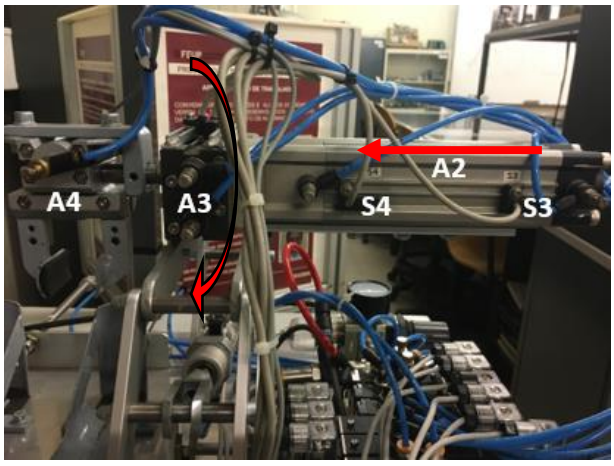


Figura 4.4 – *Display* 1, onde estão representados os atuadores A2, A3 e A4, bem como os detetores S3 e S4, e a indicação dos movimentos

4) Alimentação de peça: Para que uma peça possa ser alimentada a partir da zona de carga, C, é necessário que o atuador A4 (garra pneumática) avance totalmente, até que o detetor S8 fique ativo, o que obriga a atuar o solenóide Y7 da eletroválvula monoestável V4.
De seguida o atuador A1 deve ir para a posição de totalmente avançado, até que o detetor S2 fique ativo. O comando do movimento do atuador A1, é feito através da eletroválvula de 3 posições V1, o que significa que o solenóide Y1 tem que ser continuamente atuado.

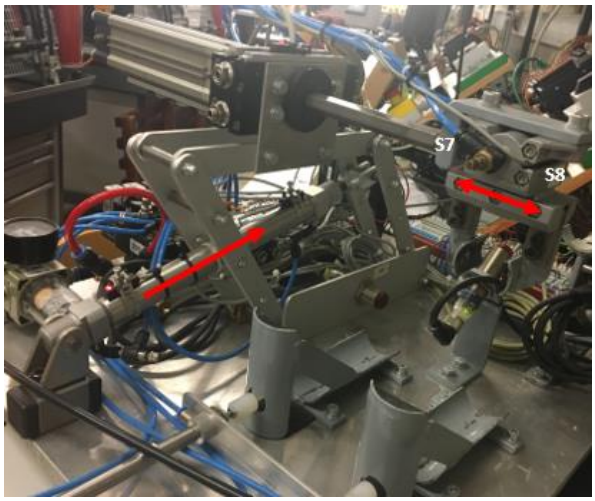


Figura 4.5 – *Display* 1, onde estão representados os detetores S7 e S8, e movimentos

5) Pré-posicionamento para a descarga: O atuador A4 deve fechar, de maneira a prender a peça cilíndrica, para que esta não saia da garra durante o transporte, desativando o solenóide Y7. De seguida o atuador A1 deve ir até à posição totalmente recuado, de modo que o detetor S1 fique ativo. Para o atuador A1 recuar, o solenoide Y2 tem que sofrer continuamente atuado.

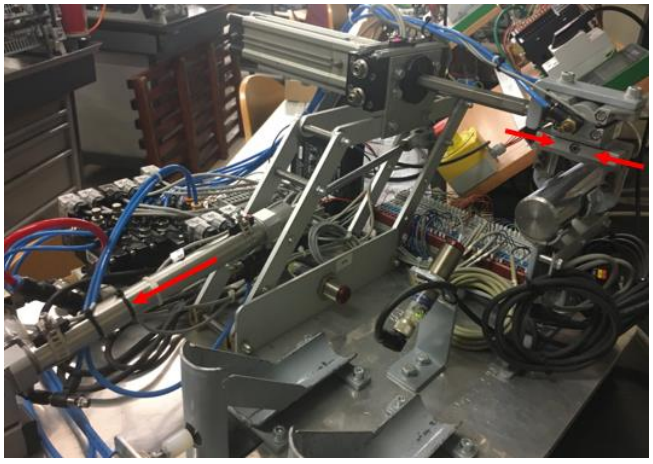


Figura 4.6 – *Display* 1, onde estão representados movimentos

6) Descarga da peça: Como foi referido anteriormente, existem duas zonas de descarga para as peças, a zona D1 e a zona D2. Para se proceder à descarga da peça na zona D1, o atuador angular A3 deve rodar, de modo a colocar a maxila na posição de descarga da peça cilíndrica, e para que esse mesmo atuador atinja essa posição, deve rodar 90º no sentido anti-horário, tendo que, para isso, provocar um impulso no solenóide Y6, e esperar até que o detetor S6 esteja ativo.
   De seguida, a garra pneumática, atuador A4, deverá abrir até que se ative o detetor S8. A garra deverá estar aberta durante o intervalo de tempo necessário para permitir descarregar a peça, estando o solenóide Y7 atuado durante esse mesmo período de tempo. Passado esse intervalo de tempo o solenóide é desatuado e o atuador A4 recua, ativando o detetor S7.
   Por último, o atuador A2 recua por atuação de Y4 até que o detetor S3 fique ativo.
   Caso se pretenda descarregar a peça na zona D2, em vez de na zona D1, as ações realizadas deverão ser as mesmas, mas por uma ordem diferente. Nesta situação o atuador A2 deve começar por recuar. De seguida o atuador angular A3 deverá fazer o seu movimento de rotação da mesma forma e, por fim, o atuador A4 da garra deve executar exatamente o mesmo movimento.

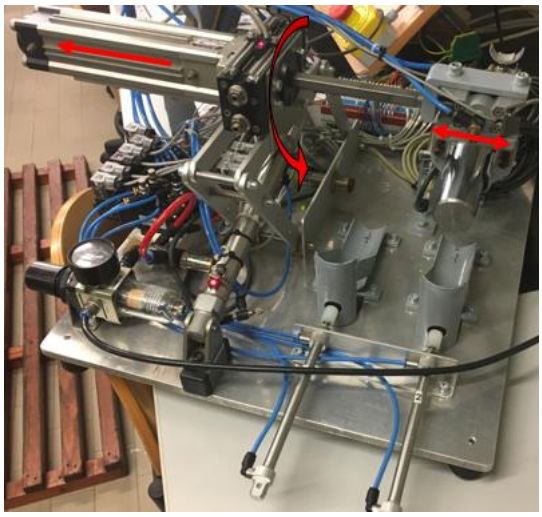


Figura 4.7 – *Display* 1, onde estão representados os movimentos

7) Remoção da peça: Para remover a peça é necessário colocá-la na posição horizontal. Para isso, é necessário "empurrar" a peça de maneira a ficar na posição horizontal. Se a peça tiver sido descarregada em D2, deve ser avançado o atuador A5, durante um curto período de tempo, o que obriga a atuar o solenóide Y8, da eletroválvula monoestável V5 pelo tempo adequado. Esse tempo deverá ser apenas o necessário para que a peça "tombe" e será tão pequeno que o atuador A5 não chegue a atingir o seu fim de curso. De igual modo, se a peça for descarregada em D1, deverá ser avançado o atuador A6, tendo que para isso ser atuado o solenóide Y9, da eletroválvula monoestável V6.
   Quando a peça estiver na posição horizontal, o detetor S13 deverá ficar ativo.

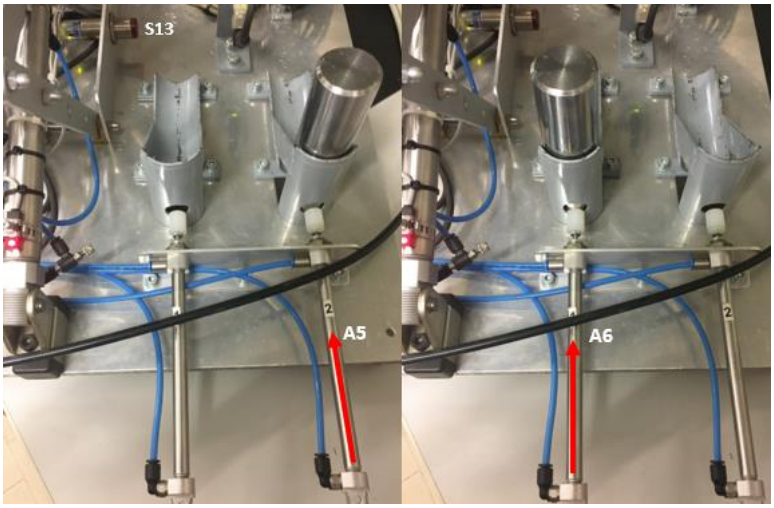


Figura 4.8 – *Display* 1, onde estão representados os atuadores A5 e A6, o detetor S13 e os movimentos

8) Repetição ou finalização do processo produtivo: Caso o número de peças que se pretende transportar na ordem de fabrico em curso ainda não tenha sido atingido, repete-se novamente toda a sequência. Só quando a peça for removida, o que implica que o detetor S13 fique não ativo, é que o processo produtivo pode ser repetido.
9) Avaliação da qualidade do processo: Uma vez terminado o ciclo produtivo da máquina o operador é chamado a fazer uma avaliação da qualidade do produto, que será feita através da apreciação da qualidade da colocação da peça cilíndrica na posição de remoção.
   Em função dessa avaliação o controlador poderá empreender um ajuste do tempo no movimento dos atuadores A5 e A6. O objetivo será sempre executar uma alteração de posição da peça cilíndrica perfeita.

Com esta ação inclui-se mais um dos elementos caraterísticos de um ambiente de Indústria 4.0.

Programação do PLC *Display* 1

O controlador utilizado neste *Display*, foi um *Schneider*®, modelo TM221CE16R, com um módulo TM3DM8RG, de entradas e saídas digitais, e um módulo TM3DI8G de 8 saídas digitais. Este PLC tem de ser programado por um *software* específico da própria marca, o *SoMachine Basic*®. Na programação deste dispositivo, foi utilizada a programação em *Grafcet* e em linguagem *Ladder*.

Inicialmente foi declarado no *software* o controlador utilizado e os módulos acoplados, e de seguida criaram-se e configuraram-se as variáveis de interface com o hardware da máquina. Nas figuras seguintes são visíveis as variáveis utilizadas quer no PLC, quer nos módulos acoplado. Todas as variáveis que começam por MON, que significa monitorização, estão associadas a variáveis digitais de entrada, já as variáveis que começam por ATU, que significa atuação, estão associadas a variáveis digitais de saída. As variáveis MON_LIVRE, significam variáveis de monitorização que não estão a ser utilizadas. Do mesmo modo, ATU_LIVRE identifica-se com variáveis de atuação que não estão a ser utilizadas.

Com base na especificação feita, atribuíram-se nomes às variáveis. Para se compreender mais facilmente a válvula que terá de ser atuada para que o movimento pretendido seja realizado, o nome das atuações é composto pela válvula associada. Relativamente à filtragem utilizada nas variáveis de entradas digitais, para detetores vulgares, utilizou-se uma filtragem de 3ms, mas para detetores de contacto mecânico, como o botão de emergência foi utilizada uma filtragem de 12 ms.

Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Filtragem	Laço	Run/Stop	Evento
☐	%I0.0	BOT_EMERGÊNCIA	Filtragem	12 ms		☐	
☐	%I0.1	MON_P1_PRESSOSTATO	Filtragem	12 ms		☐	
☐	%I0.2	MON_LIVRE_1	Filtragem	3 ms		☐	
☐	%I0.3	MON_LIVRE_2	Filtragem	3 ms		☐	
☑	%I0.4	MON_S1_BÁSCULA_RECUADA	Filtragem, Lógica do usuário	3 ms		☐	
☑	%I0.5	MON_S2_BÁSCULA_AVANÇADA	Filtragem, Lógica do usuário	3 ms		☐	
☑	%I0.6	MON_S3_TRANSLAÇÃO_RECUA	Filtragem, Lógica do usuário	3 ms		☐	
☐	%I0.7	MON_FICHA_E_25P_1	Filtragem	12 ms		☐	
☐	%I0.8	MON_FICHA_S_25P	Filtragem	12 ms		☐	

Figura 4.9 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 1

Saídas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Alarme de status	Valor de fallback	Comentário
☐	%Q0.0	ATU_LIVRE_1		☐	0	
☑	%Q0.1	ATU_Y1_BÁSCULA_RECUA	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.2	ATU_Y2_BÁSCULA_AVANÇA	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.3	ATU_Y3_TRANSLAÇÃO_AVANÇA	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.4	ATU_Y4_TRANSLAÇÃO_RECUA	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.5	ATU_Y5_ROTAÇÃO_PARA_HORIZONTAL	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.6	ATU_Y6_ROTAÇÃO_PARA_VERTICAL	Lógica do usuári	☐	0	

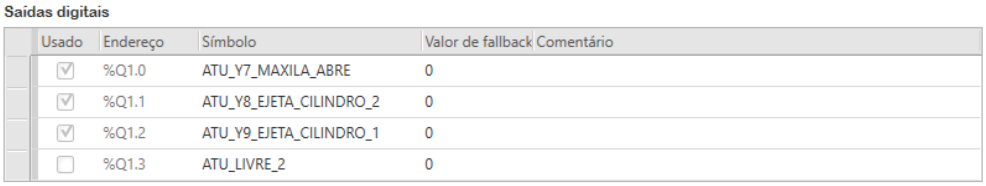
Figura 4.10 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 1



Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Comentário
☑	%I1.0	MON_S4_TRANSLAÇÃO_AVANÇADA	
☑	%I1.1	MON_S5_ROTAÇÃO_NA_HORIZONTAL	
☑	%I1.2	MON_S6_ROTAÇÃO_NA_VERTICAL	
☐	%I1.3	MON_S7_MAXILA_FECHADA	

Figura 4.11 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 1



Saídas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Valor de fallback	Comentário
☑	%Q1.0	ATU_Y7_MAXILA_ABRE	0	
☑	%Q1.1	ATU_Y8_EJETA_CILINDRO_2	0	
☑	%Q1.2	ATU_Y9_EJETA_CILINDRO_1	0	
☐	%Q1.3	ATU_LIVRE_2	0	

Figura 4.12 – Configuração das saídas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 1



Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Comentário
☑	%I2.0	MON_S8_MAXILA_ABERTA	
☑	%I2.1	MON_S9_DETETA_MATERIAL_VEIO_1	
☑	%I2.2	MON_S10_DETETA_MATERIAL_VEIO_2	
☑	%I2.3	MON_S11_DETETA_MATERIAL_VEIO_3	
☑	%I2.4	MON_S12_DETETA_INTRUSÃO	
☐	%I2.5	MON_S13_DETETA_MATERIAL_NA_SAÍDA	
☐	%I2.6	MON_LIVRE_3	
☐	%I2.7	MON_FICHA_E_25P_2	

Figura 4.13 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DI8G do *Display* 1

O *Grafcet* utilizado na programação do *Display* 1, encontra-se visível na Figura 4.14. De acordo com a especificação descrita no subcapítulo anterior, foi desenvolvido este *Grafcet*. As etapas têm associadas as ações que se executam.

Uma vez que o documento ficaria demasiado extenso, e tendo em conta que no subcapítulo do *Display* 3 a programação foi explicada detalhadamente, aqui não iremos explicar a programação *Ladder*.

Tal e qual como é explicado no subcapítulo do *Display* 3, no que toca à comunicação entre o PLC e a HMI, foi feito exatamente da mesma maneira. Todos os *Display's* utilizaram o mesmo tipo de comunicação para fazerem a comunicação entre o PLC e a HMI. As portas de comunicação de todos os *Display's* foram configuradas de acordo com a Figura 4.37.

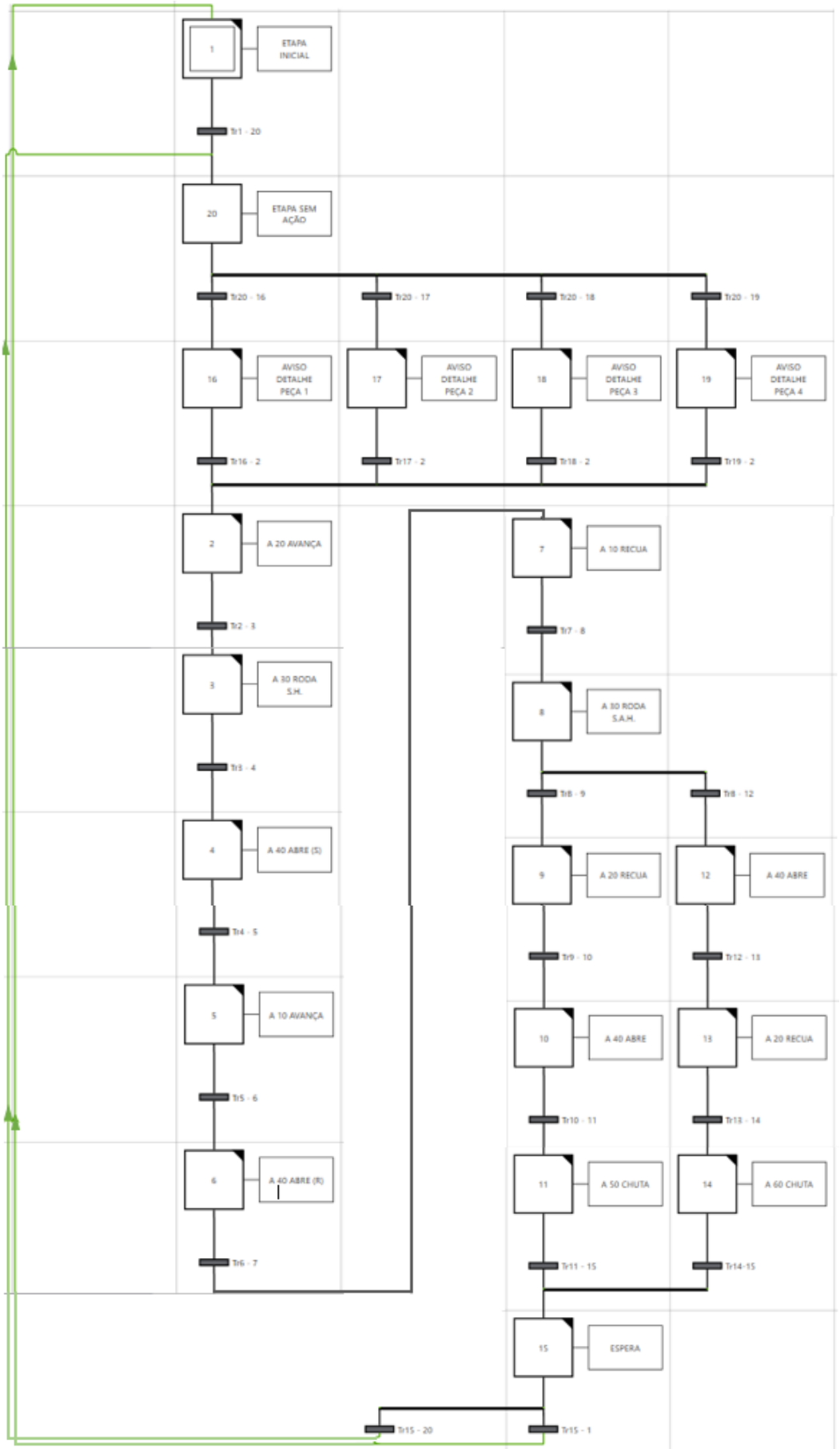


Figura 4.14 – *Grafcet* do *Display* 1

4.2 Display 2 – Movimentação de porta de acesso

Visão global do *Display* 2:

O Display 2 é um sistema automático de demonstração da movimentação de um portão de acesso que pode ser utilizado simultaneamente por meios de transporte internos, como empilhadores, mas também por pessoas.

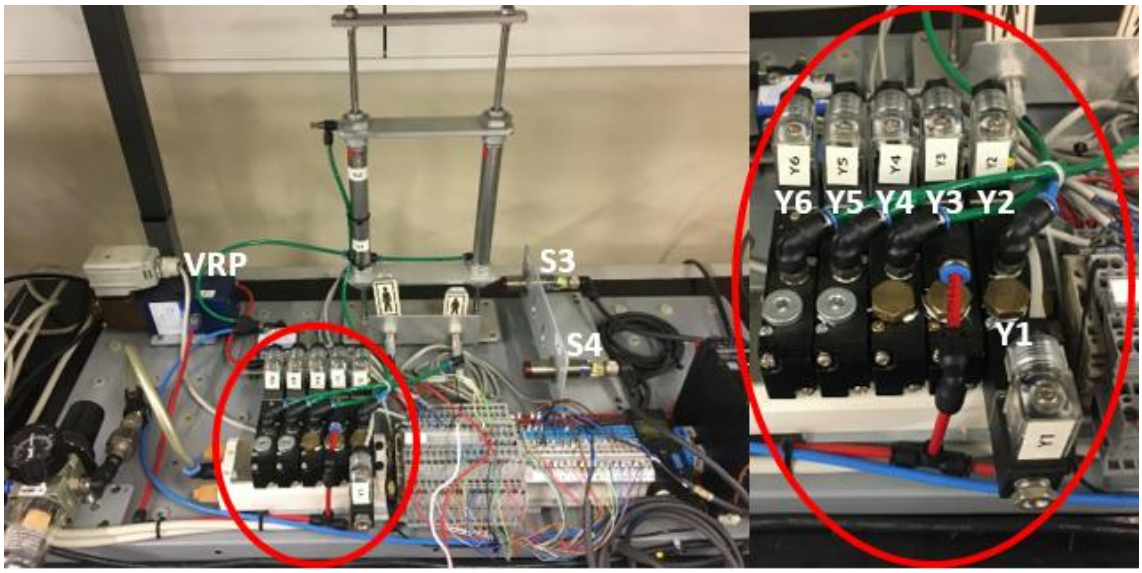


Figura 4.15 – Display 2 de demonstração de porta de acesso automático

Uma vez que é utilizado tanto por meios de transporte como por pessoas, destacam-se neste modelo de demonstração algumas preocupações de segurança.

A utilização por pessoas é simulada com a inclusão movimentada automaticamente de 2 pequenos manequins com silhuetas de alturas diferentes, representando operadores do equipamento.

Os manequins, conforme o tipo de manequim selecionado numa ordem de fabrico, irá ser movido desde uma zona exterior para uma zona interior, um número de vezes igual ao número de operações selecionadas na ordem de fabrico em causa, sendo que para isso tem que ser aberta uma porta elevatória automática.

Depois de aberta, a porta tem que ser fechada, existindo sempre a necessidade de garantir a segurança associada ao movimento de descida da porta. Caso exista alguma falha no movimento de recuo de qualquer um dos operadores, estes podem ser atingidos pela porta durante o movimento de descida, o que lhes poderia causar algum tipo de dano. Para precaver esse problema, durante o movimento de descida da porta, é utilizada uma pressão reduzida, para diminuir a força no atuador responsável por esse movimento e garantir segurança. Caso este movimento não seja efetuado no tempo de valor predefinido, para que a porta esteja totalmente fechada, significa que o operador foi atingido, e esta deverá abrir imediatamente para evitar danos no operador e assim realizar uma função importante de segurança.

Existem ainda dois detetores, representados na figura como S3 e S4, que estão posicionados, um no espaço interior da porta, e outro no espaço exterior. Estes têm como função permitir abrir a porta, quer do lado interior, quer do lado exterior, nomeadamente pela proximidade de um meio de transporte. No entanto, neste caso apenas se encontraram ativos caso não exista qualquer ordem de fabrico em curso que dê prioridade de utilização por parte dos operadores.

Um processo de funcionamento automático deste equipamento pode, assim, estar associado a uma ordem de fabrico, que é enviada pelo dispositivo supervisor do processo onde constará o operador que será utilizado, e qual, o número de ciclos que irão ser realizados.

Assim, o funcionamento deste processo produtivo, uma vez definida, recebida e validada uma ordem de fabrico, será o seguinte:

1) Verificar o equipamento: sendo este um equipamento eletropneumático a sua ativação corresponde à ativação da alimentação de ar comprimido e da verificação de que essa alimentação atingiu o nível correto de pressão. Após um tempo de espera, o pressostato (P1) deverá confirmar a efetiva alimentação do ar.
2) Abertura da porta: Independentemente do tipo de operador que é envolvido, primeiro é necessário abrir a porta, tendo que atuar os atuadores de duplo efeito A41 e A42 na direção indicada na Figura 4.16, para que isso aconteça. Estes dois atuadores são de haste simétrica e o seu movimento é realizado por movimentação do corpo e não da haste, que se encontra fixa.
   A porta quando uma vez fechada, é mantida travada por razões de segurança. Para que seja possível subir a porta é necessário destravá-la. O comando do movimento de travar e destravar a porta, é feito através de uma eletroválvula biestável, V6. Assim, para destravar a porta deve ser dado um comando instantâneo de atuação ao solenóide Y1.
   Depois de a porta estar destravada, ela pode subir. O comando do movimento de subida é feito através da eletroválvula monoestável V4, o que obriga a ativar o solenóide Y4 até que o detetor S1 fique ativo, que nos indica que a porta se encontra totalmente aberta.

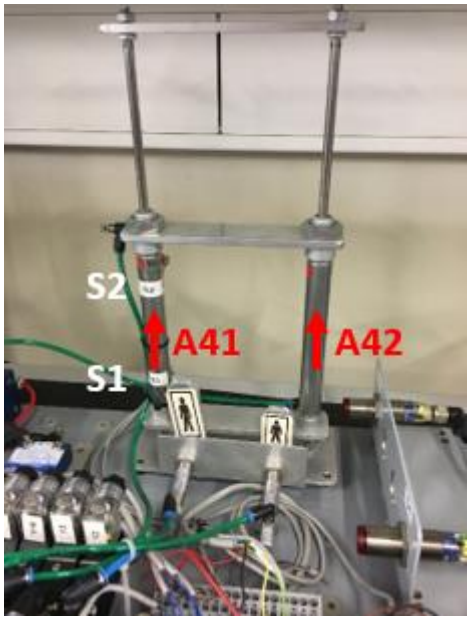


Figura 4.16 – *Display* 2, onde estão representados o atuador A41 e A42, bem como os detetores S1 e S2

3) Movimento do operador: Quando a porta se encontrar devidamente aberta, o operador pode então avançar.
   O operador de maior altura é simulado pelo movimento do atuador A2, que é comandado pela eletroválvula monoestável V2, tendo que se atuar o solenoide Y6.
   A movimentação do operador de menor altura, é feita pelo atuador A3, que é comandado pela eletroválvula monoestável V3, tendo que se atuar o solenoide Y5.
   Depois de estar avançado durante cerca de 4 segundos, o operador volta para a sua posição original.

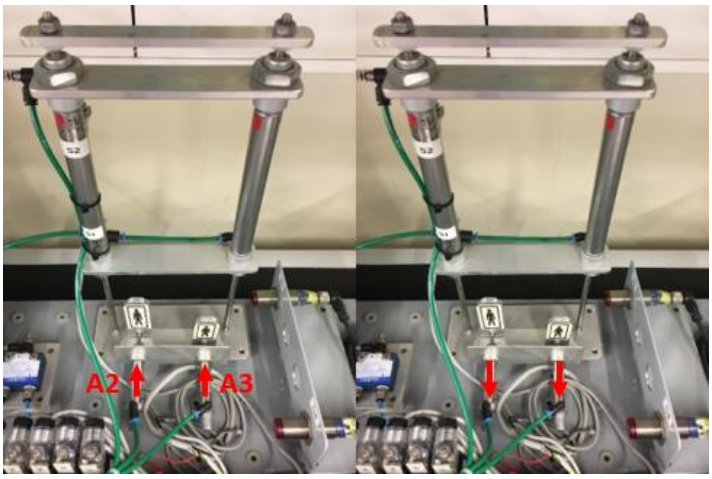


Figura 4.17 – Movimentação dos operadores

4) Fecho da porta: Depois do operador ter recuado totalmente, a porta deve fechar. Para que a porta feche, os atuadores de duplo efeito A41 e A42 têm de ser atuados na direção indicada na Figura 4.18. Esse movimento da porta é comando pela eletroválvula monoestável V5, e para se realizar tem de se ativar, e manter ativo, o solenoide Y3, até que o detetor S2 se ative.
   Depois de devidamente fechada, a porta deverá ser travada. Tal como foi referido anteriormente, a eletroválvula biestável V6 é que comanda o movimento de travar e destravar a porta. Assim sendo, para travar a porta o solenóide Y2 tem que sofrer um impulso.



Figura 4.18 – *Display* 2, onde estão representados os movimentos pretendidos para o atuador A41 e A42

5) Repetição ou finalização do processo produtivo: Se o número de operadores que se pretende movimentar na ordem de fabrico em curso ainda não tenha sido atingido, repete-se novamente toda a sequência. Caso o número de manequins que se pretende movimentar na ordem de fabrico em curso seja atingido, finaliza-se o processo produtivo.

Programação do PLC *Display* 2

O controlador utilizado neste *Display*, foi um *Schneider*®, modelo TM221CE16R, com um módulo TM3AQ2, de saídas analógicas. Este PLC tem de ser programado por um *software* específico da própria marca, o *SoMachine Basic*®. Na programação deste dispositivo, foi utilizada a programação em *Grafcet* e em linguagem *Ladder*.

Inicialmente foi declarado no *software* o controlador utilizado e os módulos acoplados, e de seguida criaram-se e configuraram-se as variáveis de interface com o hardware da máquina. Nas figuras seguintes são visíveis as variáveis utilizadas quer no PLC, quer no módulo acoplado. Todas as variáveis que começam por MON, que significa monitorização, estão associadas a variáveis digitais de entrada, já as variáveis que começam por ATU, que significa atuação, estão associadas a variáveis digitais de saída. As variáveis MON_LIVRE, significam variáveis de monitorização que não estão a ser utilizadas. Do mesmo modo, ATU_LIVRE identifica-se com variáveis de atuação que não estão a ser utilizadas.

Com base na especificação feita, atribuíram-se nomes às variáveis. Para se compreender mais facilmente a válvula que terá de ser atuada para que o movimento pretendido seja realizado, o nome das atuações é composto pelo solenóide associado. Relativamente à filtragem utilizada nas variáveis de entradas digitais, para detetores vulgares, utilizou-se uma filtragem de 3ms, mas para detetores de contacto mecânico, como o botão de emergência foi utilizada uma filtragem de 12 ms.

Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Filtragem	L	Run/Stop	E	Prioridad	Sub-rotina	Comentário
☐	%I0.0	BOT_EMERGÊNCIA	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.1	MON_S3_DETETOR_PORTA_EXTERIOR	Filtragem	3 ms		☐				
☐	%I0.2	MON_S4_DETETOR_PORTA_INTERIOR	Filtragem	3 ms		☐				
☐	%I0.3	MON_LIVRE_1	Filtragem	3 ms		☐				
☑	%I0.4	MON_S2_PORTA_ABERTA	Filtragem, L	3 ms		☐				
☑	%I0.5	MON_S1_PORTA_FECHADA	Filtragem, L	3 ms		☐				
☐	%I0.6	MON_P1_PRESSOSTATO	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.7	MON_FICHA_E_25P	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.8	MON_FICHA_S_25P	Filtragem	12 ms		☐				

Figura 4.19 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 2

Saídas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Alarme de status	Valor de fallback	Comentário
☐	%Q0.0	BUZ_BUZZER		☐	0	
☑	%Q0.1	ATU_Y1_PORTA_DESCE	Lógica do usuário	☐	0	
☐	%Q0.2	ATU_Y2_PORTA_DESCE_E_TRANCA		☐	0	
☑	%Q0.3	ATU_Y3_PORTA_DESTRANCA	Lógica do usuário	☐	0	
☑	%Q0.4	ATU_Y4_PORTA_SOBE	Lógica do usuário	☐	0	
☑	%Q0.5	ATU_Y5_CRIANÇA_AVANÇA	Lógica do usuário	☐	0	
☑	%Q0.6	ATU_Y6_ADULTO_AVANÇA	Lógica do usuário	☐	0	

Figura 4.20 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 2

Saídas analógicas

Usado	Endereço	Símbolo	Tipo	Escopo	Mín	Máx	Valor de fallback	Unidades	Comentário
☑	%QW1.0	ATU_VRP_REGULA_PRESSÃO_PORTA_FEC	0 - 10 V	Normal	0	10	0		
☐	%QW1.1		Não usa...	Não usado	0	0	0		

Figura 4.21 – Configuração das saídas analógicas do módulo TM3AQ2 do *Display* 2

O *Grafcet* utilizado na programação do *Display* 2, encontra-se visível na Figura 4.22. De acordo com a especificação descrita no subcapítulo anterior, foi desenvolvido este *Grafcet*. As etapas têm associadas as ações que se executam.

Tal como foi referido no *Display* 1, se neste *Display* fosse explicada a programação *Ladder*, detalhadamente, o documento ficaria demasiado extenso. Assim sendo, e tendo em conta que no subcapítulo do *Display* 3, a programação *Ladder* foi explicada detalhadamente, aqui não iremos explicar a programação.

Tal e qual como é explicado no subcapítulo do *Display* 3, no que toca à comunicação entre o PLC e a HMI, foi feito exatamente da mesma maneira. Todos os *Display's* utilizaram o

mesmo tipo de comunicação para fazerem a comunicação entre o PLC e a HMI. As portas de comunicação de todos os *Display's* foram configuradas de acordo com a Figura 4.37.

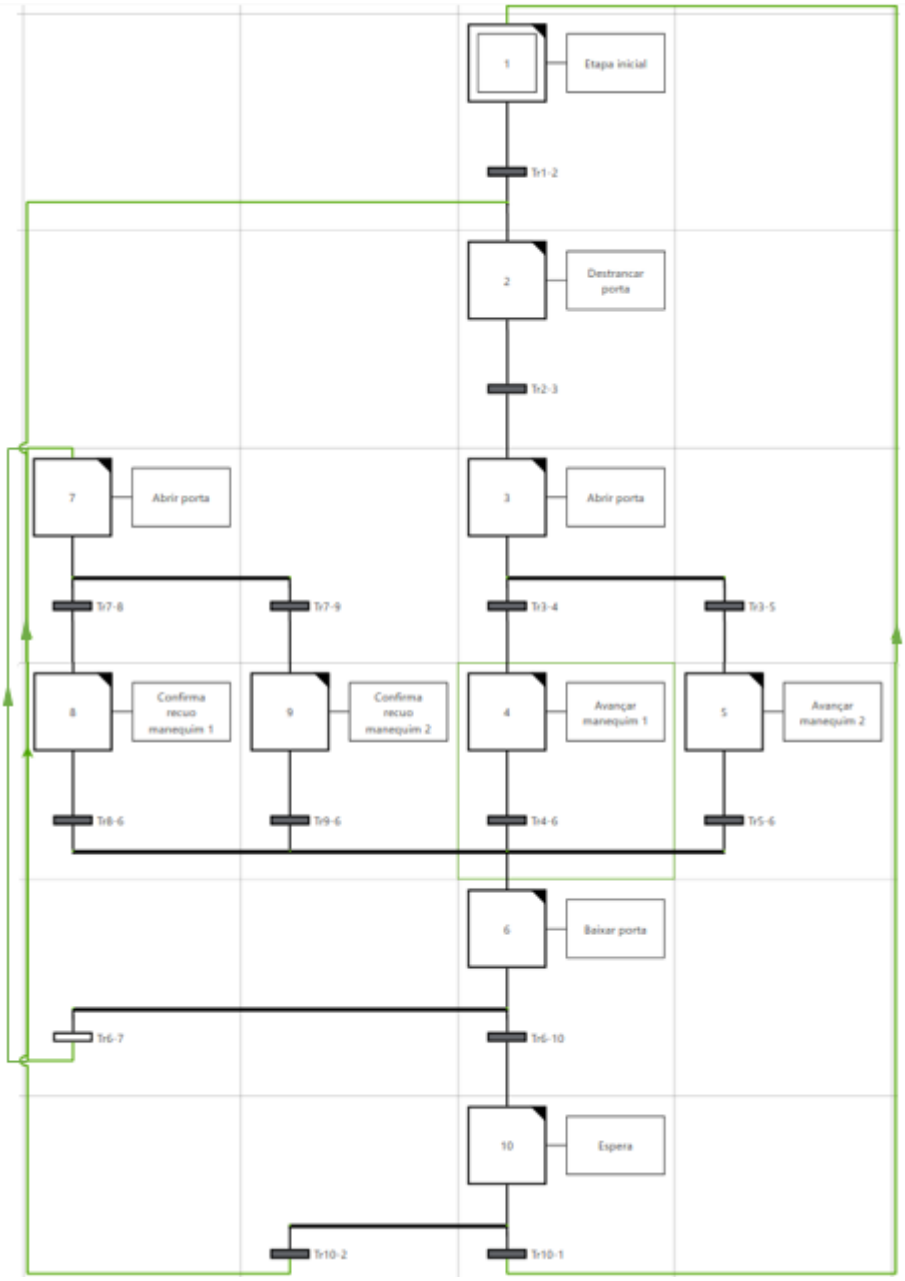


Figura 4.22 – *Grafcet* do *Display* 2

4.3 Display 3 – Manipulação de tubos

O *Display 3* é, tal como os anteriores, um equipamento eletropneumático que pretende realizar uma tarefa do tipo produtivo. Neste caso trata-se da manipulação de umas peças tubulares que se encontram disponíveis num armazém vertical. A preensão dessas peças é feita pelo seu diâmetro interior através de uma garra pneumática com dois dedos.

Uma vez removida a peça do armazém ela é deslocada com um movimento linear, seguido de um movimento de rotação, até uma posição onde ela pode ser ejetada através de um sopro para uma posição final de inserção num recipiente, sendo este processo de alguma aleatoriedade de comportamento.

Esta aleatoriedade de comportamento é o mote para uma avaliação do sucesso, ou não, da operação produtiva, que é alvo de uma avaliação de qualidade.

Para desenvolver uma solução automática interessante, começou-se por fazer uma avaliação e interpretação do modelo que foi fornecido, de modo a ser possível especificar, os padrões de movimentos pretendidos para o *Display*.

De seguida procedeu-se à programação do PLC respetivo, que controla o módulo e, por último, programou-se a HMI associada ao controlador.

Visão global do *Display* 3

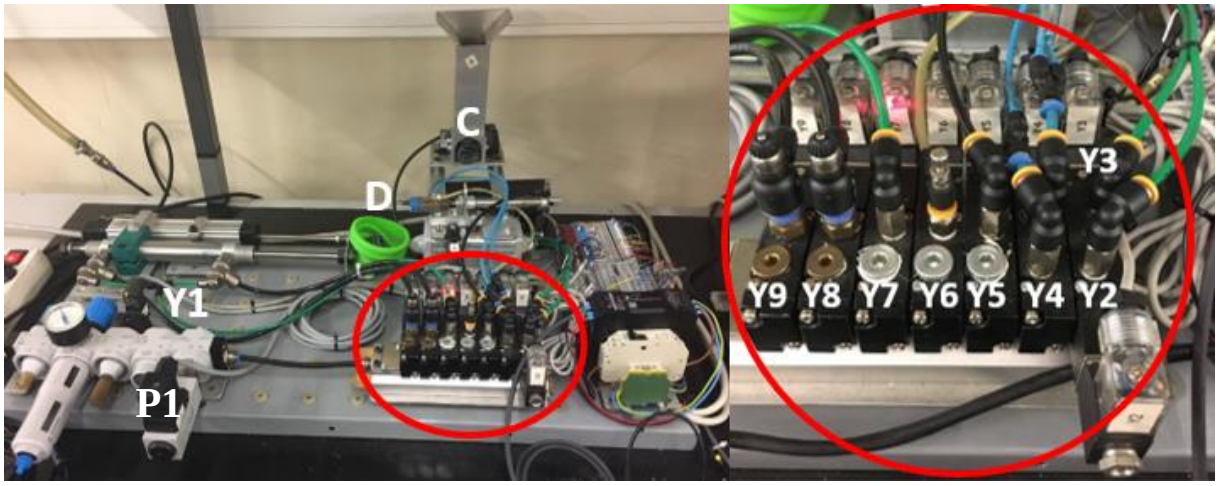


Figura 4.23 – *Display* 3, com a zona de carga (C) e a de descarga (D), bem como os solenóides, de Y1 a Y9.

Este sistema automático de demonstração tem capacidade para movimentar tubos, desde uma zona de carga (C) no armazém vertical, até uma zona de descarga (D) à qual está associado um recipiente de recolha dessas peças, como representado na Figura 4.23.

A localização do recipiente de receção dos tubos na zona de descarga, pode ter várias posições pré-definidas. Sendo assim, o objetivo central da automatização é transportar cada tubo de C para D, descarregando-o na posição específica em que o recipiente for colocado, através de um sopro pneumático adequado.

Um processo de funcionamento automático deste equipamento pode, assim, constituir uma ordem de fabrico, que é enviada pelo dispositivo supervisor do processo onde constará o número de peças que irão ser transportadas, e qual o tipo de peça que será transportada, que ditará para que localização final essas peças deverão ser transportadas.

Consoante essas informações, o ciclo de movimentos de transporte deverá repetir-se o número de vezes igual ao número de peças e, conforme o tipo de peça, os tubos serão descarregados numa das três posições de descarga previamente definidas.

Assim, o funcionamento deste processo produtivo, uma vez definida, recebida e validada uma ordem de fabrico, será o seguinte:

1) Ativar o equipamento: sendo este equipamento eletropneumático a sua ativação corresponde à ativação da alimentação do ar comprimido e da verificação de que essa alimentação atingiu o nível correto de pressão. A alimentação de ar comprimido é controlada através da eletroválvula monoestável V01, e para que ocorra a alimentação de ar, o solenóide Y1 tem de ser ativado. Após um tempo de espera, o pressostato (P1) deverá confirmar a efetiva alimentação do ar.

