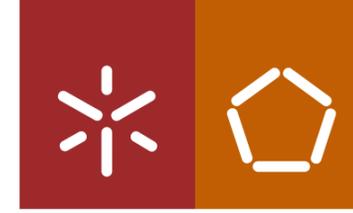




Samuel Damas Teixeira

Estudo e Caracterização da Fiabilidade de um equipamento de teste da qualidade final do funcionamento dos botões dos Auto-Rádios.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Samuel Damas Teixeira

Estudo e Caracterização da Fiabilidade de
um equipamento de teste da qualidade final
do funcionamento dos botões dos Auto-Rádios.

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Mendes Machado

DECLARAÇÃO

Nome: Samuel Damas Teixeira

Correio eletrónico: a55803@alunos.uminho.pt

Tel./Tlm.: 914190510

Número do Bilhete de Identidade: 13824988

Título da dissertação: Estudo e Caracterização da Fiabilidade de um equipamento de teste da qualidade final do funcionamento dos botões dos Auto-Rádios

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): Professor Doutor José Mendes Machado

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Tecnologias de Manufatura

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, e à dedicação, não existe meio termo. Ou se faz uma coisa bem feita ou não se faz”

Ayrton Senna

RESUMO

A implementação de dispositivos automatizados na Indústria para a montagem de componentes é um objetivo que as empresas devem ter em conta para serem competitivas no mercado global, isto porque estes dispositivos conseguem produzir mais unidades por tempo e com elevados padrões de qualidade.

Foi com esta necessidade que a *Fehst Components* procurou junto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho um aluno que efetuasse inicialmente um estudo sobre um equipamento já existente, que estava devidamente automatizado apenas para efetuar o teste de teclas de um auto-rádio, embora a inserção das teclas fosse efetuada manualmente por um operador.

O objetivo enquanto Dissertação de Mestrado é otimizar o equipamento inicial de teste de teclas e efetuar um estudo/projeto mecânico acerca da implementação de métodos automatizados para a inserção automatizada das teclas num determinado auto-rádio. De referir que o principal objetivo é ter através deste trabalho uma solução do tipo chave na mão, que permita no futuro aplicar a solução desenvolvida num produto a ser fabricado e montado na empresa.

Desta forma, o projeto mecânico foi desenvolvido apenas conceitualmente sem ser feito o projeto para o fabrico do mesmo, recorrendo ao *SolidWorks* para efetuar a modelação tridimensional. Foi ainda utilizado o *Automation Studio* para a criação dos *SFC* para validar a sequência de trabalho definida no projeto mecânico, e posteriormente o TIA Portal da Siemens para a programação do PLC utilizando a linguagem Ladder.

Palavras-chave: Projeto Mecânico, *Festo Positioning Drives*, Automação, *Automation Studio*, SFC, Siemens, Ladder, TIA Portal.

ABSTRACT

The implementation of automated devices in Industry for the components assembly is a vital target that companies should take into account to be competitive in global market, this is because these devices can produce more units per time with standard high quality.

It was this need that Fehst Components sought from Mechanical Engineering Department of Universidade do Minho a student who initially makes a research on existent equipment, which was only fully automated to make keys test on blenda, although inserting keys to be manually performed by an operator.

The aim would be optimize at maximum the original test keys equipment and make a study/mechanical design about implementation of automated methods for insertion automated in some kind of blenda. Note that main target is to have through this work a turnkey solution, allowing in the future apply the solution developed a product to be manufactured and assembled in the company.

Thus, the mechanical design was developed without being made only conceptually design for manufacture, using SolidWorks to perform threedimensional modeling. It was even used Automation Studio to create SFC to validate the work sequence in mechanical design, and later TIA Portal for PLC programming using Ladder language.

Keywords: Mechanical Design, Festo Positioning Drives, Automation, Automation Studio, SFC, Siemens, Ladder, TIA Portal.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do meu trabalho, foram alguns os que contribuíram com a sua ajuda e motivação, sem os quais o presente trabalho não teria sido possível.

A realização desta Dissertação de Mestrado contou com a orientação do Professor Doutor José Machado e com a Coorientação do Engenheiro Normando Freitas da *Fehst Components*, que com a sua dedicação, disponibilidade, experiência, sugestões e críticas me ajudaram a realizar esta Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, que certamente enriqueceu o meu futuro profissional e pessoal da minha vida académica e científica.

Quero também deixar uma palavra de apreço a algumas pessoas que se cruzaram comigo ao longo da realização da Dissertação, que pelas mais variadas razões contribuíram e ajudaram com conselhos e críticas, tais como o Eng. Guillaume Barros, ao Marcelo e ao Sr. Dias, todos eles da Fehst. Quero agradecer também a algumas pessoas da Siroco Precision que me deram conselhos bastante uteis relativamente ao trabalho realizado a nível da Automação, tais como o Pedro Maia, Daniel Teixeira e João Raposo.

Quero agradecer também aos meus PAIS, e à minha IRMÃ pelo enorme esforço que tiveram de fazer para me darem uma ferramenta de trabalho que é tornar-me Engenheiro Mecânico, mas também aos meus AMIGOS (Luís, Cassiano e Leonel) pelo apoio dado e espírito de camaradagem ao longo destes cinco anos.

A Todos o Meu Muito Obrigado.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	3
1.2.	A EMPRESA	4
1.3.	OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	4
1.4.	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	5
2.	FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO ATUAL DE TESTE DE TECLAS	7
2.1.	CICLO DE TRABALHO DO DISPOSITIVO ATUAL	10
2.2.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 2	12
3.	PROJETO MECÂNICO	13
3.1.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 3	17
4.	ASPETOS TEÓRICOS PARA O PROJETO DE AUTOMAÇÃO	19
4.1.	ASPETOS TEÓRICOS DO SFC	21
4.2.	SFC (IEC 60848)	21
4.3.	DIAGRAMAS DE LADDER	23
4.4.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 4	26
5.	PROJETO CONCEPTUAL DESENVOLVIDO	27
5.1.	INSERÇÃO DE TECLAS	30
5.1.1.	GARRAS	30
5.1.2.	VENTOSAS	34
5.2.	TESTE DE TECLAS	37
5.2.1.	ÁREAS DE APLICAÇÃO DOS SMAC'S	38
5.2.2.	REQUISITOS DO CLIENTE	39
5.2.3.	PROBLEMAS QUE ORIGINAM A NÃO CONFORMIDADE DE UM PAINEL FRONTAL	41
5.3.	ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 5	41
6.	PROJETO DETALHADO	43

6.1.PROJETO DETALHADO PARA A INSERÇÃO DE TECLAS	45
6.1.1.GUIAS LINEARES	45
6.1.2.MOTORES USADOS	54
6.1.3.ESFORÇOS EXISTENTES NAS GUIAS LINEARES E MOTORES	57
6.1.4.ALTERAÇÕES AO SUPORTE DE TECLAS.....	60
6.1.5.CICLO DE TRABALHO DA INSERÇÃO DE TECLAS.....	62
6.1.6.TEMPO DE CICLO DA INSERÇÃO DE TECLAS.....	69
6.2.PROJETO DETALHADO PARA O TESTE DE TECLAS	78
6.2.1.MÓDULO DE ROTAÇÃO DO PAINEL FRONTAL.....	78
6.2.2.DIMENSIONAMENTO DO SERVO MOTOR RESPONSÁVEL PELA ROTAÇÃO DO CONJUNTO	79
6.2.3.DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO RESPONSÁVEL PELA ROTAÇÃO DO	
<i>FRONT</i>	81
6.2.4.MÓDULO DE TESTE DE TECLAS	82
6.2.5.CONFORMIDADE DO <i>FRONT</i>	86
6.2.6.TEMPO DE CICLO PARA O TESTE DE TECLAS.....	87
6.3.Tempo total de ciclo.....	92
6.4.ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 6	93
7. AUTOMAÇÃO DA MÁQUINA.....	95
7.1.INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	97
7.2.SEQUÊNCIA DE TRABALHO	98
7.2.1.SFC ELABORADOS NO <i>AUTOMATION STUDIO</i> (IEC 61131-3).....	99
7.2.2.PROCEDIMENTOS DE PARAGEM DA PRODUÇÃO	105
7.2.3.Coordenação dos SFC.....	107
7.3.AUTÓMATO SELECIONADO.....	109
7.4.Programação Ladder.....	110

8. CONCLUSÕES	111
ANEXO A – SIMULAÇÃO DOS SFC [IEC 61131-3] OBTIDOS NO <i>AUTOMATION STUDIO</i>	117
ANEXO B – DIAGRAMAS DE LADDER OBTIDOS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO TIA PORTAL V11	139

ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1 - Ilustração gráfica das teclas em bom estado	9
Figura 2 - Ilustração gráfica das teclas em não conformidade	10
Figura 3 - Ninho para o Suporte de teclas e para o <i>Front</i>	10
Figura 4 - Calcamento do <i>Front</i>	11
Figura 5 - Calcamento das Teclas	11
Figura 6 - Localização dos 4 SMAC's para o teste de teclas	12
Figura 11 - Esquema de trabalho para obter a solução de uma necessidade	15
Figura 8 - Exemplo de uma sequência segundo o formalismo SFC [30]	22
Figura 9 - SFC elaborado no Automation Studio para o Projeto de Automação	23
Figura 10 - Exemplo SFC	24
Figura 11 - Recetividade após múltiplas etapas de acordo com (3) [23].....	24
Figura 12 - Etapa de acordo com (4) [23]	25
Figura 13 - Dispositivo final desenvolvido no SolidWorks 2013.....	29
Figura 13 - Programa Festo PARTdataManager 2012	30
Figura 15 - Vista de topo e frontal da tecla 075	31
Figura 16 - Manipulação da tecla 075 com uma Garra	31
Figura 17 - Inexistência de paralelismo entre faces da tecla.....	32
Figura 18 - Manipulação de teclas com a Garra na horizontal	32
Figura 19 - Suporte de teclas original	33
Figura 20 - Alteração ao Suporte de teclas	33
Figura 21 - Contacto entre as mandíbulas e o <i>Front</i>	34
Figura 22 - Diversos tipos de ventosas [11]	34
Figura 23 - Ventosas Planas redondas [12]	35
Figura 23 - Ventosas Ovais [13]	35
Figura 25 - Ventosas com Foles [14].....	35
Figura 26 - Esquema de forças existentes no processo de succionar peças	36
Figura 27 - Desalinhamento das teclas no suporte original	36
Figura 28 - Alinhamento das teclas com o eixo da ventosa	36
Figura 29 - Alterações efetuadas ao suporte de teclas	37

Figura 30 - Atuadores SMAC's.....	37
Figura 31 - Teste ao cinto de segurança.....	38
Figura 32 - Teste de teclas.....	39
Figura 33 - Injetor de Combustível.....	39
Figura 34 - Painel Frontal na vertical juntamente com os SMAC's	39
Figura 35 - Teste de teclas: 1- Painel Frontal; 2- Servo Motor; 3- Cilindro Pneumático; 4- Guia de posicionamento dos SMAC's; 5- Garra.....	40
Figura 31 - Sistema de eixos convencionado	45
Figura 37 - Cilindro Pneumático utilizado para a inserção de teclas	46
Figura 38 - Recorte do desenho técnico do painel frontal.....	46
Figura 39 - Recorte do desenho técnico numa das extremidades.....	47
Figura 40 – Somatório de Cotas nominais resultantes da Figura 34 entre os centros das teclas.....	47
Figura 41 - Esquema explicativo para a alteração de tolerâncias.....	48
Figura 42 - Exemplo de Guia Linear com correia dentada [15].....	49
Figura 43 - Exemplo de guia linear movimentada por fuso [16].....	49
Figura 44 - Ilustração do movimento da Guia linear	50
Figura 45 - Esquema representativo das distâncias de trabalho da Guia linear	51
Figura 41 - Cotas e tolerâncias dimensionais das calhas de uma das teclas.....	51
Figura 42 - Guia Linear EGC	52
Figura 43 - Guia Linear EGSL.....	53
Figura 44 - Sistema tridimensional para a Manipulação das teclas.....	53
Figura 45 - Sistema de manipulação das teclas; 1 - Servomotor EMMS-40; 2 - Servomotor EMMS-55.	55
Figura 46 - Encoder Absoluto [18].....	56
Figura 47 - Encoder Relativo [18].....	56
Figura 48 - Introdução do valor da carga e como está a ser aplicada na Guia linear	58
Figura 49 - Distâncias das cargas aplicadas na guia EGC	58
Figura 50 - Resultados para a Guia linear EGC	59
Figura 51 - Resultados para a Guia linear EGSL.....	60
Figura 52 - Comparação do posicionamento das teclas no suporte e no <i>front</i>	61
Figura 53 - Nomenclatura usada para a descrição do suporte de teclas; 1 -Conjunto de teclas para três painéis frontais para o lado esquerdo; 2-Conjunto de teclas para três painéis frontais para o lado direito; 3 -Primeira coluna de teclas para o lado esquerdo; 4 -Segunda coluna de teclas para o lado esquerdo;	