2) Pré-posicionamento do recipiente de descarga: Uma vez que o recipiente para onde os tubos serão descarregados (representado a verde na Figura 4.24) é movido por um atuador pneumático, A1, podem ser definidas três posições de localização do recipiente para a descarga. Conforme o tipo de peça selecionada na ordem de fabrico, peça 1, peça 2 ou peça 3, será feita a descarga dos tubos na posição 1, na posição 2 ou na posição 3, respetivamente.
   A movimentação do atuador A1, para cada uma das 3 posições pretendidas, pressupõe que este tenha de ser primeiro desbloqueado, pois possui válvulas de retenção pilotadas de bloqueio, o que é feito ativando o solenóide Y7, que está acoplado à eletroválvula monoestável V1.3, e, de seguida, que o atuador tenha de se deslocar para a posição pretendida, à qual corresponde uma medição através de um transdutor de posição, T1, associado ao atuador.
   O atuador irá deslocar-se para a esquerda, por ativação do solenóide Y8, que está acoplado à eletroválvula monoestável V1.2, ou para a direita, por ativação do solenóide Y9, que está acoplado à eletroválvula monoestável V1.1, em função da relação entre a posição pretendida e da posição atual do atuador, dada pelo valor lido pelo transdutor.
   Este posicionamento deve ser assegurado a menos de um erro de posição que é definido nos parâmetros do processo automático

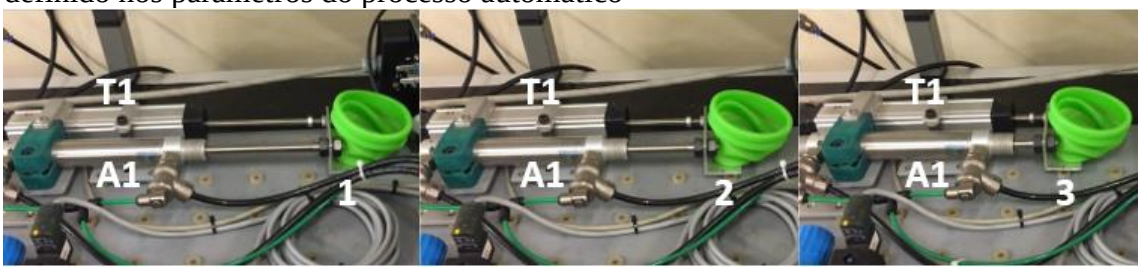


Figura 4.24 – *Display* 3, onde estão representadas as 3 zonas de descarga, bem como o atuador A1 e o transdutor de posição T1

3) Pré-posicionamento inicial para a carga: O atuador A2 é um atuador angular pneumático que tem por função dirigir a garra pneumática ou na direção do posto de carga (C) ou na direção da descarga (D). Tal como representado na Figura 4.25, a orientação na direção da descarga é quando o detetor S1 está ativo. A orientação na direção da carga é quando o detetor S2 está ativo. O comando do movimento deste atuador é feito através da eletroválvula biestável V5, para evitar que na falha de energia de comando o atuador possa realizar um movimento não pretendido. Um impulso no solenóide Y3 permite o movimento na direção da carga, até que o detetor S2 fique ativo, ficando assim a garra pneumática direcionada para o armazém de carga.

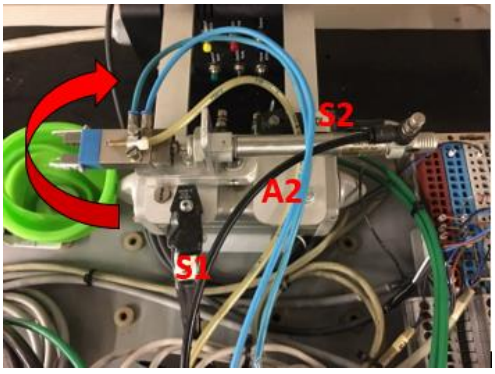


Figura 4.25 – *Display* 3, onde está representado o atuador angular A2, bem como os detetores S1 e S2

4) Alimentação de peça: Para que uma peça possa ser alimentada a partir do armazém, ela deve ter sido previamente identificada pelo detetor S3 que se encontra no armazém. Caso haja uma peça para remover, o atuador A3 deverá avançar, de maneira que o atuador 4 (garra pneumática) entre totalmente no interior do tubo, ou seja, até ao fim de curso do atuador A3, o que obriga a ativar o solenóide Y5, acoplado à eletroválvula monoestável V3.
Quando o atuador A3 estiver totalmente avançado, o que é assumido ocorrer após um tempo decorrido, deve manter-se nessa posição, para se iniciar o avanço do atuador A4 (garra pneumática) para agarrar o tubo pelo seu interior, o que implica a ativação do solenóide Y4, que está acoplado à eletroválvula monoestável V4.

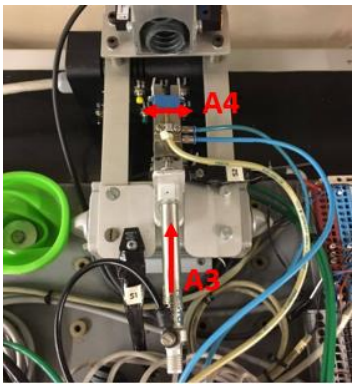


Figura 4.26 – *Display* 3, onde estão representados os atuadores A3 e A4 e movimentos

5) Pré-posicionamento para a descarga: Mantendo o atuador A4 totalmente avançado, para que o tubo não saia da garra durante o transporte, o atuador A3 recua até atingir o detetor de fim de curso, por desativação do solenóide Y5.

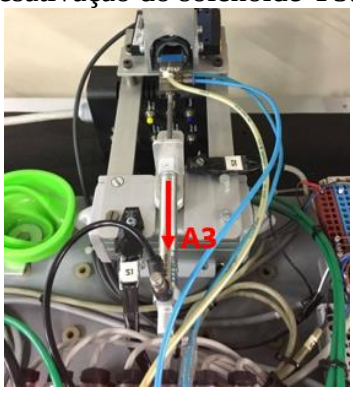


Figura 4.27 – *Display* 3, representado o movimento de recuo do atuador A3

Mantendo o atuador A4 avançado, o atuador A2 é rodado no sentido anti-horário, por ativação impulsional do solenóide Y2. O movimento termina quando o detetor S1 fica ativo.

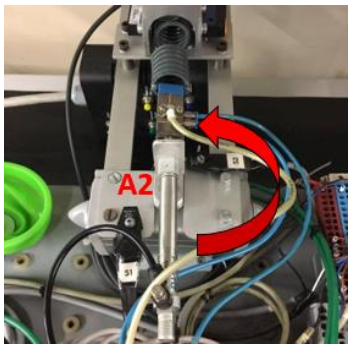


Figura 4.28 – *Display* 3, representado o movimento angular do atuador A2

6) Descarga do tubo: Para se proceder à descarga do tubo o atuador A4 deve fechar, através da desativação do solenóide Y4, e de seguida, em função do tipo de peça e, consequentemente da posição do recipiente, provoca-se um sopro de ar com a intensidade adequada, sendo que para isso se ativa durante um tempo determinado o solenoide Y6, acoplado à eletroválvula monoestável V3.



Figura 4.29 – *Display* 3, representando o ejetor que provoca o sopro de ar, bem como o movimento desejado pelo atuador A4

7) Repetição ou finalização do processo produtivo: O objetivo final é que o tubo seja inserido no recipiente de descarga. Caso o detetor S3 esteja ativo e o número de tubos que se pretende transportar na ordem de fabrico em curso ainda não tenha sido atingido, repete-se novamente toda esta sequência. Caso o detetor S3 não esteja ativado significa que o armazém ficou sem tubos e deve ser recarregado para continuar a executar o transporte.

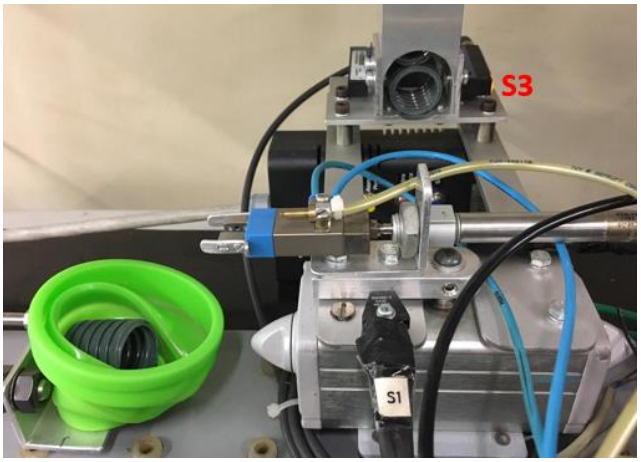


Figura 4.30 – *Display* 3, depois de uma ejeção correta do tubo, e localização do detetor S3

8) Avaliação da qualidade do processo: Uma vez realizado cada ciclo produtivo da máquina o operador é chamado a fazer uma avaliação da qualidade do produto, que será feita através da apreciação da qualidade de ejeção do tubo no recipiente.
Em função dessa avaliação o controlador poderá empreender um ajuste do tempo do sopro de ejeção, de forma automática, ou da relação temporal entre o início do movimento de fecho da garra e a ação de ejeção. O objetivo será sempre ter como objetivo executar um lançamento do tubo perfeito.
Com esta ação inclui-se mais um dos elementos caraterísticos de um ambiente de Indústria 4.0.

Programação do PLC *Display* 3

O controlador utilizado neste *Display*, tal como nos casos anteriores, foi um *Schneider*®, modelo TM221CE16R, neste caso com um módulo de expansão TM3DM8RG. Este PLC tem de ser programado por um software específico da própria marca, o *SoMachine Basic*®. Na programação deste dispositivo, foi utilizada a programação em *Grafcet* e em linguagem *Ladder*.

No entanto antes de começar a fazer o próprio programa de controlo do dispositivo, começou-se por replicar no *software* o controlador e o módulo acoplado, e de seguida criaram-se e configuraram-se as variáveis necessárias. Nas figuras seguintes são visíveis as variáveis utilizadas quer no PLC, quer no módulo acoplado. De notar que existem variáveis de entrada digital e analógica, mas também existem variáveis de saída digital. Todas as variáveis que começam por MON, que significa monitorização, estão associadas a entradas, já as variáveis que começam por ATU, que significa atuação, estão associadas a saídas. As variáveis MON_LIVRE, significam variáveis de monitorização que não estão a ser utilizadas. Do mesmo modo, ATU_LIVRE identifica-se com variáveis de atuação que não estão a ser utilizadas.

Com base na especificação feita, atribuíram-se nomes às variáveis. Para se compreender mais facilmente a válvula que terá de ser atuada para que o movimento pretendido seja realizado, o nome das atuações é composto pela válvula associada. Relativamente à filtragem utilizada nas variáveis de entradas digitais, para detetores vulgares, utilizou-se uma filtragem de 3ms, mas para o botão de emergência foi utilizada uma filtragem de 12 ms.

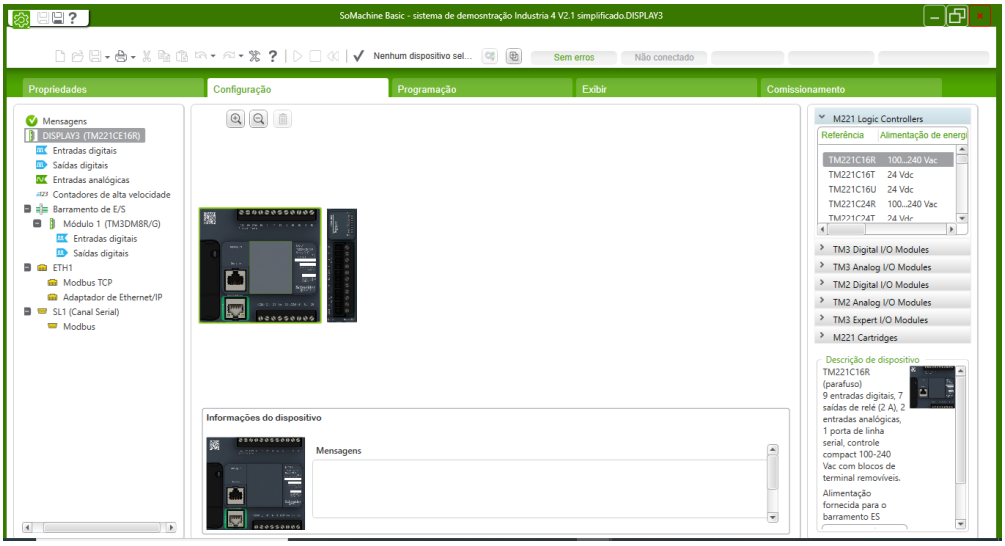


Figura 4.31 – *Software* SoMachine Basic®, com o controlador do *Display* 3 já configurado

Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Filtragem	Run/Stop	Evento	Prioridad	Sub-rotina	Comentário
☐	%I0.0	BOT_EMERGÊNCIA	Filtragem	12 ms	☐				
☐	%I0.1	MON_P1_PRESSOSTATO	Filtragem	12 ms	☐				
☐	%I0.2	MON_LIVRE_1	Filtragem	3 ms	☐				
☐	%I0.3	MON_LIVRE_2	Filtragem	3 ms	☐				
☑	%I0.4	MON_S1_ROTAÇÃO_NO_ARMAZÉM	Filtragem	3 ms	☐				
☑	%I0.5	MON_S2_ROTAÇÃO_NO_FUNIL	Filtragem	3 ms	☐				
☑	%I0.6	MON_S3_TUBOS_NO_ARMAZÉM	Filtragem	3 ms	☐				
☐	%I0.7	MON_FICHA_E_25P	Filtragem	12 ms	☐				
☐	%I0.8	MON_FICHA_S_25P	Filtragem	12 ms	☐				

Figura 4.32 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 3

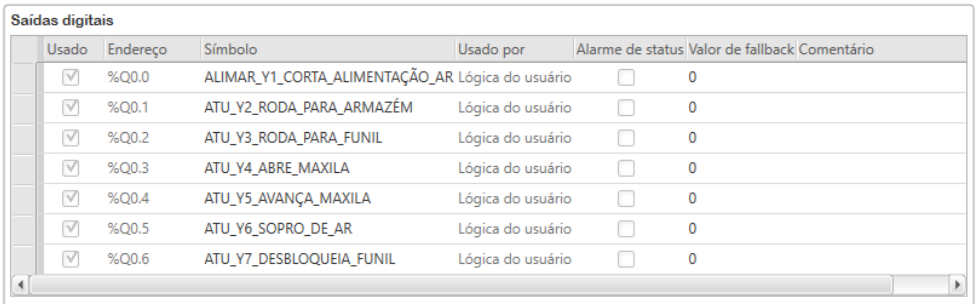


Figura 4.33 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 3

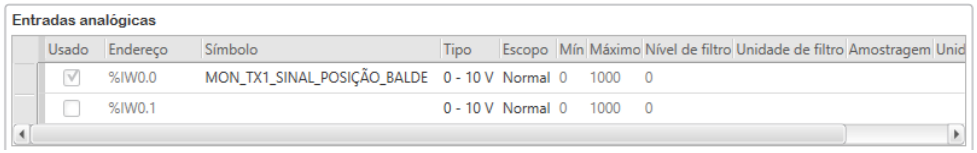


Figura 4.34 – Configuração das entradas analógicas do PLC TM221CE16R do *Display* 3

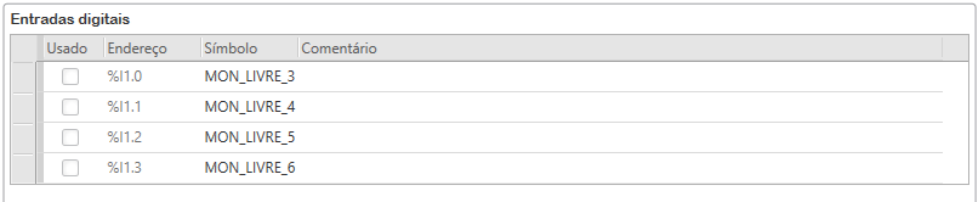


Figura 4.35 – Configuração das entradas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 3

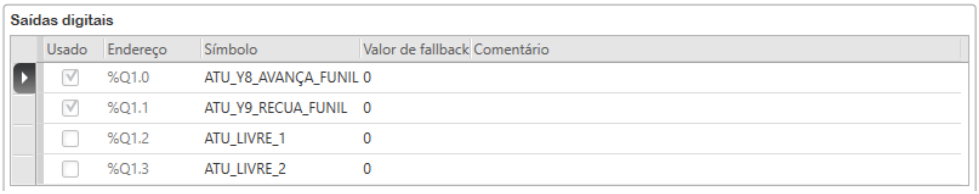


Figura 4.36 – Configuração das saídas digitais do módulo TM3DM8RG do *Display* 3

Relativamente à porta de comunicação utilizada para comunicar com a HMI, visto que o PLC utilizado tem uma porta de comunicação série e outra porta de comunicação *Ethernet*, utilizou-se a porta de comunicação ModBus série. Foi utilizada esta porta por dois motivos, um deles é devido à comunicação com a HMI ser mais simples desta maneira, o outro motivo deve-se ao facto de queremos inserir este modelo numa rede de comunicação com os restantes modelos, sendo necessário utilizar a porta de comunicação Ethernet para o efeito. No que toca às definições do canal de comunicação, foram mantidas as definições predefinidas.

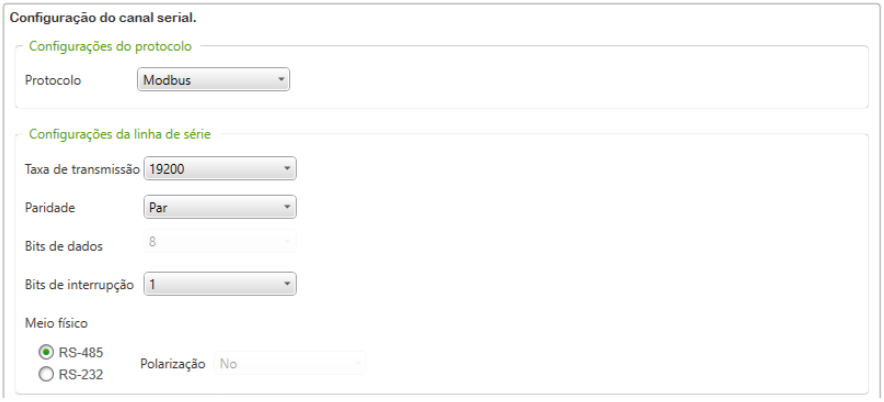


Figura 4.37 – Configuração do canal série do *Display* 3

O *Grafcet* utilizado na programação do *Display* 3, encontra-se visível na Figura 4.38. De acordo com a especificação descrita no subcapítulo anterior, foi desenvolvido este *Grafcet*. As etapas têm associadas as ações que se executam. De seguida vai-se apresentar a programação *Ladder* associada a cada etapa, e qual a função da mesma. De notar que na programação *Ladder*, as atuações não são ativadas diretamente.

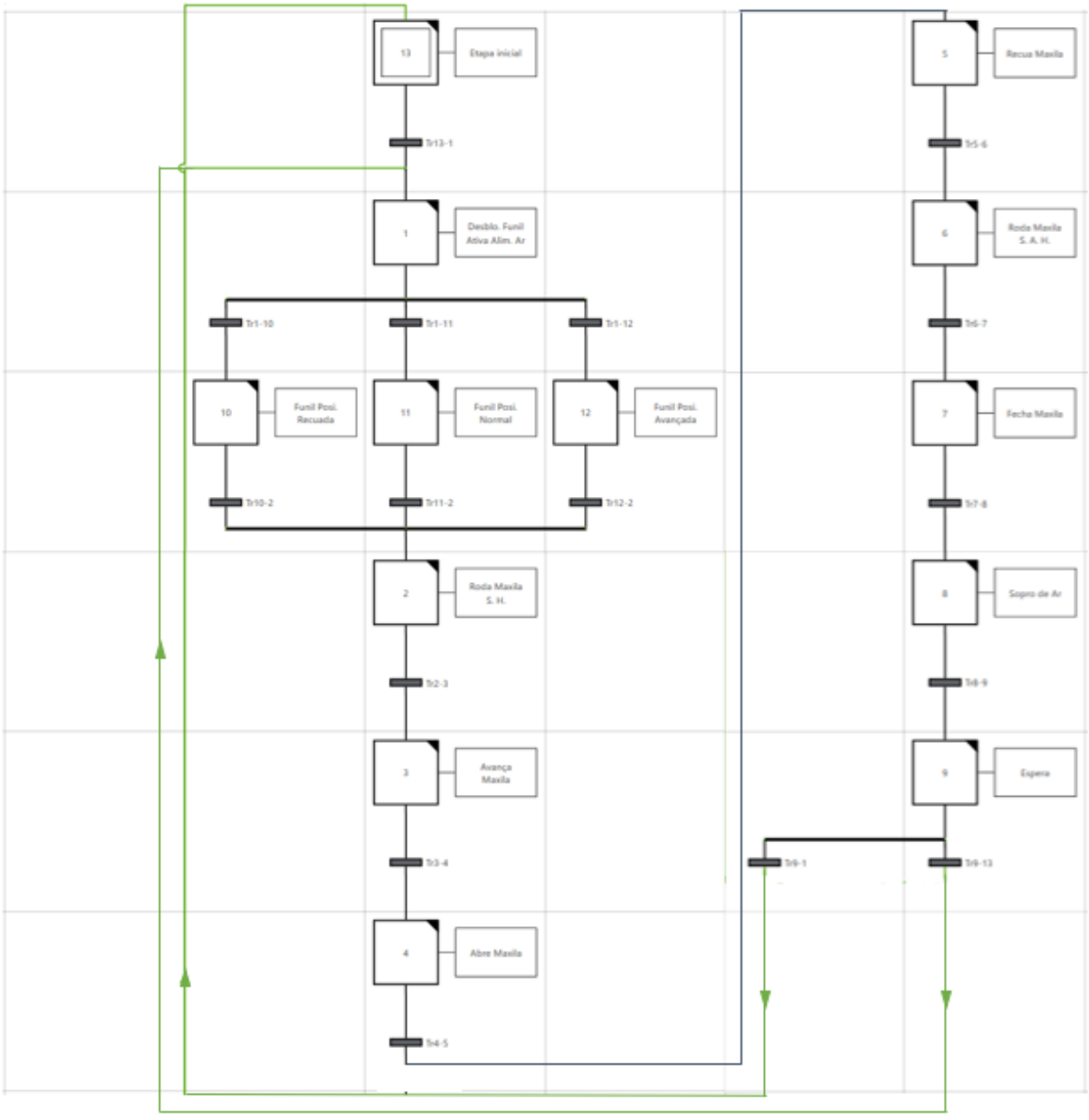


Figura 4.38 – *Grafcet* do *Display* 3

Tarefa Mestre:

Etapa 13: A etapa 13 é a etapa inicial. Quando esta está ativa, caso se aceite a ordem de fabrico que foi lançada, que irá ativar a variável M33, iguala-se o valor do contador de peças, C12 e o valor do número de peças que faltam executar, MW4, ao número de peças lançado na ordem de fabrico. Faz-se ainda *reset* à variável de avaliação de qualidade do ciclo, M25.

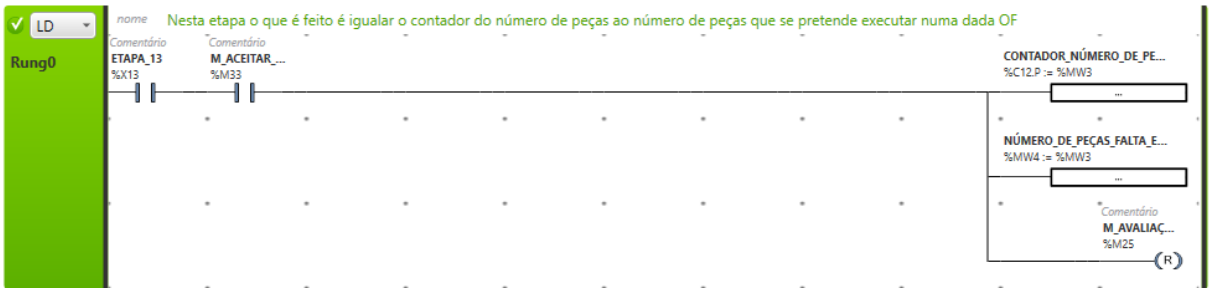


Figura 4.39 – Programação da etapa 13 do *Display* 3

Transição 13-1: A transição da etapa 13 para a etapa 1 ocorre se o valor do tipo de peça, MW2, e do número de peças, MW3, da ordem de fabrico lançada for maior que 0, e quando detetar a transição descendente da variável que ordena o início da execução dessa ordem, M35.

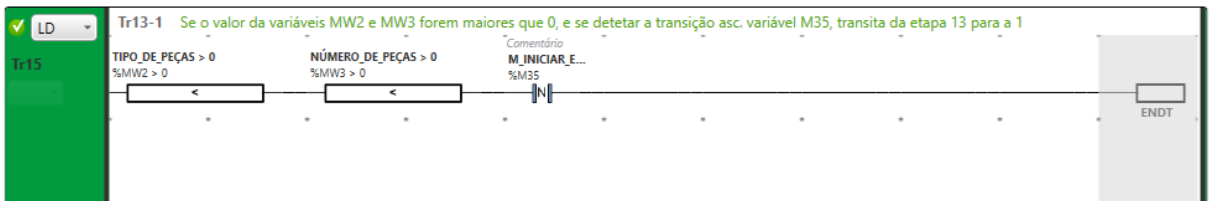


Figura 4.40 – Transição da etapa 13 para a etapa 1 do *Display* 3

Etapa 1: Na etapa 1, o objetivo é ativar a alimentação de ar do circuito e desbloquear o atuador A1, que movimenta o recipiente para onde são lançados os tubos. Para isso têm de ser ativados os solenoides Y1 e Y7, respetivamente. A etapa 1, quando ativada, ativa o temporizador TM6 durante 1s. Este, ao estar ativo, ativa a memória a ele associada, M17, e faz *reset* à variável M25, de avaliação de qualidade. Consequentemente as variáveis de memória das válvulas referidas, M0 e M6, estão ativas durante esse período. Só depois de ativadas as memórias dessas válvulas é que se atuam as válvulas, através do *set* das variáveis Q0.0 e Q0.6. No entanto, a grande utilidade do temporizador TM6 é garantir, através da ativação da memória associada a esse temporizador, M17, que as transições 1-10, 1-11 ou 1-12 ocorrem apenas, e só apenas, da etapa 1 para a etapa 10, 11 ou 12 respetivamente.

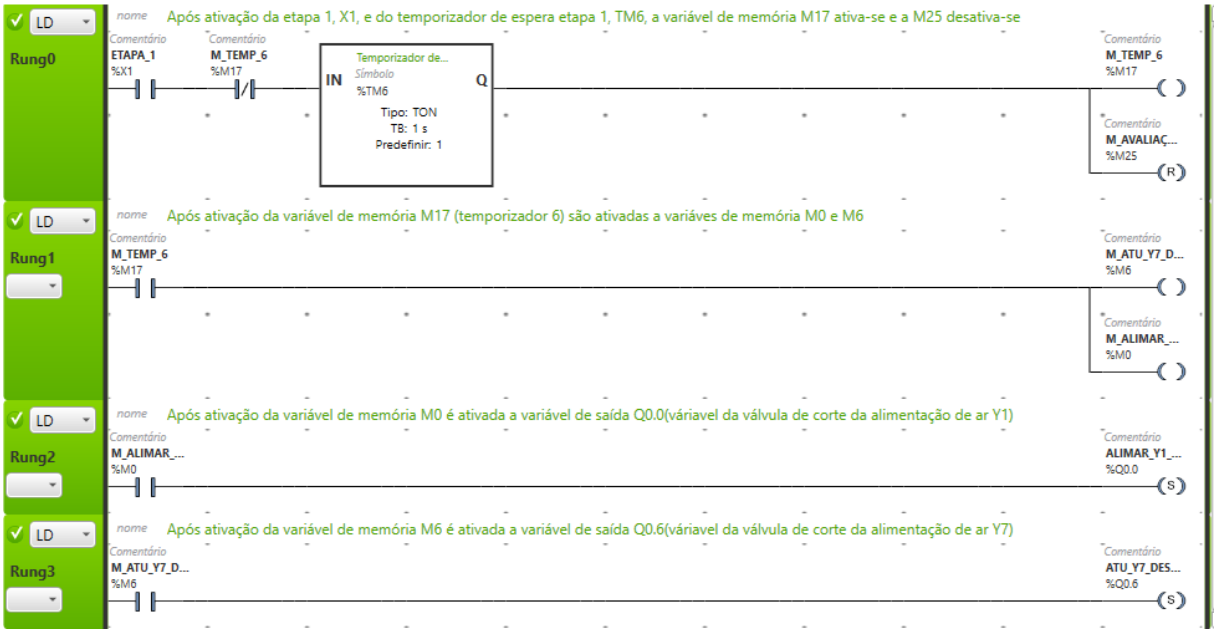


Figura 4.41 – Programação da etapa 1 do *Display* 3

Transição 1-10: A transição da etapa 1 para a etapa 10 ocorre se o detetor S3 estiver ativo, ou seja, se houver tubos no armazém, se o valor do tipo de peça, MW2 for 1, e se a variável de pausar a execução da ordem de fabrico, M36 não estiver ativa. Para esta transição ocorrer, tem ainda de se verificar que a memória, M17, do temporizador TM6, está ativa.

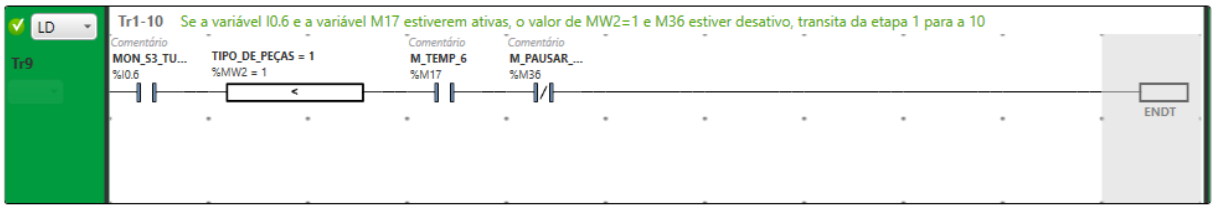


Figura 4.42 – Transição da etapa 1 para a etapa 10 do *Display* 3

Transição 1-11: A transição da etapa 1 para a etapa 11 ocorre se o detetor S3 estiver ativo, se o valor do tipo de peça, MW2 for 2, e se a variável de pausar a execução da ordem de fabrico, M36, não estiver ativa. Para esta transição ocorrer, tem ainda de se verificar que a memória, M17, do temporizador TM6, está ativa.

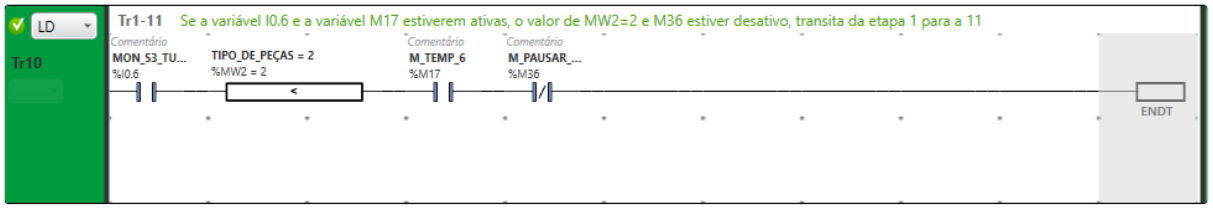


Figura 4.43 – Transição da etapa 1 para a etapa 11 do *Display* 3

Transição 1-12: A transição da etapa 1 para a etapa 12 ocorre se o detetor S3 estiver ativo, se o valor do tipo de peça, MW2 for 3, e se a variável de pausar a execução da ordem de fabrico, M36, não estiver ativa. Para esta transição ocorrer, tem ainda de se verificar que a memória, M17, do temporizador TM6, está ativa.

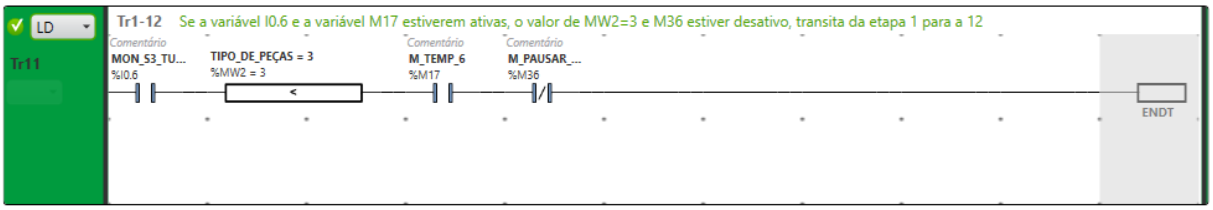


Figura 4.44 – Transição da etapa 1 para a etapa 12 do *Display* 3

Etapa 10: Caso a variável do tipo de peça, MW2, seja 1, deve mover-se o atuador A1, que tem o recipiente acoplado, até que o valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, seja 110. Se o valor de IW0.0 for maior que 110, deve atuar-se o solenoide Y8, ativando Q1.0, de modo que o atuador avance, ou seja movendo o recipiente no sentido direita-esquerda. Contudo, se o valor de IW0.0 for menor que 110, deve atuar-se o solenoide Y9, ativando Q1.1, para que o atuador recue e se movimente no sentido contrário.

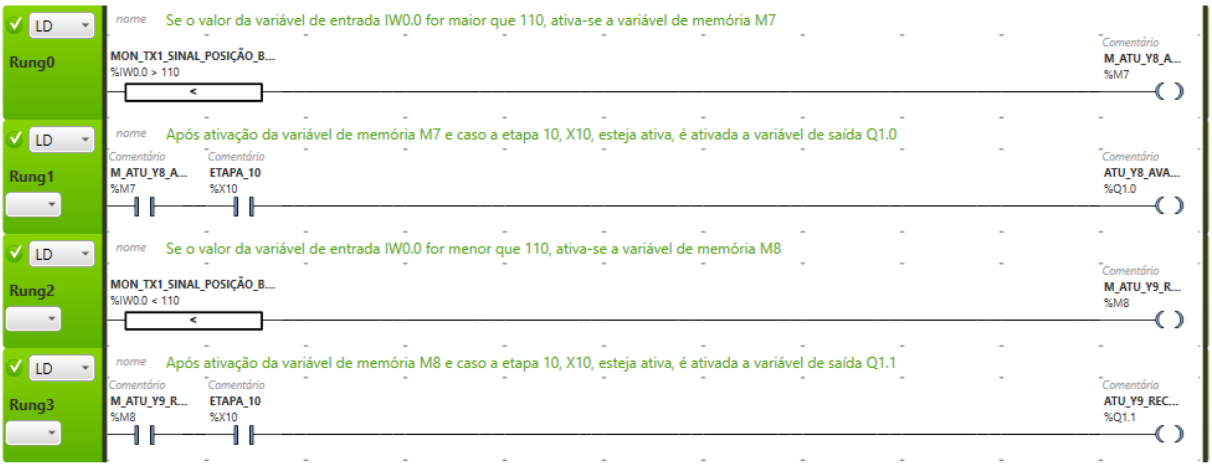


Figura 4.45 – Programação da etapa 10 do *Display* 3

Transição 10-2: A transição da etapa 10 para a etapa 2 ocorre se o valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, for maior que 108 e menor que 112. Embora o valor pretendido seja 110, tendo em conta que o atuador A1 se desloca com uma determinada velocidade, é impossível parar no valor exato, daí esse intervalo para que o atuador seja capaz de parar.

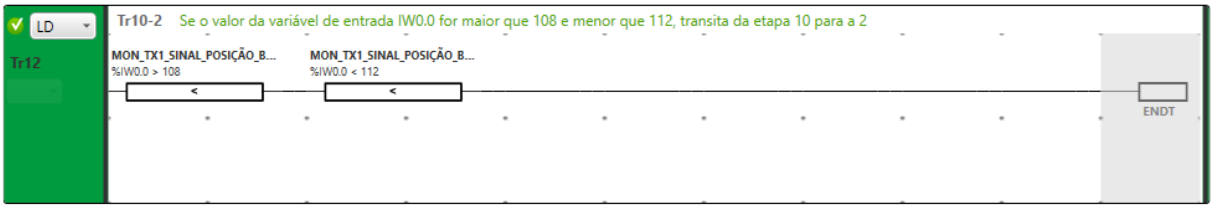


Figura 4.46 – Transição da etapa 10 para a etapa 2 do *Display* 3

Etapa 11: Caso a variável do tipo de peça, MW2, seja 2, deve mover-se o atuador A1, que tem o recipiente acoplado, até que o valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, seja 530. Se o valor de IW0.0 for maior que 530, deve atuar-se o solenoide Y8, ativando Q1.0, de modo que o atuador avance, ou seja movendo o recipiente no sentido direita-esquerda. Contudo, se o valor de IW0.0 for menor que 530, deve atuar-se o solenoide Y9, ativando Q1.1, para que o atuador recue e se movimente no sentido contrário.

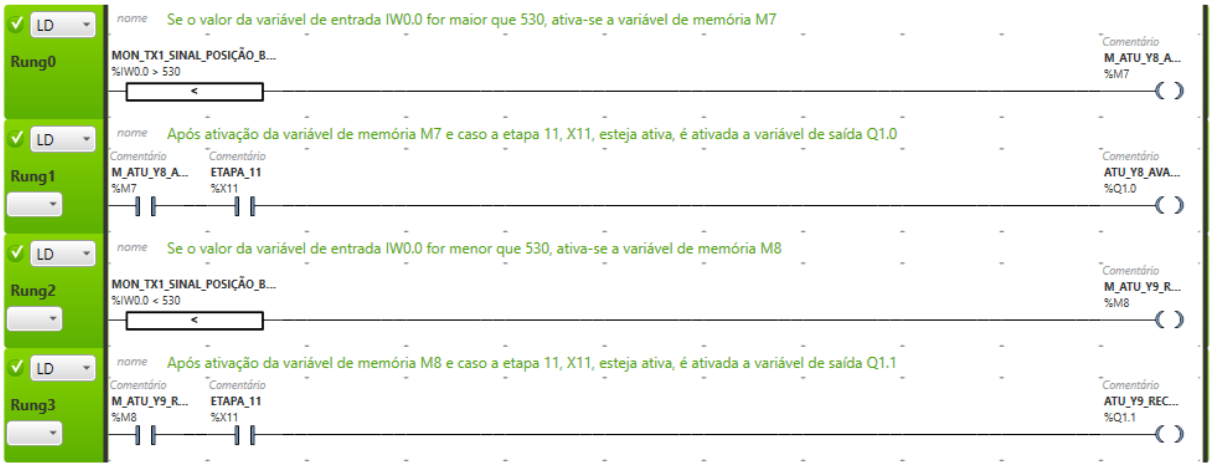


Figura 4.47 – Programação da etapa 11 do *Display* 3

Transição 11-2: A transição da etapa 11 para a etapa 2 ocorre se o. valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, for maior que 528 e menor que 532. Embora o valor pretendido seja 530, tendo em conta que o atuador A1 se desloca com uma determinada velocidade, é impossível parar no valor exato, daí esse intervalo para que o atuador seja capaz de parar.

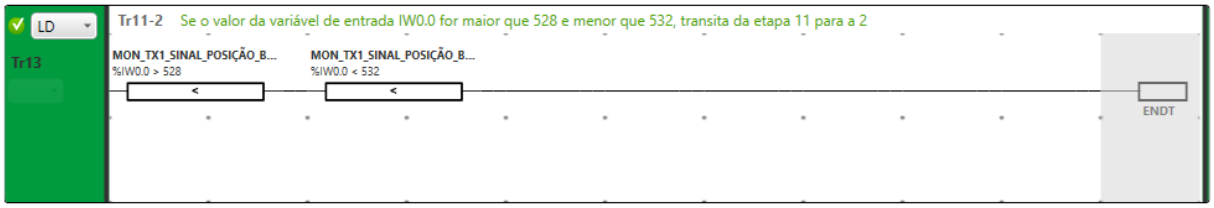


Figura 4.48 – Transição da etapa 11 para a etapa 2 do *Display* 3

Etapa 12: Caso a variável do tipo de peça, MW2, seja 3, deve mover-se o atuador A1, que tem o recipiente acoplado, até que o valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, seja 950. Se o valor de IW0.0 for maior que 950, deve atuar-se o solenoide Y8, ativando Q1.0, de modo que o atuador avance, ou seja movendo o recipiente no sentido direita-esquerda. Contudo, se o valor de IW0.0 for menor que 950, deve atuar-se o solenoide Y9, ativando Q1.1, para que o atuador recue e se movimente no sentido contrário.

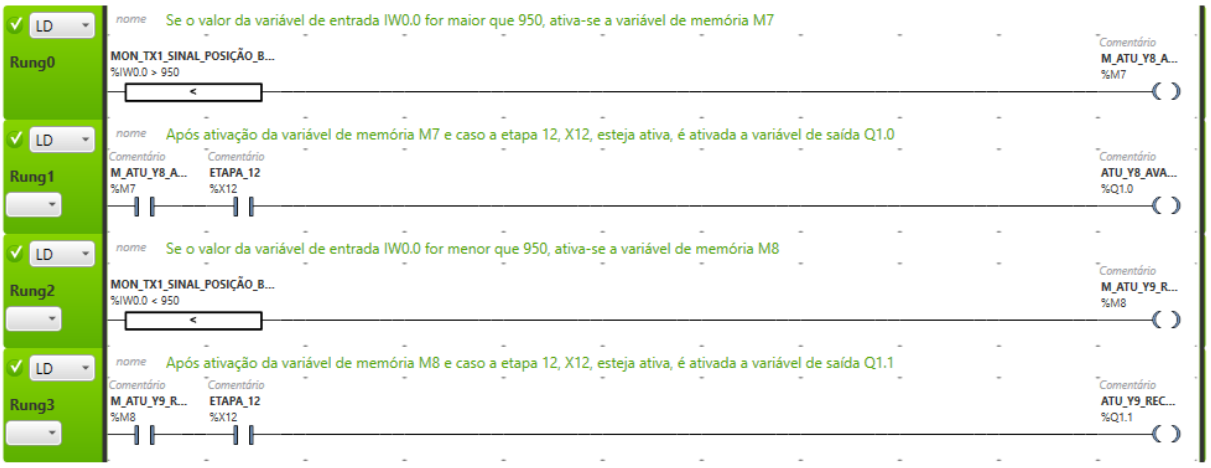


Figura 4.49 – Programação da etapa 12 do *Display* 3

Transição 12-2: A transição da etapa 12 para a etapa 2 ocorre se o. valor indicado pelo transdutor T1, IW0.0, for maior que 938 e menor que 942. Embora o valor pretendido seja 940, tendo em conta que o atuador A1 se desloca com uma determinada velocidade, é impossível parar no valor exato, daí esse intervalo para que o atuador seja capaz de parar.

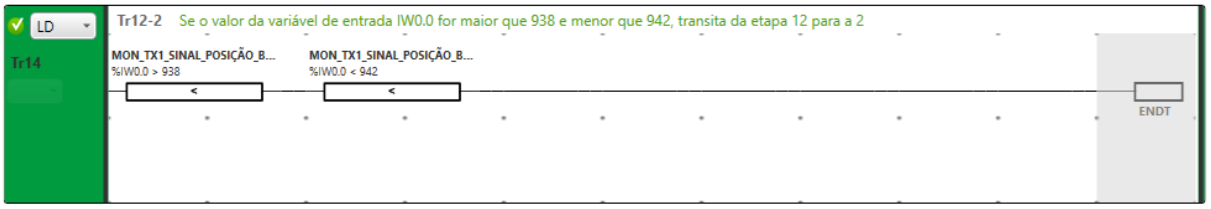


Figura 4.50 – Transição da etapa 12 para a etapa 2 do *Display* 3

Etapa 2: Nesta etapa o objetivo é fazer com que a maxila rode no sentido horário, desde a zona de descarga, o recipiente, até à zona de carga, o armazém, o que obriga ativar o solenoide Y3, para que o atuador A2 rodar. Então, quando esta etapa estiver ativa, faz-se *reset*

às atuações da etapa anterior, Q1.0 e Q1.1, e ativa-se a variável de memória do solenoide Y3, M2. Depois de ativa a memória da válvula é que se ativa a própria válvula, ativando Q0.2.

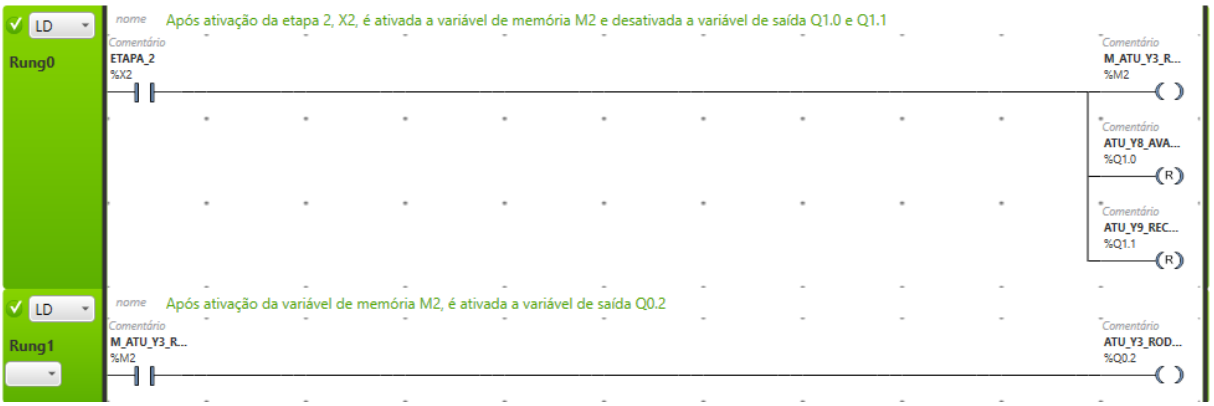


Figura 4.51 – Programação da etapa 2 do *Display* 3

Transição 2-3: Quer o detetor S1, quer o detetor S2, no seu estado normal se encontram ativos. Estes, quando detetam a presença do suporte metálico que suporta os atuadores A3, A4 e o ejetor do sopro de ar, desativam-se. Assim, a transição da etapa 2 para a etapa 3 ocorre quando a variável do detetor S2, I0.5, estiver desativada.

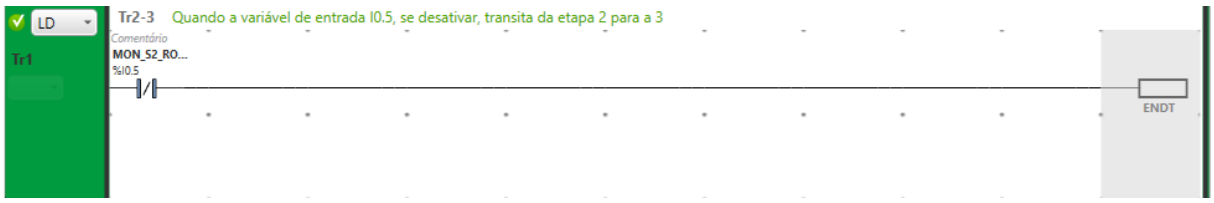


Figura 4.52 – Transição da etapa 2 para a etapa 3 do *Display* 3

Etapa 3: Na etapa 3 o objetivo consiste em avançar o atuador que movimenta a garra, A3, para o que se ativa o solenoide Y5. Após ativada a etapa 3, faz-se *reset* à atuação anterior, Q0.2, e ativa-se a variável de memória do solenoide Y5, M4. Essa variável de memória ativa o temporizador, TM3, que ao iniciar a sua contagem ativa a variável de memória, M14, desse mesmo temporizador. Essa variável quando ativada faz *set* à variável do solenoide Y5, Q0.4. O atuador pneumático A3, sendo de simples efeito e não tendo qualquer tipo de *feedback*, isto é, não tendo nenhum transdutor associado que nos diga a posição em que se encontra. Por isso é que a variável M4 ativa o temporizador de pulso TM3, durante 2 segundos, este temporizador garante que o atuador A3 atinge o seu fim de curso, antes de transitar para a etapa seguinte.

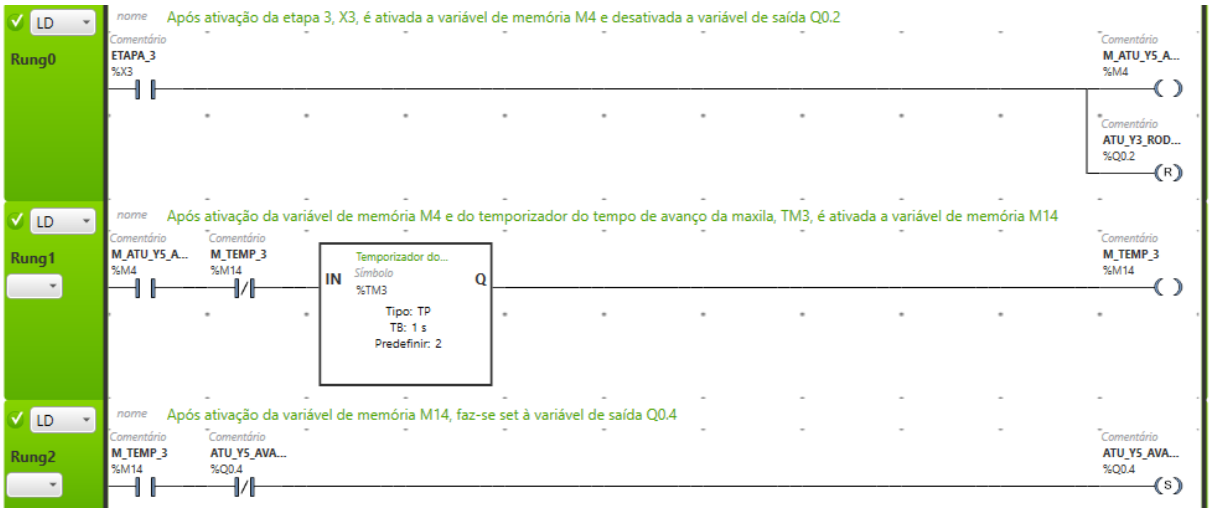


Figura 4.53 – Programação da etapa 3 do *Display* 3

Transição 3-4: Apenas é possível transitar da etapa 3 para a 4, se a atuação do solenoide Y5, Q0.4, estiver ativada e a memória do temporizador TM3, M14, estiver desativada.

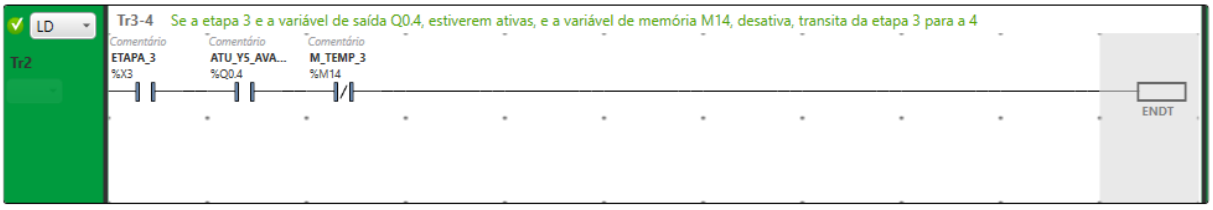


Figura 4.54 – Transição da etapa 3 para a etapa 4 do *Display* 3

Etapa 4: O que se pretende na 4ª etapa, é fazer com que a o atuador de abertura da garra, A4, se abra para agarrar o tubo a transportar. Só ocorre isso se ativar o solenoide Y4. Ativando esta etapa, é ativada a memória do solenoide Y4, M3. Semelhante ao atuador A3, é o atuador A4. É do mesmo género, e também não tem *feedback*. Pelo mesmo motivo é utilizado um temporizador de pulso, TM4. Quando se ativa a variável de memória, M3, ativa o temporizador TM4, que ao iniciar a sua contagem ativa a variável de memória, M15, desse mesmo temporizador. Essa variável quando ativa faz *set* à variável do solenoide Y4, Q0.3.

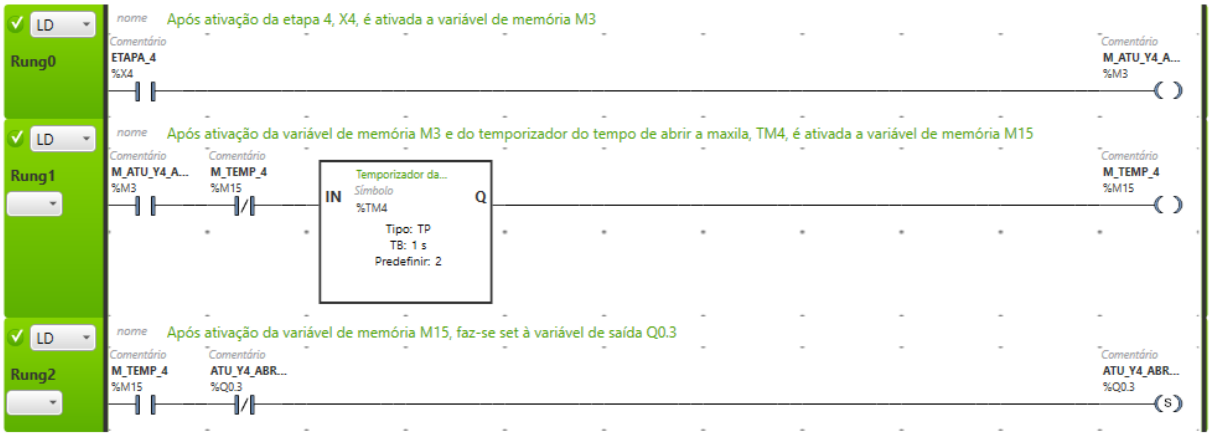


Figura 4.55 – Programação da etapa 4 do *Display* 3

Transição 4-5: Só se transita da etapa 4 para a 5, se a atuação do solenoide Y4, Q0.3, estiver ativa e a memória do temporizador TM4, M15, estiver desativa.

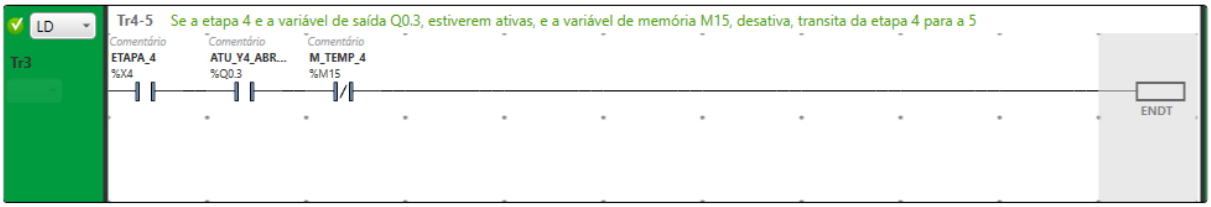


Figura 4.56 – Transição da etapa 4 para a etapa 5 do *Display* 3

Etapa 5: Na 5ª etapa o objetivo consiste em recuar o atuador que fixa a garra, A3. Como tal tem de se desativar o solenoide Y5. O procedimento nesta etapa é muito idêntico ao da etapa 3, em que se fez o avanço deste mesmo atuador. A grande diferença é que em vez de se fazer *set* à válvula Y5, faz-se *reset*. Então, depois de ativa a etapa 5, ativa-se, de igual modo, a variável de memória, M4. Essa variável de memória ativa o temporizador TM5 que, ao iniciar a sua contagem, ativa a variável de memória, M16, desse mesmo temporizador. Essa variável quando ativa faz *reset* à variável do solenoide Y5, Q0.4.

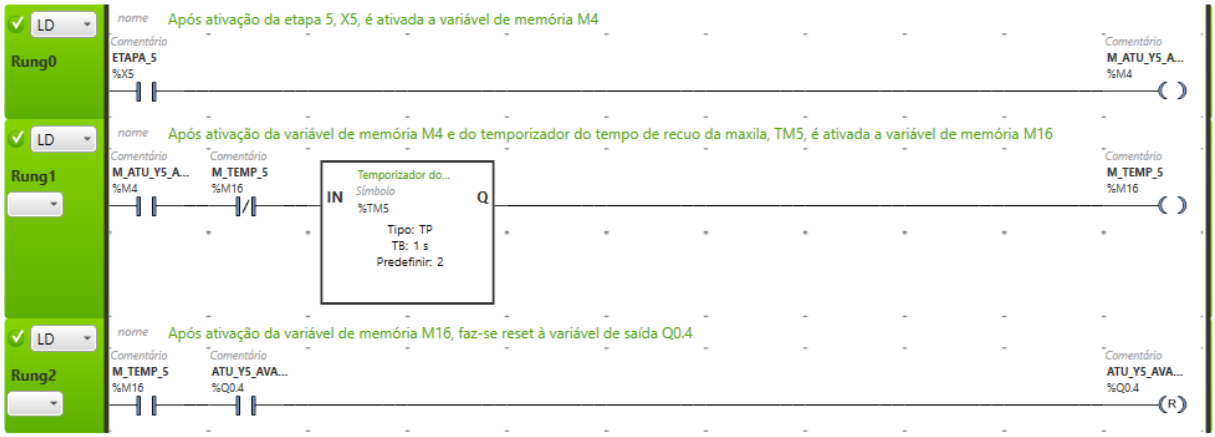


Figura 4.57 – Programação da etapa 5 do *Display* 3

Transição 5-6: Para deixar a etapa 4 e ir para a 5, a atuação do solenoide Y5, Q0.4, e a memória do temporizador TM5, M16, têm de estar desativas.

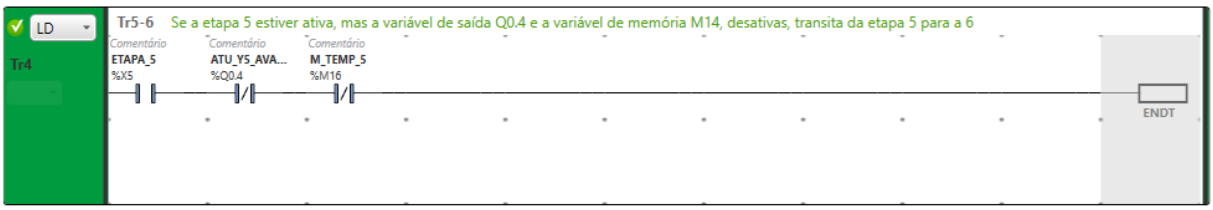


Figura 4.58 – Transição da etapa 5 para a etapa 6 do *Display* 3

Etapa 6: O objetivo da etapa é fazer com que a maxila rode no sentido anti-horário, desde a zona de carga (C), no armazém, até à zona de descarga (D), no recipiente, o que obriga a ativar o solenoide Y2, para que o atuador A2 rode no sentido contrário ao da etapa 2. Assim, com a etapa 6 ativa, ativa-se a variável de memória do solenoide Y2, M1. Depois de ativa a memória da válvula é que se ativa a própria válvula, ativando Q0.1.

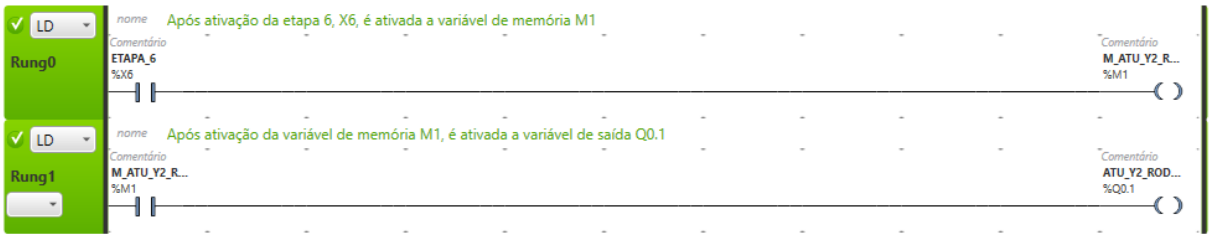


Figura 4.59 – Programação da etapa 6 do *Display* 3

Transição 6-7: Só é possível chegar à etapa 7, a partir da 6, se a variável do detetor S1, I0.4, estiver desativa.

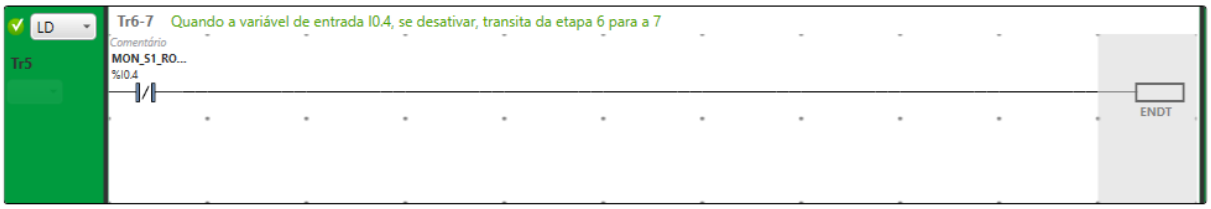


Figura 4.60 – Transição da etapa 6 para a etapa 7 do *Display* 3

Etapa 7: Nesta etapa o que se pretende é fazer com que a o atuador da garra, A4, se feche para largar o tubo transportado. Para isso tem de se desativar o solenoide Y4. O procedimento nesta etapa é muito idêntico ao da etapa 5, onde se fez a abertura deste mesmo atuador. A grande diferença é que, em vez de se fazer *set* ao solenoide Y4, faz-se *reset*. Então, depois de ativada a etapa 7, faz-se *reset* à atuação anterior, Q0.1, e ativa-se, de igual modo, a variável de memória, M3. Essa variável de memória ativa o temporizador TM0 que, ao iniciar a sua contagem, ativa a variável de memória, M11, desse mesmo temporizador. Essa variável quando ativa faz *reset* à variável do solenoide Y4, Q0.3.

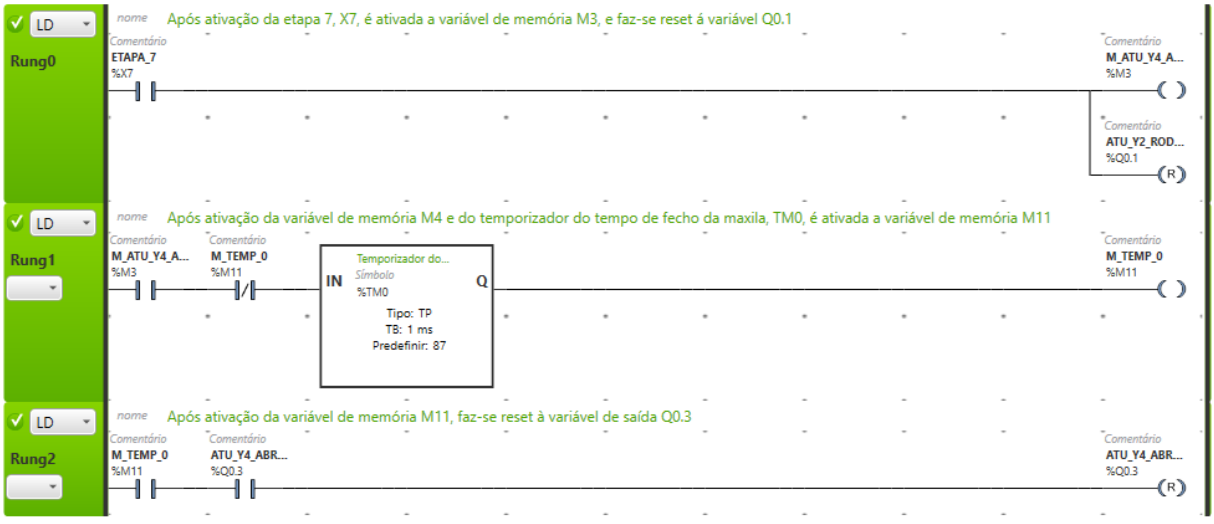


Figura 4.61 – Programação da etapa 7 do *Display* 3

Transição 7-8: Para transitar da etapa 7 para a 8, a atuação do solenoide Y4, Q0.3, e a memória do temporizador TM0, M11, têm de estar desativas.

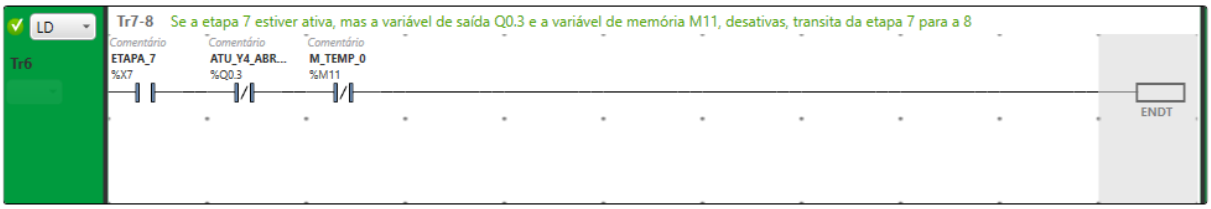


Figura 4.62 – Transição da etapa 7 para a etapa 8 do *Display* 3

Etapa 8: Depois de largado o tubo, ação que se faz na etapa anterior, tem de se provocar um sopro de ar para que o tubo caia no recipiente. Para provocar o sopro de ar tem de se ativar o solenoide Y6. No entanto, a intensidade desse sopro, varia conforme o tipo de peça da ordem de fabrico, uma vez que o recipiente está a distâncias diferentes da zona de lançamento do tubo, daí a variação do sopro de ar. Essa variação é conseguida ajustando o valor do temporizador TM1. Ao ativar a etapa 8, ativa-se, de igual modo, a variável de memória, M5. Essa variável de memória ativa o temporizador TM1 que, ao iniciar a sua contagem, ativa a variável de memória, M12, desse mesmo temporizador. Essa variável ativa a variável do solenoide Y6, Q0.5.

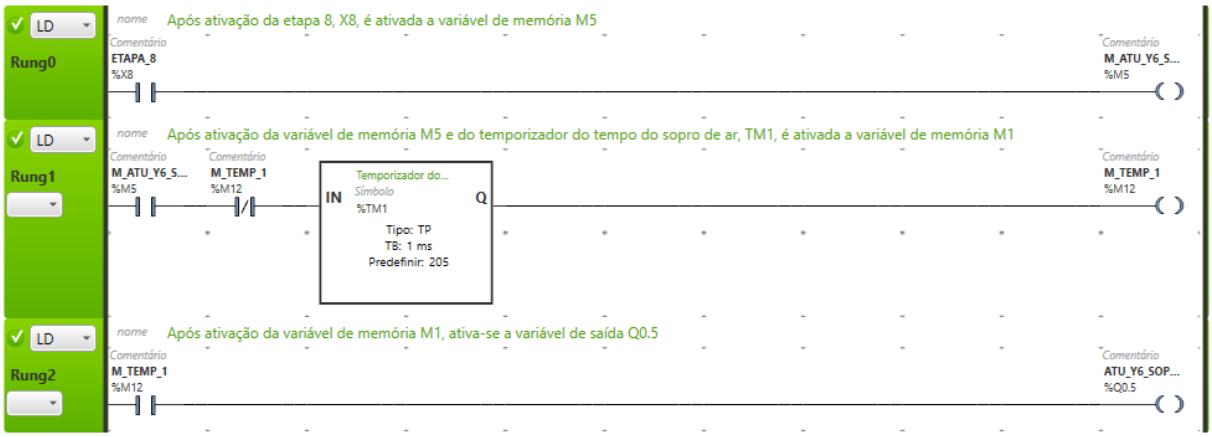


Figura 4.63 – Programação da etapa 8 do *Display* 3

Transição 8-9: A transição da etapa 8 para a 9 dá-se quando a atuação do solenoide Y6, Q0.5, e a memória do temporizador TM1, M21, estiverem desativadas.

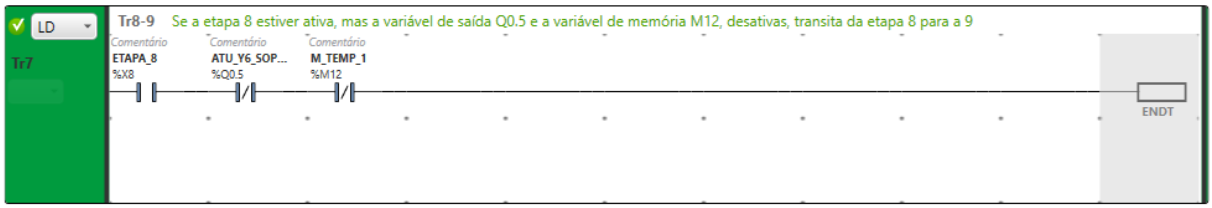


Figura 4.64 – Transição da etapa 8 para a etapa 9 do *Display* 3

Etapa 9: Por fim, ocorre a etapa 9. Nesta etapa é feita a avaliação do lançamento. Se o tubo for lançado para o interior do recipiente, com a intensidade perfeita, ativa-se a variável M27, se for lançado para o interior do recipiente imperfeitamente, isto é por exemplo tocando nas bordas do recipiente, ativa-se a variável M28 ou M29, se o lançamento for feito por excesso ou por defeito, respetivamente. Caso se ative uma dessas três variáveis, subtrai-se uma unidade ao valor do número de peças que faltam executar, MW4, e soma-se uma unidade ao número de peças aceites, MW5. No entanto, se o tubo for lançado para o exterior do recipiente, porque a ejeção foi excessiva, ou reduzida, deve ativar-se a variável M30 ou M31, respetivamente. Nessa situação, subtrai-se uma unidade ao valor do número de peças que

faltam executar, MW4, e soma-se uma unidade ao número de peças rejeitadas, MW7. Para que seja possível fazer esta avaliação, é ativada a variável de memória de avaliação do ciclo, M25, assim abrir-se-á uma janela na HMI para avaliar o lançamento. O temporizador TM2, apenas serve para esperar um pouco nesta etapa, para garantir o armazenamento da avaliação do ciclo.

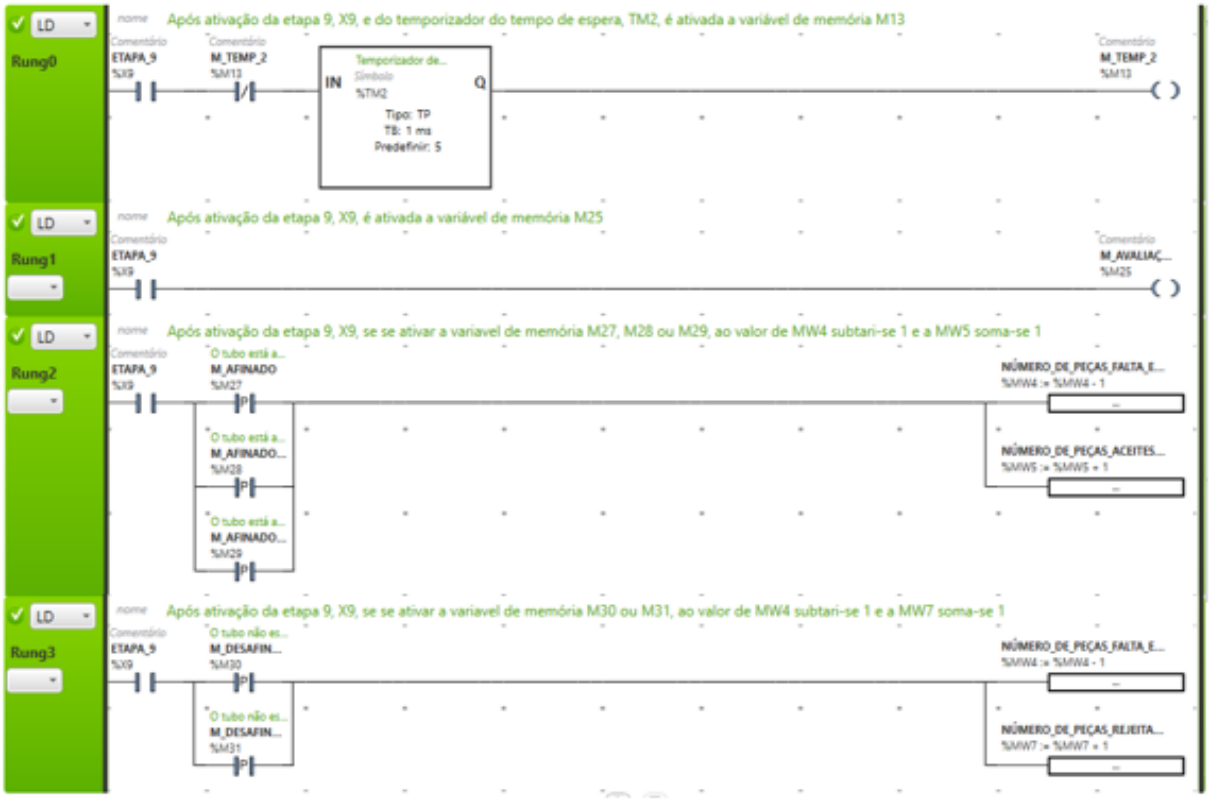


Figura 4.65 – Programação da etapa 9 do *Display* 3

Transição 9-1: Caso ainda existam peças por trabalhar, isto é, se o valor do contador de C12 for maior que 0, ou se se colocar em pausa a ordem de fabrico, depois da avaliação do ciclo realizado anteriormente, transita-se da etapa 9 para a etapa 1.

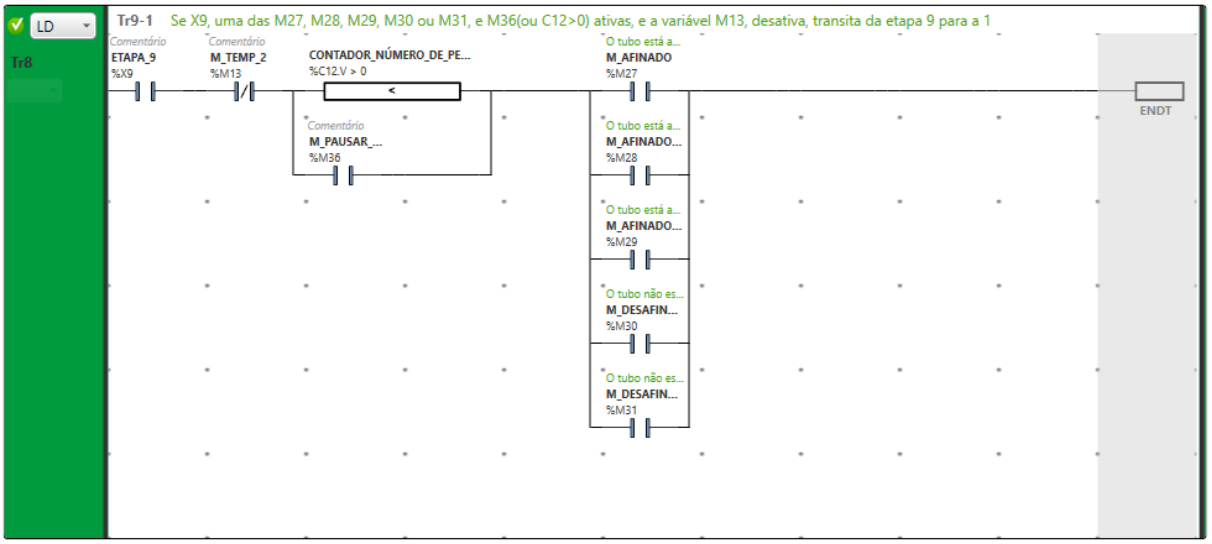


Figura 4.66 – Transição da etapa 9 para a etapa 1 do *Display* 3

Transição 9-13: No entanto, se já não existirem peças por trabalhar, isto é, se o valor do contador de C12 for igual a 0, ou se se cancelar a ordem de fabrico, depois da avaliação do ciclo realizado anteriormente, transita-se da etapa 9 para a etapa 13.

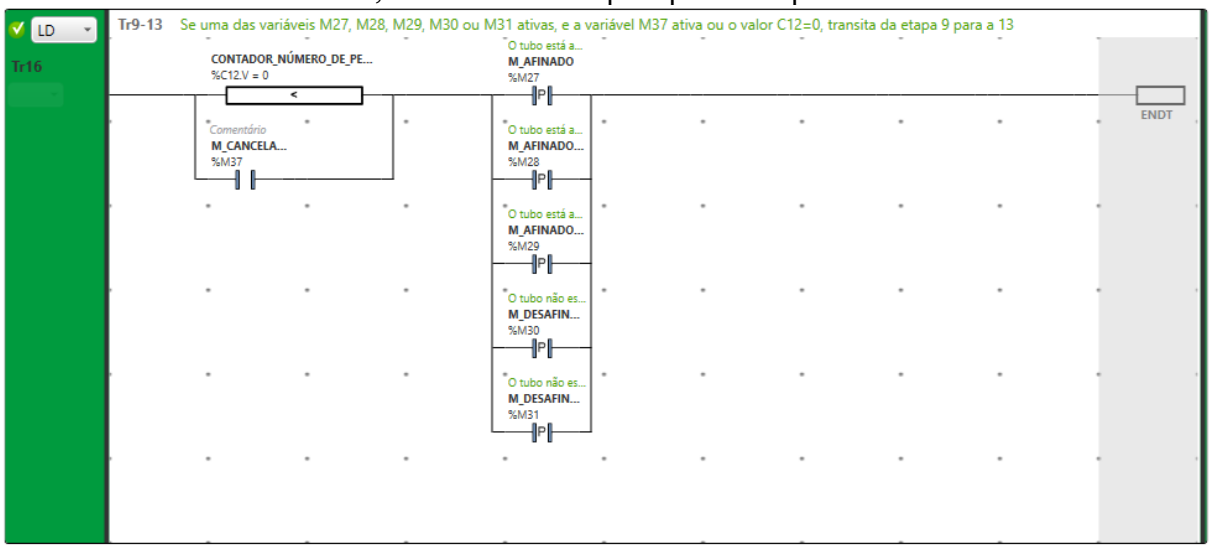


Figura 4.67 – Transição da etapa 9 para a etapa 13 do *Display* 3

Tarefas periódicas:

Além da programação explicada até aqui, que pertence à tarefa Mestre, e que é utilizada para a realização das diferentes etapas, existem ainda outro tipo de tarefas, as tarefas periódicas. Esse tipo de tarefas, devem ser executadas, tal como o próprio nome indica, periodicamente e apenas se as condições impostas se verificarem.

É ainda importante referir que até à linha 30 (Rung30) da tarefa periódica, o programa foca-se mais na realização de ações que estão relacionadas com o funcionamento pretendido para este *Display*.

A partir da linha 30 (Rung30) da tarefa periódica, o programa estabelece a comunicação entre o *Display* 3 e o *Display* supervisor, para enviar dados quer das ordens de fabrico, quer do histórico da produção, bem como na própria gestão do histórico de produção.

Na Figura 4.68 é feito o ajuste do valor dos temporizadores TM0 e TM1, conforme o valor do tipo de peça, MW2, selecionado.

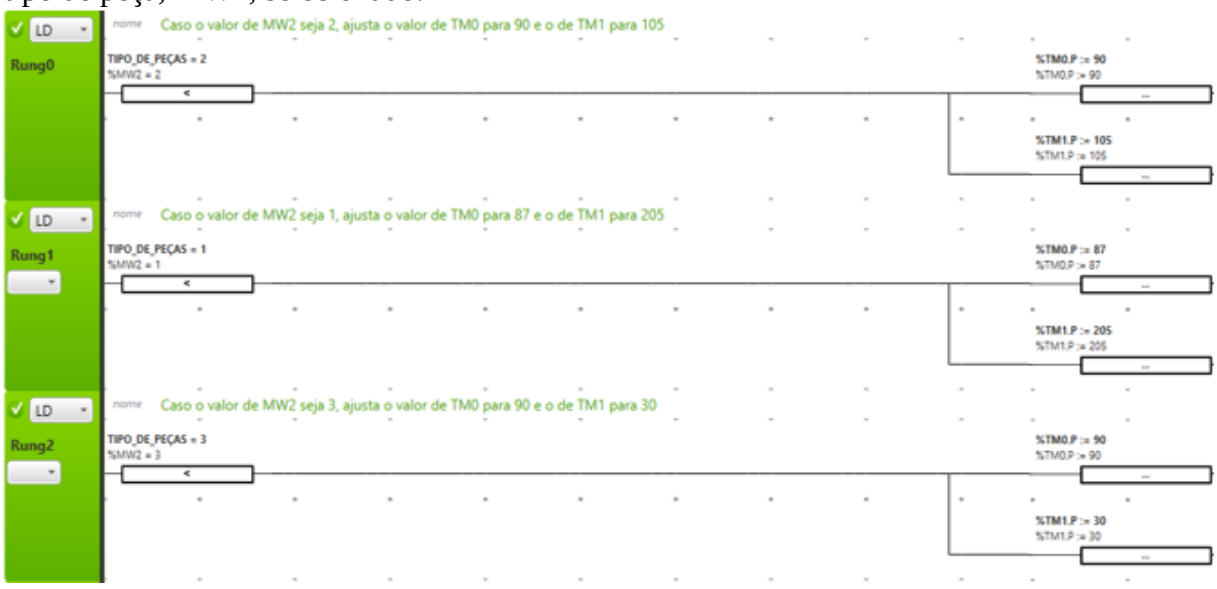


Figura 4.68 – Ajuste inicial dos valores dos temporizadores TM0 e TM1, em função do tipo de peça, no *Display*3

Na Figura 4.69 e na Figura 4.70, caso o *feedback* do lançamento dado pelo operador da máquina, seja 5 vezes consecutivas o mesmo, mas se, e só se, o tipo de peça for sempre o mesmo nos 5 lançamentos em que foi feito esse *feedback*, faz-se um pequeno ajuste no temporizador TM1.
Caso o tipo de peça seja o mesmo e se avalie 5 vezes seguidas, só e apenas só, com a avaliação "afinado por excesso" (M28), subtrai-se 2 milissegundos ao valor atual do temporizador. Caso seja selecionada a opção "afinado por defeito" (M29), somam-se 2 milissegundos ao valor atual temporizador. Caso tenha sido dada a avaliação "desafinado por excesso" (M30), subtrai-se 5 milissegundos ao valor atual temporizador, e se, porventura, for dada a avaliação "desafinado por defeito" (M31), somam-se 5 milissegundos ao valor atual do temporizador.