5 – Terceira coluna de teclas para o lado esquerdo; 6 -Primeira coluna de teclas para o lado direito; 7 - Segunda coluna de teclas para o lado direito; 8 -Terceira coluna de teclas para o lado direito	62
Figura 54 - Layout da linha de montagem atual.....	62
Figura 55 - <i>Conveyor's</i> usados no Dispositivo desenvolvido; 1- <i>Conveyor</i> para o suporte de teclas; 2- <i>Conveyor</i> para o <i>front</i>	63
Figura 56 - Codificação do posicionamento das guias EGSL	64
Figura 57 - Posição 0 das guias EGSL.....	65
Figura 58 - Posicionamento das guias EGSL para o primeiro painel frontal de um total de três.....	65
Figura 59 - Posicionamento das guias EGSL para o segundo painel frontal de um total de três	65
Figura 60 - Posicionamento das guias EGSL para o terceiro painel frontal de um total de três.....	66
Figura 61 - Codificação do posicionamento das guias EGC	66
Figura 62 - Posição inicial para as guias EGC	67
Figura 63 - Posição 1 das Guias EGC.....	67
Figura 64 - Posição 2 das Guias EGC.....	67
Figura 65 - Estágio de teste de teclas.....	68
Figura 66 - Posições das guias EGSL para o primeiro passo	74
Figura 67 - Guias EGC na posição 1 e EGSL na posição 0	75
Figura 68 - Guias EGC na posição 2 e EGSL na posição 0	75
Figura 69 - Camera de visão artificial da IFM [22]	77
Figura 70 - Estágio de teste funcional de teclas; 1- Atuador responsável pelo posicionamento dos SMAC's (DFME-LAS); 2- SMAC's; 3- Cilindro responsável pelo calcamento das teclas; 4- Cilindro pneumático; 5- Servomotor; 6- Garra	78
Figura 71 - Painel Frontal no <i>conveyor</i> na horizontal.....	78
Figura 72 - <i>Front</i> na posição de teste de teclas	79
Figura 73 - Conjunto a rodar pelo Servo Motor	79
Figura 74 - Dimensionamento e escolha do Servo Motor responsável pela rotação do conjunto.....	80
Figura 75 - Ábaco de seleção do cilindro pneumático	81
Figura 76 - Posição crítica para a flexão da haste	81
Figura 77 - Unidade de calcamento de teclas.....	82
Figura 78 - Atuador DFME-LAS.....	83
Figura 79 - Codificação do posicionamento das guias DFME.....	84
Figura 80 - SMAC	84

Figura 81 - Posicionamento dos SMAC's em função dos atuadores DFME.....	85
Figura 82 - Codificação do posicionamento dos SMAC.....	86
Figura 83 - Baliza sinalizadora	86
Figura 84 - Perfil de velocidade/aceleração/posição	88
Figura 85 - Esforços no EMMS-100-S	89
Figura 86 - Botoneira ZB5AC2 [27]	97
Figura 87 - Botoneira ZB5AW343 [27]	97
Figura 88 - Botoneira XALK178F [27]	97
Figura 89 - Esquema de funcionamento da Máquina.....	98
Figura 92 - SFC2-F2-START/STOP	102
Figura 93 - Excerto do SFC que posiciona os atuadores do Estágio de Inserção de teclas.....	102
Figura 94 - Excerto do SFC responsável pela preparação dos atuadores do Estágio de teste de teclas	103
Figura 95 - SFC de entrada de peças no interior da Máquina.....	104
Figura 96 - Excerto do SFC principal com paragem de evolução	107
Figura 97 - Exemplo de coordenação vertical [35]	108
Figura 98 - Exemplo de coordenação vertical nos SFC desenvolvidos.....	108

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades da Guia linear EGC (Eixo Z).....	52
Tabela 2 - Propriedades da Guia linear EGSL (Eixo X)	53
Tabela 3 - Comparação entre os Motores de passo e os Servomotores [21].....	55
Tabela 4 - Propriedades dos motores das Guias lineares	56
Tabela 5 - Somatório de cargas na Guia linear EGC.....	57
Tabela 6 - Somatório de cargas na Guia linear EGSL	59
Tabela 7 - Sequência de trabalho das guias lineares EGSL	64
Tabela 8 - Distância entre os <i>set-points</i> e a origem da guia linear EGC.....	70
Tabela 9 - Tempos entre pontos de referência.....	72
Tabela 10 - Distância entre os set-points e a origem da guia linear EGSL.....	73
Tabela 11 - Resultados de velocidades, acelerações e tempos para as guias EGSL	73
Tabela 12 - Tempos para a guia EGSL	74
Tabela 13 - Tempos para inserir 3 teclas em simultâneo.....	75
Tabela 14 – Tempos para inserir as últimas teclas.....	76
Tabela 15 - Tabela resumo do tempo de ciclo para o estágio de inserção de teclas.....	76
Tabela 16 - Características do Servo Motor EMMS-100	80
Tabela 17 - Propriedades do atuador DFME-LAS	83
Tabela 18 - Posicionamento dos atuadores DFME-LAS	83
Tabela 19 - Propriedades do SMAC LAL-015-5	85
Tabela 20 - Variáveis de funcionamento dos SMAC's.....	85
Tabela 21 - Tabela para as codificações / deslocamento para atuadores DFME.....	90
Tabela 22 - Tempos para os atuadores DFME	90
Tabela 23 - Distâncias percorridas pelos SMAC's	91
Tabela 24 - Tempos de atuação para os SMAC's.....	91
Tabela 25 - Sequência e tempo total para o Estágio de teste de teclas.....	92
Tabela 26 - Propriedades da consola KTP400 Comfort [28]	98
Tabela 27 - Principais Propriedades do S7 400 CPU 412-2	109

LISTA DE ACRÓNIMOS

SMAC – Atuadores lineares eletricos

Front-Painel Frontal

PLC – Controlador Lógico Programavel

Grafcet - Graphe Fonctionnel de Commande, Etapes Transition

IEC - International Eletrotechnical Commission

ADEPA - Agence nationale pour le Developpement de la Production Automatisée

SFC – Sequential Functional Chart

LD – Ladder

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita uma análise às principais prioridades das empresas que necessitam de automatizar os seus processos seguido das principais motivações e objetivos que se pretende com este trabalho.

O equipamento desenvolvido será automatizado de forma a ser possível diminuir o tempo de ciclo.

A modernização quer dos processos produtivos quer dos processos de montagem tem sido alvo de constantes melhorias por parte das empresas. Os objetivos da automatização de um conjunto específico de máquinas são os seguintes:

- Aumentar a produtividade;
- Diminuir o tempo de ciclo;
- Menor consumo de energia e de matérias-primas;
- Melhorar as condições de segurança para os intervenientes;
- Reduzir o esforço ou a intervenção humana sobre um determinado processo;

É com estas cinco principais razões que as empresas sustentam a necessidade constante de automatizar os seus processos, recorrendo a conhecimentos de áreas como a Mecânica, Eletrónica e Mecatrónica de modo a tornar possível o desenvolvimento de um equipamento ou um conjunto com determinadas características.

Dos cinco principais motivos que levam a automatização de uma unidade de trabalho, os que mais relevância têm para levar uma empresa a automatizar será sempre para ter uma maior produtividade e diminuir conseqüentemente o tempo de ciclo. Com o aumento da produtividade e da diminuição do tempo de ciclo as empresas conseguem:

- Vender os seus produtos a um preço muito mais competitivo face aos seus concorrentes;
- No caso de haver mais do que um cliente para um único produto, conseguem vender para mais clientes;
- Conseguir atrair mais clientes devido aos preços serem mais atrativos;
- Reduzir encargos com operários.

1.1. MOTIVAÇÃO

Existem enúmeras empresas em Portugal que trabalham para a Indústria Automóvel, que lidam diariamente com a exigência e rigor deste tipo de Indústria em que os padrões de qualidade dos produtos são elevados. Estas empresas são normalmente transformadoras de polímeros, que através da injeção de polímeros fundidos numa cavidade moldante obtém-se o produto final.

Estes produtos são muitas vezes compostos por geometrias complexas que dificultam posteriormente a montagem de um determinado conjunto, o que leva a que a montagem seja feita manualmente fazendo com que o tempo de ciclo seja mais longo e por conseqüente diminuir a produção.

A motivação para esta dissertação prende-se no facto de querer desenvolver uma solução que seja capaz de introduzir teclas de forma automatizada num painel frontal, que permita à empresa posteriormente adaptar esta mesma solução para qualquer produto. Outra das motivações para este trabalho é melhorar o estágio de teste de qualidade das teclas de um painel frontal.

1.2. A EMPRESA

A Fehst Componentes [1] é uma empresa que surgiu no ano 1995 situada em Braga, no antigo complexo da Grundig Components.

As suas principais atividades desde então é a produção de componentes para a industria automovel, mais concretamente a produção de componentes metálicos com recurso a ferramentas de corte progressivas e a produção de peças plásticas, como auto-rádios, botões e diversas peças para o acionamento de comandos num automóvel. A sua principal força produtiva são os produtos poliméricos, o que faz com que a empresa disponha nas suas instalações de tecnologia de injeção de bi-material, máquina de pintura à base de água e mais recentemente máquina de pintura com cura por luz ultra-violeta. A Fehst Components conseguiu ainda atingir entre 2010 e 2012 o prémio de “PME Excelência”

A nível de certificação a Fehst Components tem nos seus processos e metodologias a certificação a empresa possui as seguintes certificações:

- ISO 9002;
- ISO 14001;
- ISO 9001;
- ISO TS 16949.

1.3. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O objetivo da Dissertação é otimizar, melhorar e automatizar o processo de teste de teclas como ele existe atualmente e efetuar um estudo conceptual para um novo dispositivo que englobe a inserção automatizada de teclas e o teste funcional das teclas de um painel frontal, de forma a aumentar os níveis de produção através da redução dos tempos de ciclo e reduzir a intervenção humana no processo.

Para efetuar estas duas operações num único dispositivo, a máquina será constituída por dois estágios em que no estágio de inserção automatizada de teclas os principais objetivos serão:

- Automatizar a alimentação de painéis frontais e teclas no dispositivo;
- Automatizar a inserção das teclas no painel frontal;
- Diminuição do tempo de ciclo.

Quanto ao estágio de teste de teclas os principais objetivos para o estudo efetuado na Dissertação serão:

- Mudar o posicionamento do painel frontal para as teclas serem testadas na posição final de utilização equivalente à posição num automóvel;
- Os atuadores responsáveis por efetuar o controlo da qualidade do guiamento das teclas, efetuem uma carga excentrica em relação ao centro da tecla;
- Diminuir o tempo de ciclo.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente documento está organizado em vários capítulos compostos por diversos sub capítulos. No Capítulo 2 é feita uma descrição acerca do funcionamento do dispositivo atual de teste de teclas, com as suas principais sequências de trabalho.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia de Projeto Mecânico utilizada para o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado, enquanto que no Capítulo 4 é feita descrição dos conceitos teóricos que sustentam as linguagens de programação utilizadas.

No Capítulo 5 são efetuadas várias análises às soluções conceptuais para a manipulação das teclas mas também para o teste de teclas, na qual se uma explicação detalhada acerca dos atuadores SMAC. No Capítulo 6 é descrito todas as tomadas de decisões acerca da seleção dos principais atuadores para ambos os estágios. Após a seleção dos atuadores é feita uma descrição da sequência de trabalho do dispositivo, sendo que no final é feito um cálculo do tempo total do ciclo da máquina.

Por último, no Capítulo 7 é feita uma descrição dos componentes utilizados que permitam uma interface homem máquina. Posteriormente são apresentadas as linguagens de programação utilizadas para se efetuar a programação da máquina.