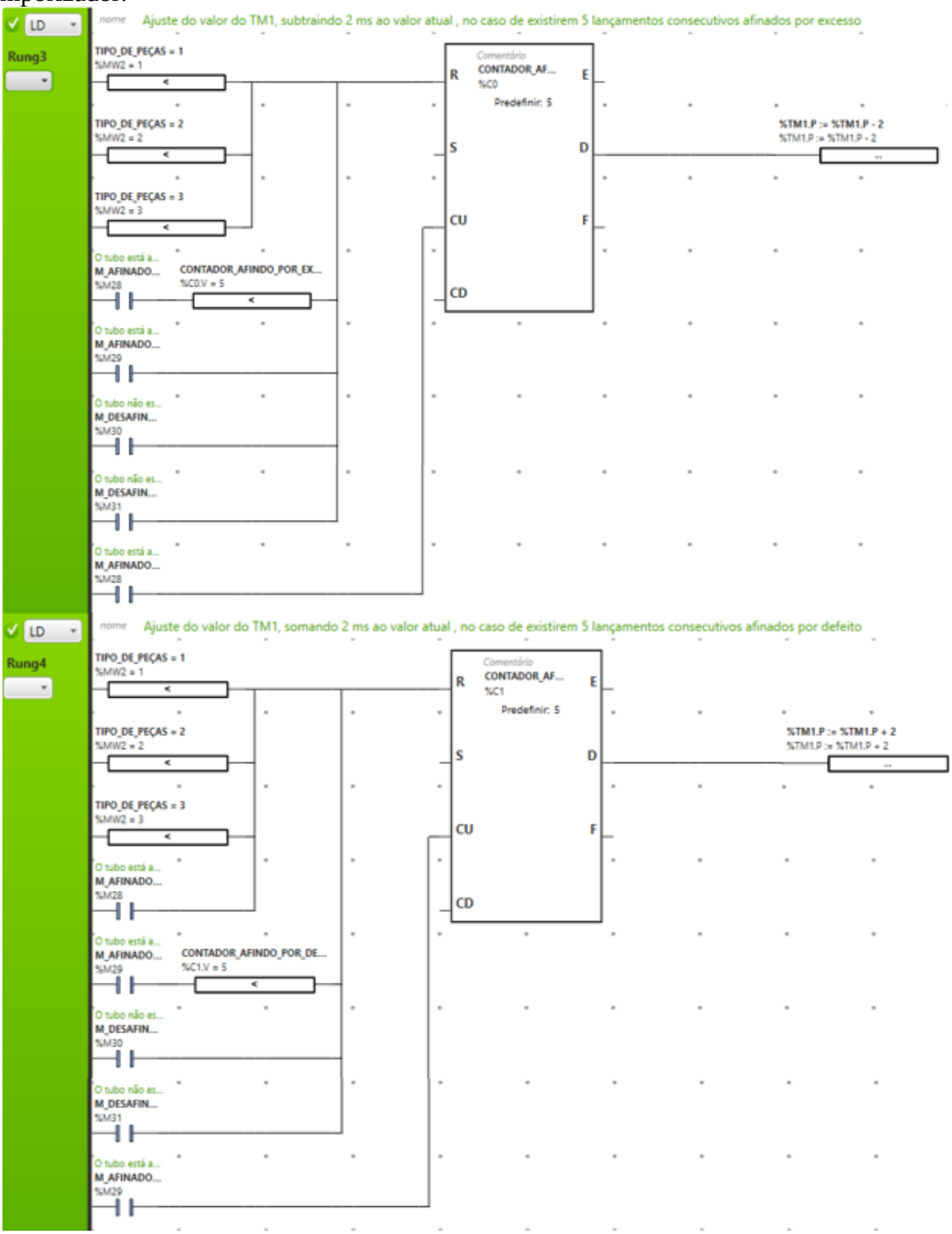


Figura 4.69 – Ajuste do valor atual do temporizador TM1, em função do feedback do lançamento, no *Display* 3

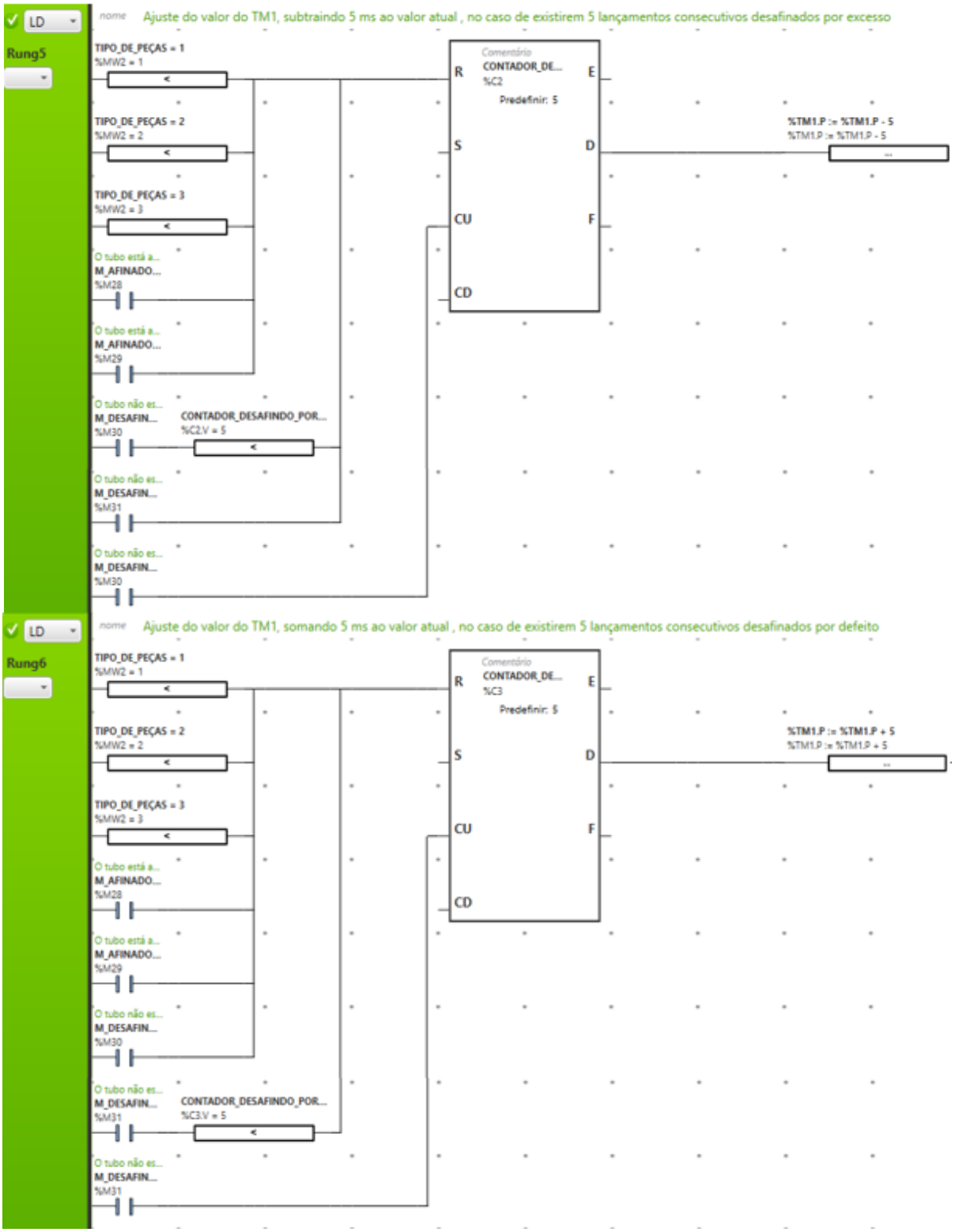


Figura 4.70 – Ajuste do valor atual do temporizador TM1, em função do feedback do lançamento, no *Display* 3

Para detetar se existe algum problema funcional associado ao atuador A2, tem de se cronometrar o tempo que este atuador demora a executar cada um dos movimentos desejados. Na Figura 4.71 vemos que os contadores C4 e C5 contam o tempo, em milissegundos, que o atuador A2 demora a executar cada um dos seus movimentos. Para que estes controladores consigam contar o tempo em milissegundos, utilizou-se a função do sistema S4, cujo nome é SB_T10MS, esta é uma função com uma base de tempo de 10 milissegundos gerado por um relógio interno.

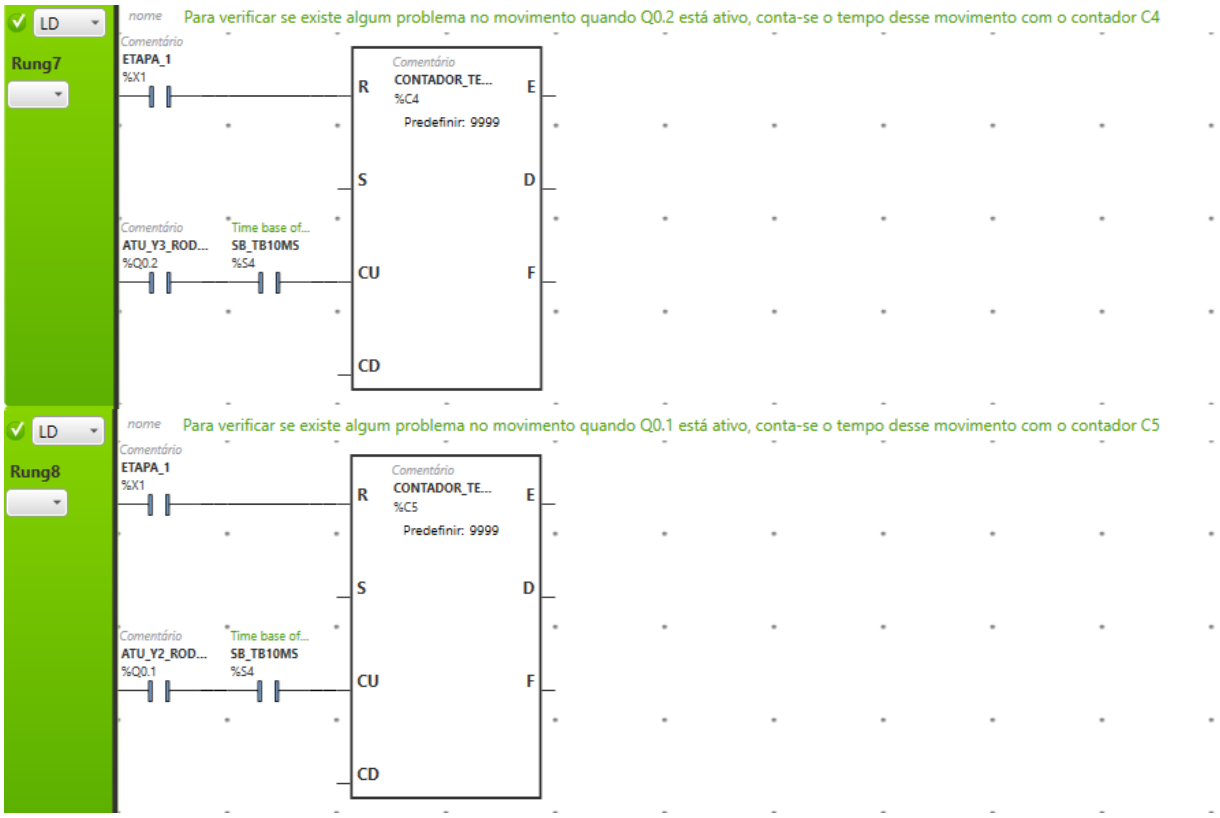


Figura 4.71 – Contagem de tempo que o atuador A2 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3

Para verificar se existe algum problema com o atuador A1, utiliza-se exatamente o mesmo procedimento que no atuador A2. Na Figura 4.72 e na Figura 4.73 vê-se o procedimento utilizado.

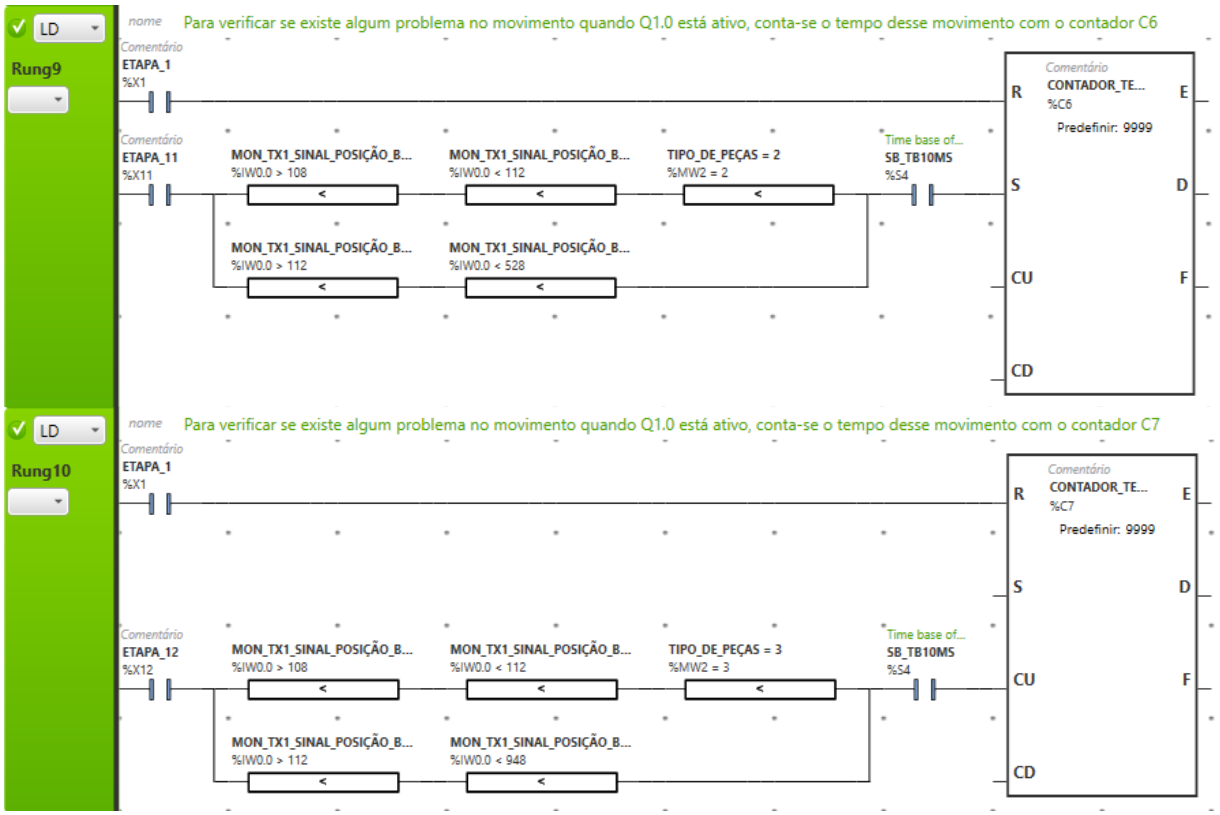


Figura 4.72 – Contagem de tempo que o atuador A1 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3

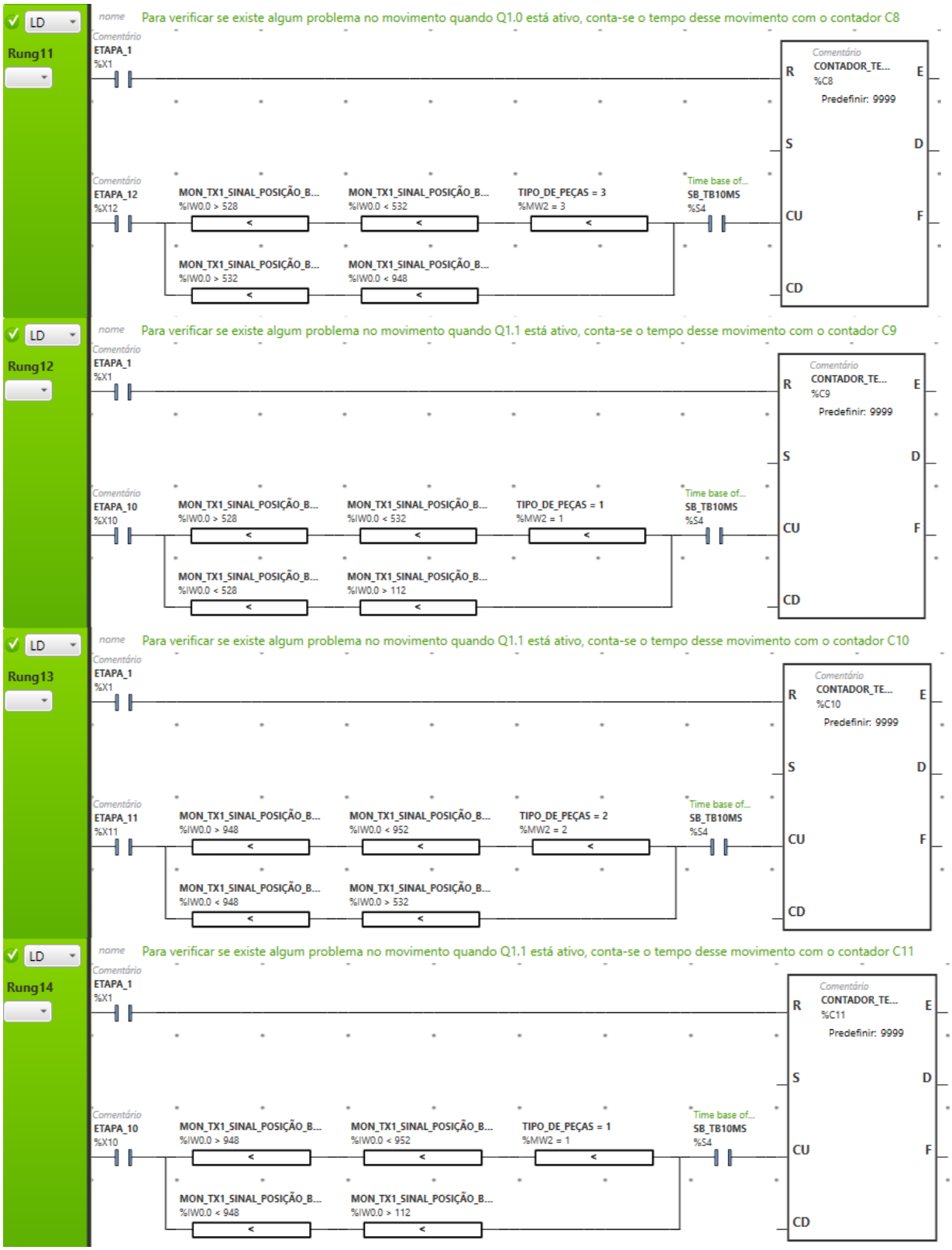


Figura 4.73 – Contagem de tempo que o atuador A1 demora a executar os seus movimentos, no *Display* 3

Após uma prévia avaliação do movimento do atuador A2, definiu-se o intervalo de tempo que o atuador deverá demorar a efetuar cada um dos movimentos. Caso algum dos movimentos demore mais tempo do que o previsto, ativa-se a variável de alerta que posteriormente transmite à HMI do *Display* 3 e do *Display* supervisor que existe algum problema com esse mesmo atuador, existindo assim a necessidade de um novo ajuste da velocidade.

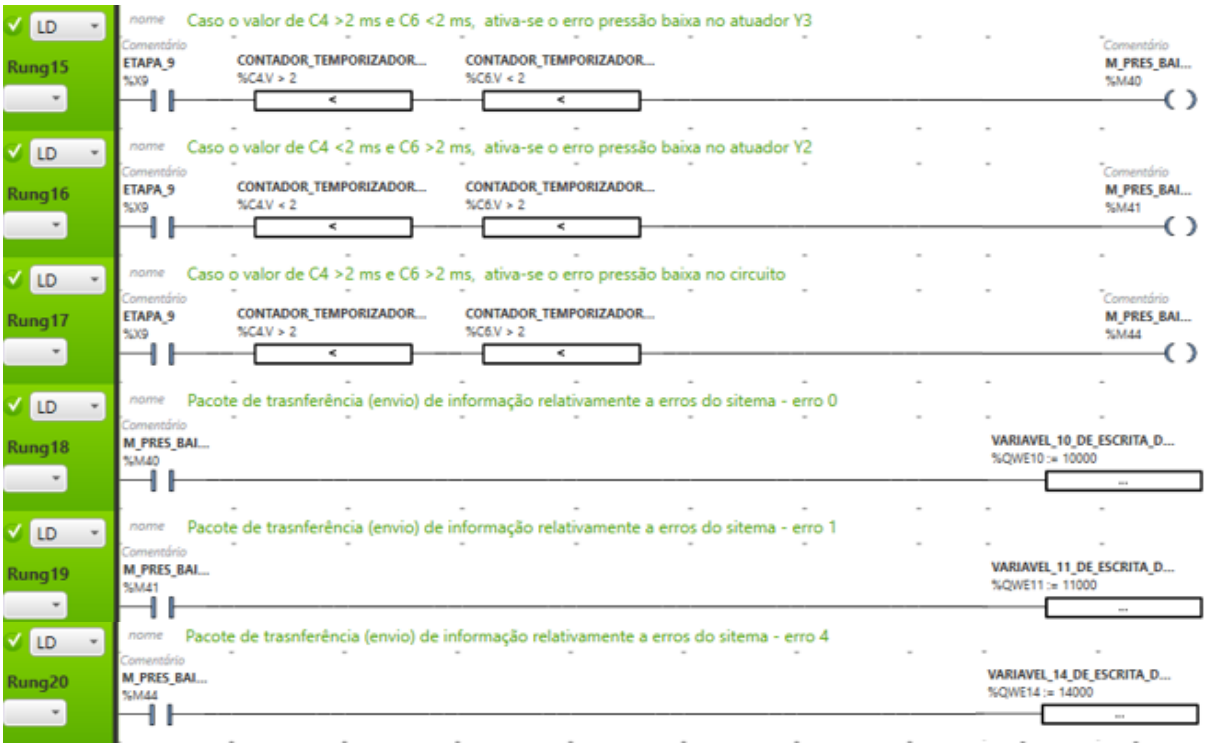


Figura 4.74 – Alarmes ativos devido a problemas no atuador A2, no *Display* 3

Através do *feedback* dado pelo operador da máquina, na Figura 4.75 e na Figura 4.76, vemos como são feitas:

- a contagem do número de peças executadas, através do contador C12;
- a contagem do número de peças aceites, com o contador C13;
- a contagem do número de peças rejeitadas, com o contador C14.

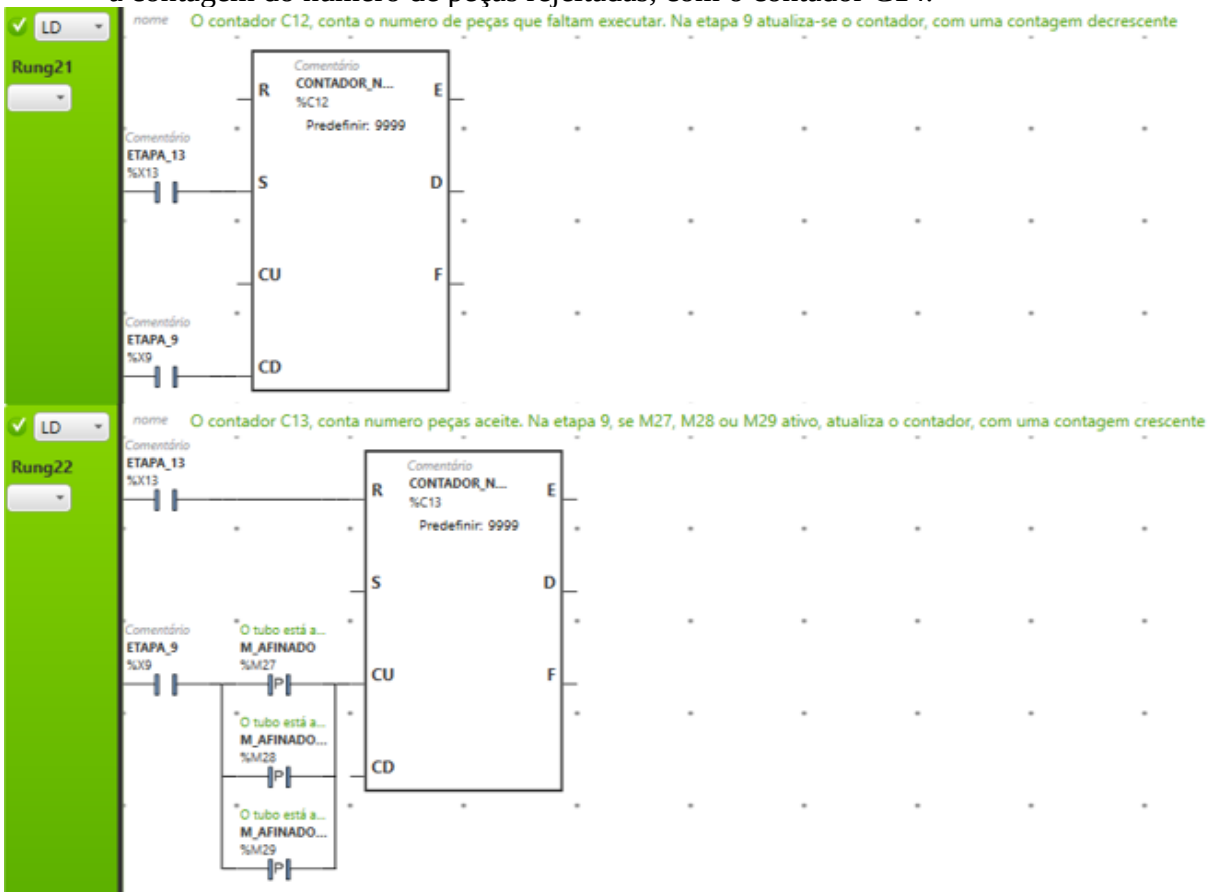


Figura 4.75 – Contagem do número de peças executadas e aceites, no *Display 3*

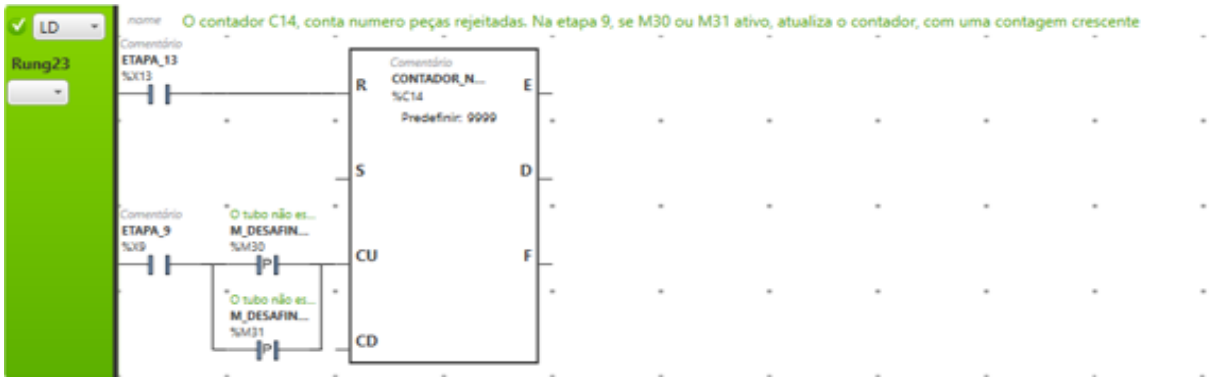


Figura 4.76 – Contagem do número de peças rejeitadas, no *Display 3*

Existe uma opção de ajuste de parâmetros na HMI. Essa opção permite ajustar os valores atuais dos temporizadores TM0, TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM6. Quando se seleciona essa opção, antes de fazer qualquer alteração nos parâmetros, iguala-se o valor atual de cada temporizador a uma variável de memória correspondente a esse temporizador, o que permite antes de fazer qualquer alteração saber-se quais são os valores atuais.



Figura 4.77 – Valores atuais dos temporizadores quando se faz ajuste de parâmetros no *Display* 3

Nas próximas figuras, vemos partes do programa que pertencem à tarefa periódica, mas que se focam mais na comunicação entre *Display's*, assim como no histórico da produção.
Na Figura 4.78 é apresentado o pacote de transferência de informação responsável por enviar a informação relativa à ordem de fabrico 0 do *Display* 3. Para que a informação seja trocada, se a variável auxiliar, NÚMERO_DE_PACOTE_TRANSFER_INFORM, MW9, for igual à variável 9 da ordem de fabrico 0, MW309, e caso alguma das outras 8 variáveis dessa mesma ordem de fabrico, MW300 a MW308, seja diferente do valor das variáveis de escrita correspondestes, QWE0 a QWE8, dá-se a troca de informação. A troca de informação é feita igualando os valores das variáveis de escrita, QWE0 a QWE9, aos valores da ordem de fabrico 0, MW300 a MW309. Uma vez que caso se pretenda transferir outra ordem de fabrico, o programa é idêntico, apenas é apresentada esta situação. Para transferir outra qualquer ordem de fabrico, i, faz-se o seguinte, se MW9=MW3i9, e se algum dos valores de MW3i0 a MW3i8, for diferente dos valores QWE0 a QWE8, forçam-se os valores QWE0=MW3i0 e assim sucessivamente até QWE9=MW3i9.

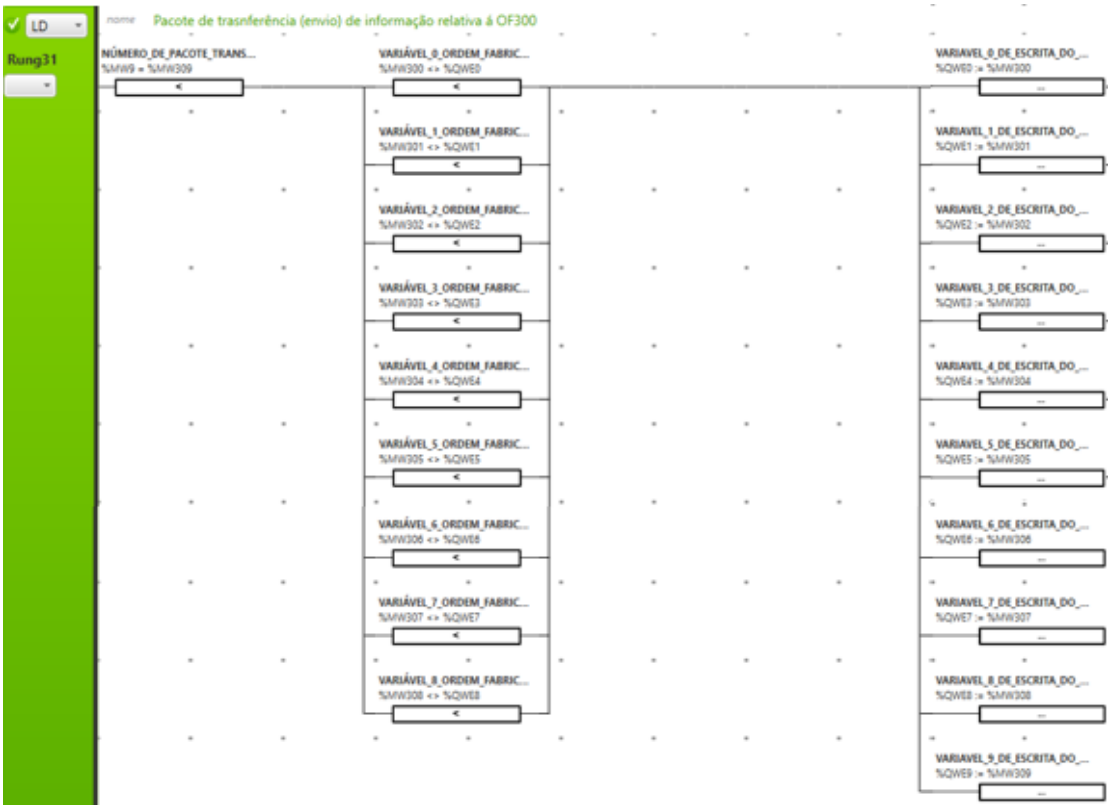


Figura 4.78 – Pacote de envio de informação da ordem de fabrico 0 do *Display* 3

Já na Figura 4.79 é apresentado o pacote de transferência de informação responsável por receber a informação relativa à ordem de fabrico 0 do *Display* 3. Para que a informação seja trocada, se a variável IWE9 for igual à variável 9 da ordem de fabrico 0, MW309, e caso alguma das outras 8 variáveis dessa mesma ordem de fabrico, MW300 a MW308, seja diferente do valor das variáveis de leitura correspondentes, IWE0 a IWE8, dá-se a troca de informação. A troca de informação é feita igualando os valores da ordem de fabrico 0, MW300 a MW309 aos valores das variáveis de leitura, IWE0 a IWE9.

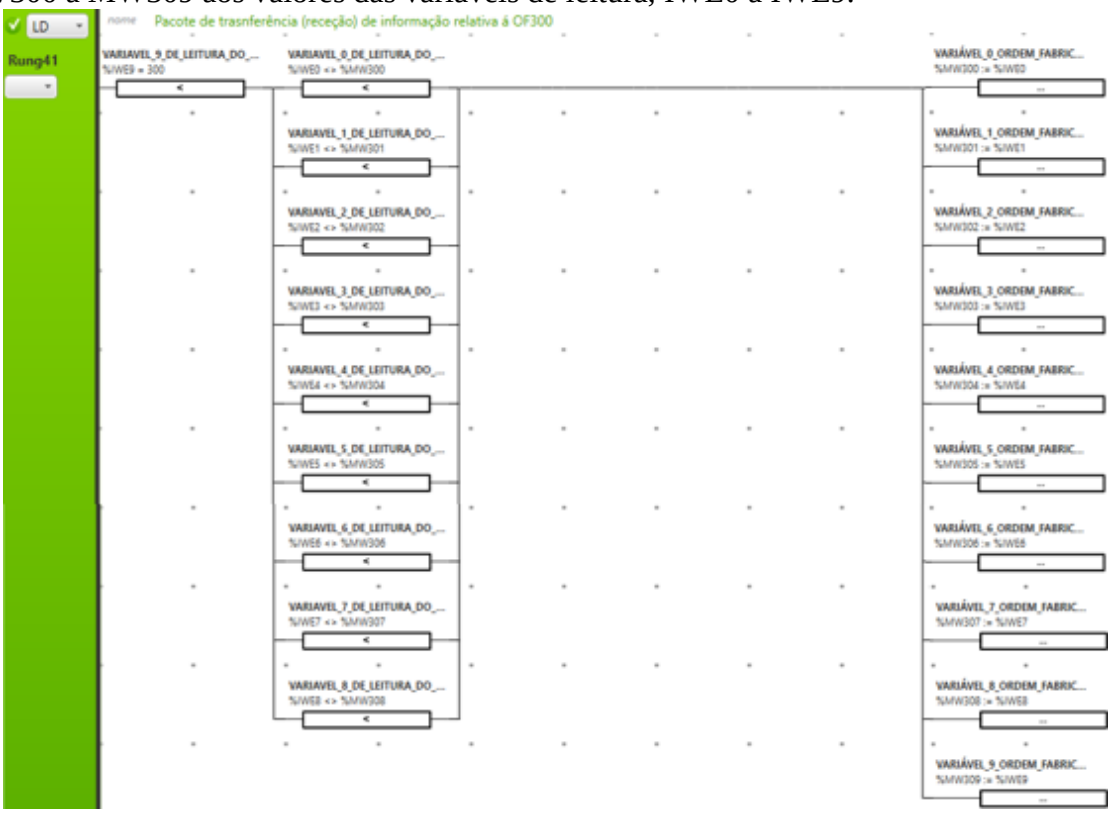


Figura 4.79 – Pacote de receção de informação da ordem de fabrico 0 do *Display* 3

Caso se pretenda transferir outra ordem de fabrico, o programa é idêntico e, por isso, apenas é apresentada esta situação. Para transferir outra qualquer ordem de fabrico, i, faz-se o seguinte, se IWE9=30i, em que i corresponde ao número da ordem de fabrico que se pretende trocar, se algum dos valores de IWE0 a IWE8, for diferente dos valores MW3i0 a MW3i8, força-se os valores MW3i0=IWE0 e assim sucessivamente até MW3i9=IWE9.
Quando alguma ordem de fabrico for lançada, deve ser dada informação na HMI do *Display 3*, de modo a avisar que foi lançada uma ordem de fabrico. Para saber se quando uma ordem de fabrico foi lançada, basta comparar o valor do número de uma ordem de fabrico, MW3i0, a 0, caso esse valor seja diferente de 0, significa que a ordem de fabrico i está lançada, e aí será emitido um aviso, ativando a variável de M50 a M59, conforme a ordem de fabrico i lançada, caso seja a 0 ativa a variável M50, caso se já a 9 a M59.



Figura 4.80 – Ativação do alarme de lançamento de uma ordem de fabrico no *Display* 3

Quando se arquiva uma ordem de fabrico, tem de se transferir os valores dessa ordem de fabrico para o histórico de produção. Contudo, se existirem 10 ordens de fabrico lançadas, tanto se pode arquivar primeiro a primeira ordem de fabrico, como a última. Assim sendo, para que tudo funcione como pretendido, existe uma variável auxiliar, referenciada por NÚMERO_ORDENS_FABRICO_HIST_PROD, MW10, que indica qual do pacote do histórico de produção, p, onde se vai armazenar a ordem de fabrico. Depois de saber em que pacote do histórico de produção é que se irá armazenar a ordem de fabrico, basta saber qual das ordens de fabrico, i, lançadas, é a que se pretende armazenar. Para isso, faz-se a comparação do valor da variável auxiliar, NÚMERO_ORDEM_FABRICO, MW0, ao valor da variável do número de ordem de fabrico do pacote que se quer armazenar, MW3i0, e se os

valores forem iguais, iguala-se os valores do histórico de produção, MW30p0 a MW30p9, aos valores das variáveis de produção da ordem de fabrico, MW3i0 a MW3i9. Na Figura 4.81 está representado o caso em que se arquiva os valores da ordem de fabrico 0, no pacote do histórico de produção 0. Para não ser demasiado repetitivo, apenas é apresentada esta situação.

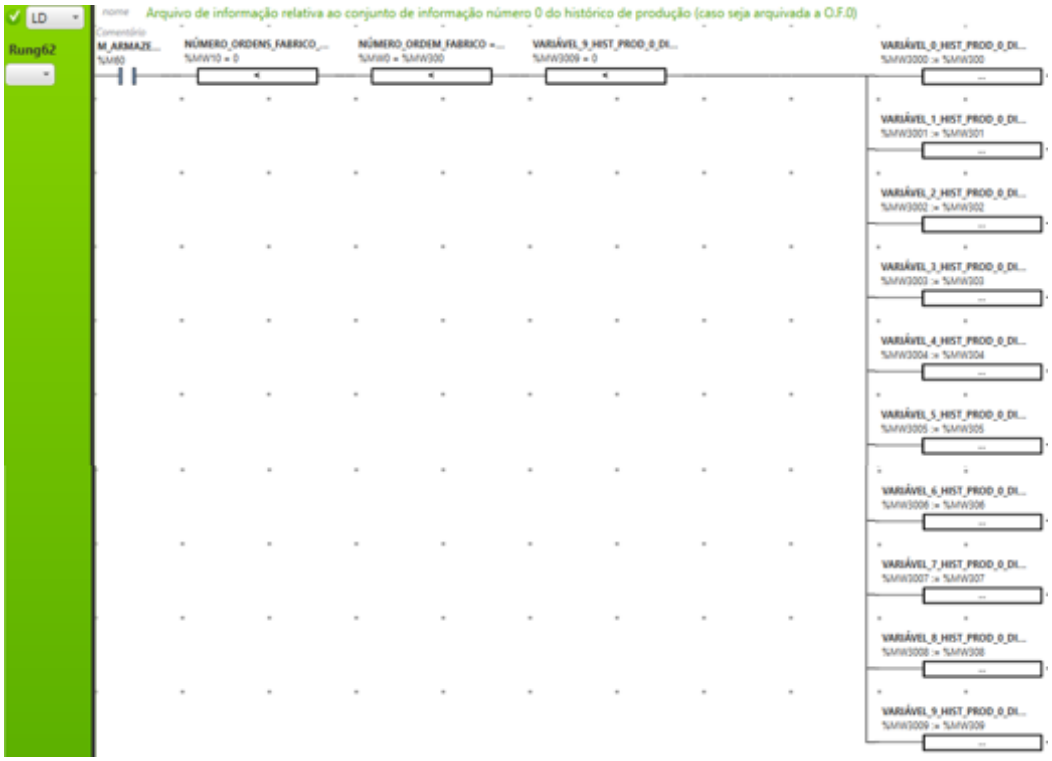


Figura 4.81 – Arquivo da ordem de fabrico 0, no pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3

Após se transferir os valores da ordem de fabrico arquivada, para o histórico de produção, deve limpar-se (igualar a 0) os valores da ordem de fabrico, i, arquivada. Na Figura 4.82 limpam-se os valores da ordem de fabrico 0, após arquivar os seus valores.

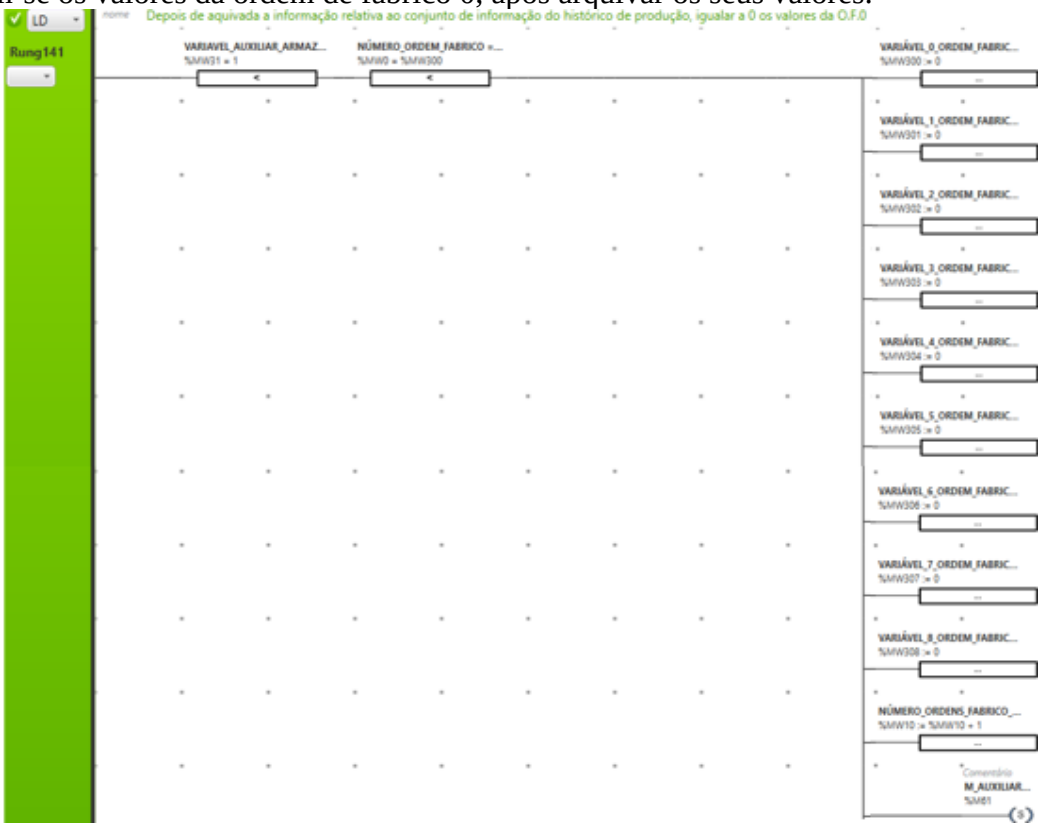


Figura 4.82 – Limpeza da ordem de fabrico 0, após arquivar os valores da ordem de fabrico, do *Display* 3

Quando se arquiva uma ordem de fabrico, para igualar os valores da ordem de fabrico a 0, o número de pacote, variável 9 da ordem de fabrico, não pode ser 0, mas sim o valor do pacote que está a ser arquivado. Contudo, para que o funcionamento do programa seja o previsto, só quando o valor do número da ordem de fabrico i, MW3i0, for igual a 0, é que se iguala o valor da variável 9, do número do pacote de transferência de informação, a zero. É isso que é feito na Figura 4.83.

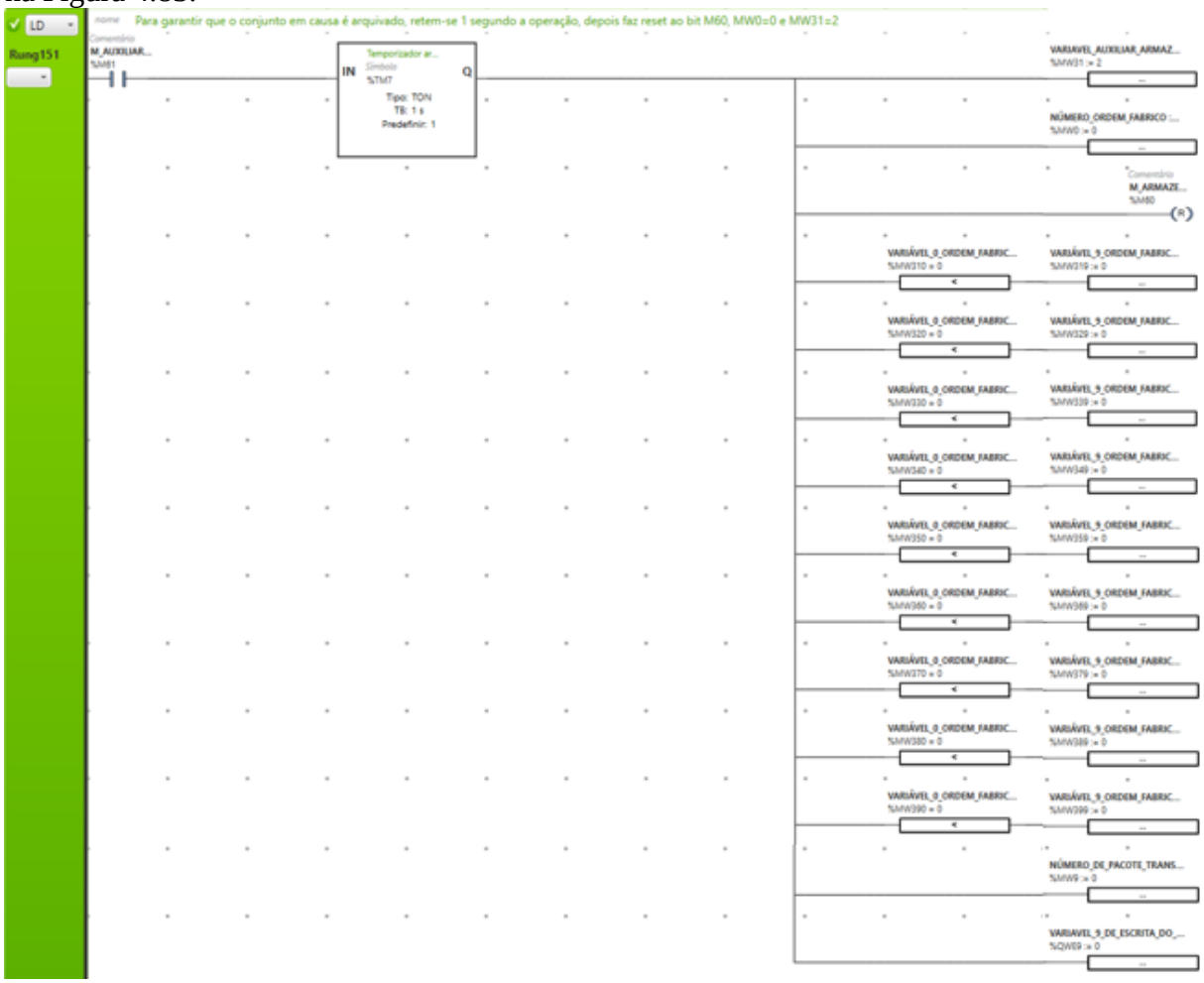


Figura 4.83 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, do *Display* 3

Ao arquivar uma ordem de fabrico, se apenas só existisse essa ordem de fabrico lançada, bastava apenas fazer os passos descritos anteriormente. Contudo, se existirem várias ordens de fabrico lançadas, e se arquivar a ordem de fabrico 0, deverá ser feita uma atualização às ordens de fabrico lançadas, isto é, caso se arquive a ordem de fabrico 0 e exista ainda lançada a ordem de fabrico 1, 2 e 3, por exemplo, depois de arquivada e limpa a ordem de fabrico 0, deverão passar-se os valores da ordem de fabrico 1 para os valores da ordem de fabrico 0 os valores da ordem de fabrico 2 para os da ordem de fabrico 1 e os valores da ordem de fabrico 3 para os da ordem de fabrico 2.