A Dissertação é ainda composta por Anexos (Anexo A e B), sendo que no Anexo A são apresentados todos os SFC desenvolvidos no Automation Studio. No Anexo B são apresentados os Diagramas Ladder efetuados no TIA Portal.

CAPÍTULO 2

2. FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO ATUAL DE TESTE DE TECLAS

Neste Capítulo é feita uma descrição do dispositivo que atualmente existe na *Fehst* que é responsável por efetuar o teste de qualidade do guiamento das teclas em todos os painéis frontais

São enumeradas as etapas de trabalho do Operário até ser validado o teste funcional das teclas.

O dispositivo atual de teste funcional de teclas necessita obrigatoriamente de intervenção humana para a inserção das teclas no painel frontal. Depois das teclas terem sido inseridas, o painel frontal entra dentro do dispositivo e através da atuação dos SMAC's [2] (Atuadores elétricos capazes de averiguarem a conformidade das teclas), estes verificam o estado das teclas. O ciclo de funcionamento da máquina atual tem um tempo de 38 segundos. Enquanto se efetua o teste às teclas, o Operador para não estar parado, insere teclas num segundo painel frontal, para que no fim do teste de teclas do primeiro painel frontal haja imediatamente outro painel para testar.

Posto isto, um dos requisitos para o desenvolvimento do projeto conceptual seria que o tempo de ciclo fosse inferior aos 38 segundos do dispositivo atual.

A automatização do teste de análise das teclas permite assim verificar quais as teclas que não cumprem com os requisitos estabelecidos que consiste em percorrer uma determinada distância para uma determinada força, idêntica à que o utilizador do auto rádio irá exercer. No caso de a totalidade das teclas serem válidas a peça é solta e é apresentado na consola de interface com o Operário as teclas preenchidas a verde.



Figura 1 - Ilustração gráfica das teclas em bom estado

Caso a peça seja considerada não conforme, a máquina pára neste passo à espera de confirmação na consola de interface por parte do operador antes de libertar a peça, garantindo que o operador tem conhecimento que a peça não está em conformidade.

Neste caso a consola apresenta o resultado de quais as teclas que estão dentro e fora dos limites por intermédio de cores, em que a cor vermelha indica que não está em conformidade, tendo o operador que retirar o produto da linha de montagem.



Figura 2 - Ilustração gráfica das teclas em não conformidade

2.1. CICLO DE TRABALHO DO DISPOSITIVO ATUAL

O ciclo de trabalho do dispositivo atual consiste em quatro etapas, a introdução de teclas manualmente no painel frontal, calcamento do *Front* (Painel Frontal), calcamento das teclas, e por fim o teste das teclas por parte da atuação dos SMAC.

Para a introdução das teclas o operador tem uma base para inserir o suporte de teclas, e outra plataforma (ninho) para colocar o *Front*, como a Figura 3 demonstra.



Figura 3 - Ninho para o Suporte de teclas e para o *Front*

Depois de se ter introduzido as teclas no painel frontal, o ninho entra e é acionado o sistema de calcamento do *Front*, sendo que este apenas prende o *Front* para que quando os SMAC's são acionados não haja o risco de o painel frontal se soltar e todo o processo de verificação de qualidade das teclas não ser executado.

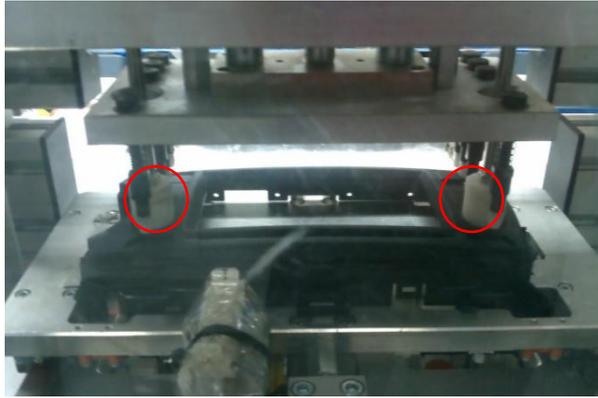


Figura 4 - Calcamento do Front

Ainda com o sistema de calcamento do *Front* acionado, é necessário garantir que todas as teclas tenham um *Setpoint* definido para que os SMAC's consigam acionar todas as teclas desde o ponto zero de deslocamento até à distância máxima. Com todas as teclas na posição zero, o sistema de calcamento das teclas recua para libertar as teclas para estas serem atuadas pelos SMAC.



Figura 5 - Calcamento das Teclas

Por fim resta apenas fazer o teste funcional das teclas. Se se dividir o *Front* em duas partes, esquerda e direita, temos dois SMAC para cada uma das partes, perfazendo um total de quatro atuadores como a Figura 6 demonstra. Cada um dos quatro SMAC's testa as seguintes teclas:

- SMAC 1: Tecla 080 e 078;
- SMAC 2: Tecla 079 e 074;
- SMAC 3: Tecla 077 e 075;
- SMAC 4: Tecla 076 e 073.



Figura 6 - Localização dos 4 SMAC's para o teste de teclas

No fim do teste de teclas estar completo, a consola de interface apresenta então os resultados obtidos através de diferentes cores, em que o verde significa que está em conformidade, e a vermelho está não conforme, tal como a Figura 1 e a Figura 2 indicam.

2.2. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 2

Neste Capítulo é dado a conhecer a principal função dos atuadores elétricos capazes de averiguar o estado de conformidade das teclas (SMAC), bem como o atual tempo de ciclo que servirá como referência para o desenvolvimento do projeto conceptual, tendo este de ser obrigatoriamente inferior. É ainda dado a conhecer as operações que são necessárias de efetuar até que o produto seja dado como conforme e apto a ser entregue ao cliente.

CAPÍTULO 3

3. PROJETO MECÂNICO

Neste Capítulo é dado a conhecer as principais etapas teóricas que um projeto tem de ter, segundo Morris Asimow [3] até à sua retirada do mercado.

A actividade de desenvolver Projetos Mecânicos, é uma atividade pela qual é necessário passar por inúmeras etapas, até este atingir um nível de maturação.

O início de qualquer projeto mecânico é através do reconhecimento de uma necessidade ou de uma falha existente no mercado, sendo a análise deste problema uma parte importante de todo o processo até chegar a uma solução concensual que satisfaça a necessidade do cliente. O esquema representado na Figura 7 indica a evolução que é necessário efetuar até se atingir uma solução consistente que resolva a necessidade [4]. O esquema apresentado na Figura 7 apresenta um processo iterativo para encontrar a solução conceptual que melhor solucione a necessidade inicial. Enquanto esta necessidade não estiver totalmente resolvida através das soluções geradas o processo recomeça.

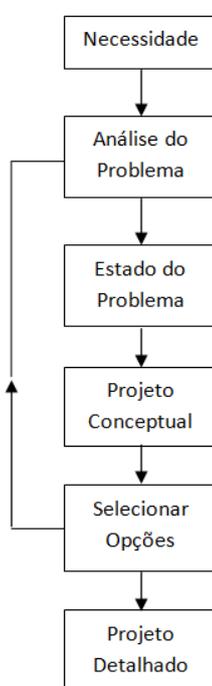


Figura 7 - Esquema de trabalho para obter a solução de uma necessidade

No entanto, segundo Morris Asimow [3], existem sete etapas para efetuar um projeto mecânico. A primeira etapa a desenvolver segundo Morris Asimow, após o reconhecimento da necessidade é desenvolver o projeto conceptualmente.

Para Asimow o projeto conceptual consiste em criar o maior número possível de soluções para depois se reduzir à solução que melhor resolve o problema proposto. A fase do Projeto Conceptual é aquela que exige maior criatividade, contudo é uma fase que envolve muita incerteza à volta do projetista, o que por vezes pode ser frustrante, no entanto, para evitar isso é necessário a coordenação

entre as entidades responsável na organização empresarial. A lista que se segue apresenta as atividades que estão associadas ao projeto conceptual. [5]

- Identificação das necessidades do cliente: O objetivo deste ponto é perceber quais as necessidades do cliente e comunicá-las à equipa de projeto;
- Definição do Problema: O objetivo é criar um caderno de encargos em que fique tudo registado por parte da entidade que vai criar o projeto e o cliente, através da declaração das necessidades do cliente, descrição do que se pretende fazer, restrições e requisitos do cliente;
- Recolha de Informação: Para se efetuar projeto mecânico é aconselhável ser feita uma recolha de informações se já foram feitos projetos idênticos, se existem patentes, para que caso exista, seja mais fácil de desenvolver, sempre tendo em conta as especificações do cliente;
- Conceptualização: Criação e geração de ideias que satisfaçam o que foi declarado no caderno de encargos;
- Seleção das ideias Conceptuais: Avaliação das ideias conceptuais projetadas, e efetuar uma evolução de todas as soluções numa única só.
- Revisão do Projeto: Antes de se avançar para a próxima fase do projeto deverá ser feita uma avaliação. A revisão do projeto permite verificar que o projeto é fisicamente realizável e se é economicamente rentável. Deverá ser definida uma estratégia para minimizar o tempo de ciclo do projeto e identificar os recursos humanos que serão necessários, equipamentos e dinheiro necessário para completar o projeto. [5]

A segunda fase de desenvolvimento de um projeto mecânico segundo Asimow é a realização do Projeto Personalizado. É nesta fase de concepção que são tomadas as decisões mais técnicas do projeto, tais como a seleção de materiais, seleção de atuadores, forças existentes, toleranciamento das peças modeladas, e a criação de protótipos de peças que necessitam de ser testadas. [5]

A terceira fase de um projeto mecânico para Asimow é a realização do Projeto Detalhado. Nesta fase são feitos desenhos detalhados adequados para a fabricação das peças, com a indicação de tolerâncias para o fabrico, propriedades da superfície, materiais e processos de fabrico.

São ainda elaborados desenhos de conjunto que permitam a montagem dos conjuntos bem como a indicação de indicações pertinentes que permitam facilmente a montagem ao Operador. Estes desenhos de conjunto servem de apoio muitas vezes ao departamento de compras, para efetuarem a lista de compras necessária. Todas estas etapas devem ser revistas e analisadas antes de se avançar para a quarta etapa, o Planeamento da Produção [5]. Para a quarta etapa de um projeto mecânico, o Planeamento da Produção, é feita uma planificação do processo de fabrico de cada peça, que inclui o

operador que vai executar e as máquinas onde vão ser feitas as peças, ferramentas utilizadas. Após o detalhe das operações que cada peça vai sofrer é feita uma estimativa do preço que cada peça irá custar. Em suma, no planeamento da produção deve ser feito o seguinte:

- Planificação dos horários de trabalho e controlo do *stock*;
- Planificação do controlo de qualidade;
- Estabelecer o tempo de produção e os custos de trabalho para cada operação.

A quinta etapa consiste em planear a distribuição do produto, caso este seja produzido em larga escala. Nesta fase a maioria do trabalho deve ser feito pelo Departamento de Marketing, na qual devem procurar publicitar os produtos da empresa através dos *media*. No caso de serem produtos de alta tecnologia deve ser feito um manual de dados de teste de desempenho e informação técnica relevante. [5]

Restam duas etapas para o ciclo de um Projeto Mecânico. Na sexta fase é feito um planeamento de utilização de um produto para sensibilizar o utilizar de como o utilizar através da realização de um manual de instruções para um produto, enquanto que a sétima fase é feito um planeamento quanto à forma de retirar o produto quando este atinge o final do seu ciclo útil. [5]

3.1. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 3

Neste Capítulo foi dado a conhecer ao leitor as principais etapas que um projeto mecânico tem segundo Morris Asimow antes de chegar ao consumidor final.

CAPÍTULO 4

4. ASPETOS TEÓRICOS PARA O PROJETO DE AUTOMAÇÃO

Qualquer que seja o Projeto Mecânico de equipamentos que visam a automatização de processos requer um Projeto para a Automação coordenada de todos os atuadores. Neste presente Capítulo são apresentados todos os princípios teóricos que estão ligados aos formalismos utilizados em automação, e que são utilizados para a automatização do projeto desenvolvido (Capítulo 7).

4.1. ASPETOS TEÓRICOS DO SFC

Para a automatização de máquinas utiliza-se normalmente o formalismo SFC [6], que consiste na especificação da parte sequencial do comando de um sistema, que permite a partir de informações sobre o processo, comandar, descrever o funcionamento pretendido e, assim, executar as acções. Essas informações correspondem ao estado das variáveis associadas aos diversos sensores do sistema (variáveis de entrada), enquanto que as acções correspondem ao comportamento dos atuadores associados a eletroválvulas.

O SFC foi desenvolvido em 1975 por universitários e projectistas de automação franceses que, constatando a ineficácia dos métodos existentes para tratar problemas de concepção de sistemas sequenciais complexos, desenvolveram uma linguagem comum para representar (modelizar) o funcionamento deste tipo de sistemas.

Esses universitários e projectistas constituíram uma associação francesa de excelência, a AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique), contribuindo para que o SFC fosse normalizado e origina-se uma Norma Internacional em 1987, a NF C – 03 – 190. Na língua inglesa costuma ser designado por SFC – Sequential Flow Chart [23].

Para a automatização de toda a máquina foram elaborados manualmente SFC segundo a norma IEC 60848 [29], sendo que esta norma resulta da evolução da NF C-03-190.

4.2. SFC (IEC 60848)

O SFC é um formalismo de especificação de sistemas automatizados sequenciais. Este formalismo foi desenvolvido em França, quando a AFCET em conjunto com a ADEPA definiram o SFC como uma representação gráfica que traduz o desenvolvimento de um ciclo sequencial. Em 1988, a IEC adoptou o SFC como Norma internacional sob o nome SFC como título *Preparation of Function Charts for Control Systems* com a referência IEC 848, sendo que mais tarde, a Norma passou a designar-se por IEC 60848.

As principais aplicações do SFC são em sistemas pneumáticos, hidráulicos e mecânicos, pois este consegue descrever as funções de controlo, independentemente da área de aplicação, permitindo fácil entendimento entre as mais variadas áreas de Automação.

Desta forma os diagramas funcionais SFC permitem descrever comportamentos de uma sequência em função das informações recebidas, permitindo assim um funcionamento coerente [7].

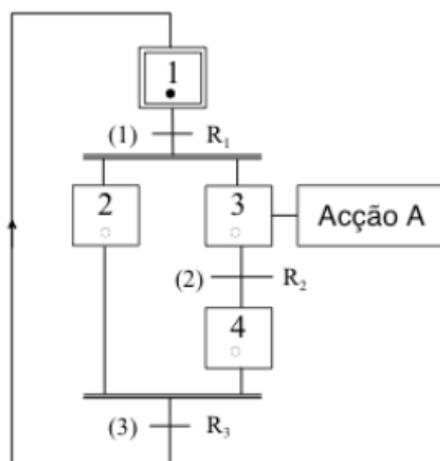


Figura 8 - Exemplo de uma sequência segundo o formalismo SFC [7]

Para a elaboração dos SFC pode ser usado o programa *Automation Studio* [8]. O *Automation Studio* é um programa na qual se pode desenhar, simular, e criar circuitos elétricos para criar uma validação do projeto de uma máquina, sendo geralmente usado para efetuar testes a soluções de problemas [9]. A construção dos SFC neste programa é segundo a norma IEC 61131-3.[10] A principal diferença entre esta norma para a norma IEC 60848, é que a IEC 61131-3 é uma linguagem de programação de automatos, embora os conceitos teóricos da norma IEC 60848 estão diretamente ligados aos conceitos aplicados na norma IEC 61131-3 [10].

Como tal, a norma IEC 61131-3 foi desenvolvida com o intuito de permitir ao utilizador estruturar a programação com elementos funcionais e poder escolher a linguagem em que irá programar o projeto. Esta norma conferiu a uniformização das linguagens de programação mais utilizadas, os Diagramas de Blocos Funcionais (FBD), Diagramas de Contacto, Diagrama de Funções Sequenciais (SFC), Texto estruturado (ST) e as Listas de Instruções (IL) [11].

Desta forma os SFC foram elaborados no *Automation Studio* segundo a linguagem SFC da norma IEC 61131-3.

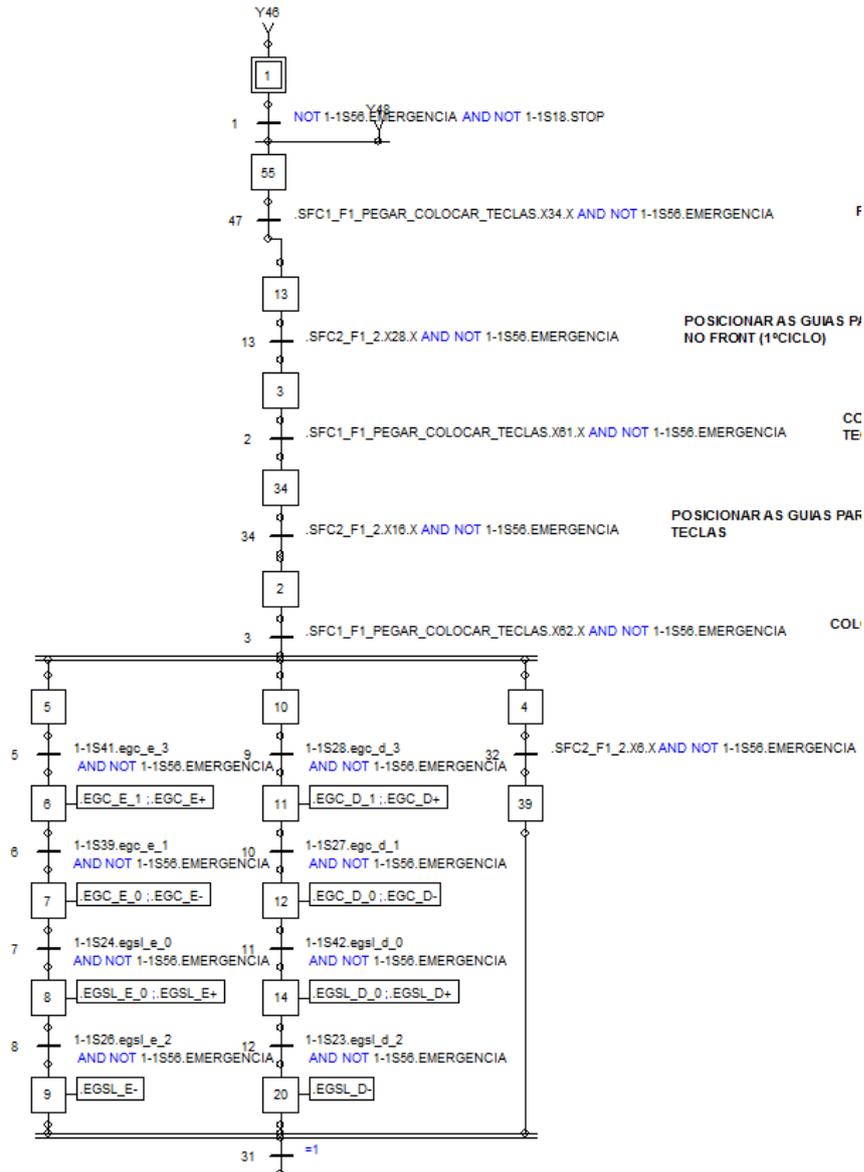


Figura 9 - SFC elaborado no Automation Studio para o Projeto de Automação

4.3. DIAGRAMAS DE LADDER

A Linguagem Ladder [12], é um formalismo utilizado para efetuar a programação dos controladores, sendo esta programação feita a partir da tradução algébrica dos SFC. Este Sub-capítulo mostra como se pode converter uma especificação SFC em Linguagem Ladder. Essa conversão compreenderá três módulos que serão executados de uma forma sequencial [6]:

- Condições de transposição das transições;
- Variáveis associadas às etapas;
- Cálculo das ações.

Onde $CT(p_j)$ é a condição de transposição da transição (P_j), p é a transição anterior à etapa i , e n transição seguinte à etapa i .

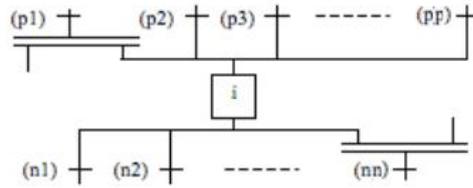


Figura 12 - Etapa de acordo com (2) [6]

De acordo com (1), para as condições de transposição das transições do SFC da Figura 10, na qual X_i representa a atividade da etapa i , resulta nas seguintes equações:

$$CT(i) = /X1./X2./X3./X4./X5./X6./X7$$

$$CT(1) = X1 . a$$

$$CT(2) = X2 . b$$

$$CT(3) = X3 . X4 . c$$

$$CT(4) = X5 . d . e$$

$$CT(5) = X6 . f$$

$$CT(6) = X5 . a$$

$$CT(7) = X7 . c$$

Pondo em prática a equação 2 para o cálculo das variáveis associadas às etapas resulta na seguinte lista.

$$X1 (t+1) = CT(i) + CT(5) + CT(7) + X1(t) ./ CT(1)$$

$$X2 (t+1) = CT(1) + X2(t) ./ CT(2)$$

$$X3 (t+1) = CT(2) + X3(t) ./ CT(3)$$

$$X4 (t+1) = CT(1) + X4(t) ./ CT(3)$$

$$X5 (t+1) = CT(3) + X5(t) ./ (CT(4) + CT(6))$$

$$X6 (t+1) = CT(4) + X6(t) ./ CT(5)$$

$$X7 (t+1) = CT(6) + X7(t) ./ CT(7)$$

Com este algoritmo, é feita a conversão dos SFC desenvolvidos no *Automation Studio* para posteriormente ser feita a programação do PLC (Ver Capítulo 7.4 e Anexo B).

4.4. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 4

Neste Capítulo descreve-se os fundamentos teóricos das várias linguagens de programação que são utilizadas para o Projeto de Automação do dispositivo desenvolvido neste Dissertação de Mestrado.

CAPÍTULO 5

5. PROJETO CONCEPTUAL DESENVOLVIDO

Neste Capítulo serão debatidas soluções conceptuais para a inserção de teclas no *front* com uma análise de valor de cada uma das hipóteses. O estágio de teste de teclas também é alvo de explicações quanto ao posicionamento dos SMAC's em relação às teclas.

É feita uma análise detalhada à seleção dos principais atuadores que a máquina irá apresentar, que fazem parte da fase Projeto Detalhado de um Projeto Mecânico, segundo a teoria de Morris Asimow [3].

Quanto ao Projeto Conceptual desenvolvido, este apenas foi estudado e desenvolvido até à fase do Projeto Detalhado, uma vez que o objetivo da *Fehst Components* passava por ter apenas um projeto chave na mão, passível de ser aplicado num próximo componente a ser produzido.

Assim sendo a necessidade/objetivo da *Fehst Components* seria otimizar o processo de teste de teclas, em que num único dispositivo pudessem ser incluídas o máximo de operações possíveis (Inserção e Teste de teclas), automatizar o processo de inserção de teclas e uma redução do atual tempo de ciclo.

Quanto ao Software utilizado, usou-se o SolidWorks 2013 [13] para o desenvolvimento de modelos CAD conceptuais.

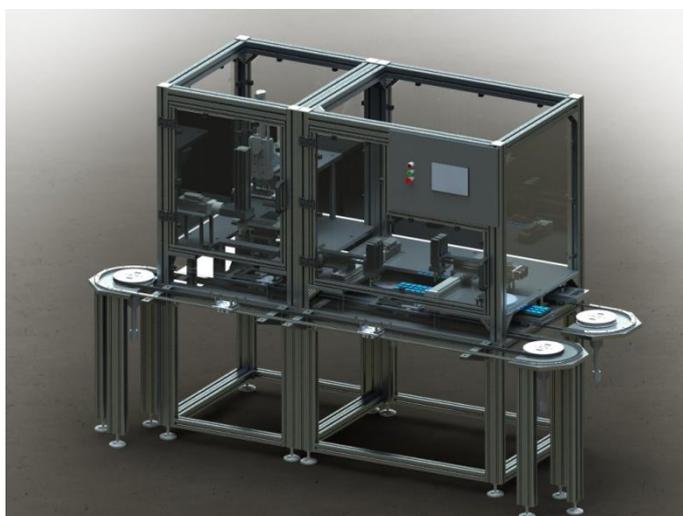


Figura 13 - Dispositivo final desenvolvido no SolidWorks 2013

Para obter os modelos tridimensionais standardizados dos componentes utilizados no dispositivo usou-se o *Software* da Festo, Festo PARTdataManager 2012 [14], em que no mesmo programa consegue-se fazer a configuração de um determinado componente e posteriormente conseguir obter a exportação do modelo tridimensional para o SolidWorks.