Na Figura 4.84 e na Figura 4.85, é visível a parte do programa onde se faz a atualização dos valores da Ordem de Fabrico 1 para os da Ordem de Fabrico 0, depois da Ordem de Fabrico 0 ter sido arquivada. O que o programa faz é o seguinte, caso o número da ordem de fabrico 0 seja 0 e o número da ordem de fabrico 1 seja maior que 0 (Rung156), começa por igualar os valores da ordem de fabrico 1 aos da ordem de fabrico 0 (Rung157) e, de seguida, igualar os valores da ordem de fabrico 1 a 0 (Rung158). Visto que para atualizar os valores das outras de fabrico, quando uma ordem de fabrico inferior é arquivada, a base do programa é exatamente a mesma, apenas é apresentada esta situação.

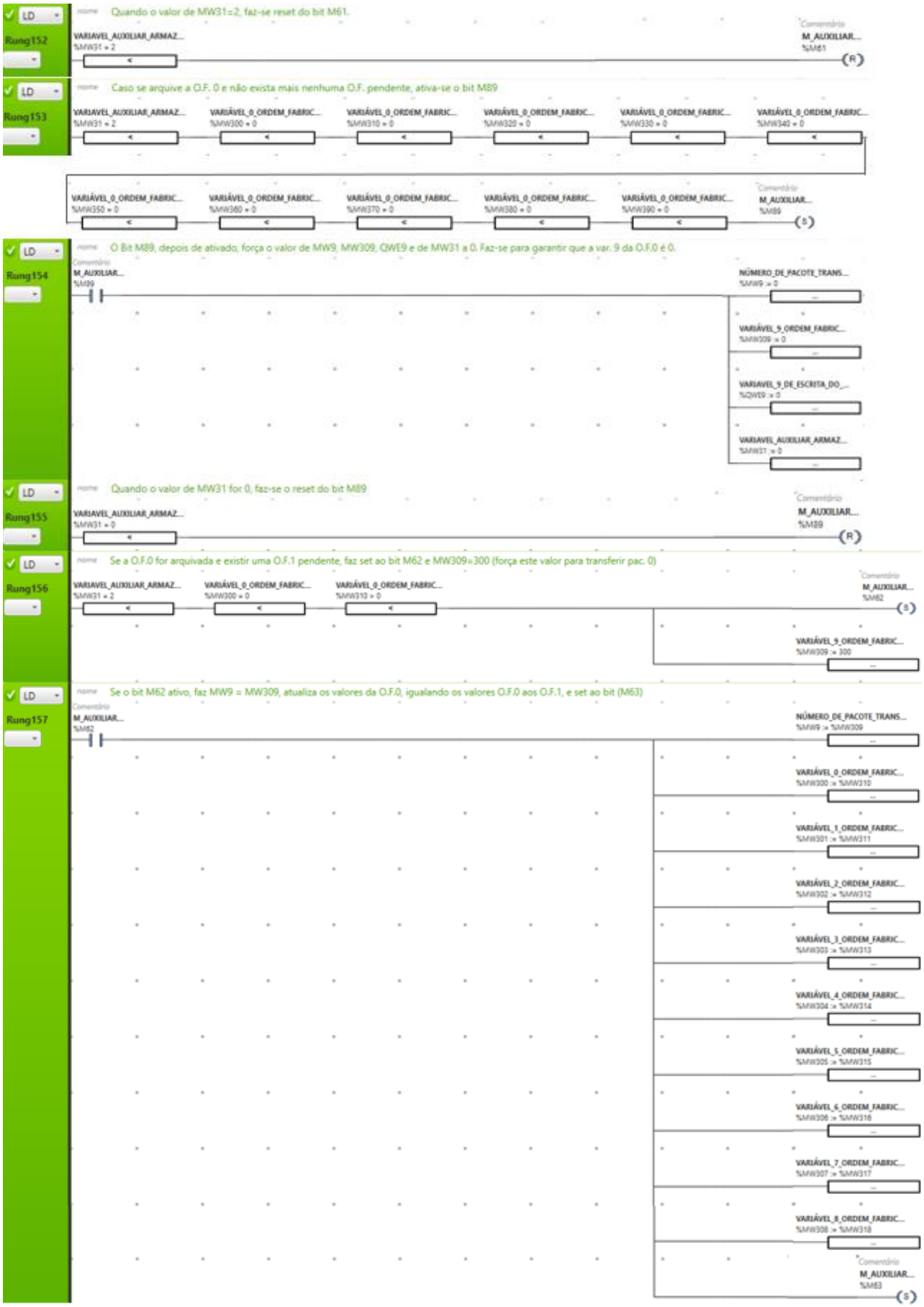


Figura 4.84 – Atualização dos valores da ordem de fabrico 1, quando a ordem de fabrico 0 é arquivada, no *Display* 3

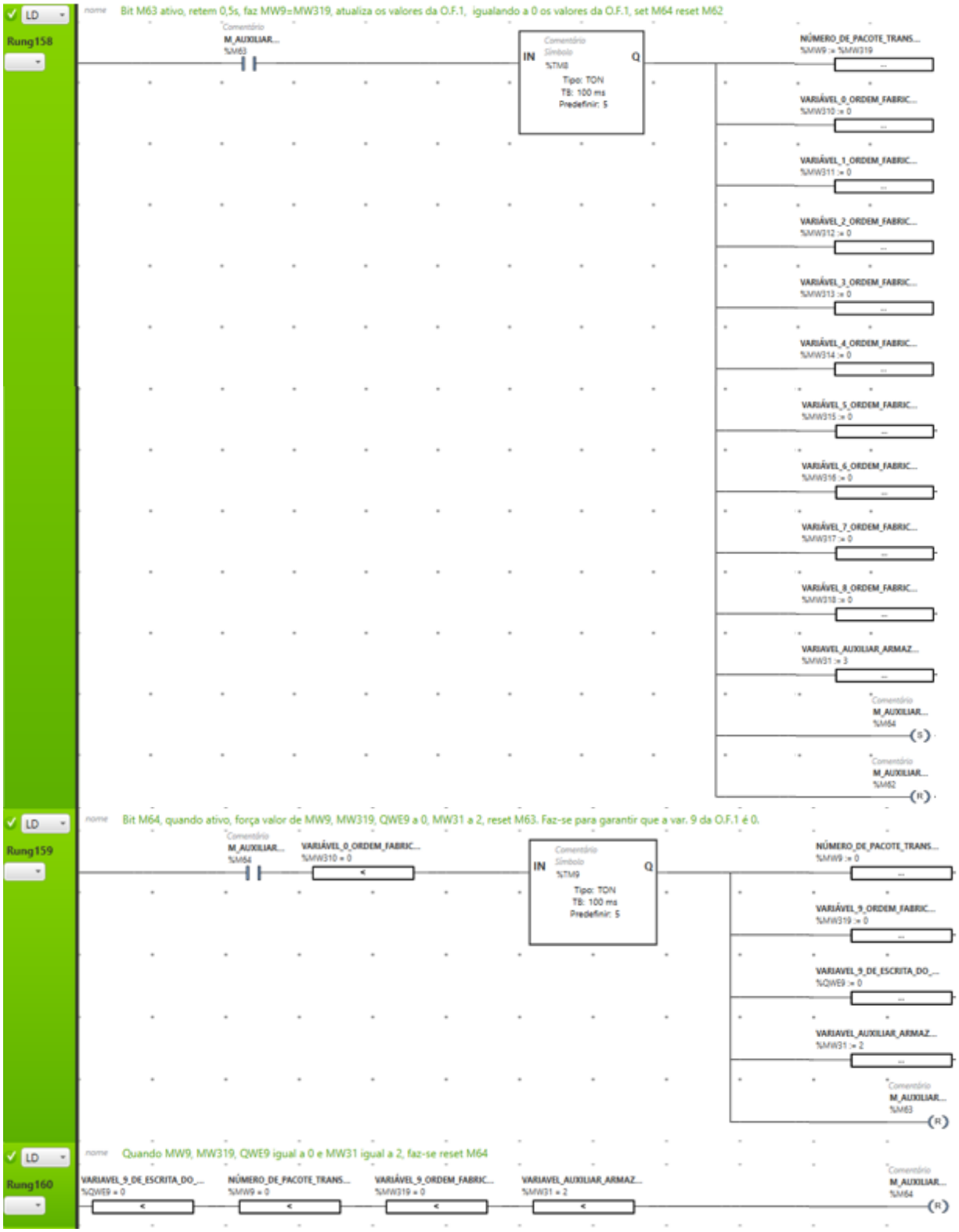


Figura 4.85 – Atualização dos valores da ordem de fabrico 1, quando a ordem de fabrico 0 é arquivada, no *Display* 3

Quando se arquiva uma ordem de fabrico num dado pacote histórico de produção, têm de se transferir os valores desse mesmo pacote desde o *Display* 3 para o *Display* supervisor. Na Figura 4.86, são transferidos os valores do pacote 0 do histórico de produção do *Display* 3. Embora existam oito pacotes no histórico de produção, tendo em conta que a base de programação é a mesma, apenas se apresenta a transferência de informação deste pacote do histórico de produção.

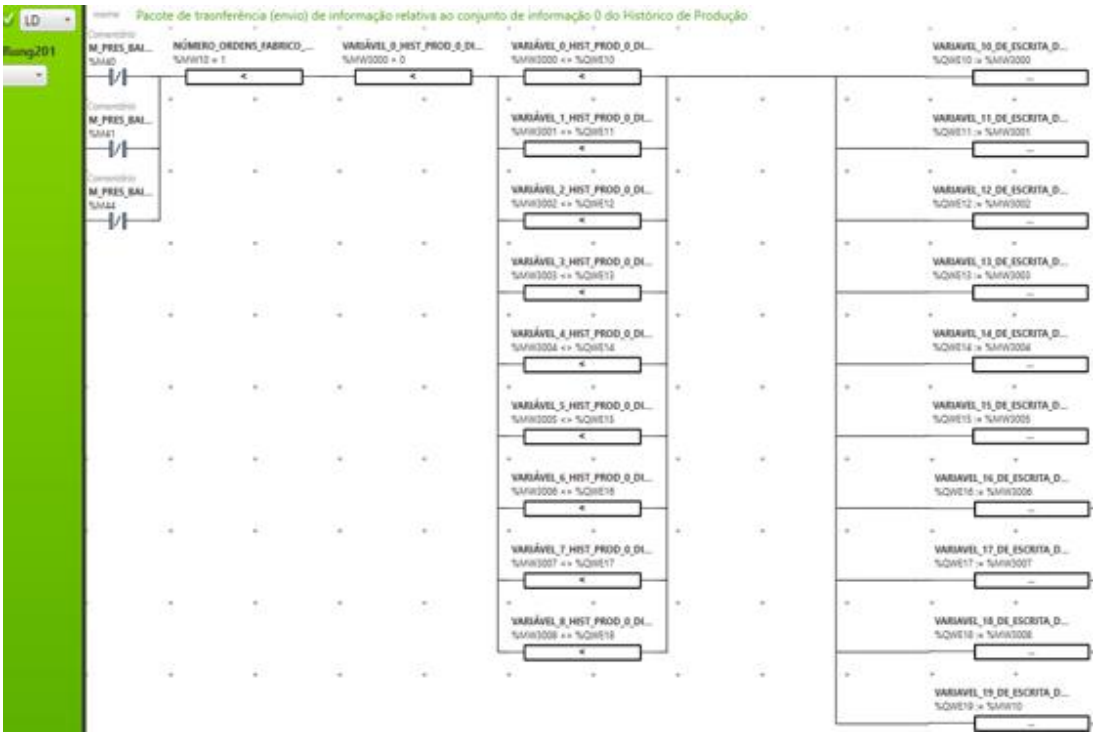


Figura 4.86 – Transferência do pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3 para o *Display* supervisor

Quando se limpa o histórico de produção, todos os valores dos pacotes desse mesmo histórico de produção devem ser igualados a 0. Na Figura 4.87 mostra-se como se limpa o pacote 0 do histórico de produção, onde se igualam todos os valores, desde MW3000 a MW3009, a zero.

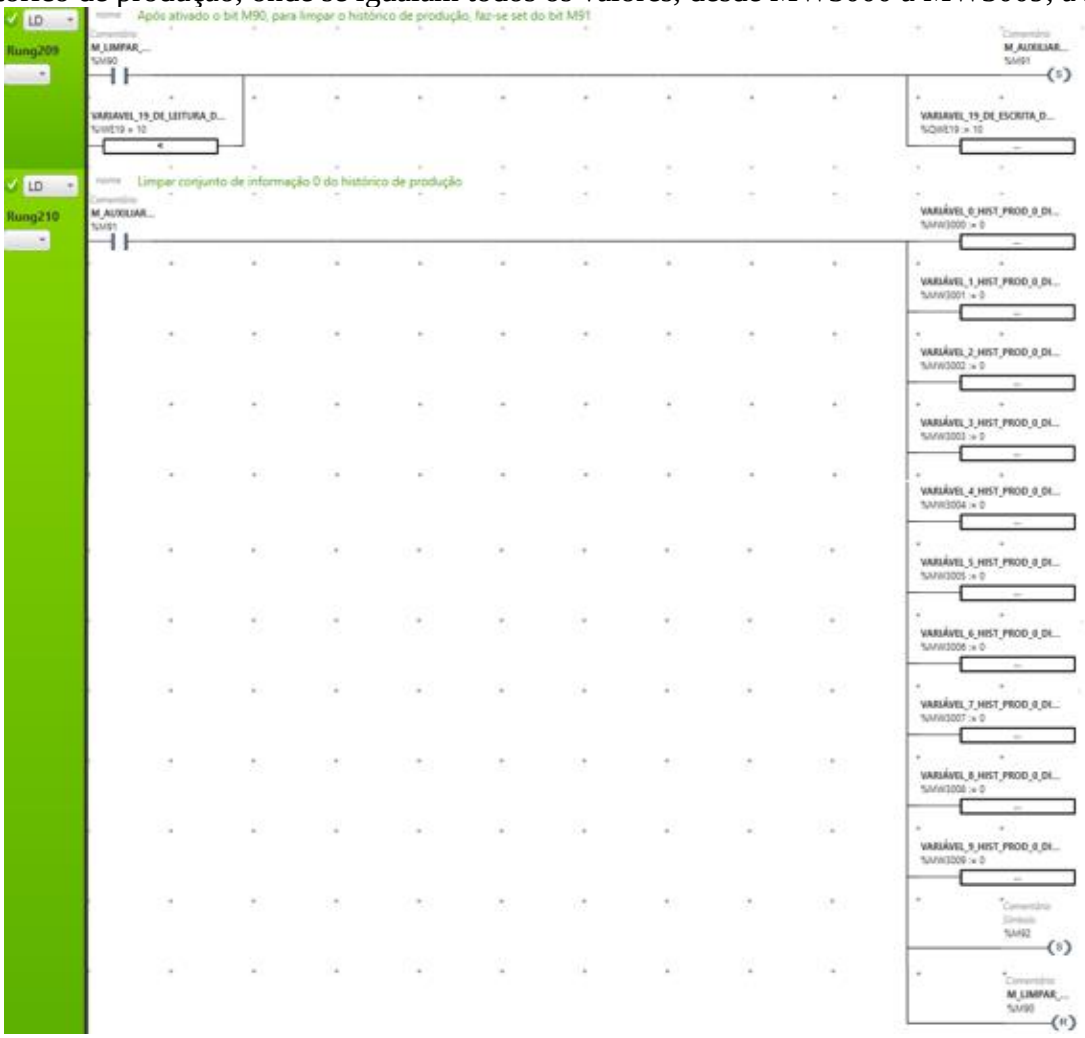


Figura 4.87 – Limpeza do pacote 0 do histórico de produção, do *Display* 3

Programação da HMI Display 3

A HMI utilizada no *Display* 3 é, tal como nos casos anteriores, da marca *Schneider* ®, do modelo HMISTU655. O programa para esta HMI foi feito na aplicação Vijeo Designer V6.2. Na Figura 4.88 , é apresentada a estrutura do projeto criado, onde podemos ver todas as telas e todas as janelas de *popup* utilizadas.

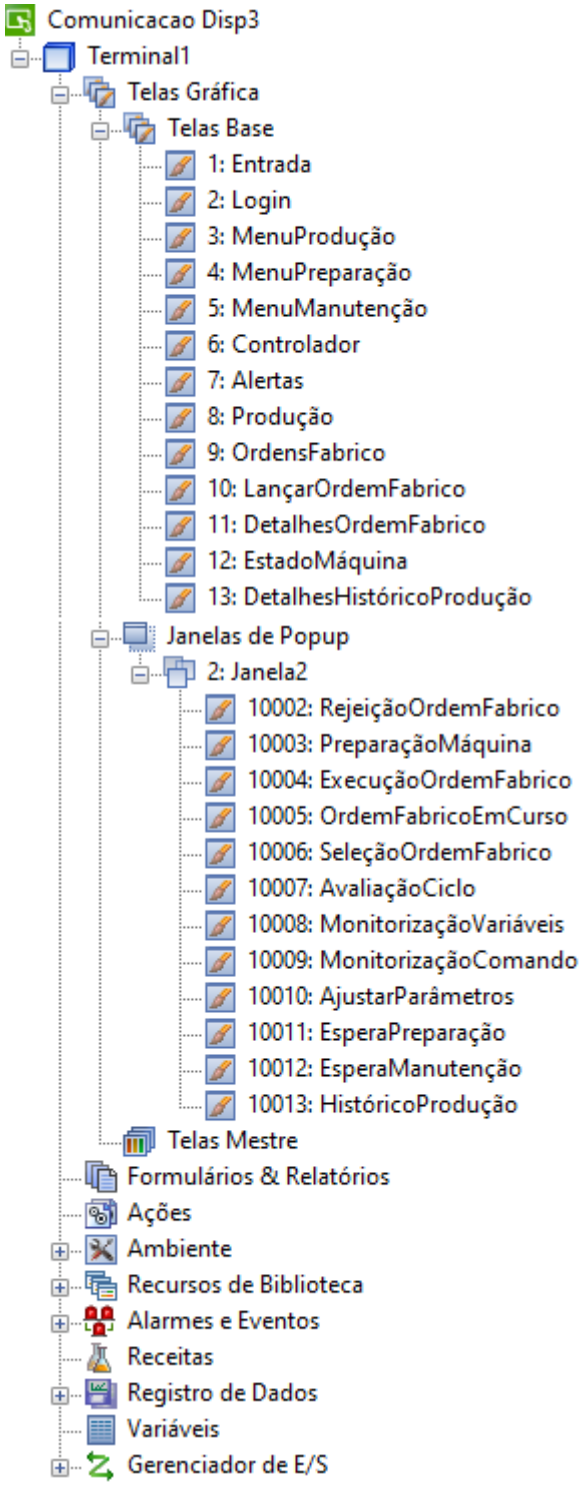


Figura 4.88 – Estrutura do projeto da HMI do *Display* 3

Para que seja possível existir ligação entre o PLC e a HMI, à semelhança do que foi feito anteriormente no controlador, foi necessário configurar a porta de comunicação da HMI. Essa configuração foi feita de acordo com a imagem seguinte.

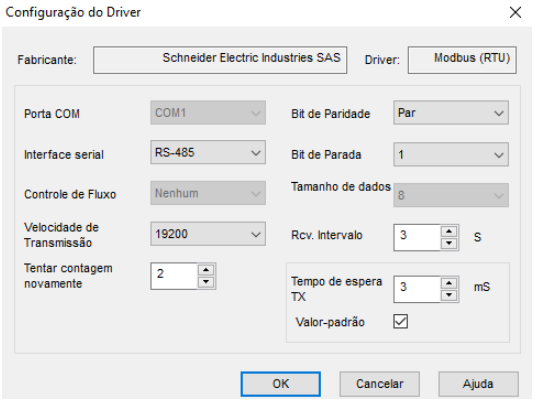


Figura 4.89 – Configuração da porta de comunicação da HMI do *Display* 3

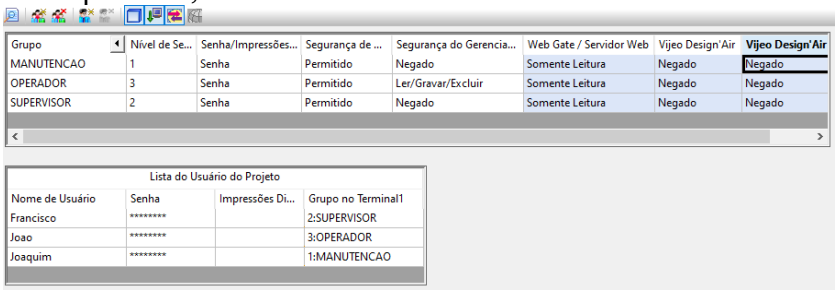
Depois de estabelecida a comunicação entre os dispositivos, começou o desenvolvimento do programa, tendo-se definido diferentes telas.

Tela 1: É a tela de apresentação do *Display* 3. Ao premir o ecrã, transita-se para a tela 2.



Figura 4.90 – Tela 1 da HMI do *Display* 3

Tela 2: é a tela de *Login*. Conforme os dados de segurança introduzidos, tem-se ou não, autorização para aceder à tela seguinte. De acordo com a imagem seguinte, existem 3 níveis de segurança, correspondentes a utilizadores de "manutenção", de "operação" e de "supervisão". Para transitar para a tela seguinte, o utilizador tem que ter credenciais de nível de operação ou de supervisão, caso contrário não se acede à nova tela.



Grupo	Nível de Se...	Senha/Impressões...	Segurança de ...	Segurança do Gerencia...	Web Gate / Servidor Web	Vijeo Design'Air	Vijeo Design'Air
MANUTENCAO	1	Senha	Permitido	Negado	Somente Leitura	Negado	Negado
OPERADOR	3	Senha	Permitido	Ler/Gravar/Excluir	Somente Leitura	Negado	Negado
SUPERVISOR	2	Senha	Permitido	Negado	Somente Leitura	Negado	Negado

Lista do Usuário do Projeto

Nome de Usuário	Senha	Impressões Di...	Grupo no Terminal1
Francisco	********		2:SUPERVISOR
Joao	********		3:OPERADOR
Joaquim	********		1:MANUTENCAO

Figura 4.91 – Níveis de segurança da HMI do *Display* 3



Figura 4.92 – Tela 2 da HMI do *Display* 3

Se o *Login* for validado, ficam visíveis os interruptores representados na figura com um cadeado e uma seta. O interruptor onde se encontra o cadeado serve para se fazer *Logout* e aquele onde se encontra a seta serve para transitar para a seguinte, a tela 12.

Tela 12: Na tela 12, temos uma avaliação do estado *Display*. Caso exista alguma avaria ativa, a tela tem a configuração da esquerda, visível na figura em baixo, e ao premir o interruptor presente nessa mesma tela, acedemos à tela 7, de alertas. No entanto, se não existir qualquer tipo de avaria ativa, a tela tem a configuração da direita, e se premirmos o interruptor dessa tela, vamos para a tela 3, do menu de produção.



Figura 4.93 – Tela 12 da HMI do *Display* 3

Tela 7: Caso exista algum alerta de erro, acedendo a esta tela, conseguimos visualizar todos os alertas de erros ativos. Para que se consigam ver os erros nesta tabela, a qual tem o nome de "sumário de alarmes", configurou-se e criou-se um grupo de alarme, GrupodeAlarme1.

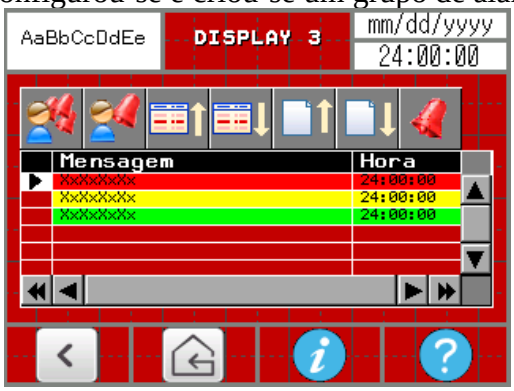


Figura 4.94 – Tela 7 da HMI do *Display* 3

As mensagens de erro apresentadas são de acordo com a imagem seguinte, mas só aparecem no sumário de alarmes se a variável associada ao erro (BOOL40, 41 ou 44) estiver ativa.

Configuração de Grupo de Alarmes... | Adicionar...

	Variável	Grupo de Alarmes	Origem de Dados	Endereço do Dispositivo	Mensagem
1	BOOL40	GrupodeAlarme1	Externo	%M40	pressão baixa atuador Y3
2	BOOL41	GrupodeAlarme1	Externo	%M41	pressão baixa atuador Y2
3	BOOL44	GrupodeAlarme1	Externo	%M44	pressão baixa circuito

Figura 4.95 – Alarmes do grupo de alarme 1 da HMI do *Display* 3

Tela 3: Esta é a tela do menu de produção. Ao premirmos o interruptor, "produção", acede-se à tela 8, da produção. Se for premido o interruptor "histórico de produção", abre-se a janela de *popup* 10013. Se, porventura, se premir o interruptor, "estado do controlador", entra-se na tela 6, referente ao controlador.



Figura 4.96 – Tela 3 da HMI do *Display* 3

Tela 6: Para verificar qual o estado em que o PLC associado a esta HMI se encontra, acedemos a esta tela. Se estiver em modo *Run*, encontra-se uma luz verde ligada, se estiver em modo *Stop*, está ligada uma luz azul, e caso esteja no modo *Error*, está ligada uma luz vermelha.



Figura 4.97 – Tela 6 da HMI do *Display* 3

Tela 8: A tela 8 é a tela de "produção". Ao ser premido o interruptor, "ordens de fabrico", acede-se à tela 9, das ordens de fabrico lançadas. Contudo, se a máquina necessitar de ser previamente preparada, devemos premir o interruptor "à espera de preparação", abrindo a janela de *popup* 10011. Caso se precise de efetuar uma operação de manutenção ou reparação, é necessário premir o botão "à espera de manutenção/reparação" e aí abre-se a janela de *popup* 10012.



Figura 4.98 – Tela 8 da HMI do *Display* 3

Tela 9: Se existir alguma ordem de fabrico lançada, ao se aceder a esta tela, tem-se acesso à visualização das ordens de fabrico lançadas. Caso exista alguma ordem de fabrico lançada é possível premir o botão "detalhes da ordem de fabrico" e aceder aos detalhes da ordem de fabrico posteriormente selecionada na janela de *popup* 10006. Para que se consigam ver as ordens de fabrico lançadas na tabela, a qual tem o nome de sumário de alarme, configurou-se e criou-se um "grupo de alarme", denominado GrupodeAlarme2.



Figura 4.99 – Tela 9 da HMI do *Display* 3

As mensagens das ordens de fabrico lançadas, estão organizadas segundo a ordem de lançamento e são apresentadas, de acordo com a imagem seguinte. Chama-se à atenção que o número máximo de ordens de fabrico lançadas em simultâneo é 10. Por esse mesmo motivo, e para que se possa continuar a lançar ordens de fabrico, cada vez que se conclui, rejeita ou cancela uma ordem de fabrico, deve-se arquivar a mesma.

Configuração de Grupo de Alarmes... | Adicionar...

	Variável	Grupo de Alarmes	Origem de Dados	Endereço do Dispositivo	Mensagem
1	BOOL50	GrupodeAlarme2	Externo	%M50	Lançada Ordem de Fabrico 1
2	BOOL51	GrupodeAlarme2	Externo	%M51	Lançada Ordem de Fabrico 2
3	BOOL52	GrupodeAlarme2	Externo	%M52	Lançada Ordem de Fabrico 3
4	BOOL53	GrupodeAlarme2	Externo	%M53	Lançada Ordem de Fabrico 4
5	BOOL54	GrupodeAlarme2	Externo	%M54	Lançada Ordem de Fabrico 5
6	BOOL55	GrupodeAlarme2	Externo	%M55	Lançada Ordem de Fabrico 6
7	BOOL56	GrupodeAlarme2	Externo	%M56	Lançada Ordem de Fabrico 7
8	BOOL57	GrupodeAlarme2	Externo	%M57	Lançada Ordem de Fabrico 8
9	BOOL58	GrupodeAlarme2	Externo	%M58	Lançada Ordem de Fabrico 9
10	BOOL59	GrupodeAlarme2	Externo	%M59	Lançada Ordem de Fabrico 10

Figura 4.100 – Alarmes do grupo de alarme 2 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10006: Na janela de *popup* 10006, ao selecionarmos uma das ordens de fabrico lançadas, vemos os detalhes dessa mesma ordem de fabrico selecionada. Para isso basta premir o botão "selecionar" que se encontra à frente do número da ordem de fabrico que queremos visualizar. Ao ser premido o respetivo botão, transitamos para a tela 11 e igualaremos os valores das variáveis internas INT00, 01, 02, 03, 04, 05, 07 e 09 aos valores das variáveis da ordem de fabrico selecionada OF30i[0], 30i[1], 30i[2], 30i[3], 30i[4], 30i[5], 30i[7] e 30i[8], onde i é o número da ordem de fabrico lançada selecionada, estando compreendida entre 0 e 9. Também se iguala o valor da VAR06 a 0, caso o valor inicial da variável OF30i[6] for 0, ou se iguala o valor de VAR06 ao valor da OF30i[6] se o valor de OF30i[6] for maior que 0.



Figura 4.101 – Janela de *popup* 10006 da HMI do *Display* 3

Tela 11 (1ª configuração): A tela 11 tem vários interruptores. A visibilidade desses interruptores está relacionada com o valor da variável que dita o estado da ordem de fabrico, VAR06. Na Tabela 4-1 podem ser visualizados os valores possíveis dessa variável, e qual o estado da ordem de fabrico correspondente. Como tal, e para que se perceba um pouco melhor a função de cada um dos interruptores, a tela 11 irá ser apresentada com diversas configurações, em cada uma delas aparecerão os interruptores correspondentes.

Tabela 4-1 – Valores da variável VAR06 e correspondente estado da ordem de fabrico

Valor da variável VAR06	Estado da ordem de fabrico	Valor da variável VAR06	Estado da ordem de fabrico
0	Aguarda avaliação	5	Cancelada
1	Em preparação	6	Aceite
2	Em curso	7	Rejeitada
3	Em pausa	8	Rejeitada - falta de material
4	Concluído	9	Rejeitada - Maq. não configurada

Depois da seleção da ordem de fabrico que se pretende ver detalhada, nesta tela apresentam-se determinados dados da ordem de fabrico em causa, nomeadamente:

- o número da ordem de fabrico, INT00;
- o número da máquina utilizada, INT01;
- o tipo de peça, INT02;
- o número de peças, INT03, e
- o estado da ordem de fabrico, VAR06.

A configuração desta tela é válida quando VAR06=0 e, por isso se encontra no estado "aguarda avaliação". Visto que a ordem de fabrico está em avaliação, podemos:

- aceitar a ordem de fabrico, caso se prima o botão "aceitar ordem de fabrico";
- rejeitar a ordem de fabrico, se for premido o botão "rejeitar ordem de fabrico".



Figura 4.102 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (1ª configuração)

Janela de *Popup* 10002: Se na tela anterior, tela 11 (1ª configuração), for selecionada a opção rejeitar a ordem de fabrico, o valor da VAR06 será igualado a 7, e na janela de *popup* 10002 deve ser selecionada a razão da rejeição. Selecionado o interruptor "falta de material", considera-se que a ordem de fabrico foi rejeitada por falta de material e o valor da VAR06 passa a ser 8, mas se for selecionado o botão "máquina não configurada", assume-se que a máquina não se encontrava devidamente configurada e a VAR06 passará a valer 9. Selecionando um dos dois interruptores, iremos para a tela 11 (3ª configuração).

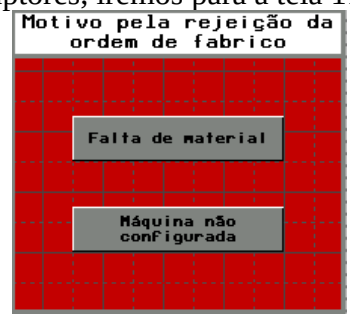


Figura 4.103 – Janela de *popup* 10002 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10003: Contudo, se na tela anterior, tela 11 (1ªconfiguração), for selecionada a opção aceitar a ordem de fabrico, na janela de *popup* 10003 deve ser dito se a máquina está ou não preparada. Se a máquina ainda não estiver preparada deve-se selecionar a opção "iniciar preparação da máquina" e, ao terminar a preparação da mesma, devemos premir o interruptor "preparação da máquina concluída" de modo a avançar para a janela de

popup 10004. Contudo, se a máquina estiver previamente preparada, devemos premir o interruptor "máquina preparada" e avançamos diretamente para a janela de *popup* 10004.



Figura 4.104 – Janela de *popup* 10003 (1ª e 2ª configuração) da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10004: Quando a máquina estiver preparada, está pronta para iniciar a execução da ordem de fabrico. Nesta janela de *popup* é possível iniciar a execução da ordem de fabrico, premindo o interruptor "iniciar execução". Nesse caso o valor da VAR06 será igualado a 2 e transitaremos para a janela de *popup* 10005.
No entanto, se por algum motivo for pretendido cancelar a execução da ordem de fabrico, deve ser premido o botão "cancelar execução". Nessa situação a VAR06 passará a valer 5 e o utilizador é redirecionado para a tela 11 (3ª configuração).

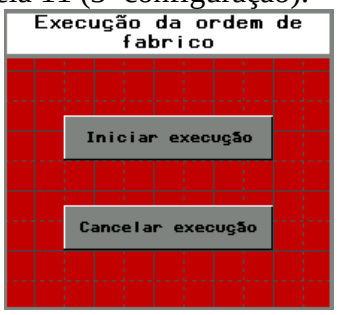


Figura 4.105 – Janela de *popup* 10004 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10005: Enquanto a ordem de fabrico estiver em curso, estará aberta a janela de popup 10005. Nesta janela são apresentados determinados dados da ordem de fabrico em curso, nomeadamente:

- o número da ordem de fabrico, INT00;
- o número peças da ordem de fabrico, INT03;
- o número de peças aceites, INT05;
- o número de peças rejeitadas, INT07, e
- o número de peças que faltam executar, INT04.

Se o número de peças que falta executar for maior que 0, será visível o interruptor "interromper execução". Caso seja premido a execução da ordem de fabrico é interrompida, o valor da VAR06 é igualado a 3, e é apresentada a tela 11 (2ª configuração). Todavia, se o número de peças que faltam executar for igual a 0, será visível o botão "concluir execução", e se este for premido conclui-se a execução da ordem de fabrico, VAR06 iguala-se a 4, e transitamos para a tela 11 (3ª configuração).



Figura 4.106 – Janela de *popup* 10005 (1ª e 2ª configuração) da HMI do *Display* 3

Tela 11 (2ª configuração): À semelhança da tela 11 (1ª configuração), nesta tela são apresentados os mesmos tipo de dados da ordem de fabrico. No entanto, se o valor da VAR06 for 3, que significa que a ordem de fabrico está em pausa, existe a possibilidade de selecionar o interruptor "retomar execução", para retomar a execução da ordem de fabrico e, nessa situação, iguala-se o valor da VAR06 a 2 e abre-se a janela de *popup* 10005 (1ª configuração), existindo também a possibilidade de selecionar o interruptor "cancelar execução" e, nesse caso, a ordem de fabrico é cancelada, iguala-se o valor da VAR06 a 5 e abre-se a tela 11 (3ª configuração).



Figura 4.107 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (2ª configuração)

Tela 11 (3ª configuração): Tal como nas outras 2 configurações da tela 11, também nesta tela, onde se apresenta a 3ª configuração da tela 11, são apresentados os mesmos tipos de dados da ordem de fabrico. Caso a ordem de fabrico seja rejeitada, VAR06=7, "cancelada", VAR06=5, ou "concluída", VAR06=4, aparece visível nesta tela o interruptor "arquivar ordem fabrico", o que permite arquivar a ordem de fabrico no histórico de produção.



Figura 4.108 – Tela 11 da HMI do *Display* 3 (3ª configuração)

Janela de *Popup* 10011: Se na tela 8 for premido o interruptor "à espera de preparação", abre-se a janela de *popup* 10011. Aqui deve-se fazer o *login* para aceder ao menu de preparação da máquina. Se este for válido, aparecerá um interruptor, um quadrado com uma seta que, se for premido nos leva até ao menu de preparação, abrindo a tela 4.

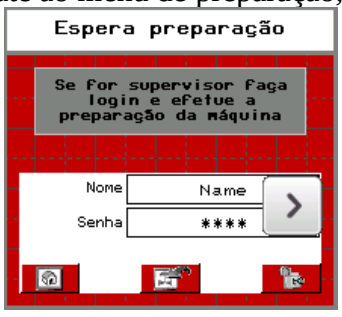


Figura 4.109 – Janela de *popup* 10011 da HMI do *Display* 3

Tela 4: Nesta tela está presente o "menu de preparação". Aqui estão presentes dois interruptores, o de "ajuste de parâmetros", que nos permite ajustar determinados parâmetros

do sistema. Ao premir esse interruptor abre-se a janela de *popup* 10010. Por seu lado, o interruptor "preparação concluída" faz o *logout* deste menu e regressa à tela 2.



Figura 4.110 – Tela 4 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10010: Com esta janela aberta é possível ajustar certos parâmetros do sistema, nomeadamente:

- o valor de INT11, do temporizador do fecho da maxila;
- o valor de INT12, do temporizador do sopro de ar;
- o valor de INT14, do temporizador de avanço da maxila;
- o valor de INT15, do temporizador da abertura da maxila, e
- o valor de INT16, temporizador de recuo da maxila.

Estes valores, caso sejam alterados, causam a atualização dos tempos predefinidos nos respetivos temporizadores.



Figura 4.111 – Janela de *popup* 10010 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10012: Contudo, ao premir o botão "à espera de manutenção/reparação", na tela 8, é aberta a janela de *popup* 10012. Nesta janela de *popup* deve-se fazer o *login* para aceder ao menu de manutenção. Se este for válido, aparecerá um interruptor, um quadrado com uma seta, que se for pressionado nos leva até ao menu de manutenção, abrindo a tela 5



Figura 4.112 – Janela de *popup* 10012 da HMI do *Display* 3

Tela 5: Na tela 5 temos presente o menu de manutenção. Aqui estão presentes quatro interruptores. O primeiro interruptor é o de "histórico de avarias", que nos permite ver o histórico de avarias, acedendo à tela 7. O segundo é o de "monitorização de variáveis", que nos permite visualizar a monitorização de variáveis associadas a detetores utilizados no sistema, na janela de *popup* 10008. O terceiro interruptor, de "monitorização de comandos", permite-nos aceder à janela de popup 10009, onde temos a capacidade de fazer o comando

manual do sistema, através da ativação ou desativação, das variáveis associadas às eletroválvulas ligadas aos atuadores do sistema. Já o 4º interruptor, "manutenção concluída", faz o *logout* deste menu e redireciona-nos para a tela 2.



Figura 4.113 – Tela 5 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10008: Nesta janela de popup somos capazes de ver os valores atuais de determinadas variáveis associadas a diferentes detetores utilizados neste sistema, nomeadamente o valor de BOOL01, do pressostato P1, BOOL05, do detetor 1, BOOL06, do detetor 2, BOOL07, do detetor 3, e o valor de INT30, do transdutor de posição do recipiente.



Figura 4.114 – Janela de *popup* 10008 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10009: Na janela 10009 para além de sermos capazes de verificar o estado das eletroválvulas associadas a cada atuador, estando o interruptor a verde caso esteja ativo e a cinza caso esteja desativo, temos também a capacidade de alterar o estado dessas mesmas eletroválvulas. Assim sendo, o interruptor "alimentação de ar", apresenta o estado da variável BOOL14, "rotação para funil", o estado da variável BOOL15, "rotação para armazém", o estado da variável BOOL16, "abre maxila", o estado da variável BOOL17, "avança maxila", o estado da variável BOOL18, "sopro de ar", o estado da variável BOOL19, "desbloqueia funil", o estado da variável BOOL20, "avança funil", o estado variável BOOL21, e "recua funil", o estado variável BOOL22.