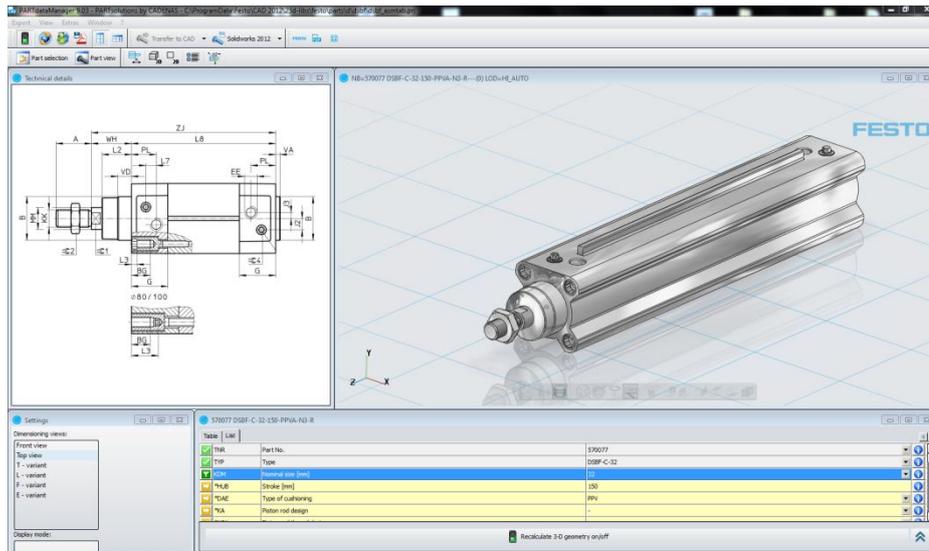


Figura 14 - Programa Festo PARTdataManager 2012

Para o desenvolvimento do projeto conceptual usou-se os produtos da Festo uma vez que estes têm qualidades com créditos firmados na indústria, embora o custo dos componentes seja significativo comparando com outras marcas. Outro dos fatores pela qual se usou os produtos da Festo, foi o facto de fornecerem gratuitamente *softwares* importantes para o desenvolvimento do trabalho sem ser necessário efetuar qualquer compra, o que foi o caso.

5.1. INSERÇÃO DE TECLAS

Para a inserção e manipulação das teclas foi necessário estudar os processos de manipulação que existem e que estão devidamente estudados no mercado.

Como tal, as opções para efetuar o manuseamento das teclas foram as garras ou as ventosas. Para estas duas opções existem diversos fatores a ter em conta, tal como a zona onde podem aprisionar sem deixar marcas de maneira a não deixar vestígios e danificar as teclas, e na zona onde agarram a tecla, fazê-lo com firmeza suficiente para posteriormente inserir nas calhas do *Front*.

5.1.1. GARRAS

As garras são componentes mecânicos que através da utilização de ar comprimido se consegue efetuar o aperto de peças com uma repetibilidade de movimentos na ordem das centésimas de milímetro. Ao analisar-se a geometria de uma das teclas, existem duas zonas para se efetuar a manipulação das mesmas, a zona a azul e a zona a cinzento.

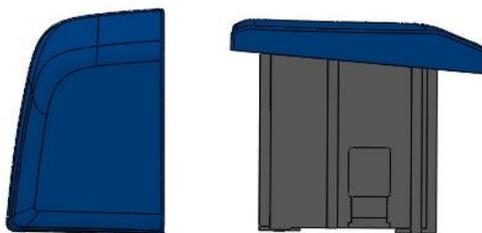


Figura 15 - Vista de topo e frontal da tecla 075

Para evidenciar os pontos fortes e pontos fracos das teclas, exemplificou-se com a tecla 075, embora pudesse ser qualquer outra das três teclas existentes, uma vez que todas elas são idênticas.

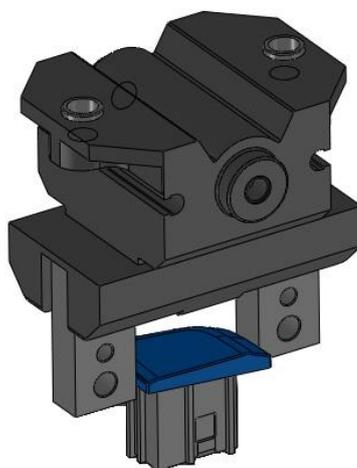


Figura 16 - Manipulação da tecla 075 com uma Garra

Como já foi dito, as zonas passíveis de serem alvos para a manipulação é a zona a azul e a zona a cinzento. A região a azul é problemática devido aos seguintes fatores:

- Curvatura apresentada;
- Inexistência de paralelismos entre as “paredes”;
- Possibilidade de danificar com riscos a tecla.

Para verificar estes problemas, montou-se uma garra juntamente com uma tecla. Para evidenciar estes problemas, coloriu-se o fundo da garra a vermelho. Caso a tecla tivesse zonas paralelas entre si, o fundo a vermelho não se conseguia ver, o que não se verifica tal como a Figura 17 demonstra.

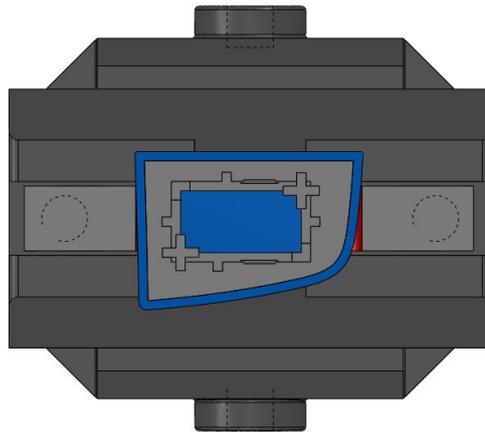


Figura 17 - Inexistência de paralelismo entre faces da tecla

Outra das possibilidades para obter a manipulação das teclas é pela zona a cinzento. Desta forma, a garra teria que possuir umas mandíbulas para conseguir pegar na tecla.

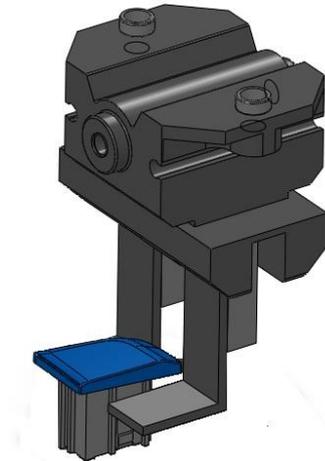


Figura 18 - Manipulação de teclas com a Garra na horizontal

No entanto, todas as teclas estão num suporte (ver Figura 19), que são inseridas manualmente por um Operador, antes de irem para a pintura. Como tal, depois de efetuada a pintura, o suporte vai direto para a zona de *Stock* do dispositivo de teste de teclas e deste modo, não vai sofrer mais nenhuma alteração de logística.

Contudo, existem especificações por parte do cliente, de maneira que, o suporte vai para a pintura com as teclas, para pintar apenas a zona a azul, não podendo qualquer outra zona da tecla ser pintada.



Figura 19 - Suporte de teclas original

Como tal, devido a esta imposição por parte do cliente, para ser possível manipular as teclas com uma garra com mandíbulas, teria que se criar um segundo suporte de teclas, como está representado na Figura 20.



Figura 20 - Alteração ao Suporte de teclas

Com a criação de um segundo suporte, estaríamos a acrescentar mais uma etapa ao processo antes de passar para a montagem destas no painel frontal, uma vez que atualmente as teclas depois de pintadas vem no suporte da Figura 19 para o dispositivo de teste de teclas sem haver tarefas intermédias.

No entanto, partindo do princípio que era aceite pelos diretores da *Fehst Components* a introdução de um segundo suporte para as teclas, quando fossem manipuladas as teclas para a introdução no *Front* iria surgir outro problema, na qual não se conseguiria introduzir as teclas até ao seu fim de curso no painel frontal devido a contactos entre este e a garra como indica a Figura 21.

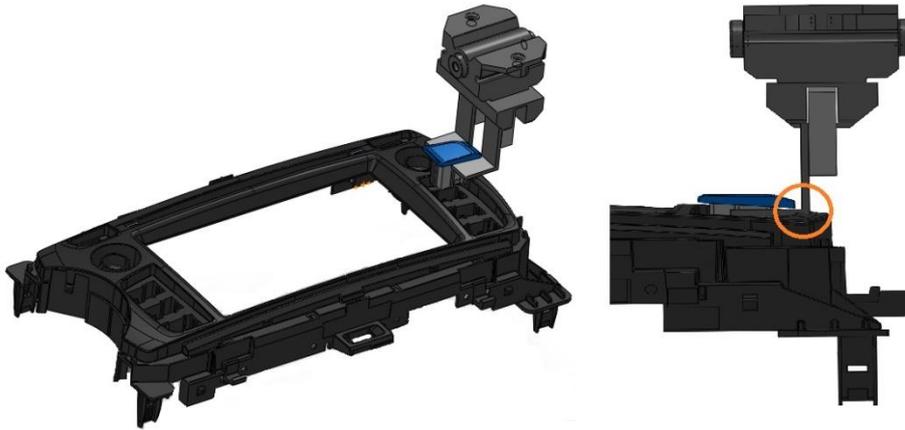


Figura 21 - Contacto entre as mandíbulas e o *Front*

Pelos fatores apresentados neste subcapítulo a possibilidade da utilização de Garras no desenvolvimento do projeto foi descartada, sendo os principais problemas devidos a contactos entre a garra e o *front*, e a necessidade de ter de alterar os processos bem como a logística inerente ao processo.

5.1.2. VENTOSAS

Outra das possibilidades para a inserção automatizada de teclas é a utilização de ventosas. As ventosas são bastante utilizadas para sistemas de manipulação de peças, com grande variedade de tamanho, peso, forma e material, sem danificar dimensionalmente, através da aplicação de pressões de vácuo. [15]

Existem três famílias de ventosas, ventosas planas, ventosas ovais e ventosas com foles. A escolha de um destes tipos de ventosas depende essencialmente da aplicação a que irá estar sujeita.



Figura 22 - Diversos tipos de ventosas [11]

As ventosas planas circulares e as planas ovais são usadas quando são exigidos movimentos e posicionamentos com grande exatidão. Devido ao seu baixo volume, permite um tempo de sucção mínimo e uma maior estabilidade durante a operação de transporte [15].

As suas principais aplicações incluem a manipulação de peças com superfícies planas ou ligeiramente curvas, podendo os materiais ser os mais variados (chapas de metal, painéis de vidro, peças de plástico, placas de madeira entre outros) [15].



Figura 23 - Ventosas Planas redondas [16]

A única diferença entre as ventosas planas circulares e ovais, é que as ovais são usadas quando as peças a serem manipuladas são mais esbeltas, e como tal a área disponível para efetuar o vácuo é menor. [15]



Figura 24 - Ventosas Ovais [17]

As ventosas com foles permitem um bom ajustamento para superfícies desiguais, compensando alturas diferentes fornecendo deste modo um efeito de elevação durante a sucção. As principais aplicações para este tipo de ventosas incluem essencialmente componentes curvos, em que a exatidão de posicionamento não seja demasiado elevada [15].



Figura 25 - Ventosas com Foles [18]

Posto isto, o tipo de ventosas mais adequadas para a aplicação desejada, são as ventosas planas redondas.

Uma vez que as ventosas possibilitam a manipulação das teclas sem existir incompatibilidades geométricas foi feito um breve estudo acerca das forças envolvidas para efetuar a sucção das teclas.

Utilizando a referência VAS-...-NBR/SI da *Festo*, para um diâmetro de oito milímetros a força teórica de sucção é dada pela equação 3.

$$F = P \times A \quad (3)$$

F= Força teórica de sucção [N];

P= Pressão de vácuo [N/m²];

A= Área de sucção da ventosa [m²]

A ventosa necessária que abranje a maior área possível de uma das teclas é a VAS-8-NBR, com oito milímetros de diâmetro, que para -10 000 Pa de pressão negativa resulta numa força teórica de 2N, o que é mais que suficiente para manipular uma tecla com uma massa de duas gramas.

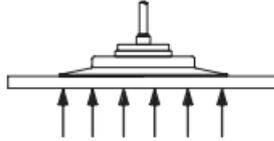


Figura 26 - Esquema de forças existentes no processo de succionar peças

No entanto, para se conseguir usar ventosas para manipulação de peças em que é exigido uma grande exatidão, tem que se garantir um perfeito alinhamento vertical, que seja paralelo com as guias da tecla, o que não acontece com o atual suporte de teclas, como a Figura 27 o demonstra.

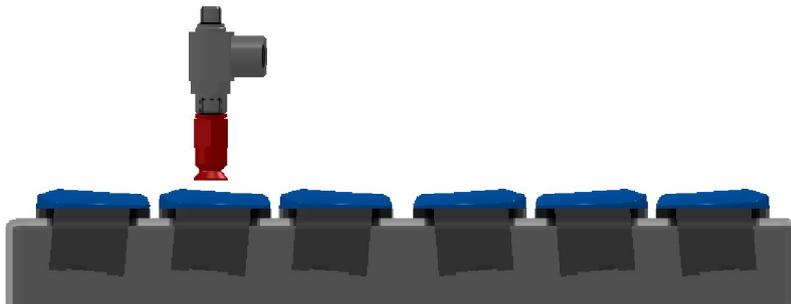


Figura 27 - Desalinhamento das teclas no suporte original

Para resolver este problema teve que se alterar o suporte teclas, de modo a garantir um alinhamento vertical para que ao inserir a tecla no *Front* haja condições para a sua inserção. As alterações que foram efetuadas ao suporte de teclas em relação ao original, foi que se introduziu no suporte uma espécie de guias para as teclas ficarem alinhadas com o eixo da ventosa, e uma base com o mesmo ângulo que a tecla faz com um plano horizontal (cerca de 4°).

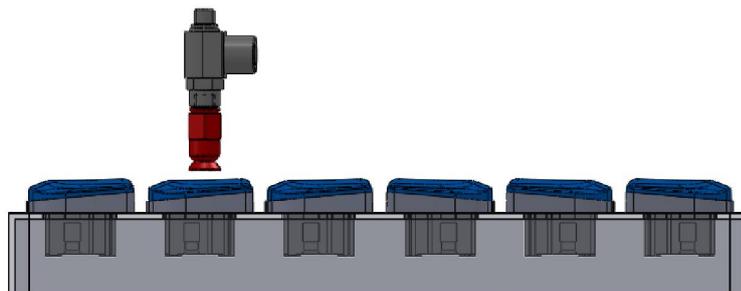


Figura 28 - Alinhamento das teclas com o eixo da ventosa

Com estas alterações no suporte de teclas a utilização de ventosas para a inserção de teclas torna-se assim viável. É de salientar que estas alterações não acarretam mais operações logísticas nem trabalhos intermediários, como seria necessário caso se opta-se pelas garras para a manipulação das teclas como foi dito em 5.1.1.



Figura 29 - Alterações efetuadas ao suporte de teclas

Para além da introdução de paredes que permitam um guiamento perfeito às teclas, foi ainda alterado a disposição das teclas no suporte em relação ao original, no entanto, no capítulo 6.1.4 será explicado e contextualizado de uma melhor forma.

5.2. TESTE DE TECLAS

Para se efetuar o teste funcional às teclas são utilizados atuadores denominados por SMAC. Os SMAC's são atuadores elétricos programáveis baseados no movimento de bobina, em que num único atuador consegue-se conjugar velocidade, aceleração, força e posição com uma resolução de posicionamento na ordem dos $\pm 5\mu\text{m}$, sendo que nalguns casos a resolução pode chegar aos $\pm 0,1\mu\text{m}$. De um modo geral, o curso máximo de um SMAC pode chegar aos 200 mm, e atingir uma força máxima de 500 N, sendo que, quanto maior for o curso de um SMAC, menor será a força máxima disponível e vice-versa.

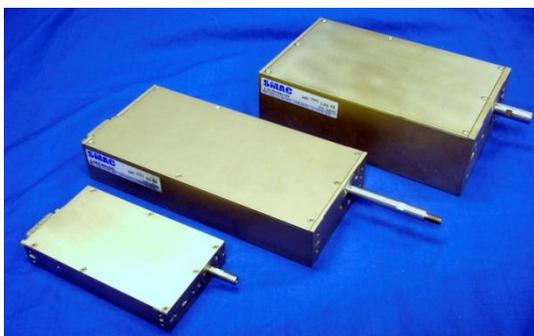


Figura 30 - Atuadores SMAC's

Como tal, estes atuadores são extremamente importantes para verificar a conformidade das teclas, visto que é necessário verificar na mesma ação o deslocamento que uma tecla vai sofrer para uma determinada força. Para o teste de teclas os SMAC's estão programados para conseguirem mover 25 gramas numa distância teórica de 2,33mm. Como o SMAC usado tem uma resolução de $\pm 5\mu\text{m}$, e o cliente apenas exige rigor até à centésima, e o SMAC tem uma resolução de 5 milésimas, este consegue assegurar o rigor pretendido da mensuranda [19]. [20]

5.2.1.ÁREAS DE APLICAÇÃO DOS SMAC'S

Devido à enorme potencialidade destes atuadores, são cada vez mais usados em diversas indústrias que necessitam de exatidão e rigor nos seus processos produtivos, tais como na Indústria Farmacêutica, Robótica, Corte por laser, Digitalização de alta velocidade, Medição por coordenadas, Teste de teclas, Teste de interruptores, Solda ponto a ponto entre outros.

Como na Indústria automóvel se exige padrões de qualidade extremamente elevados, e a utilização de SMAC's substitui a intervenção humana, leva a que acarrete um maior rigor por parte do controlo efetuado pelos SMAC's, conseguindo testar a qualidade de um produto com a certeza que usou determinados valores, como por exemplo, a força com que se acionou uma tecla, enquanto que com a intervenção humana é impossível efetuar sempre a mesma força. De acordo com o sítio de internet da empresa SMAC, as principais aplicações na Indústria Automóvel são as seguintes:

- Teste do botão do cinto de segurança: Neste teste é efetuado o controlo de qualidade da força necessária para se soltar o cinto de segurança;



Figura 31 - Teste ao cinto de segurança

- Teste a diversos tipos de *Switches*/Teclas: É feito um controlo de qualidade à quantificação de força necessária para acionar teclas de rádios, vidros elétricos, botão da buzina, entre outros; [20]

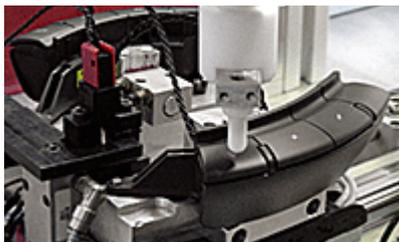


Figura 32 - Teste de teclas

- Controlo de qualidade de um injetor de combustível: Medição por coordenadas de injetores, uma vez que os clientes encontravam inconsistências nas medições efetuadas por laser por falta de repetibilidade dos resultados. [20]



Figura 33 - Injetor de Combustível

5.2.2. REQUISITOS DO CLIENTE

No atual dispositivo de teste de teclas, as teclas são testadas na horizontal. No entanto, foi proposto fazer o teste de teclas com o painel frontal na vertical, conseguindo assim testar o guiamento destas na posição de funcionamento final conseguindo deste modo replicar o funcionamento do painel frontal nas mãos do utilizador.

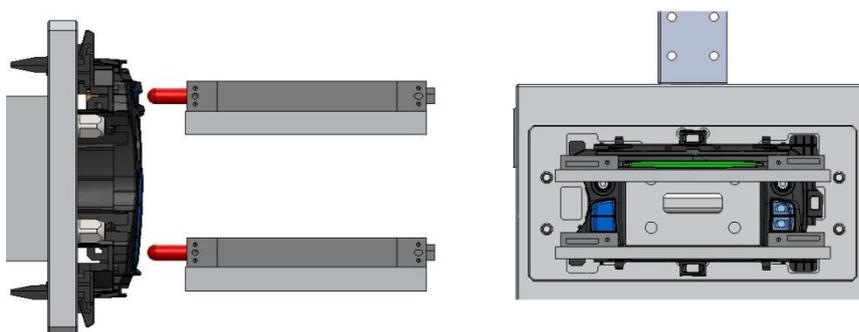


Figura 34 - Painel Frontal na vertical juntamente com os SMAC's

Outra variável a ser testada aproveitando a nova posição do *Front* é a aplicação de uma carga por parte dos SMAC's que não seja centrada, uma vez que o utilizador quando prime as teclas nunca

pressiona exatamente no centro da tecla. Deste modo, consegue-se testar se realmente as teclas estão em conformidade com a utilização final a que o produto vai estar sujeito.

Para que seja possível a colocação do *Front* na vertical foi necessária a aplicação de um sistema do estilo *pick and place* para manipular o *front* juntamente com a sua base. Optou-se por se usar uma base para manipular o painel frontal para não danificar o produto com riscos ou eventuais marcas que fizessem com que o *front* estivesse em não conformidade. Para manipular a base do painel frontal usou-se uma garra acoplada a um cilindro pneumático, quer por sua vez a plataforma de apoio desse cilindro está solidária a um servo motor, que é o responsável por colocar o *front* num plano vertical.

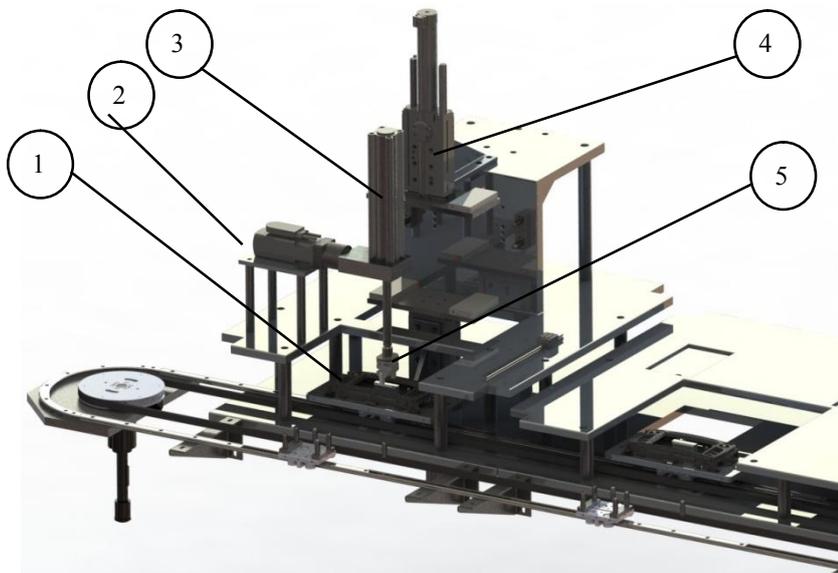


Figura 35 - Teste de teclas: 1- Painel Frontal; 2- Servo Motor; 3- Cilindro Pneumático; 4- Guia de posicionamento dos SMAC's; 5- Garra

Este sistema representado para o teste de teclas não foi alvo de grandes ponderações, uma vez que não havia grandes alternativas para efetuar estas operações. Para a subida e descida de cada par de SMAC's poderia ser um cilindro pneumático, no entanto, como era necessário ter três posições, teve que se optar por um atuador capaz de parar com relativa exatidão em três posições distintas e como tal a opção de um atuador pneumático ficou eliminada.

Para manipular a base do *front* usou-se uma garra, uma vez que estas conseguem manusear peças com maior massa, se compararmos com as ventosas. Relativamente ao motor, usou-se um servo motor visto que estes possuem uma inércia de paragem reduzida, e como é pretendido apenas uma rotação de 90°, este tipo de motores conseguem uma paragem que dá garantias que o cilindro consiga encaixar a base do painel frontal numa parede. Por fim, os SMAC's continuam a ser usados

para o teste de teclas, visto que estes atuadores são os melhores e os mais adequados que existem no mercado para este tipo de aplicação.