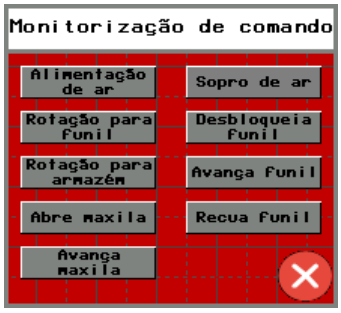


Figura 4.115 – Janela de *popup* 10009 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10013: Se na tela 3 se premir o interruptor "histórico de produção", abre-se a janela de *popup* 10013. Aqui, se porventura existir alguma ordem de fabrico armazenada no histórico de produção, ao selecionarmos uma dessas ordens de fabrico armazenadas vemos os detalhes dessa mesmo ordem de fabrico selecionada. Ao premirmos o botão selecionar, transitamos para a tela 13 e igualaremos os valores das variáveis internas VAR20, 21, 22, 23, 25, 26 e 27 aos valores das variáveis da ordem de fabrico armazenada no histórico de

produção selecionada OF300i[0], 300i[1], 300i[2], 300i[3], 300i[5], 300i[6] e 300i[7]. De notar que i é o número da ordem de fabrico armazenada no histórico de produção selecionado, estando compreendido entre 0 e 7. Se premirmos o interruptor com uma imagem de caixote do lixo, limpamos o histórico de produção.



Figura 4.116 – Janela de *popup* 10013 da HMI do *Display* 3

Tela 13: Depois da seleção da ordem de fabrico armazenada que se pretende ver detalhada, nesta tela são apresentados determinados dados da ordem de fabrico armazenada em causa, nomeadamente:

- o número da ordem de fabrico, VAR20;
- o número da máquina utilizada, VAR21;
- o tipo de peça, VAR22;
- o número de peças, VAR23;
- o número de peças aceites, VAR25;
- o número de peças rejeitadas, VAR27, e
- o estado da ordem de fabrico quando armazenada, VAR26.



Figura 4.117 – Tela 13 da HMI do *Display* 3

Janela de *Popup* 10007: Depois do transporte de um tubo ser efetuado, automaticamente deverá abrir-se a janela de *popup* 10007, que nos permitirá avaliar o ciclo executado. Se o lançamento do tubo for perfeito, deve pressionar-se o interruptor "calibrado", ativando temporariamente a variável BOOL 27. Caso o tubo lançado seja inserido no recipiente próprio, mas tenha tocado na extremidade do recipiente mais afastada da zona de lançamento, significa que a intensidade do sopro de ar foi um pouco excessiva e devemos selecionar o interruptor "calibrado por excesso", ativando BOOL28, no entanto, se tocar na extremidade mais próxima da zona de lançamento, significa que a intensidade do sopro de ar foi um pouco fraca e devemos selecionar o interruptor "calibrado por defeito", ativando BOOL29. Contudo, se o tubo não for inserido no recipiente adequado, porque o sopro de ar foi demasiado intenso e ultrapassou o recipiente adequado, devemos premir o botão "descalibrado por excesso", ativando BOOL30, mas se o sopro de ar for demasiado fraco e nem sequer chegar ao recipiente, deve-se premir em "descalibrado por defeito", ativando BOOL31.



Figura 4.118 – Janela de *popup* 10007 da HMI do *Display* 3

4.4 Display 4 - Manipulação de bolas

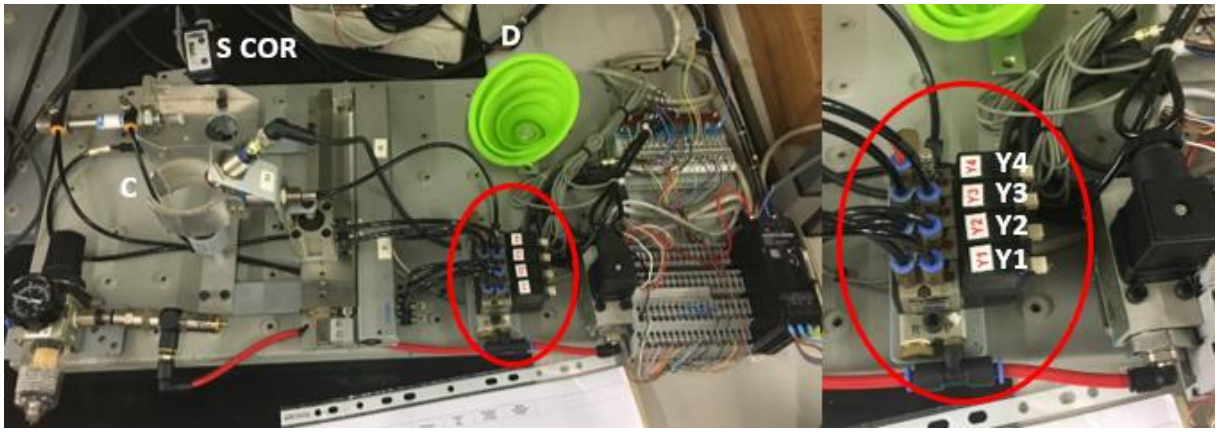


Figura 4.119 – *Display* 4, com a zona de carga (C) e a de descarga (D), bem como os solenóides, de Y1 a Y4 e o sensor de cor S COR

Este sistema automático de demonstração tem capacidade para movimentar bolas, desde uma zona de carga (C), até uma zona de descarga (D) à qual está associado um recipiente de recolha dessas peças, como representado na Figura 4.119.

Contudo as bolas transportadas têm uma determinada cor, existindo bolas de três cores distintas, amarelas, azuis e vermelhas. Dessa maneira, o tipo de peça transportada corresponde à cor da bola, sendo o tipo de peça 1 as bolas de cor vermelha, o tipo de peça 2 as bolas de cor azul e o tipo de peça 3 as bolas de cor amarela. A cor da bola é identificada por um detetor de cores, o qual se encontra identificado na Figura 4.119 por S COR.

Ainda de referir que, caso a bola inserida na zona de carga C, não seja do mesmo tipo de bola da ordem de fabrico, ou seja, caso a cor da bola inserida seja diferente da cor da bola da ordem de fabrico em curso, a bola em vez de ser rematada, é novamente transportada para a zona de carga C, de onde deverá ser posteriormente removida e inserida uma bola da cor pretendida. Enquanto a cor da bola inserida para ser posteriormente transportada, não for da cor da bola referida na ordem de fabrico em curso, esta não é lançada.

Um processo de funcionamento automático deste equipamento pode, assim, constituir uma ordem de fabrico, que é enviada pelo dispositivo supervisor do processo onde constará o número de bolas que irão ser transportadas, e qual o tipo de bola que será transportada, que ditará a cor da bola que deverá ser transportada.

Consoante essas informações, o ciclo de movimentos de transporte deverá repetir-se o número de vezes igual ao número de peças.

Assim, o funcionamento deste processo produtivo, uma vez definida, recebida e validada uma ordem de fabrico, será o seguinte:

1) Ativar o equipamento: sendo este equipamento eletropneumático a sua ativação corresponde à ativação da alimentação do ar comprimido e da verificação de que essa alimentação atingiu o nível correto de pressão. Após um tempo de espera, o pressostato (P1) deverá confirmar a efetiva alimentação do ar.
2) Alimentação de peça: Após ser confirmada a efetiva alimentação de ar, deve abrir-se a garra pneumática, de modo a ser possível colocar a bola a transportar na zona de carga C. A garra pneumática é comandada pela eletroválvula monoestável V4, e para que a garra se abra tem que se ativar e manter ativo o solenóide Y4.
   Depois de colocada a peça na zona de carga, o detetor S3 ativa-se, indicando que foi introduzida uma peça nessa mesma zona.
   Para remover a peça da zona de carga, o atuador A3 deverá baixar, de maneira que o atuador A4 (garra pneumática) abrace totalmente a bola, ou seja, até ao fim de curso do atuador A3, o que obriga a ativar o solenóide Y3, da eletroválvula monoestável V3. Por último tem de se agarrar firmemente a bola, tendo que se fechar a garra para que a bola não saia desta durante o transporte, e para isso, tem que se ativar o solenóide Y4, da eletroválvula monoestável V4.

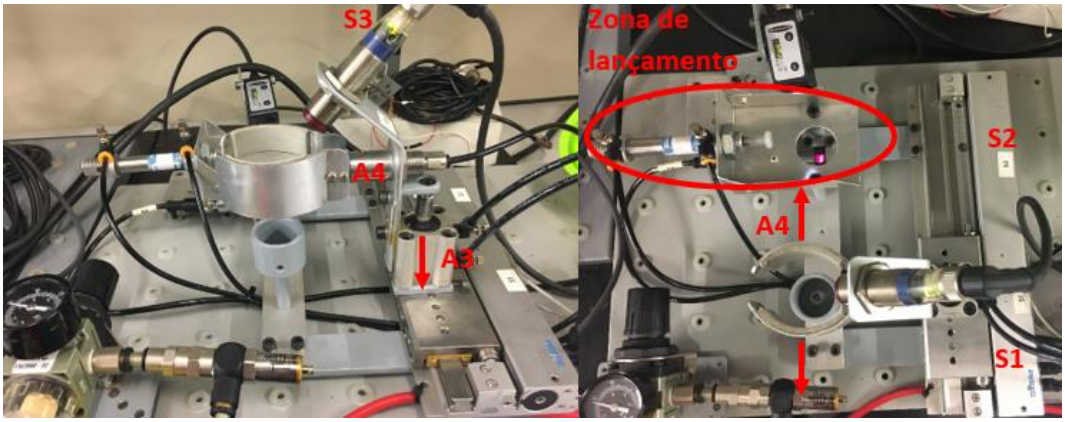


Figura 4.120 – *Display* 4, onde estão representados os atuadores A3 e A4, os detetores S1, S2 e S3, e movimentos

3) Pré-posicionamento para a descarga: Mantendo-se a garra fechada, tem de se fazer com que o atuador A3 suba, de modo a remover a bola do suporte na zona de carga. Isso acontece se for desativo o solenóide Y3.
   Após um curto tempo de espera, que garante que o atuador A3 subiu completamente, deve então transladar-se o conjunto de atuadores A3 e A4, de modo a posicionar a bola na zona de lançamento da mesma. O atuador responsável por esse movimento é o atuador de duplo efeito A1, que é comando pela eletroválvula monoestável V1, e para que se realize o movimento pretendido tem que se ativar o solenóide Y1.
   Quando o detetor S2 estiver ativo, significa que o atuador A1 está posicionado na zona de lançamento. Nessa situação deve-se fazer baixar o atuador A3, e por fim o atuador A4 (garra pneumática) tem que abrir totalmente para libertar a bola.

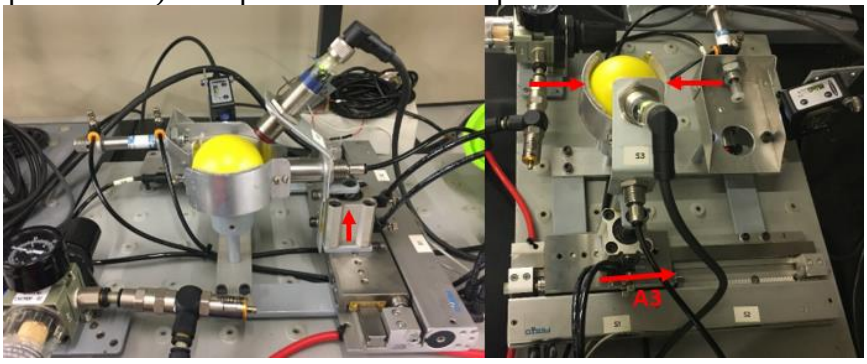


Figura 4.121 – *Display* 4, onde está representado o atuador A3 e movimentos

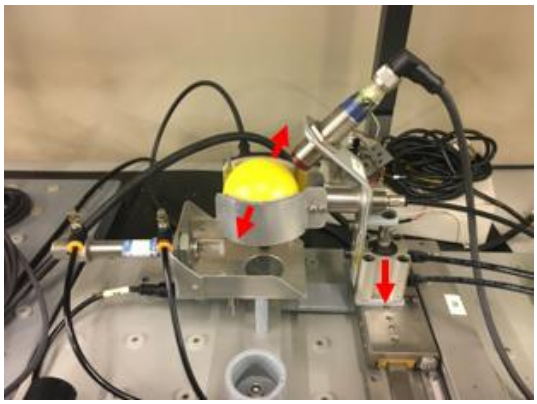


Figura 4.122 – *Display* 4, onde estão representados movimentos

4) Identificação da peça: A identificação da cor da bola é feita através de um sensor de cor visível na Figura 4.119. Contudo para que este sensor consiga fazer uma leitura correta, o atuador A3 deverá estar subido.

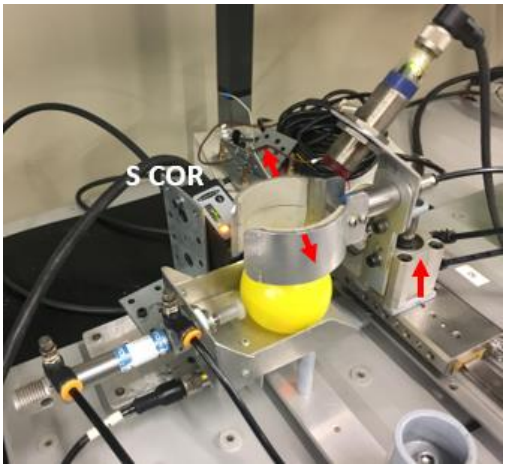


Figura 4.123 – *Display* 4, onde está representado o detetor de cor e movimentos

5) Descarga da peça ou devolução da mesma: Caso a leitura do sensor de cor diga que a cor da bola está de acordo com o tipo de bola selecionada na ordem de fabrico, a bola poderá ser lançada para o recipiente de descarga, D. Para que a bola seja lançada para o recipiente de descarga D, o conjunto de atuadores A3 e A4 têm que retomar a sua posição inicial, ou seja, têm que transladar até que o detetor S1 se ative, para que isso aconteça tem que se desativar o solenóide Y1.
   O lançamento da bola para ser feito, tem que se empurrar a bola com intensidade suficiente para atingir a zona de descarga, o atuador responsável por essa tarefa é o atuador A2. Este atuador é comandado pela eletroválvula monoestável V2, e para efetuar o movimento desejado tem que se ativar o solenóide Y2 por um curto período de tempo.
   No entanto, se a leitura do sensor de cor indicar que a cor da bola não está de acordo com o tipo de bola selecionada na ordem de fabrico, a bola deve ser removida da zona de lançamento e colocada na zona de carga, para que possa ser removida a bola com a cor errada e colocada uma com a cor correta. Para devolver a bola, tem que se começar por baixar o atuador A3, e de seguida fechar o atuador A4 para agarrar a bola.
   De seguida tem que se subir o atuador A3, depois de estar totalmente avançado, temos que transladar o conjunto de atuadores A3 e A4 para a posição inicial, ou seja, até que se ative o detetor S1. Ao estar nessa posição devemos abrir o atuador A4 para que a bola possa ser removida, e para que possa ser inserida na zona de cara uma bola com a cor correta.

Enquanto a bola inserida não for da cor correta, esta não será lançada.

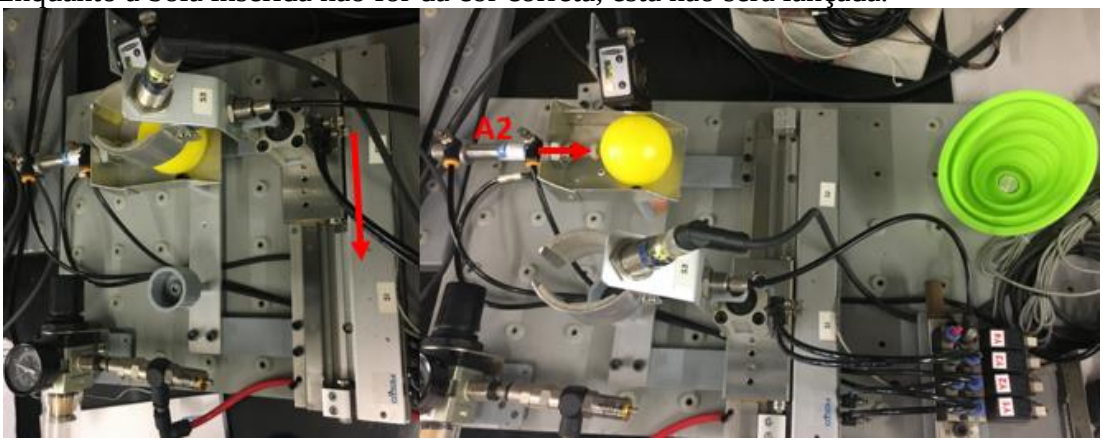


Figura 4.124 – *Display* 4, onde está representado o atuador A2 e movimentos

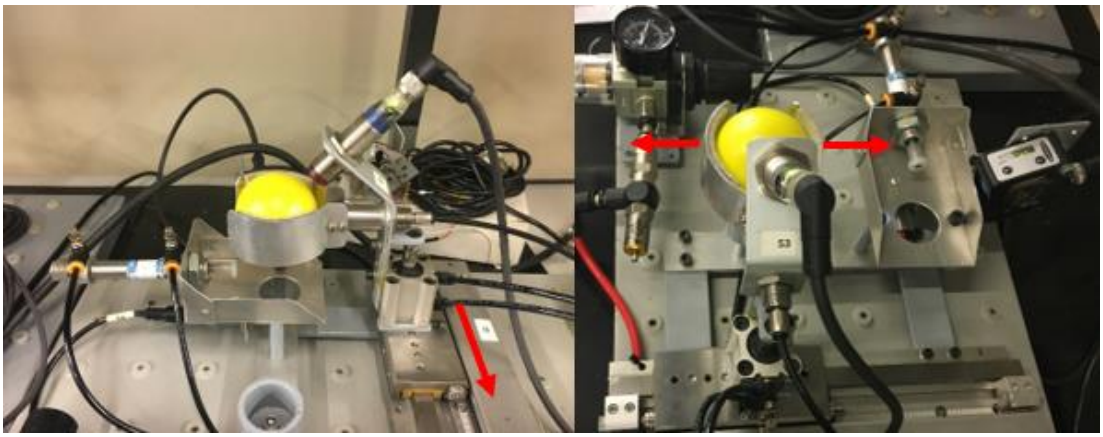


Figura 4.125 – *Display* 4, onde estão representados movimentos

6) Repetição ou finalização do processo produtivo: Caso o número de bolas que se pretende transportar na ordem de fabrico em curso ainda não tenha sido atingido, repete-se novamente toda a sequência. Se o número de bolas que se pretende transportar na ordem de fabrico em curso for atingido finaliza-se o processo produtivo.
7) Avaliação da qualidade do processo: Uma vez realizado cada ciclo produtivo da máquina o operador é chamado a fazer uma avaliação da qualidade do produto, que será feita através da apreciação da qualidade do lançamento da bola para o recipiente. Em função dessa avaliação o controlador poderá empreender um ajuste do tempo que altera a intensidade do movimento do atuador A2, responsável pelo lançamento da bola. O objetivo será sempre ter como objetivo executar um lançamento da bola perfeito.

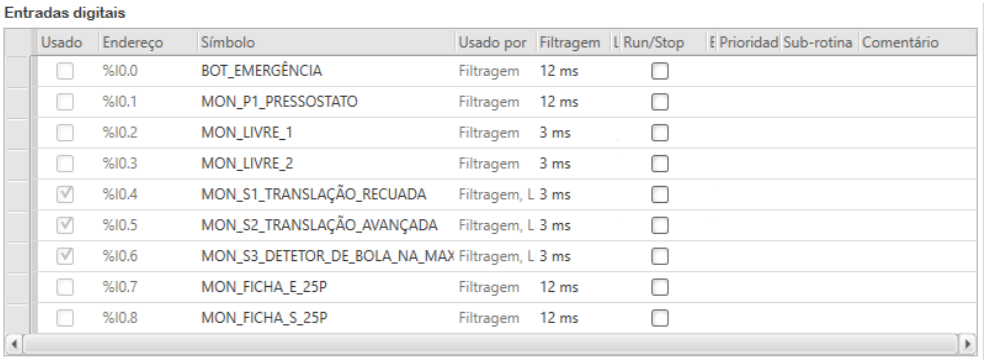
Programação do PLC *Display* 4

O controlador utilizado neste *Display*, foi um Schneider®, modelo TM221CE16R, com um módulo TM3DI8G, de entradas digitais. Este PLC tem de ser programado por um *software* específico da própria marca, o *SoMachine Basic*®. Na programação deste dispositivo, foi utilizada a programação em *Grafcet* e em linguagem *Ladder*.

Inicialmente foi declarado no *software* o controlador utilizado e os módulos acoplados, e de seguida criaram-se e configuraram-se as variáveis de interface com o hardware da máquina. Nas figuras seguintes são visíveis as variáveis utilizadas quer no PLC, quer no módulo acoplado. Todas as variáveis que começam por MON, que significa monitorização, estão associadas a variáveis digitais de entrada, já as variáveis que começam por ATU, que

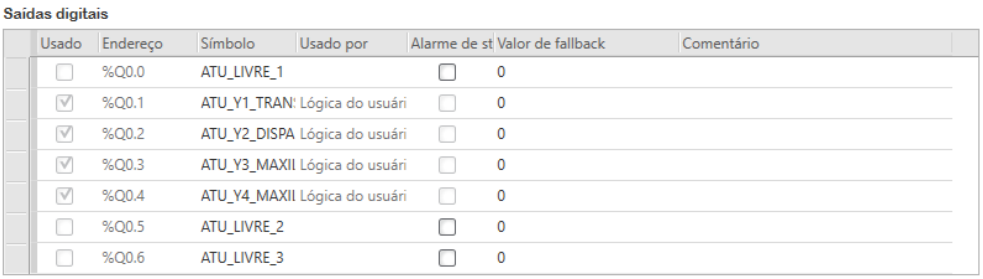
significa atuação, estão associadas a variáveis digitais de saída. As variáveis MON_LIVRE, significam variáveis de monitorização que não estão a ser utilizadas. Do mesmo modo, ATU_LIVRE identifica-se com variáveis de atuação que não estão a ser utilizadas.

Com base na especificação feita, atribuíram-se nomes às variáveis. Para se compreender mais facilmente a válvula que terá de ser atuada para que o movimento pretendido seja realizado, o nome das atuações é composto pelo solenóide associado. Relativamente à filtragem utilizada nas variáveis de entradas digitais, para detetores vulgares, utilizou-se uma filtragem de 3ms, mas para detetores de contacto mecânico, como o botão de emergência foi utilizada uma filtragem de 12 ms.


Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Filtragem	L	Run/Stop	E	Prioridad	Sub-rotina	Comentário
☐	%I0.0	BOT_EMERGÊNCIA	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.1	MON_P1_PRESSOSTATO	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.2	MON_LIVRE_1	Filtragem	3 ms		☐				
☐	%I0.3	MON_LIVRE_2	Filtragem	3 ms		☐				
☑	%I0.4	MON_S1_TRANSLAÇÃO_RECUADA	Filtragem, L	3 ms		☐				
☑	%I0.5	MON_S2_TRANSLAÇÃO_AVANÇADA	Filtragem, L	3 ms		☐				
☑	%I0.6	MON_S3_DETETOR_DE_BOLA_NA_MAX	Filtragem, L	3 ms		☐				
☐	%I0.7	MON_FICHA_E_25P	Filtragem	12 ms		☐				
☐	%I0.8	MON_FICHA_S_25P	Filtragem	12 ms		☐				

Figura 4.126 – Configuração das entradas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 4


Saídas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Usado por	Alarme de st	Valor de fallback	Comentário
☐	%Q0.0	ATU_LIVRE_1		☐	0	
☑	%Q0.1	ATU_Y1_TRAN	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.2	ATU_Y2_DISPA	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.3	ATU_Y3_MAXII	Lógica do usuári	☐	0	
☑	%Q0.4	ATU_Y4_MAXII	Lógica do usuári	☐	0	
☐	%Q0.5	ATU_LIVRE_2		☐	0	
☐	%Q0.6	ATU_LIVRE_3		☐	0	

Figura 4.127 – Configuração das saídas digitais do PLC TM221CE16R do *Display* 4


Entradas digitais

Usado	Endereço	Símbolo	Comentário
☐	%I1.0	MON_S4_DETETOR_BOLA_NO_DISPARO	
☐	%I1.1	MON_S5_DETETA_COR_VERMELHA	
☐	%I1.2	MON_S5_DETETA_COR_AMARELA	
☐	%I1.3	MON_S5_DETETA_COR_AZUL	
☐	%I1.4	MON_LIVRE_6	
☐	%I1.5	MON_LIVRE_7	
☐	%I1.6	MON_LIVRE_8	
☐	%I1.7	MON_LIVRE_9	

Figura 4.128 – Configuração das entradas digitais do módulo PLC TM3DI8G do *Display* 4

4.5 Display supervisor

De acordo com o que já foi dito anteriormente, um controlador mestre é utilizado para estabelecer a comunicação entre todos os *Display's*, de modo a supervisionar os processos de fabrico realizados pelos respetivos *Display's*.
Como tal, a primeira tarefa a realizar é a comunicação entre dispositivos. A comunicação é realizada de acordo com a Figura 4.129.

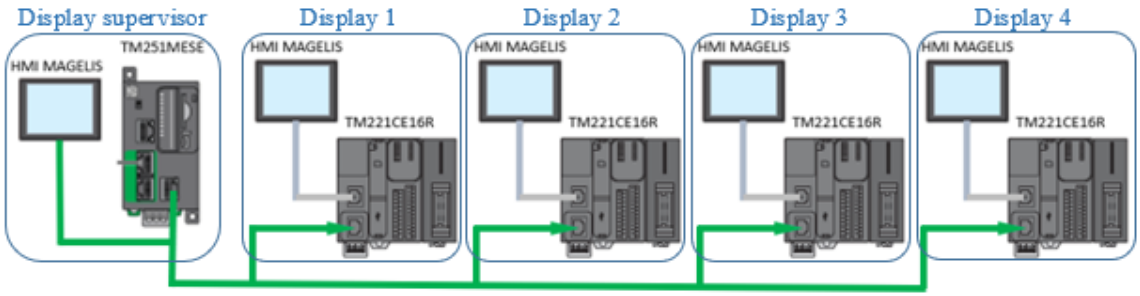


Figura 4.129 – Rede de comunicação Ethernet entre dispositivos

O controlador utilizado para este display foi um PLC da marca *Schneider*®, modelo TM251MESE. Este é um controlador recomendado para comunicação entre dispositivos, uma vez que tem uma porta Ethernet 2, recomendada para comunicação entre dispositivos de chão da fábrica, e 2 portas Ethernet 1, recomendada para comunicação de nível superior. Assim sendo, a porta utilizada para a comunicação com os restantes *Display's* foi a porta Ethernet 2. Relativamente à HMI associada a este controlador, utilizou-se uma HMI da mesma marca do PLC, cujo modelo é HMISTU855. A comunicação entre esta HMI e o PLC é feita, também, através de uma ligação Ethernet. O cabo Ethernet que estabelece essa comunicação, liga na porta Ethernet da HMI, e na porta Ethernet 2 no PLC.
As comunicações entre o display supervisor e os *Display's* 1, 2, 3 e 4 são estabelecidas através de ligação Ethernet. Os cabos que efetuam essa ligação são cabos Ethernet e, no lado do PLC 1, 2, 3 e 4, devem ser ligados na porta Ethernet do respetivo controlador, enquanto que do lado do PLC supervisor, devem todos ser ligados à porta Ethernet 2.
No entanto, como existem diversos equipamentos que têm de ser conectados na porta de Ethernet 2 do PLC supervisor, foi necessário utilizar dois módulos de comunicação da Schneider modelo TM4ES4. Estes módulos são *switchs* Ethernet que têm a função de expandir a porta Ethernet 2, através da utilização destes equipamentos, em vez de termos uma porta Ethernet 2, passamos a ter 5 portas Ethernet 2 disponíveis, em vez de apenas 1. Embora cada um destes *switchs* tenha 4 portas Ethernet disponíveis, apenas 5 ficam livres para ligar dispositivos, as restantes 3 portas são utilizadas para fazer a ligação entre a porta Ethernet 2 do PLC e um dos *switchs*, através do cabo representado a verde na Figura 4.130. Um outro é usado para fazer a ligação entre *switchs*, através do cabo branco assinalado com uma seta na Figura 4.130. Nessa mesma figura é visível o controlador TM251MESE e os dois módulos TM4ES4, bem como os cabos Ethernet utlizados para a comunicação entre dispositivos.

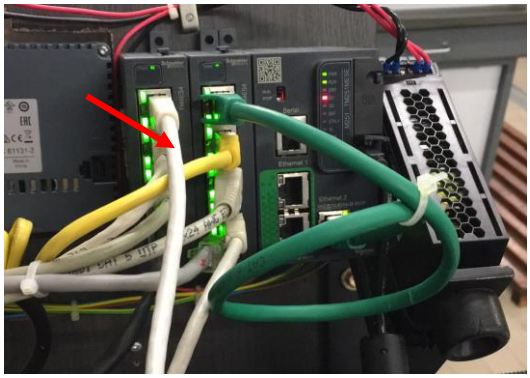


Figura 4.130 – PLC TM251MESE, módulos TM4ES4 e cabos Ethernet utilizados no *Display* supervisor.

Depois de estabelecida a comunicação entre dispositivos, e visto que o controlador utilizado é um TM251MESE, com o software *SoMachine V4.2* ® foi escrito um programa, onde foi configurada a rede de comunicação conjuga todos os dispositivos utilizados, de acordo com a Figura 4.131.

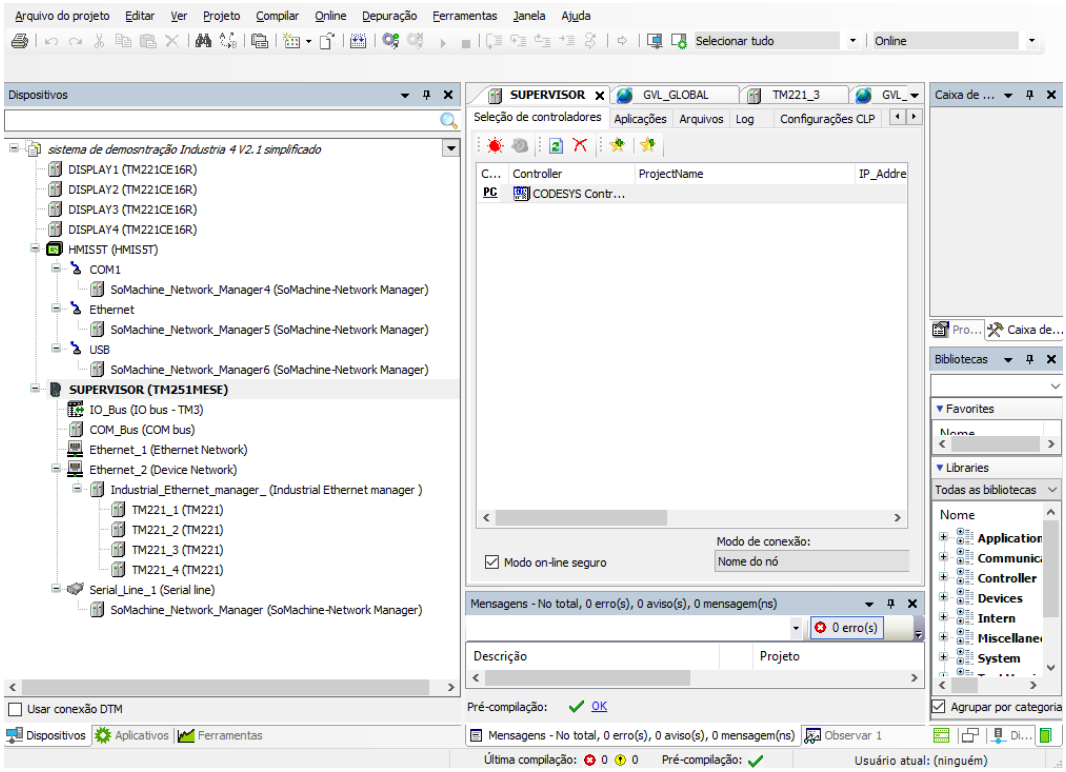


Figura 4.131 – Rede de comunicação entre dispositivos incluída no programa do PLC do *Display* supervisor

Contudo, para que a comunicação pudesse ser estabelecida com sucesso, teve de se configurar devidamente não só os parâmetros da rede Ethernet 2 utilizada para fazer a comunicação, mas também definir os endereços IP de cada um dos dispositivos. A rede Ethernet 2 foi configurada de acordo com a Figura 4.132.

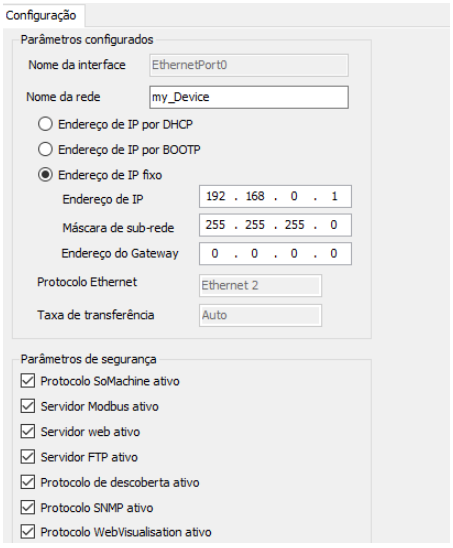


Figura 4.132 – Parâmetros da rede Ethernet 2 do controlador do *Display* supervisor

O endereço de IP do *Display* 1 é configurado conforme a Figura 4.133.

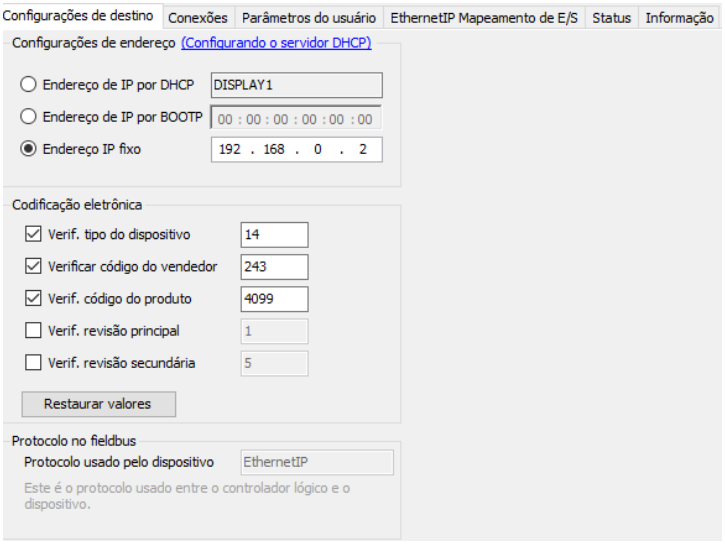


Figura 4.133 – Endereço de IP do controlador do *Display* 1

O endereço de IP do *Display* 2 foi configurado conforme a Figura 4.134.

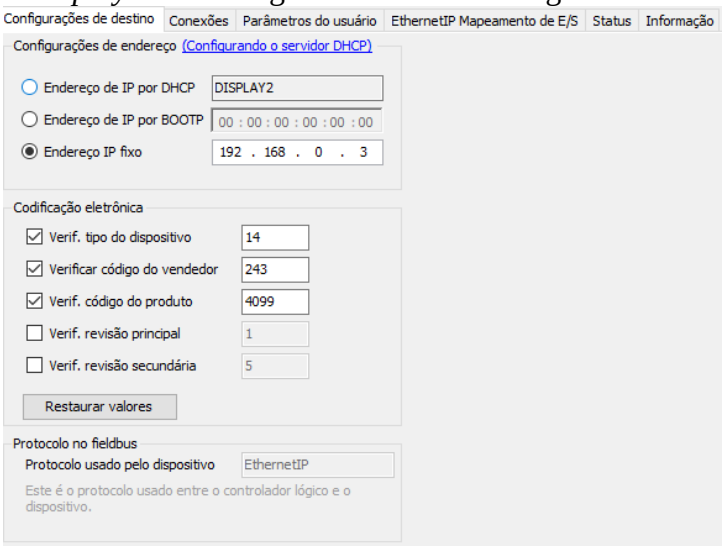


Figura 4.134 – Endereço de IP do controlador do *Display* 2

O endereço de IP do *Display* 3 foi configurado conforme a Figura 4.135.

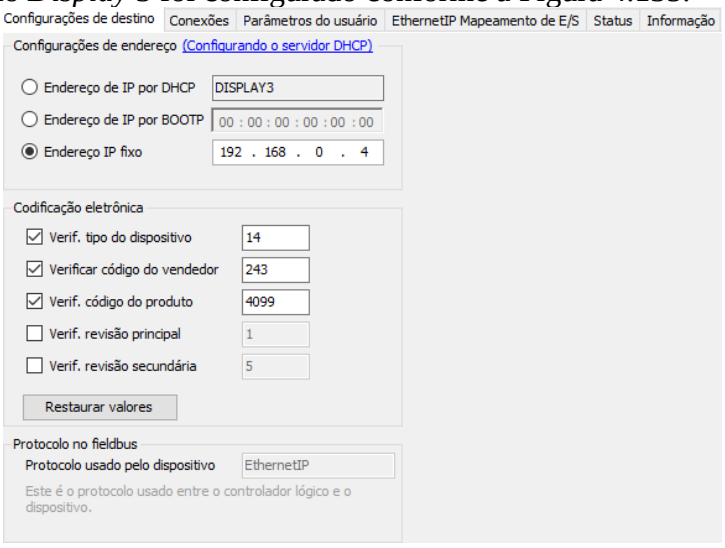


Figura 4.135 – Endereço de IP do controlador do *Display* 3

O endereço de IP do *Display* 4 foi configurado conforme a Figura 4.136.

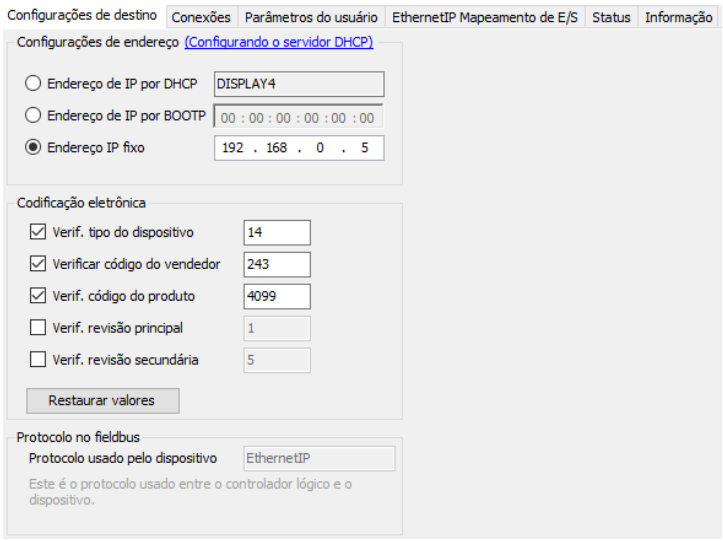


Figura 4.136 – Endereço de IP do controlador do *Display* 4

Programação do PLC do *Display* supervisor

O *Display* supervisor é imprescindível para a inserção dos modelos didáticos num ambiente de Indústria 4.0. Este controlador deve ser capaz de garantir a constante comunicação entre o Supervisor e cada um dos *Display's* 1, 2, 3 e 4. Contudo, devem ser tomados alguns cuidados nessa mesma comunicação. Não deve ser demasiado sobrecarregada, caso contrário poderemos ter alguns problemas de saturação de comunicação.
Assim sendo, todos os programas criados que estabeleçam a comunicação, devem ser devidamente organizados e estruturados.
Nessa ordem de ideias, foi criado um programa de comunicação para cada um dos *Display's* 1, 2, 3 e 4, que têm o nome de VAR_DISP1, VAR_DISP2, VAR_DISP3 e VAR_DISP4, respetivamente. Também no que toca às variáveis utilizadas nos respetivos programas, foram criados grupos de variáveis. As variáveis globais utilizadas, particularmente, nos programas correspondentes ao *Display* 1, 2, 3 e 4, são designadas por GVL_DISP1, GVL_DISP2, GVL_DISP3 e GVL_DISP4. Existe ainda um grupo de variáveis globais que podem ser utilizadas em qualquer um dos 4 programas, designado por GVL_GLOBAL.
Embora existam 4 programas distintos, como foi referido anteriormente, a ideia base de cada programa é muito idêntica, pois o objetivo dos programas no fundo é o mesmo, comunicar com o Supervisor.

Programa VAR_DISP3: Este programa é responsável pela comunicação entre o *Display* 3 e o *Display* supervisor. Neste programa foram criados pacotes de leitura. Existem 10 pacotes para ler os valores de uma dada ordem de fabrico, numerados entre 300 e 309 e 8 pacotes para ler um certo conjunto do histórico de produção, numerados entre 310 e 317, provenientes do *Display* 3. Todos os pacotes de leitura das ordens de fabrico, utilizam as variáveis de leitura compreendidas entre a IW45 (VL_DISP3_00) e a IW54 (VL_DISP3_09). Os pacotes do histórico de produção utilizam as variáveis de leitura compreendidas entre IW55 (VL_DISP3_10) e IW64 (VL_DISP3_19). Contudo, se porventura existir algum erro ativo no *Display* 3, os pacotes de leitura utilizados para o histórico de produção são utilizados para comunicar quais os erros ativos nesse *Display*. De notar que, caso exista algum erro ativo, as variáveis entre IW55 (VL_DISP3_10) e IW64 (VL_DISP3_19), são utilizadas exclusivamente para a comunicação dos erros, e só quando não existir nenhum erro ativo é que se podem utilizar essas mesmas variáveis para a comunicação do histórico da produção.
Da mesma maneira, também foram criados pacotes de escrita, para escrever valores de uma ordem de fabrico quando esta é lançada no *Display* supervisor, utilizando nesses pacotes as variáveis de escrita compreendidas entre a QW40 (VE_DISP3_00) e a QW49

(VE_DISP3_09). Na Figura 4.137 são visíveis as variáveis de comunicação utilizadas no *Display* 3.