5.2.3. PROBLEMAS QUE ORIGINAM A NÃO CONFORMIDADE DE UM PAINEL FRONTAL

Existem diversos fatores que podem influenciar a rejeição de um *Front* quando este chega ao teste de qualidade de deslocamento de teclas. A rejeição pode surgir então devido à seguinte lista:

- Empeno do *Front*: Quando o painel frontal sai da injeção, este pode sofrer desvios dimensionais, devido à contração que está inerente aos processos de injeção de materiais poliméricos, que só são perceptíveis muitas vezes quando este chega à fase de inserir e testar as teclas;
- Rebarbas: A existência de rebarbas nas calhas do *Front* ou nas guias das teclas, faz com que seja adicionado um fator extra de contacto entre as teclas e as calhas, o que leva, a que seria necessário efetuar mais de 25 gramas para obter um deslocamento de 2,33 mm de deslizamento para o curso previsto, excedendo assim os limites previstos do que está programado no SMAC;
- Excesso de massa lubrificante: O posto de trabalho anterior ao teste de teclas é inserir massa lubrificante nas calhas do *Front*, e se for depositada demasiada massa, isto pode levar a que os resultados sejam de rejeição. Este é um problema que muitas vezes origina um desvirtuamento do real problema, uma vez que se pode pensar que poderá ser devido a rebarbas. Como tal, convém que o operador que está no posto de lubrificação tenha a sensibilidade suficiente para se aperceber que o dispositivo está a depositar massa em excesso.

5.3. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 5

Ao longo do Capítulo 5 são analisadas e debatidas soluções conceptuais para o estágio de inserção de teclas e para o estágio de teste de teclas.

Para o estágio de inserção de teclas é debatida a utilização de ventosas de várias geometrias bem como garras pneumáticas e com isto, as alterações que teriam que ser feitas no quotidiano da empresa de maneira a que cada uma das tecnologias de manipulação fosse utilizada.

Para o estágio de teste funcional de teclas foi debatido e analisado o posicionamento vertical do *front* permitindo assim efetuar o teste funcional às teclas na posição de utilização final do utilizador,

juntamente com uma carga descentrada. São ainda apresentadas as principais características e áreas de aplicação dos atuadores responsáveis por efetuar o teste funcional às teclas.

Por último é faz-se referência aos problemas que podem originar perturbações aos SMAC's e como tal indicar a não conformidade do produto.

CAPÍTULO 6

6. PROJETO DETALHADO

Neste Capítulo é feita uma análise detalhada relativamente à seleção dos atuadores mais importantes no funcionamento da Máquina desenvolvida, a nível de exatidão de posicionamento, esforços que têm de conseguir suportar, bem como os tempos de ciclo que os atuadores selecionados conseguem atingir, com recurso ao programa *Festo Positioning Drives*.

Com a Automatização dos processos de montagem é necessário otimizar e alterar processos que fazem parte do dia a dia da *Fehst*, como o suporte de teclas, de maneira a ser possível alimentar a máquina de uma forma rápida, económica e automatizar a inserção das teclas.

Após a seleção dos principais atuadores ter sido detalhada é exemplificado com ilustrações quais as posições que cada atuador tem, para realizar a inserção e teste de teclas.

Por fim é feito um somatório dos tempos de ciclo de todos os atuadores para ambos os estágios da Máquina, conforme as posições que cada atuador tem de percorrer.

Como já foi dito ao longo do relatório de dissertação a máquina a desenvolver consiste em dois estágios. No primeiro estágio são colocadas as teclas no painel frontal, através de ventosas, que são conduzidas por guias lineares desde o suporte de teclas até ao *front*, tendo uma determinada sequência para a introdução das teclas.

No segundo estágio, o painel frontal é conduzido por um *conveyor*, desde a inserção de teclas, até à zona de teste de teclas, em que através da colocação do *front* numa parede vertical se efetua o teste às teclas, seguindo uma determinada sequência.

Nos subcapítulos que se seguem foi feita uma análise descritiva dos atuadores que foram selecionados em função das tarefas necessárias a efetuar.

6.1. PROJETO DETALHADO PARA A INSERÇÃO DE TECLAS

6.1.1. GUIAS LINEARES

Como já foi referido no subcapítulo 5.1.2 a tecnologia escolhida para a manipulação das teclas foram as ventosas. Para a manipulação das teclas é necessário uma conjunção de equipamentos que permitam ter movimentos em três eixos. Para ser mais fácil a compreensão dos textos que se seguem convencionou-se um sistema de eixos cartesianos. Para movimentos horizontais convencionou-se o eixo x e eixo z, ficando o eixo y para movimentos verticais.

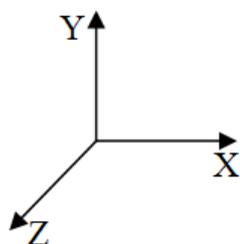


Figura 36 - Sistema de eixos convencionado

As escolhas das guias lineares foram influenciadas pelas tolerâncias admissíveis do painel frontal. Para os movimentos no eixo YY, a exatidão do atuador não é relevante, uma vez que neste eixo são manipuladas as teclas, para a inserção das teclas.

O único fator a ter em conta para o atuador do eixo vertical é que este após pegar numa tecla não tenha oscilações rotacionais, para conseguir inserir corretamente a tecla nas respetivas guias. Como tal, uma vez que não era necessário grande exatidão e não existia posições intermédias, o atuador escolhido podia ser pneumático (Cilindro DZF), tendo o pistão uma forma oval, não permitindo assim oscilações rotacionais.



Figura 37 - Cilindro Pneumático utilizado para a inserção de teclas

Uma vez que se usou um cilindro pneumático, a diferença de alturas entre o suporte de teclas e front teve que ser nula, uma vez que na pneumática apenas se usa os fins de curso.

A escolha das guias para os eixos XX e ZZ já foram influenciadas pelas tolerâncias admissíveis do painel frontal. De acordo com o desenho técnico as tolerâncias para a guia responsável pelo movimento em ZZ são de 0,1mm, isto em relação a um ponto de referência (linha a laranja), e para o eixo XX uma tolerância de 0,2mm. Na Figura 38 as cotas contornadas a amarelo são para o eixo XX e a verde para ZZ.

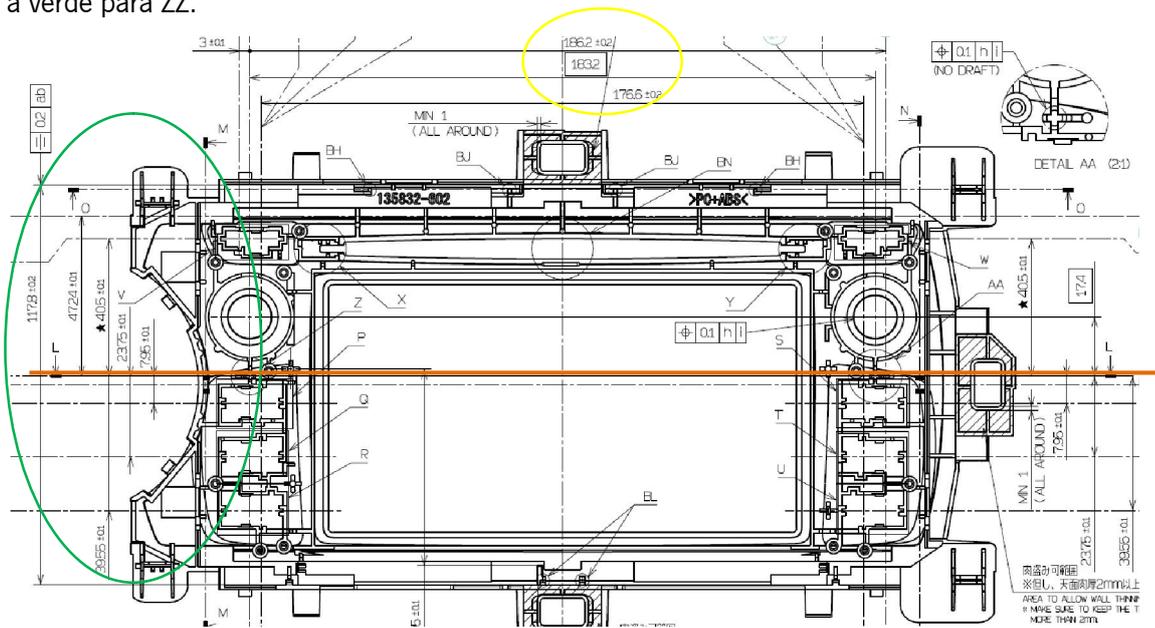


Figura 38 - Recorte do desenho técnico do painel frontal

No entanto, para a guia linear responsável pelo movimento em ZZ, as cotas e as tolerâncias que são realmente importantes para a inserção das teclas, são as cotas entre centros das diversas calhas do *front*, e essas cotas e tolerâncias o desenho técnico não são fornecidas diretamente, pelo que foi necessário fazer alguns raciocínios.

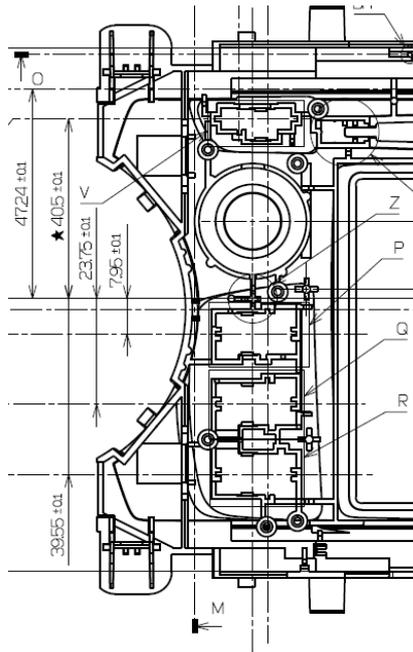


Figura 39 - Recorte do desenho técnico numa das extremidades

As cotas entre os centros das teclas são importantes de se obter para posteriormente se programar os motores das guias, e saber-se qual a distância que tem que se movimentar para a inserção das teclas no devido sítio.

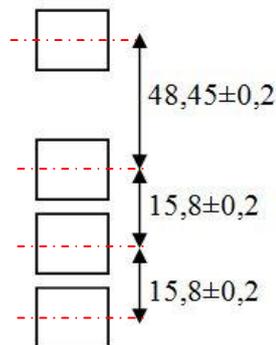


Figura 40 – Somatório de Cotas nominais resultantes da Figura 39 entre os centros das teclas

Se compararmos a Figura 39 com a Figura 40, na Figura 39 as tolerâncias dadas são de 0,1mm, enquanto na Figura 40 são de 0,2 mm. A razão pela qual a tolerância aumenta quando se tira as cotas entre os centros das calhas do *front* é devido ao facto de se estar a tirar cotas dimensionais entre dois pontos de referência (centros das calhas), enquanto que na Figura 39 apenas existe a tolerância entre um ponto de referência, sendo que neste ultimo caso, as cotas apenas se podem desviar 0,1 mm em relação a esse ponto de referência. Para a distância entre centros das calhas, se fizermos a diferença entre as cotas dimensionais na tolerância mínima e máxima, dá os 0,2 mm.

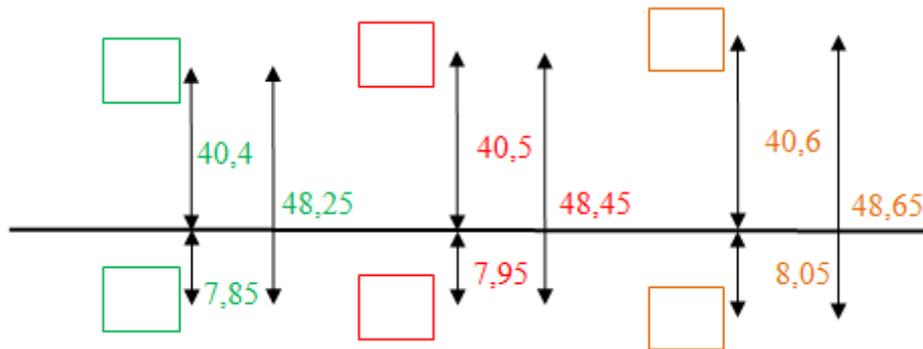


Figura 41 - Esquema explicativo para a alteração de tolerâncias

Na Figura 41 encontra-se exemplificada a variação que as cotas podem ter através da sua tolerância de 0,1mm. A soma das cotas a vermelho é a distância entre os centros das calhas com uma tolerância de 0mm, enquanto a verde são as cotas com -0,1mm, e a laranja com +0,1mm, isto em relação à cota a vermelho.

Se fizermos a diferença entre a distância total a vermelho, e a distância a verde e a laranja dá uma diferença de 0,2mm, daí que possamos concluir que para sabermos a distância entre centros das calhas é a soma das cotas nominais entre a linha de referência $\pm 0,2$ mm, tal como foi exposto na Figura 40.