Variável	Mapeamento	Canal	Endereço	Tipo
		Input Read From 100 / Write to 150	%IW45	ARRAY [0..19] OF WORD
VL_DISP3_00		Input Read From 100 / Write to 150[0]	%IW45	WORD
VL_DISP3_01		Input Read From 100 / Write to 150[1]	%IW46	WORD
VL_DISP3_02		Input Read From 100 / Write to 150[2]	%IW47	WORD
VL_DISP3_03		Input Read From 100 / Write to 150[3]	%IW48	WORD
VL_DISP3_04		Input Read From 100 / Write to 150[4]	%IW49	WORD
VL_DISP3_05		Input Read From 100 / Write to 150[5]	%IW50	WORD
VL_DISP3_06		Input Read From 100 / Write to 150[6]	%IW51	WORD
VL_DISP3_07		Input Read From 100 / Write to 150[7]	%IW52	WORD
VL_DISP3_08		Input Read From 100 / Write to 150[8]	%IW53	WORD
VL_DISP3_09		Input Read From 100 / Write to 150[9]	%IW54	WORD
VL_DISP3_10		Input Read From 100 / Write to 150[10]	%IW55	WORD
VL_DISP3_11		Input Read From 100 / Write to 150[11]	%IW56	WORD
VL_DISP3_12		Input Read From 100 / Write to 150[12]	%IW57	WORD
VL_DISP3_13		Input Read From 100 / Write to 150[13]	%IW58	WORD
VL_DISP3_14		Input Read From 100 / Write to 150[14]	%IW59	WORD
VL_DISP3_15		Input Read From 100 / Write to 150[15]	%IW60	WORD
VL_DISP3_16		Input Read From 100 / Write to 150[16]	%IW61	WORD
VL_DISP3_17		Input Read From 100 / Write to 150[17]	%IW62	WORD
VL_DISP3_18		Input Read From 100 / Write to 150[18]	%IW63	WORD
VL_DISP3_19		Input Read From 100 / Write to 150[19]	%IW64	WORD
		Output Read From 100 / Write to 150	%QW40	ARRAY [0..19] OF WORD
VE_DISP3_00		Output Read From 100 / Write to 150[0]	%QW40	WORD
VE_DISP3_01		Output Read From 100 / Write to 150[1]	%QW41	WORD
VE_DISP3_02		Output Read From 100 / Write to 150[2]	%QW42	WORD
VE_DISP3_03		Output Read From 100 / Write to 150[3]	%QW43	WORD
VE_DISP3_04		Output Read From 100 / Write to 150[4]	%QW44	WORD
VE_DISP3_05		Output Read From 100 / Write to 150[5]	%QW45	WORD
VE_DISP3_06		Output Read From 100 / Write to 150[6]	%QW46	WORD
VE_DISP3_07		Output Read From 100 / Write to 150[7]	%QW47	WORD
VE_DISP3_08		Output Read From 100 / Write to 150[8]	%QW48	WORD
VE_DISP3_09		Output Read From 100 / Write to 150[9]	%QW49	WORD
VE_DISP3_10		Output Read From 100 / Write to 150[10]	%QW50	WORD
VE_DISP3_11		Output Read From 100 / Write to 150[11]	%QW51	WORD
VE_DISP3_12		Output Read From 100 / Write to 150[12]	%QW52	WORD
VE_DISP3_13		Output Read From 100 / Write to 150[13]	%QW53	WORD
VE_DISP3_14		Output Read From 100 / Write to 150[14]	%QW54	WORD
VE_DISP3_15		Output Read From 100 / Write to 150[15]	%QW55	WORD
VE_DISP3_16		Output Read From 100 / Write to 150[16]	%QW56	WORD
VE_DISP3_17		Output Read From 100 / Write to 150[17]	%QW57	WORD
VE_DISP3_18		Output Read From 100 / Write to 150[18]	%QW58	WORD
VE_DISP3_19		Output Read From 100 / Write to 150[19]	%QW59	WORD

Figura 4.137 – Variáveis de comunicação do *Display* 3, utilizadas no *Display* supervisor

De seguida são apresentadas, através de figuras, partes do programa representativas dos pacotes referidos anteriormente. Para não ser demasiado repetitivo, e uma vez que a base dos diversos pacotes é a mesma, é apresentado apenas um pacote de cada. Na Figura 4.138, é apresentado o pacote de leitura 300, da ordem de fabrico 0. O mesmo aconteceria nos restantes pacotes de leitura das restantes ordens de fabrico, conforme o número da ordem de fabrico i, e o número de pacote 30i, sendo igualados os valores das variáveis de leitura VL_DISP3_00 à VL_DISP3_09, aos valores de OF30i_0 a OF30i_9.
Já na Figura 4.139 é visível o pacote de leitura 310, do histórico de produção 0. Nos restantes pacotes de leitura dos restantes históricos de produção, acontece exatamente o mesmo, conforme o número do histórico de produção i, e o número de pacote 31i, sendo igualados os valores das variáveis de leitura VL_DISP3_10 à VL_DISP3_19, aos valores de HP300i_0 a HP300i_9.

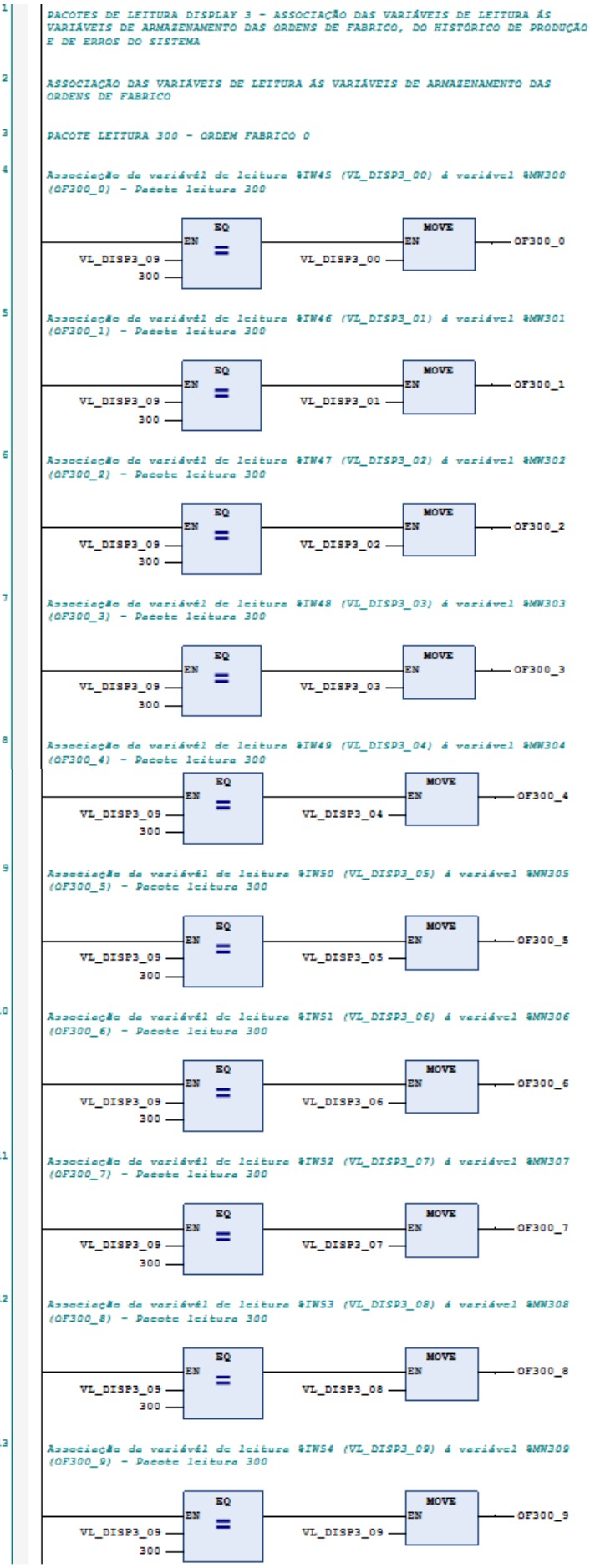


Figura 4.138 – Programação *Ladder* do pacote de leitura 300, da ordem de fabrico 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor

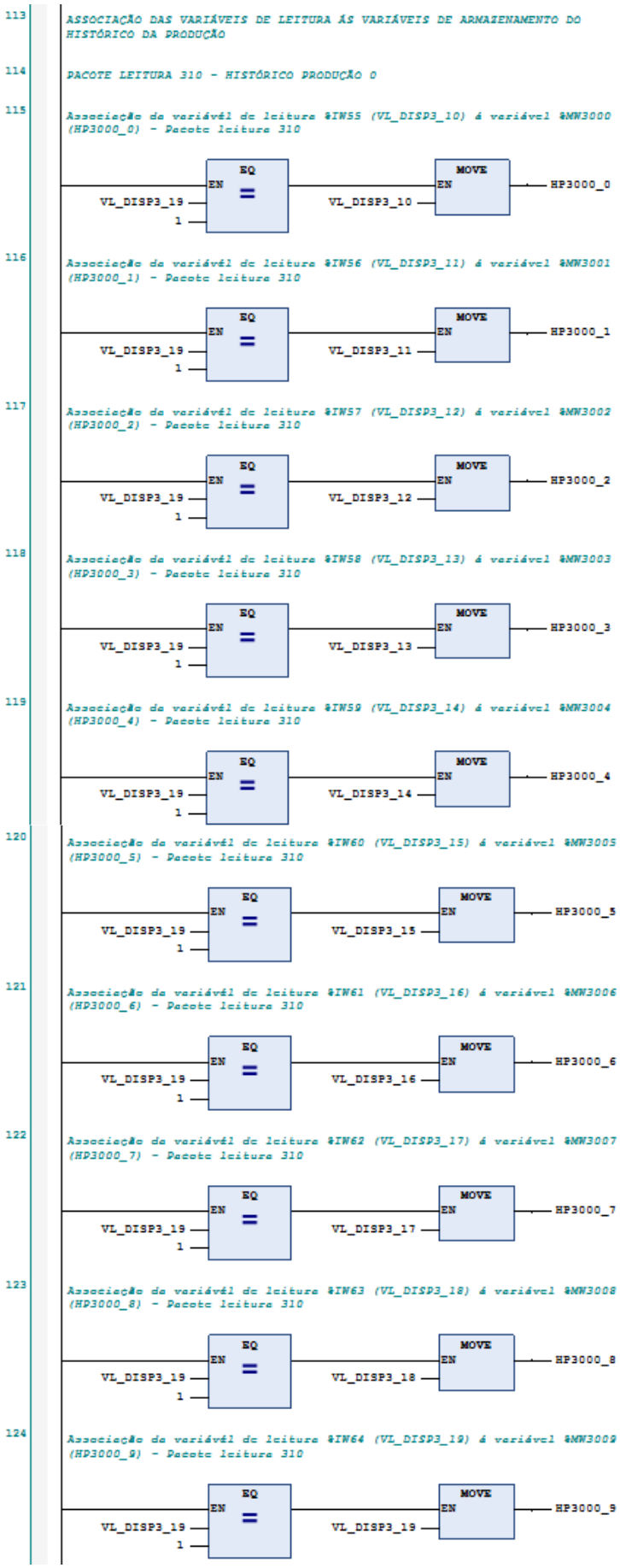


Figura 4.139 – Programação *Ladder* do pacote de leitura 310, do histórico de produção 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor

De modo a ser possível serem visualizados os valores de uma ordem de fabrico de uma maneira mais intuitiva, durante a execução do programa, foi criada, para cada um dos *Display's*, uma tabela de visualização como a da Figura 4.140. Esta tabela é referente ao *Display* 3. A parte do programa que faz a associação das variáveis da ordem de fabrico 0 à respetiva linha, na coluna correspondente a essa ordem de fabrico, coluna 0, é visível na Figura 4.141. Para associar os valores das outras ordens de fabrico, na linha e coluna correspondente, a programação é idêntica à da Figura 4.141. Para uma dada ordem de fabrico i, faz-se corresponder o valor da variável OF30i_0 à variável OrdemFabrico3[i,0], e assim sucessivamente até à variável 9.

	mFabrico3[0,IN	mFabrico3[1,IN	mFabrico3[2,IN	mFabrico3[3,IN	mFabrico3[4,IN	mFabrico3[5,IN	mFabrico3[6,IN	mFabrico3[7,IN	mFabrico3[8,IN	mFabrico3[9,IN
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Figura 4.140 – Tabela de visualização 3, das ordens de fabrico do *Display* 3, no *Display* supervisor

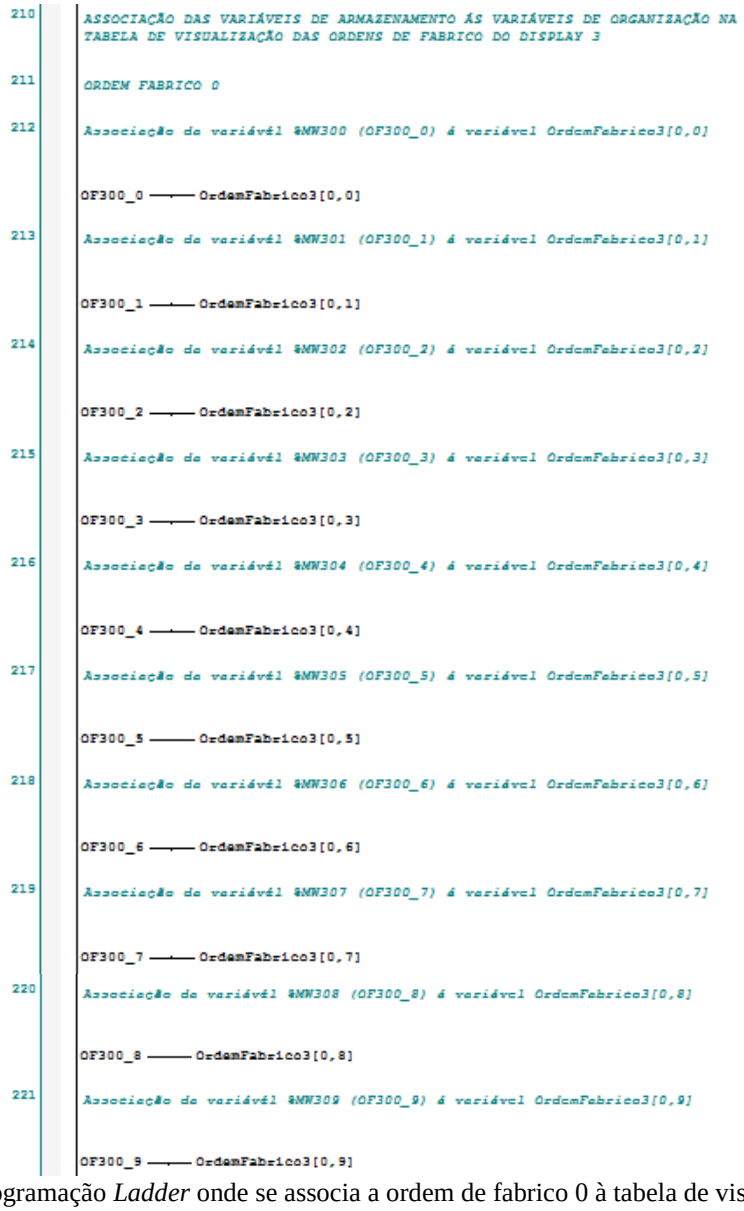


Figura 4.141 – Programação *Ladder* onde se associa a ordem de fabrico 0 à tabela de visualização 3, do *Display* 3, no *Display* supervisor

No que diz respeito aos pacotes de escrita, existem 10 pacotes para escrever os valores de uma dada Ordem de Fabrico, numerados entre 300 e 309. Todos os pacotes de escrita das ordens de fabrico utilizam as variáveis de escrita compreendidas entre IW40 (VE_DISP3_00) e IW49 (VE_DISP3_09).
As ordens de fabrico são lançadas no *Display* supervisor e, por isso, estes pacotes são utilizados para enviar ordens de fabrico desde o *Display* supervisor até ao *Display* 3. Para isso, no lançamento de uma ordem de fabrico é logo atribuído o número do pacote através do qual a informação deverá ser transferida, variável 9 de uma dada ordem de fabrico, esse número deverá, obviamente, estar compreendido entre 300 e 309.
Com o auxílio de uma variável global, comum a todos os *Display's*, Num_Pac_Trans_Info, também no momento de lançar a ordem de fabrico, é atribuído a esta variável o mesmo valor que foi atribuído à variável 9 da ordem de fabrico que está a ser lançada.
De seguida, faz-se a comparação entre o valor dessa mesma variável auxiliar e o valor da variável 9 da ordem de fabrico que está a ser lançada e, caso os dois valores sejam iguais, dá-se a transferência de dados da ordem de fabrico em causa, desde o *Display* supervisor até ao *Display* 3.
Na Figura 4.142 é visível a parte do programa VAR_DISP3 que contém o pacote de escrita 300, da ordem de fabrico 0, do *Display* 3.
De acordo com o que foi anteriormente efetuado, também no que toca à programação dos pacotes de escrita, apenas será apresentado um pacote de escrita, pois todos os restantes pacotes têm o mesmo princípio de programação deste. Caso se pretendam transferir os dados da ordem de fabrico i, se a variável, Num_Pac_Trans_Info, for igual à variável, OF30i_9, serão igualados, os valores de OF30i_0 a OF30i_9 aos valores das variáveis de escrita VE_DISP3_00 à VE_DISP3_09.
A transferência de informação para o *Display* 3 demora algum tempo e, para garantir que toda a informação de uma ordem de fabrico é transferida, durante um segundo, garante-se que a variável, Num_Pac_Trans_Info, tem o mesmo valor que a variável 9 da ordem de fabrico que está a ser lançada.
Depois de garantida a transferência de informação, faz-se *reset* da variável booleana, LANCAMENTO_ORDEM_FABRICO, e iguala-se a variável, Num_Pac_Trans_Info, à variável, VAR_NULA, que vale 0.
Na Figura 4.143 e na Figura 4.144 é visível a programação utilizada para fazer isso.

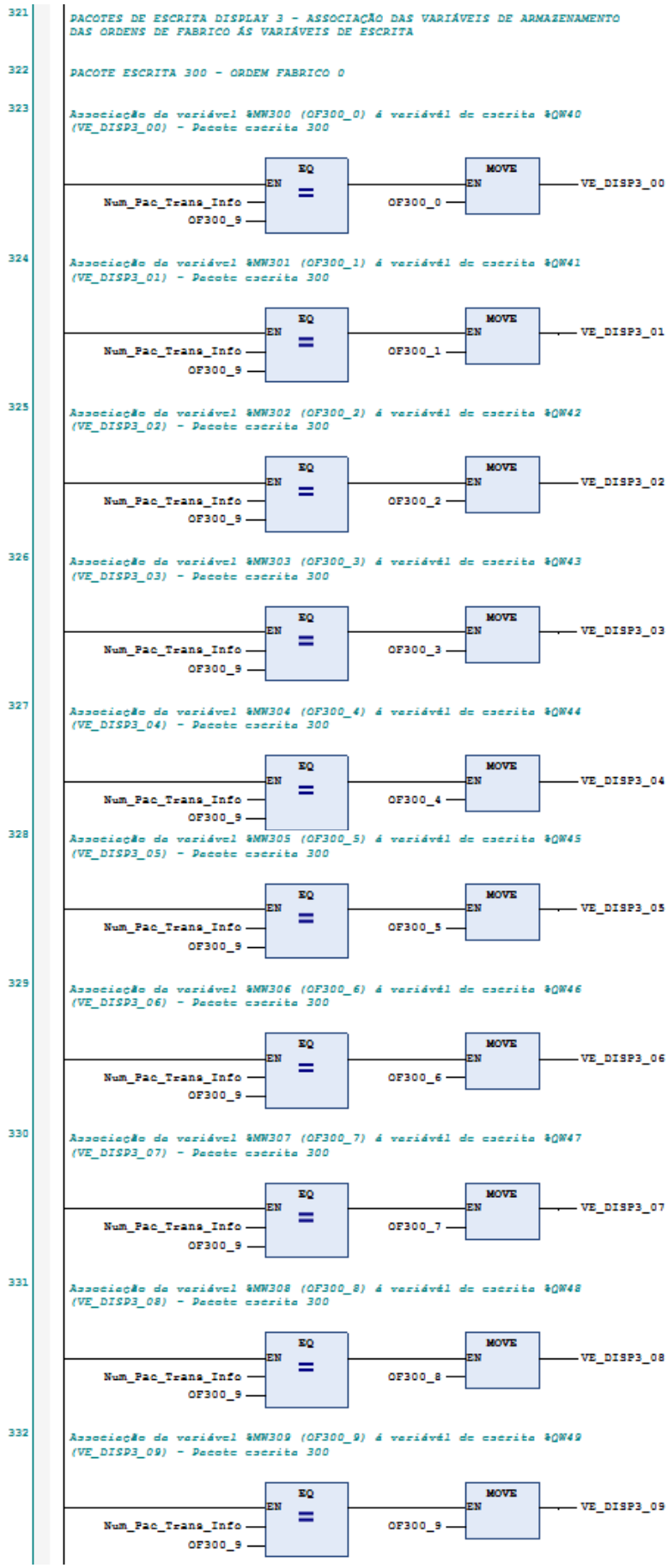


Figura 4.142 – Programação *Ladder* do pacote de escrita 300, da ordem de fabrico 0, do *Display* 3, no *Display* supervisor

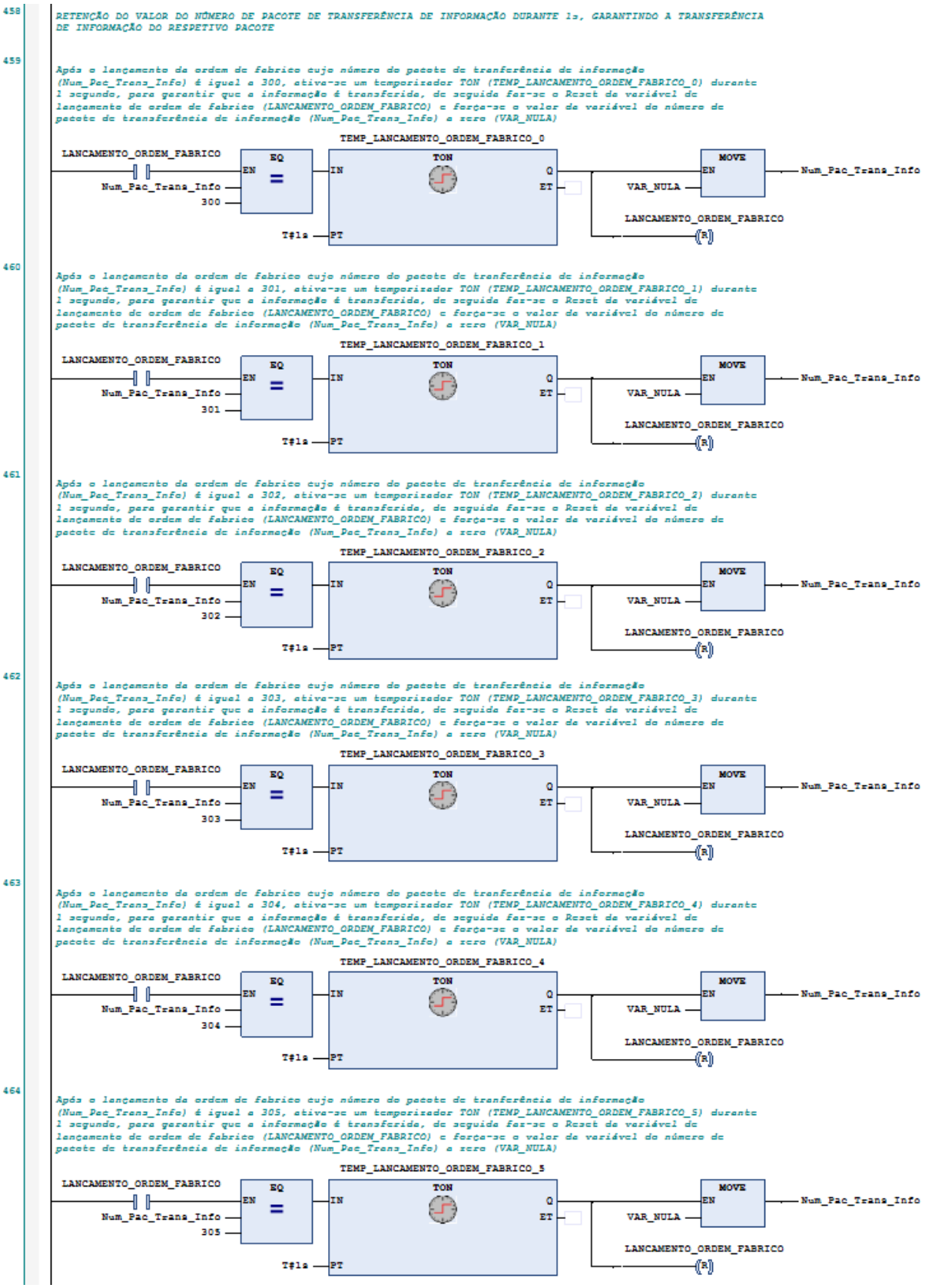


Figura 4.143 – Programação *Ladder* que garante a transferência de dados, de uma ordem de fabrico, do *Display* 3, no *Display* supervisor

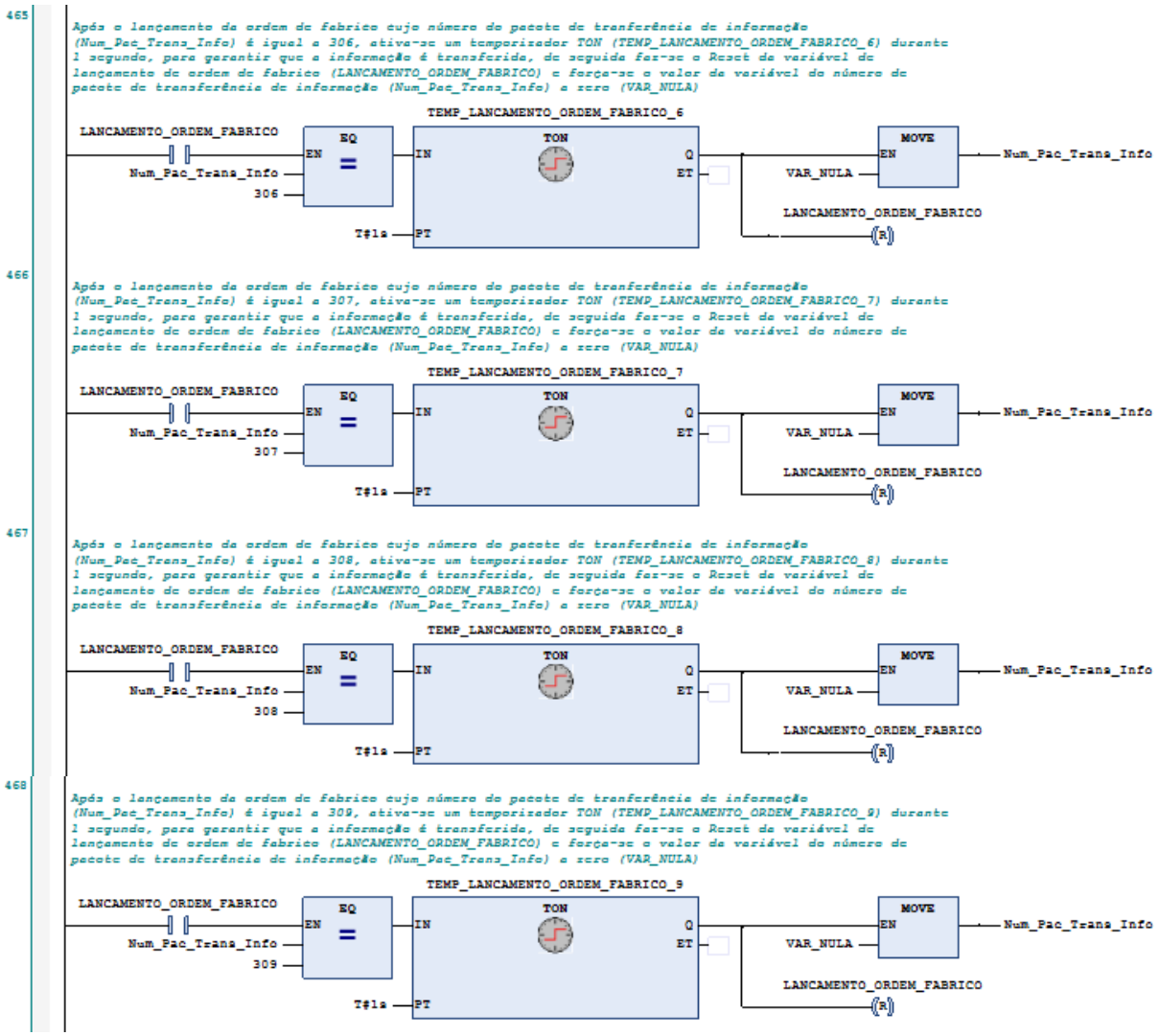


Figura 4.144 – Programação *Ladder* que garante a transferência de dados, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor

Para além da transferência de dados através de pacotes, como já se explicou, existem ainda outras ações que são executadas neste programa.
A interrupção de uma ordem de fabrico, tanto pode ser feita no Supervisor como no *Display* 3. Na Figura 4.145 e na Figura 4.146 são visíveis as partes de programa onde é possível interromper a execução de uma ordem de fabrico no Supervisor em vez do *Display* 3.

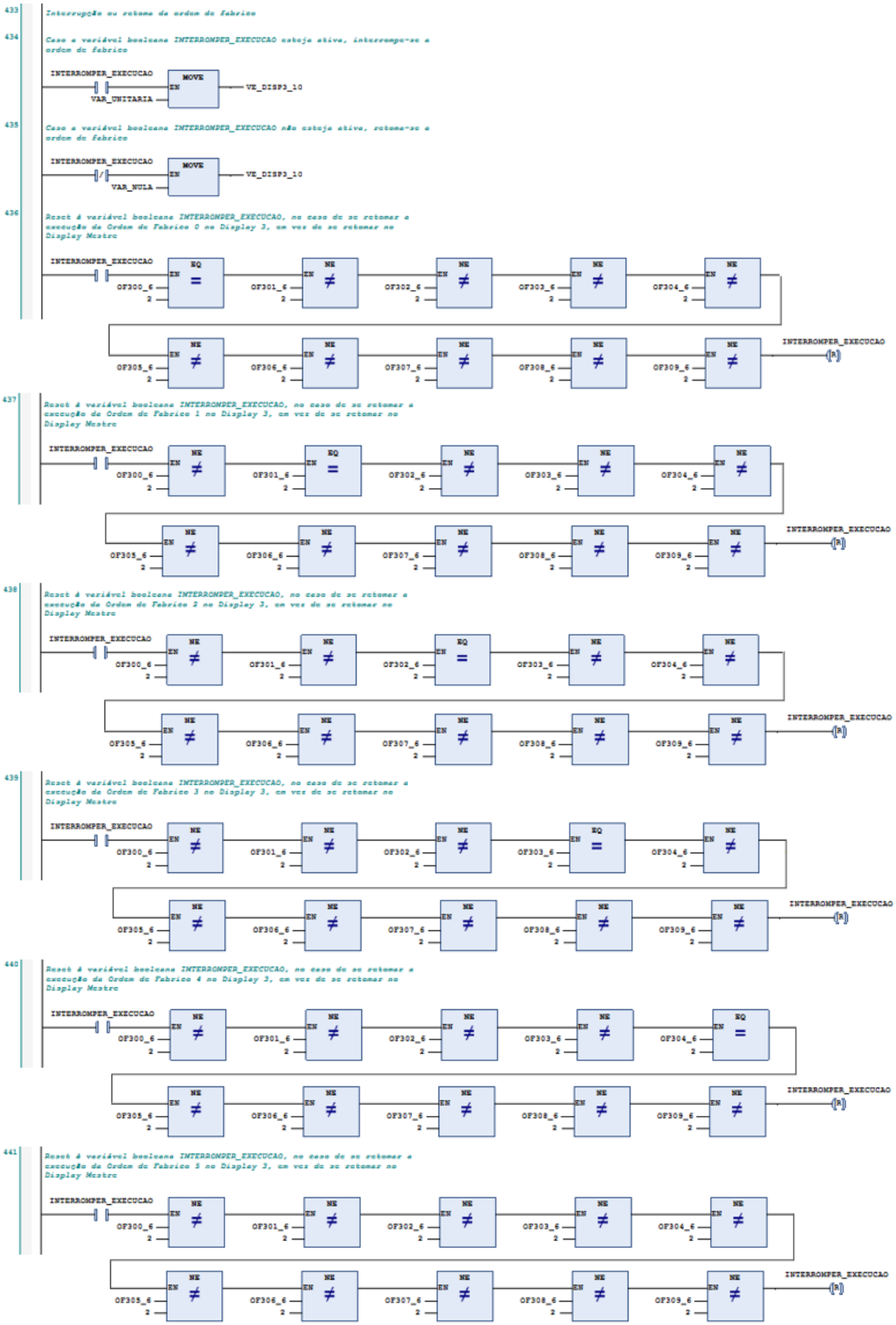


Figura 4.145 – Programação *Ladder* que permite a interrupção, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor

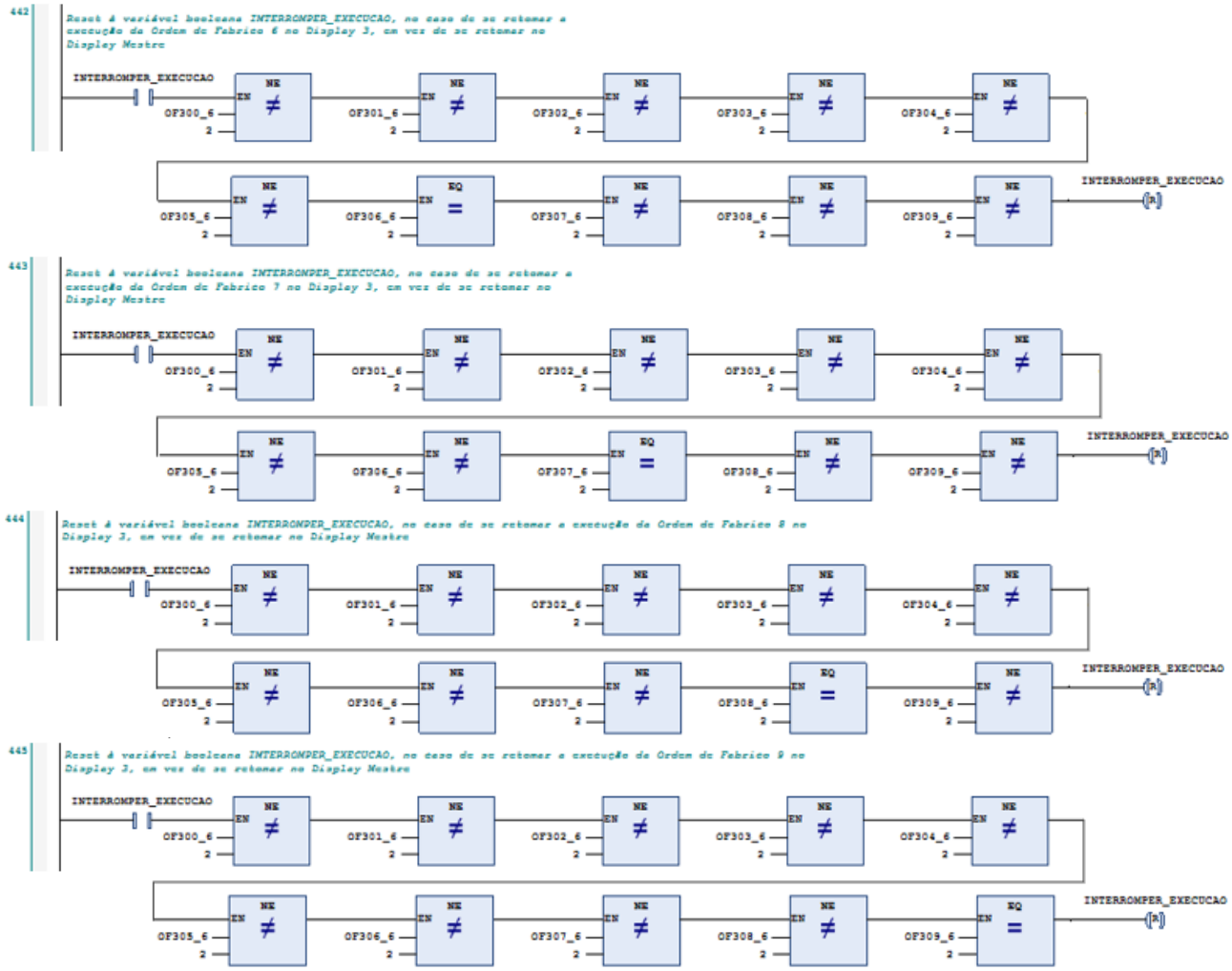


Figura 4.146 – Programação *Ladder* que permite a interrupção, de uma ordem de fabrico, do *display* 3, no *Display* supervisor

Já que as ordens de fabrico são lançadas no Supervisor, quando é lançada uma ordem de fabrico deve ativar-se um alarme. Cada uma das ordens de fabrico 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9 têm um alarme próprio. Esse mesmo alarme deve ser ativado quando uma das referidas ordens de fabrico for lançada, e deve ser desativado quando a ordem de fabrico for arquivada.
Na Figura 4.147, é demonstrado o que foi dito anteriormente.



Figura 4.147 – Ativação dos alarmes das ordens de fabrico do *Display* 3, depois de lançadas no *Display* supervisor

Quando se arquiva uma ordem de fabrico, para igualar os valores da ordem de fabrico a 0, o número de pacote, variável 9 da ordem de fabrico, não pode ser 0, mas sim o valor do pacote que está a ser arquivado. Contudo, para que o funcionamento do programa seja o previsto, depois de todos os valores da ordem de fabrico terem sido igualados a 0, o valor da variável 9 da ordem de fabrico arquivada deverá também ser igualo a zero.
É exatamente isso que se faz na Figura 4.148 e na Figura 4.149.

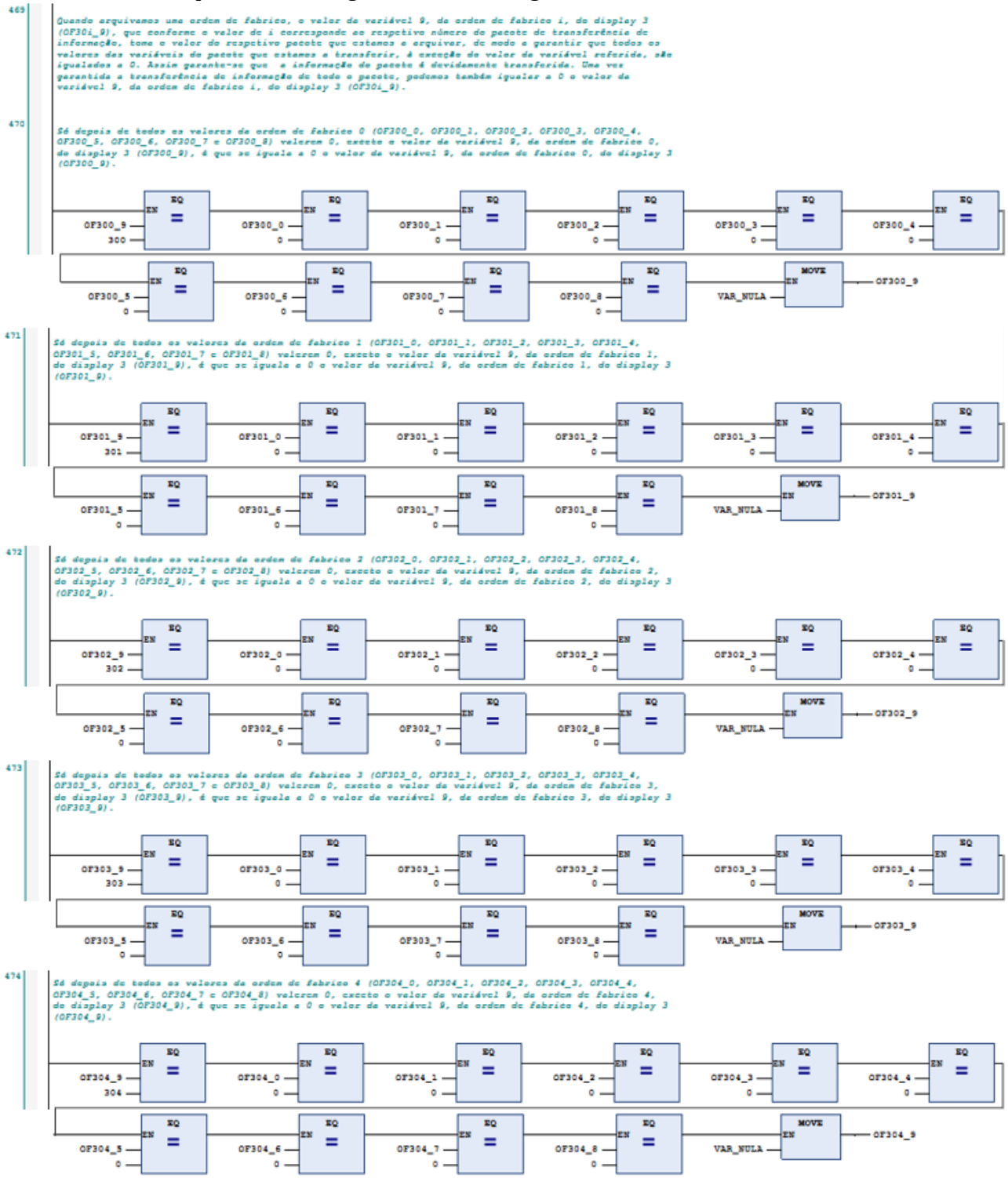


Figura 4.148 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico do *Display* 3, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, no *Display* supervisor

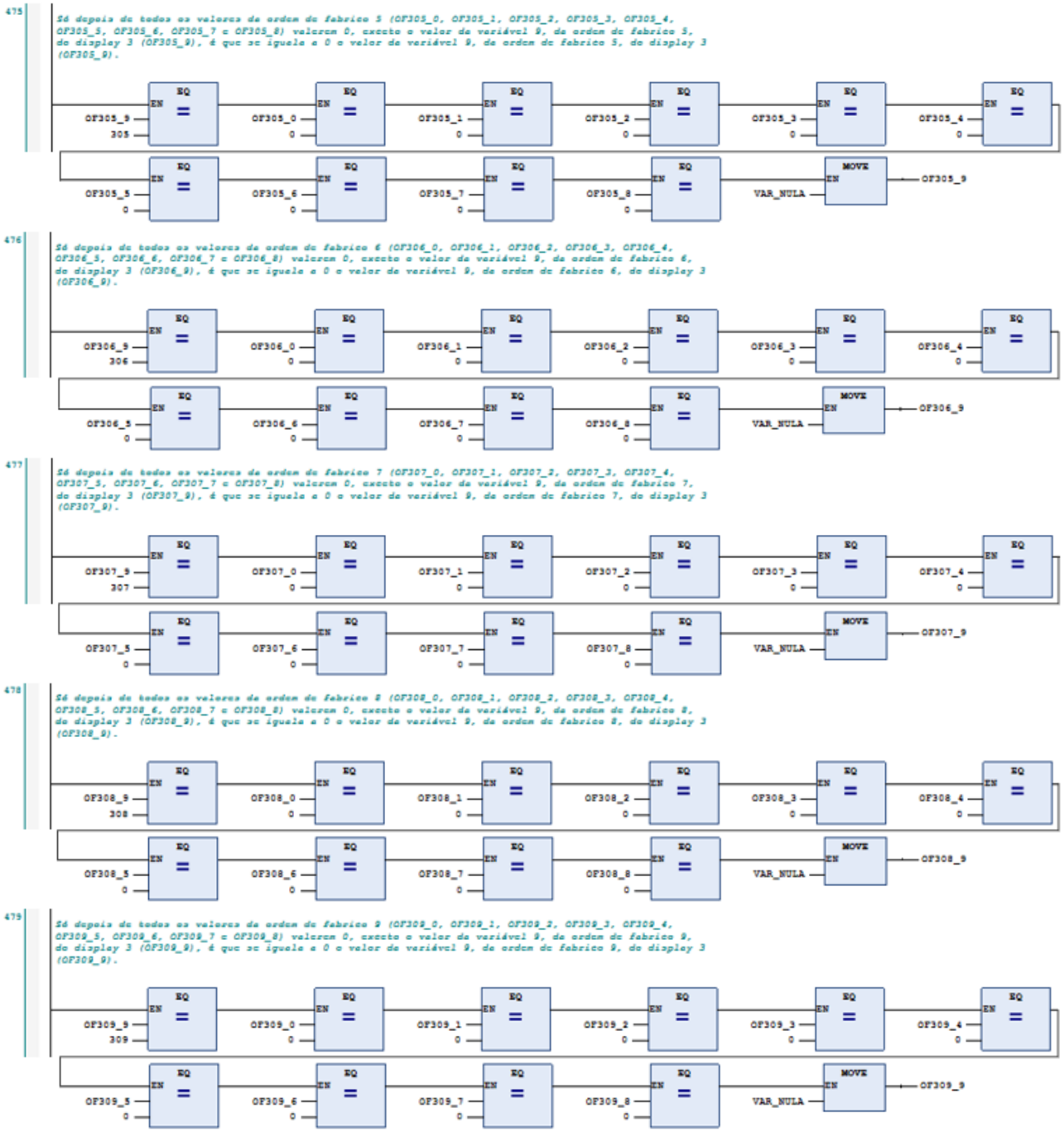


Figura 4.149 – Depois de arquivada uma ordem de fabrico do *Display* 3, igualar a 0 o valor do pacote de transferência de informação dessa ordem de fabrico, no *Display* supervisor

Quando é limpo o histórico de produção do *Display* 3, no Supervisor devem ser forçadas durante algum tempo todas as variáveis do histórico de produção desse *Display*, a 0.

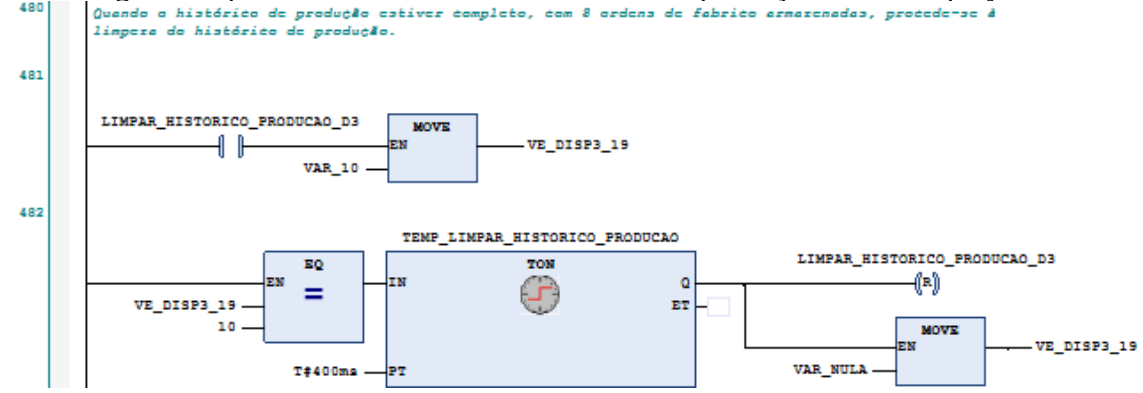


Figura 4.150 – Forçar a limpeza do histórico de produção do *Display* 3, durante 400ms, no *Display* supervisor

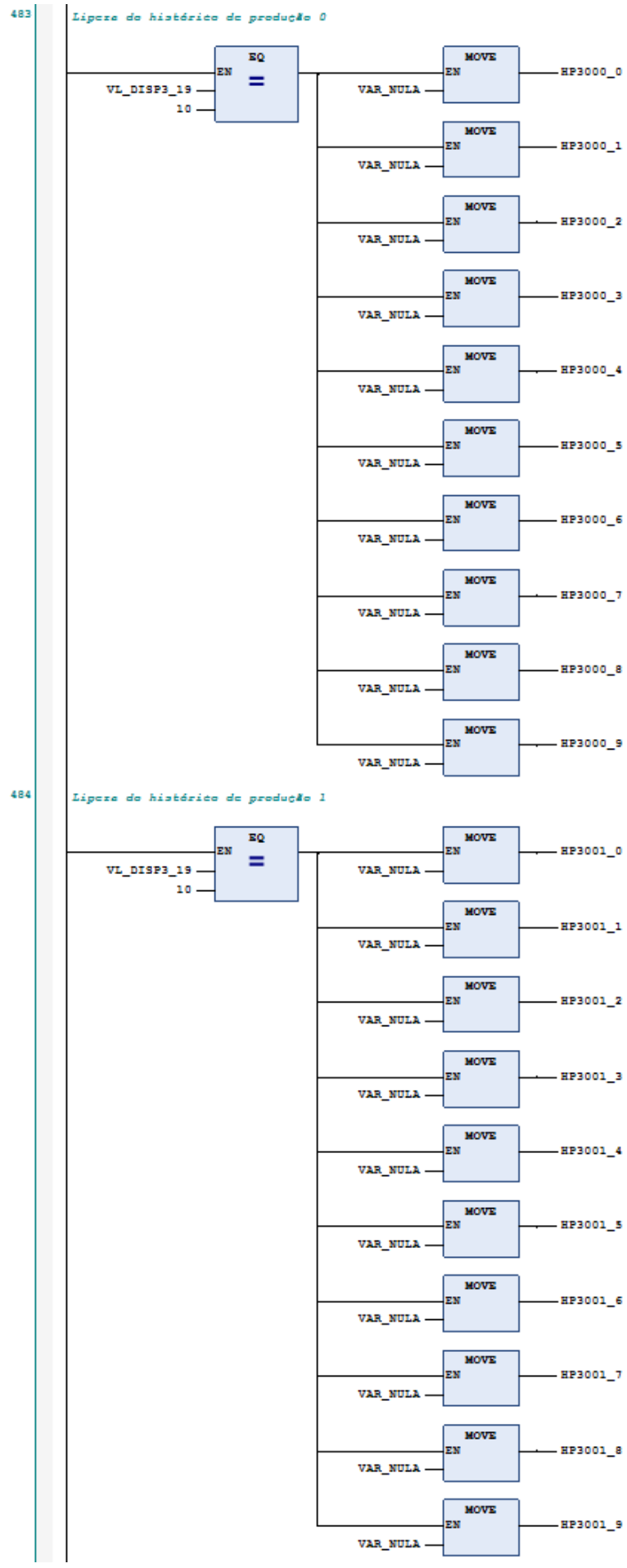


Figura 4.151 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor

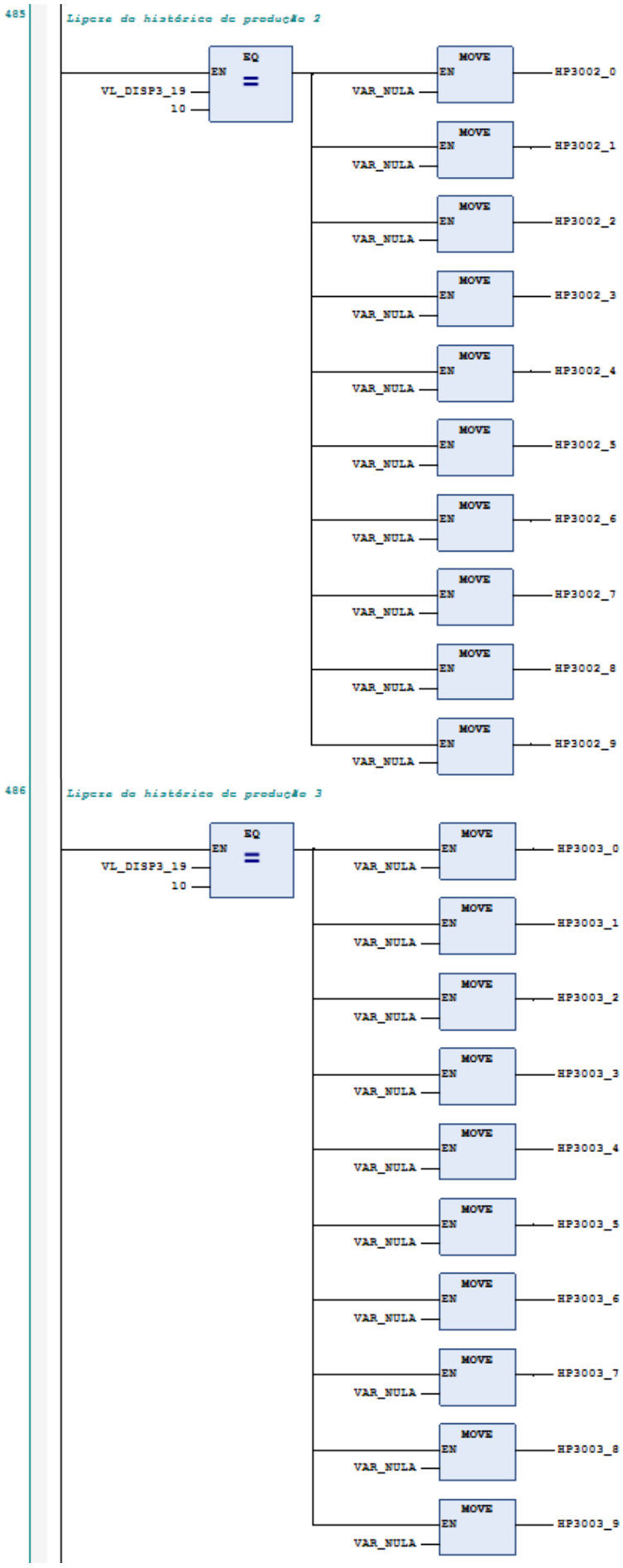


Figura 4.152 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor

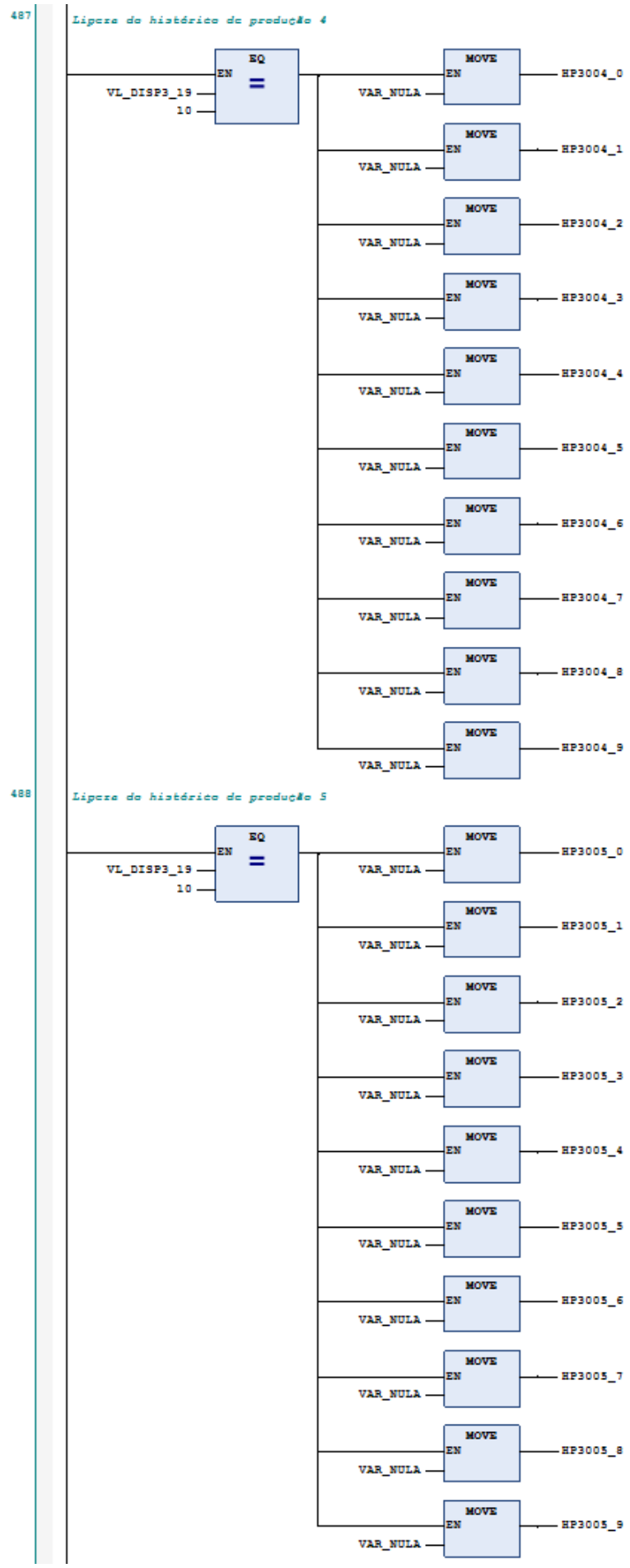


Figura 4.153 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no *Display* supervisor

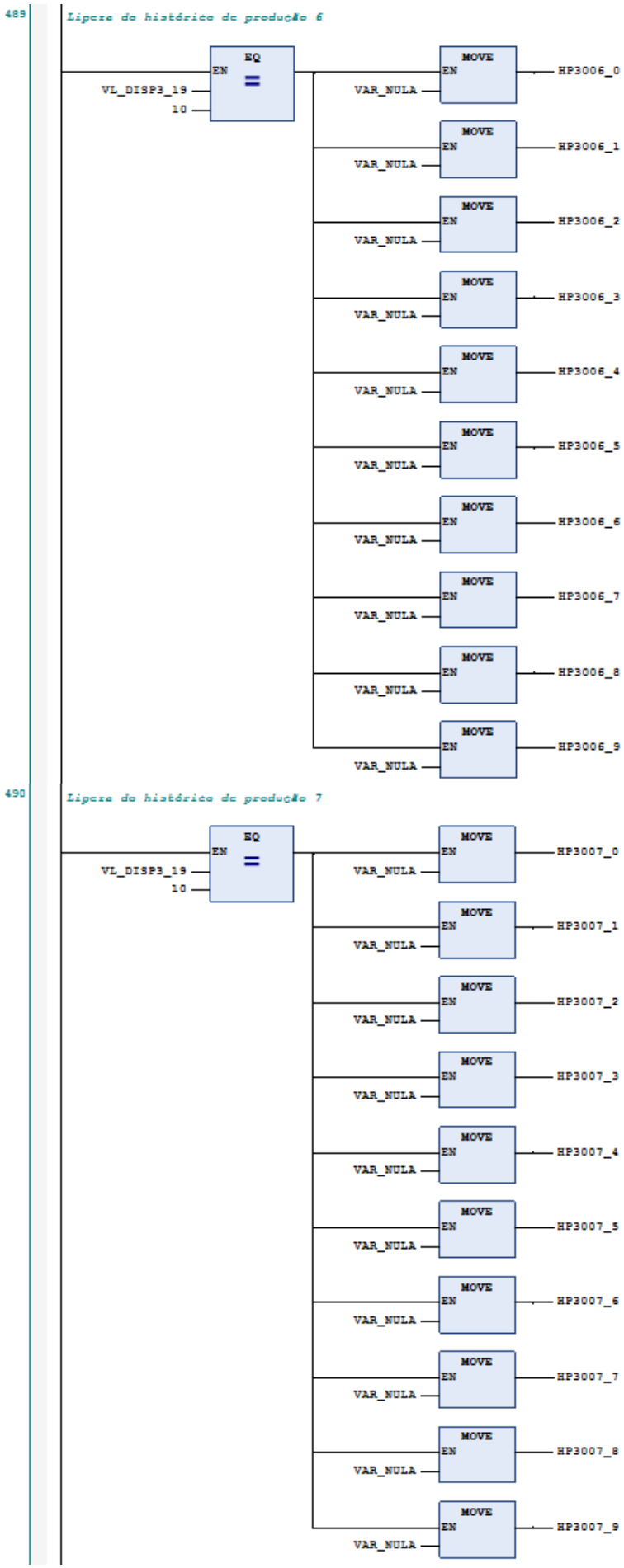


Figura 4.154 – Forçar as variáveis do histórico de produção do *Display* 3, a 0, no Supervisor

Programação da HMI *Display* Supervisor

A HMI utilizada no *Display* Supervisor, é da marca Schneider ®, modelo HMISTU855. O programa para esta HMI foi feito num programa específico da marca, o Vijeo Designer V6.2. Na Figura 4.155, é apresentada a estrutura do projeto criado. Conforme é visível nessa mesma figura, foram criadas pastas, quer para as telas base, quer para as janelas de *popup*, para cada Display 1, 2, 3 ou 4. Para permitir visualizar o número de janelas que cada uma das pastas tem, bem como do número de janelas de *popup* que cada uma das pastas tem, abriu-se apenas a pasta Display3 e a pasta PDisplay3, as restantes pastas, Display1, 2 e 4 têm o mesmo número de janelas e as restantes pastas PDisplay1, 2 e 4 têm o mesmo número de janelas de *popup*. As janelas 1, 2 e 3 representadas na Figura 4.155, são comuns a qualquer um dos *Display's*, por isso não estão em nenhuma pasta especifica.

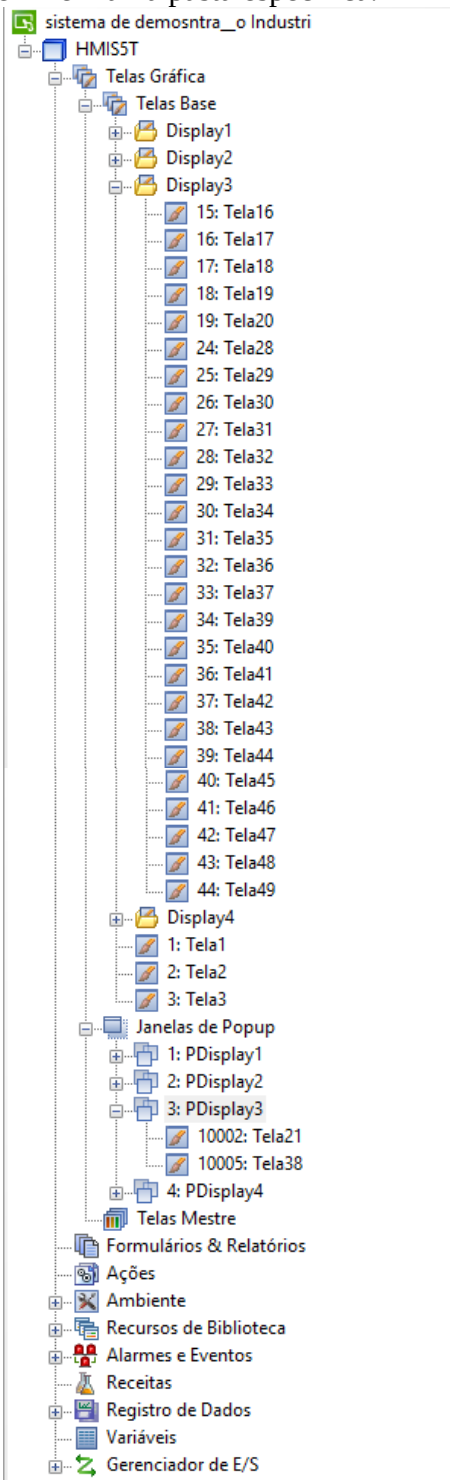


Figura 4.155 – Estrutura do projeto da HMI do *Display* supervisor

Para que seja possível existir ligação entre o PLC e a HMI, como já foi dito anteriormente, a ligação utilizada foi Ethernet. Para isso, é necessário configurar a porta de comunicação da HMI. Para fazer essa configuração é necessário criar uma *SoMachineRede*, de acordo com a Figura 4.156. De seguida, clicamos sobre SOM_HMIS5T e automaticamente é aberta a janela da Figura 4.157, nessa mesma janela o parâmetro referente ao "Endereço nome do nó do equipamento" deve ser preenchido conforme o nome da HMI que aparece na Figura 4.159. Por último deve ser feita a mesma coisa para o PLC supervisor, o mesmo parâmetro referido anteriormente, deve ser preenchido na janela representada na Figura 4.158, mas desta vez conforme o nome do PLC supervisor que aparece na Figura 4.159.

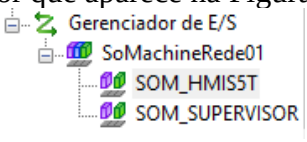


Figura 4.156 – Rede de comunicação utilizada para a comunicação entre a HMI e o PLC do *Display* supervisor

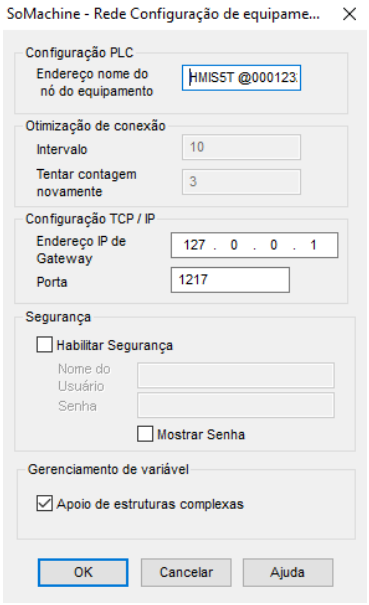


Figura 4.157 – Configuração do nome da HMI do Supervisor, na rede de comunicação

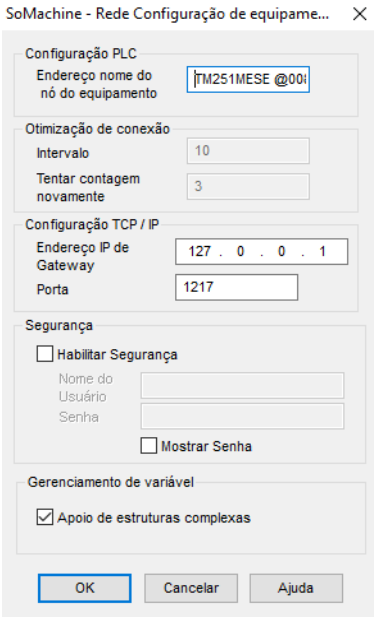


Figura 4.158 – Configuração do nome do PLC do Supervisor, na rede de comunicação

C...	Controller	ProjectName	IP_Address	TimeSinceBoot	NodeName	ProjectAuthor	FW_Version
PC	CODESYS Contr...				UTILIZADOR		V3.5.3.83
ETH	**TM251MESE**				**TM251MESE @0080F43EE0FE**		**V4.0.5.11**
ETH	HMIS5T				HMIS5T @0001232F0344		V3.5.3.83

Figura 4.159 – Nome do PLC e da HMI utilizados no *Display* supervisor

Depois de resolvida a questão da comunicação entre os dispositivos, foi realizado o desenvolvimento do programa. O que se pretendia fazer com este programa, era o lançamento de ordens de fabrico para cada um dos *Display's*, consultar as ordens de fabrico lançadas, para ver o estado das mesmas, tendo a possibilidade, no caso de uma ordem de fabrico estar em curso, interromper ou retomar a sua execução, e ainda consultar o histórico de produção do respetivo *Display*.

Tela 1: É a tela de apresentação do *Display* supervisor. Ao clicar no ecrã, transita-se para a tela 2.



Figura 4.160 – Tela 1 da HMI do Supervisor

Tela 2: Esta é a tela de *Login*. Conforme os dados de segurança introduzidos, tem-se ou não, autorização para aceder à tela seguinte. De acordo com a Figura 4.161, existe 1 nível de segurança, correspondente à supervisão. Para transitar para a tela seguinte, tem que se pertencer ao grupo da supervisão, caso contrário não se acede à tela seguinte.

Grupo	Nível de Segur...	Senha/Impressões Digit...	Segurança de Down...	Segurança do Gerencia...	Web Gate / Servidor Web	Vijeo Design'Air
SUPERVISOR	1	Senha	Permitido	Negado	Somente Leitura	Negado

Lista do Usuário do Projeto

Nome de Usuário	Senha	Impressões Di...	Grupo no HMIS5T
Joao	********		1:SUPERVISOR

Figura 4.161 – Níveis de segurança da HMI do Supervisor

Se o *Login* for válido, ficam visíveis os interruptores representados na figura com um cadeado e uma seta. O interruptor onde se encontra o cadeado serve para fazer *Logout* e aquele onde se encontra a seta, serve para transitar para a tela seguinte, a tela 3.

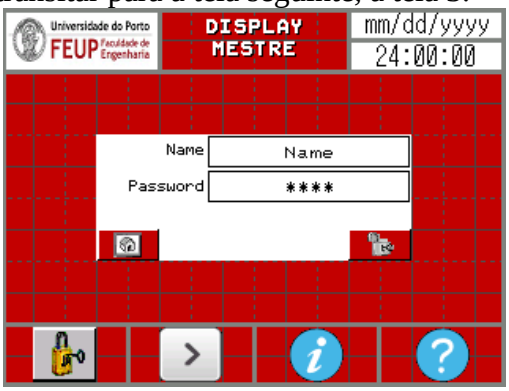


Figura 4.162 – Tela 2 da HMI do *Display* supervisor

Tela 3: Na tela 3, temos uma apresentação do estado dos 4 *Display's.* Caso não exista nenhuma de ordem de fabrico lançada, nem haja alguma avaria ativa, a tela 3 tem a

configuração da Figura 4.163 e ao premir no retângulo correspondente a cada *Display*, acede-se à tela 4, caso seja o *Display 1*, à tela 10, caso seja o *Display 2*, à tela 16, caso seja o *Display 3* ou à tela 15, caso seja o *Display 4*. Contudo, se existir alguma ordem de fabrico, e se existir alguma avaria em todos os 4 *Display's*, a tela 3 será apresentada conforme a Figura 4.164. No entanto, poderá existir um misto das duas configurações, conforme o estado de cada um dos *Display's*.



Figura 4.163 – Tela 3 da HMI do Supervisor



Figura 4.164 – Tela 3 da HMI do Supervisor

Tela 4, 10, 15 ou 16: Qualquer das telas 4, 10, 15 ou 16, tem uma configuração idêntica à da tela representada na Figura 4.165. A grande diferença entre as 4 telas referidas é que enquanto na tela 4, *Display* 1, ao selecionarmos o interruptor "Produção", somos redirecionados para a tela 5, e ao selecionarmos o botão "Histórico de avarias", somos conduzidos para a tela 68, na tela 10, *Display* 2, caso seja selecionado o interruptor "Produção", somos redirecionados para a tela 11, e se selecionarmos o botão "Histórico de avarias", somos conduzidos para a tela 86. Contudo, se na tela 16, Display 3, for selecionado o interruptor "Produção", somos redirecionados para a tela 17, se for selecionado o botão "Histórico de avarias", somos conduzidos para a tela 49, já na tela 15, Display 4, se for o selecionado o interruptor "Produção", somos redirecionados para a tela 24, e ao se selecionado o botão "Histórico de avarias", somos conduzidos para a tela 106.



Figura 4.165 – Tela 16 da HMI do *Display* supervisor

Tela 5, 11, 17 ou 24: As telas 5, 11, 17 ou 24, têm uma configuração idêntica à da tela representada na Figura 4.166. A grande diferença entre as 4 telas referidas é que enquanto na tela 5, *Display* 1, ao ser selecionado o interruptor "Ordens de fabrico", somos redirecionados para a tela 6, e ao ser selecionado o botão "Histórico de produção", somos conduzidos para a janela de *popup* 10006, na tela 10, *Display* 2, caso seja selecionado o interruptor "Ordens de fabrico", somos redirecionados para a tela 12, e se selecionarmos o botão "Histórico de produção", somos conduzidos para a janela de *popup* 10007. Contudo, se na tela 17, Display 3, for selecionado o interruptor "Ordens de fabrico", somos redirecionados para a tela 18, e ao ser selecionado o botão "Histórico de produção", somos conduzidos para a janela de *popup* 10005, já na tela 24, Display 4, ao ser selecionado o interruptor "Ordens de fabrico", somos redirecionados para a tela 25, e ao ser selecionado o botão "Histórico de produção", somos conduzidos para a janela de *popup* 10008.



Figura 4.166 – Tela 17 da HMI do *Display* supervisor

Tela 6, 12, 18 ou 25: As telas 6, 12, 18 ou 25, têm uma configuração idêntica à da tela representada na Figura 4.167. Caso não existam mais de 10 ordens de fabrico lançadas, é possível lançar ordens de fabrico. Para lançar ordens de fabrico, basta pressionar o interruptor "criar ordem de fabrico" na tela 6. Caso se pretenda lançar no *Display* 1, na tela 12, se se pretender lançar no *Display* 2, na tela 18, se porventura se quiser lançar no *Display* 3, ou na tela 25, se o objetivo for lançar no *Display* 4. Ao atingir as 10 ordens de fabrico lançadas, esse interruptor deixa de estar visível, e têm que se arquivar ordens de fabrico para poder voltar a lançar ordens de fabrico novamente.
Caso exista alguma ordem de fabrico lançada em qualquer um dos *Display's*, é possível premir o botão "detalhes da ordem de fabrico" e aceder aos detalhes da ordem de fabrico, posteriormente selecionada na janela de *popup* 10001, se for do *Display* 1, na janela de *popup* 10003, se for do *Display* 2, na janela de *popup* 10002, se for do *Display* 3, ou na janela de *popup* 10004, se for do *Display* 4.
Para que se consigam ver as ordens de fabrico lançadas na tabela presente na tela referente a um certo *Display*, a qual tem o nome de sumário de alarme, foram configurados e criados 4 "grupos de alarme", denominados GrupodeAlarme1, 2, 3 e 4. Na Figura 4.168, estão representadas as mensagens do grupo de alarme 3, que são visíveis na tela 18, quando são lançadas ordens de fabrico no *Display* 3. O mesmo acontece para os restantes *Display's*.



Figura 4.167 – Tela 18 da HMI do *Display* supervisor

	Variável	Grupo de Alarmes	Origem de Dad...	Endereço do Di...	Mensagem
1	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF300_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 1
2	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF301_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 2
3	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF302_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 3
4	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF303_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 4
5	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF304_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 5
6	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF305_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 6
7	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF306_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 7
8	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF307_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 8
9	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF308_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 9
10	_SoM.SUPERVISOR.Application.VAR_DISP3.ALARM_OF309_0	GrupodeAlarme3	Externo	Application.VA...	Lançada Ordem de Fabrico 10

Figura 4.168 – Alarmes do grupo de alarme 3 da HMI do *Display* supervisor

Tela 8, 13, 19 ou 26: Ao pressionar o interruptor "criar ordem de fabrico", na tela 6, 12, 18 ou 25, seremos conduzidos para as telas 8, 13, 19 ou 26, respetivamente. As quatro telas têm uma configuração idêntica à da tela representada na Figura 4.169, Figura 4.170 ou Figura 4.171. Para lançar uma ordem de fabrico, tem que se preencher os parâmetros visíveis na Figura 4.169 (número da ordem de fabrico, o número da máquina utilizada, tipo de peça e número de peças), na tela 8, caso se pretenda lançar no *Display* 1, na tela 13, se for para lançar no *Display* 2, na tela 19 se quisermos lançar no *Display* 3, ou na tela 26 se pretendermos lançar no *Display* 4.



Figura 4.169 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (1ª configuração)

Só quando todos os parâmetros estiverem preenchidos, é que é possível lançar a ordem de fabrico. Só nessa situação é que é visível o interruptor "lançar ordem de fabrico", e só depois de o pressionar é que é lançada a ordem de fabrico.



Figura 4.170 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (2ª configuração)

Caso o número atribuído à ordem de fabrico seja igual ao de uma ordem de fabrico já lançada, é apresentado o aviso da Figura 4.171 e não é possível lançar a ordem de fabrico enquanto esse valor não for alterado.



Figura 4.171 – Tela 19 da HMI do *Display* supervisor (3ª configuração)

Janela de Popup 10001, 10002, 10003 ou 10004: Na janela de *popup* 10001, 10002, 10003 ou 10004 ao selecionarmos uma das ordens de fabrico lançadas, vemos os detalhes dessa mesma ordem de fabrico selecionada. Para isso basta premir o botão "selecionar" que se encontra à frente do número da ordem de fabrico que queremos visualizar. Ao ser premido o respetivo botão, numa das 4 janelas de *popup*, transitamos para uma dada tela, conforme representado na Tabela 4-2.



Figura 4.172 – Janela de *popup* 10001, 10002, 10003 ou 10004 da HMI do *Display* supervisor

Tabela 4-2 – Tela para a qual somos redirecionados ao premir um certo interruptor na janela de *popup* 10001, 10002, 10003 ou 10004

Nº interruptor na tabela	**Janela *popup* 10001 Tela do Display 1**	**Janela *popup* 10003 Tela do Display 2**	**Janela *popup* 10002 Tela do Display 3**	**Janela *popup* 10004 Tela do Display 4**
1	9	14	28	27
2	50	69	29	88
3	51	70	30	89
4	52	71	31	90
5	53	72	32	91
6	54	73	33	92
7	55	74	34	93
8	56	75	35	94
9	57	76	36	95
10	58	77	37	96

Tela de detalhe de uma ordem de fabrico: Todas as telas referidas na Tabela 4-2 têm como objetivo visualizar os dados de uma determinada ordem de fabrico que se encontre lançada. Ao contrário do que foi deito nos *Display* 1, 2, 3 e 4, onde se usou apenas uma tela em cada um dos *Display's* para ver os detalhes de qualquer uma das ordens de fabrico lançadas, no Supervisor teve que se utilizar uma tela para cada ordem de fabrico. Isto aconteceu porque o PLC supervisor perdia a ligação quando tentava igualar os valores de uma certa ordem de fabrico aos valores das variáveis internas utilizadas numa tela comum.
Assim sendo a solução utilizada consistiu em aceder diretamente aos valores das variáveis duma dada ordem de fabrico, usando por esse mesmo motivo uma tela para cada ordem de fabrico. Cada tela tem uma configuração idêntica à da tela da Figura 4.173 ou da Figura 4.174.

Depois da seleção da ordem de fabrico que se pretende ver detalhada, nesta tela apresentam-se determinados dados da ordem de fabrico em causa, nomeadamente:

- o número da ordem de fabrico, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_0;
- o número da máquina utilizada, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_1;
- o tipo de peça, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_2;
- o número de peças, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_3;
- o número de peças falta executar, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_4;
- o número de peças aceites, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_5;
- o número de peças rejeitadas, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_7, e
- o estado da ordem de fabrico, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.OF**d**0**i**_6.

De notar que nas variáveis referidas acima, d representa o número do *Display*, e está compreendido entre 1 e 4, e i o número da ordem de fabrico, e está compreendido entre 0 e 9.



Figura 4.173 – Tela 28 a 37 da HMI do *Display* supervisor (1ª configuração)



Figura 4.174 – Tela 28 a 37 da HMI do *Display* supervisor (2ª configuração)

Para além de visualizar as ordens de fabrico, caso a ordem de fabrico já tenha sido aceite pelo operador, e conforme o valor da variável que indica o estado da ordem de fabrico, nesta tela é ainda possível fazer algumas ações, nomeadamente:

- interromper a ordem de fabrico, caso se prima o botão "interromper execução";
- retomar a ordem de fabrico, se for premido o botão "retomar execução";
- cancelar a ordem de fabrico, se premir o botão "cancelar execução".

Janela de Popup 10005, 10006, 10007 ou 10008: Na janela de *popup* 10005, 10006, 10007 ou 10008 ao selecionarmos uma das ordens de fabrico armazenas no histórico de produção, vemos os detalhes dessa mesma ordem de fabrico selecionada. Para isso basta premir o botão "selecionar" que se encontra à frente do número da ordem de fabrico que queremos visualizar. Ao ser premido o respetivo botão, numa das 4 janelas de *popup*, transitamos para uma dada tela, conforme representado na Tabela 4-3.



Figura 4.175 – Janela de *popup* 10005, 10006, 10007 ou 10008 da HMI do Supervisor

Tabela 4-3 – Tela para a qual somos redirecionados ao premir um certo interruptor na janela de *popup* 10005, 10006, 10007 ou 10008

Nº interruptor na tabela	**Janela popup 10006 Tela do Display 1**	**Janela popup 10007 Tela do Display 1**	**Janela popup 10005 Tela do Display 1**	**Janela popup 10008 Tela do Display 1**
1	59	78	39	98
2	60	79	40	99
3	61	80	41	100
4	62	81	42	101
5	63	82	43	102
6	64	83	44	103
7	65	84	45	104
8	66	85	46	105

Tela de detalhe de uma ordem de fabrico armazenada no histórico de produção: Todas as telas referidas na Tabela 4-3 têm como objetivo visualizar os dados de uma determinada ordem de fabrico que se encontre armazenada no histórico de produção. Ao contrário do que foi deito nos *Display* 1, 2, 3 e 4, onde se usou apenas uma tela em cada um dos *Display's* para ver os detalhes de qualquer uma das ordens de fabrico armazenadas no histórico de produção, no Supervisor teve que se utilizar uma tela para cada ordem de fabrico armazenada. Isto aconteceu porque o PLC supervisor perdia a ligação quando tentava igualar os valores de uma certa ordem de fabrico armazenada aos valores das variáveis internas utilizadas numa tela comum.
Assim sendo a solução utilizada consistiu em aceder diretamente aos valores das variáveis de uma dada ordem de fabrico armazenada, usando por esse mesmo motivo uma tela para cada ordem de fabrico. Cada tela tem uma configuração idêntica à da tela da Figura 4.176.
Depois da seleção da ordem de fabrico armazenada no histórico de produção, que se pretende ver detalhada, nesta tela apresentam-se determinados dados da ordem de fabrico armazenada em causa, nomeadamente:

- o número da ordem de fabrico, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_0;
- o número da máquina utilizada, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_1;
- o tipo de peça, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_2;
- o número de peças, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_3;
- o número de peças aceites, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_5;
- o número de peças rejeitadas, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_7, e
- o estado da ordem de fabrico, _SoM.SUPERVISOR.Application.GVL_DISP**d**.HP**d**00**i**_6.

De notar que nas variáveis referidas acima, d representa o número do *Display*, e está compreendido entre 1 e 4, e i o número do histórico de produção, e está compreendido entre 0 e 7.



Figura 4.176 – Tela 39 a 48 da HMI do Supervisor

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

5.1 Conclusões

O aparecimento da Indústria 4.0, também designada de 4ª revolução industrial, tem por objetivo um maior controlo dos processos produtivos em cada atividade industrial, contribuindo para uma indústria mais produtiva e eficiente. O alcance das transformações a ela associadas motivam dúvidas de perceção desse alcance e requerem conhecimentos cada vez mais avançados e integrados.

Neste trabalho, pretendeu-se criar um ambiente de demonstração das novas realidades da Indústria 4.0 através do desenvolvimento de 4 modelos didáticos de demonstração.

Estes modelos, nos quais foram incluídos autómatos de controlo e interfaces HMI, constituíram o nível 1 e 2 da pirâmide da Indústria 4.0, constituindo sistemas automáticos já comuns na indústria.

O principal foco deste trabalho, consistiu na demonstração do valor da transferência de informação, em tempo real, entre os 4 modelos e um sistema de supervisão, ou seja, com a criação de um sistema que reproduz os objetivos do 3º nível da pirâmide da Indústria 4.0.

Com esta troca de informações torna-se possível manter informações permanentemente atualizadas sobre cada um dos modelos controlados, quanto ao estado do equipamento e relativamente ao processo produtivo em curso em cada um dos modelos.

O trabalho desenvolvido, embora tenha objetivos de demonstração, se aplicado a um caso industrial permite a aquisição permanente de informações do processo produtivo de todos os equipamentos e atividades de uma fábrica, de forma rigorosa e em tempo real através de um sistema de supervisão, liberta um encarregado supervisor de um processo fastidioso e permite uma capacidade de decisões serem tomadas sobre uma base de informação mais sólida.

O sistema desenvolvido também permite, verificando-se a criação de um sistema que se enquadre no 4º nível da pirâmide, o acesso à informação, referida anteriormente, mesmo que não se esteja no ambiente fabril, ou seja, é possível verificar a informação e aceder remotamente ao sistema desenvolvido.

O facto de o objetivo deste trabalho ter sido a criação de um ambiente com intuitos didáticos permite fazer chegar a futuros profissionais de engenharia, quer de automação quer de informática, uma base de experiência viva que os possa seduzir a futuros desenvolvimentos em atividades mais reais.

A realização deste trabalho demonstrou a necessidade de conhecimentos muito diversos e integrados quer dos objetivos produtivos de cada processo, quer dos meios de hardware

disponíveis e aplicáveis em cada equipamento quer ainda os conhecimentos de computação industrial e informática.

Ao longo da realização do presente trabalho sucessivos obstáculos tiveram que ser ultrapassados, o que em muito aumentou a riqueza de conhecimentos que tiveram de ser aplicados para o seu sucesso.

5.2 Trabalhos futuros

Como proposta para continuação do estudo desenvolvido, seria interessante desenvolver um sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), que estivesse em comunicação com o sistema desenvolvido, permitindo, por exemplo, uma visão mais detalhada de todo o sistema bem como o controlo total do mesmo.

Referências

[1] Rosen, R. *(2017). Customer Benefits by Cyber-Physical Systems*. Acedido em 19 de Janeiro de 2021. http://road2cps.eu/events/wp-content/uploads/2015/11/12_Keynote-BenefitsBySmartCPS.pdf

[2] Federal Ministry for Economic *Affairs and Energy. (2016). Aspects of the Research Roadmap in Application Scenarios*. Acedido em 25 de Fevereiro de 2021. https://www.festo.com/rep/en-gb_gb/assets/pdf/GB_Industrie4.0_aspects_of_the_research_roadmap.pdf

[3] ACCEPT. (2019). *AS VÁRIAS FASES DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL*. Acedido em 26 de Fevereiro de 2021. https://www.accept.pt/as-varias-fases-da-revolucao-industrial/

[4] Altus. (2018). *Curso de Introdução à Automação*. Acedido em 26 de Fevereiro de 2021. https://www.altus.com.br/blog/categoria/10/detalhe/100/curso-de-introducao-a-automacao--5Baula-01-5D