Como tal, a resolução necessária da guia para o eixo z terá que ser obrigatoriamente na casa das centésimas para se conseguir alcançar com certeza as décimas, de modo a obter-se um posicionamento exato para a inserção das teclas.

Para a escolha da guia para este eixo de trabalho recorreu-se uma vez mais aos produtos da Festo, e pelos produtos que oferece existem essencialmente dois tipos de famílias para guias lineares, por fusos ou por correias dentadas.

De acordo com a informação contida nos catálogos da Festo, uma guia linear movida por fuso tem uma resolução de $\pm 0,02$ mm e as guias com correia apresentam uma resolução de $\pm 0,08$ mm. Com esta resolução qualquer um dos tipos de guia consegue garantir e cobrir as décimas ($\pm 0,2$ mm) que se podem acrescentar a uma determinada distância entre as calhas do painel frontal. Quanto às guias lineares movimentadas por correia dentada, estas apresentam vantagens e desvantagens, destacando-se as seguintes:

- Menor exatidão de posicionamento;
- A correia está sujeita a um maior desgaste;
- Menor ciclo de vida;
- Capacidade de suportar cargas reduzida em comparação com o fuso.

A principal vantagem deste tipo de guia linear está na maior rapidez com que consegue mover, isto em parte devido à baixa inércia que estes equipamentos apresentam, comparando com os fusos.



Figura 42 - Exemplo de Guia Linear com correia dentada [21]

Relativamente a guias que utilizam fusos, estas apresentam mais fatores positivos em relação às correias para a aplicação desejada. As suas vantagens são as seguintes:

- Maior rigor de posicionamento, 0,02mm de resolução dentro dos produtos da Festo;
- Suporta cargas mais elevadas;
- Ciclo de vida mais longo.

A sua maior desvantagem é o seu preço comparativamente às guias de correia dentada.



Figura 43 - Exemplo de guia linear movimentada por fuso [22]

Antes de se escolher qual dos dois tipos de guias se vai escolher é necessário falar sobre o suporte de teclas, isto por que a guia responsável pela movimentação neste eixo, tem que se deslocar desde o suporte de teclas até ao painel frontal.

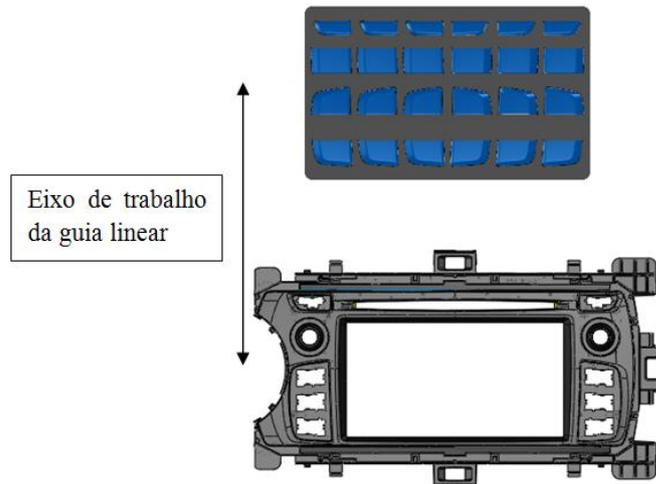


Figura 44 - Ilustração do movimento da Guia linear

Como tal, não é só as tolerâncias e distâncias entre as calhas do *front* que entram no cálculo da resolução mínima da guia. Ao introduzirmos o suporte de teclas neste processo, introduzir-se-à novos desacertos relativamente à posição das teclas, uma vez que é impossível ter as teclas sempre na mesma posição.

Para estabelecer o desvio que uma tecla pode ter em relação ao seu ponto zero, recorreu-se à folga existente entre o suporte e a tecla. A folga que se deu ao suporte foi de 0,2mm em relação à geometria das teclas, logo a tolerância para os desvios das teclas em relação ao ponto zero será de $\pm 0,1\text{mm}$.

Caso a tecla esteja no ponto zero, o desvio seria de 0,1mm. Resta agora acrescentar ao esquema da Figura 40, a distância desde o centro da primeira tecla no suporte, até ao centro da primeira tecla no *front*. Neste caso só se entra com a distância entre a primeira tecla porque o sistema de manipulação de teclas escolhido, pega em todas as teclas em simultâneo e como tal é suficiente entrar apenas com uma tecla. Esta distância resulta do que foi desenvolvido durante o projeto, sendo o valor desta distância de $146,61 \pm 0,1\text{mm}$. Na está representado esquematicamente todas as distâncias e os seus desvios de modo a poder tirar-se a conclusão final relativamente à escolha da Guia linear utilizada.

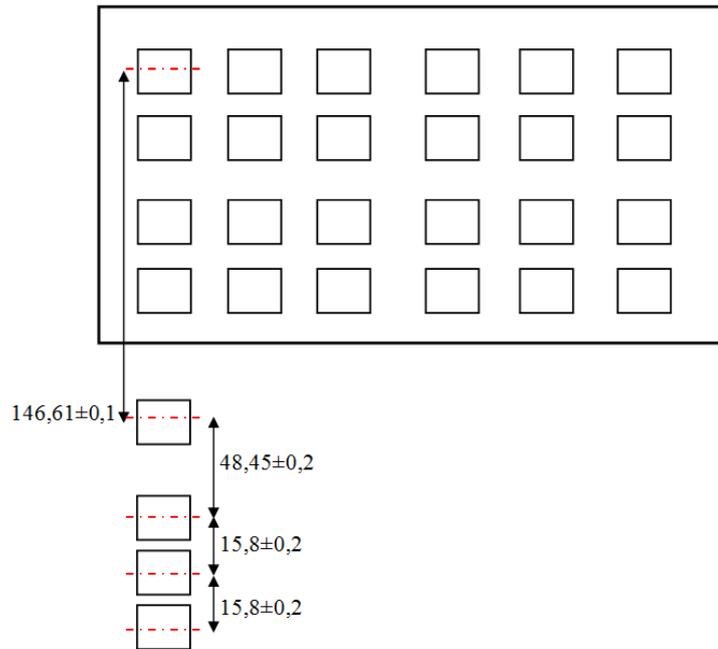


Figura 45 - Esquema representativo das distâncias de trabalho da Guia linear

No entanto, a guia responsável por este movimento tem ainda de garantir um posicionamento exato para posicionar o *Pick & Place* dentro dos limites dimensionais das calhas onde são introduzidas as teclas. É nas calhas, que as tolerâncias são mais apertadas e onde reside a maior dificuldade para inserir as teclas, uma vez que a cota dimensional é de $1.06 \pm 0.03 \text{ mm}$ como a Figura 46 indica.

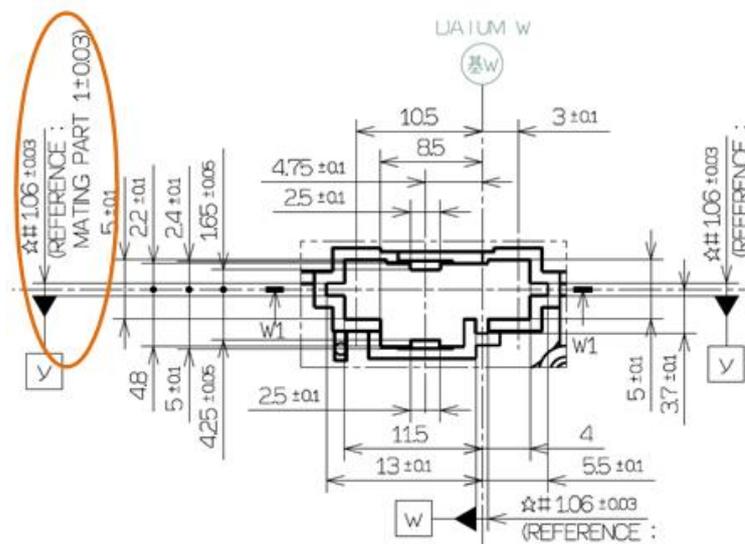


Figura 46 - Cotas e tolerâncias dimensionais das calhas de uma das teclas

Posto isto, e recordando a resolução dos dois tipos de guias ($\pm 0.02 \text{ mm}$ para a guia linear por fuso e $\pm 0.08 \text{ mm}$ para a guia por correia), apenas a guia com fuso consegue satisfazer todas as tolerâncias que estão associadas aos movimentos necessários a efetuar, uma vez que a sua resolução é inferior ao

desvio da cota das calhas. A Tabela 1 apresenta resumidamente as propriedades mais importantes da guia linear.

Tabela 1 – Propriedades da Guia linear EGC (Eixo Z)

Propriedades da Guia linear do Eixo Z	
Designação	EGC
Fuso	Fuso de esferas
Resolução	$\pm 0,02\text{mm}$
Curso	250mm
Passo	10mm
Massa	2,5Kg



Figura 47 - Guia Linear EGC

Resta agora selecionar a guia responsável pelo movimento no Eixo X, estando esta responsável por posicionar os cilindros para manipular as teclas que estão no suporte de teclas e posteriormente largar as teclas no *front*.

Como tal, esta guia apenas tem de cumprir o requisito imposto pela tolerância das calhas (representado na Figura 46). Outra condicionante para a escolha da guia para o eixo x, é que esta tem de permitir o encaixe com a guia EGC (Eixo Z).

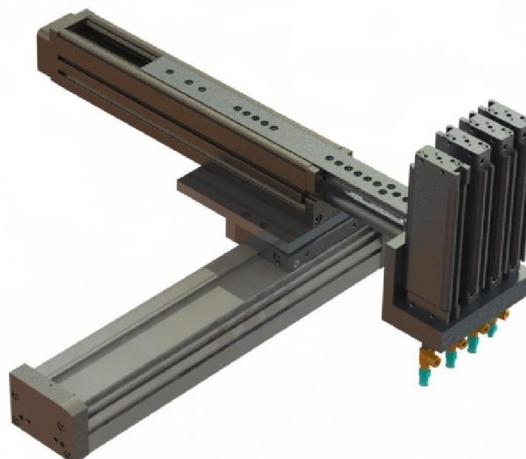
Dentro dos produtos que a Festo disponibiliza existe a hipótese de utilizar a guia EGSL. A Tabela 2 apresenta as principais características para a guia EGSL.

Tabela 2 - Propriedades da Guia linear EGSL (Eixo X)

Propriedades da Guia linear do Eixo X	
Designação	EGSL
Fuso	Fuso de esferas
Resolução	$\pm 0,015\text{mm}$
Curso	200mm
Passo	10mm
Massa	2,2Kg

**Figura 48 - Guia Linear EGSL**

O resultado da junção das guias para o correto posicionamento dos cilindros para a manipulação das teclas está representado na Figura 49.

**Figura 49 - Sistema tridimensional para a Manipulação das teclas**

6.1.2.MOTORES USADOS

Para os tipos de guias escolhidas existem duas possibilidades de escolha, os motores de passo e os servos motores. Dentro destas duas possibilidades existem vantagens e desvantagens para cada uma, no entanto, os motores escolhidos para o dispositivo de inserção e teste de teclas foram os Servomotores, pelos seguintes fatores:

- Permite um controlo preciso da posição que se pretende atingir; [23]
- Apresentam uma inércia reduzida, tornando a paragem destes motores muito rápida e extremamente exata; [23]
- Têm um sistema de controlo mais preciso, visto que têm incorporado no seu sistema um encoder para efetuar o controlo da posição; [23]
- Conseguem controlar velocidade, posição e binário em simultâneo, e manter constante caso seja necessário; [24]

O funcionamento dos Servomotores pode ser descrito por ser um circuito fechado que utiliza a realimentação de posição para controlar o seu movimento e a posição final. O controlo é efetuado por sinais de entrada analógicos ou digitais, dando ordens para o motor efetuar o seu movimento até atingir uma determinada posição [25].

Os servomotores são muito aplicados em máquinas de corte e de solda, sistemas de posicionamento, máquinas de controlo numérico, máquinas têxteis, máquinas gráficas entre outras aplicações [24].

Quanto aos Motores de passo, são um tipo de motor elétrico, usados quando algo tem que ser posicionado com muita exatidão. O controlo da sua rotação é feito a partir de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente. A resolução destes motores é classificada pelo número fixo de polos magnéticos, que determinam o número de passos por revolução. Quanto mais passos o motor possuir, maior será a sua resolução [25].

Os principais pontos fortes de um motor de passo são: [26]

- Seguem uma lógica digital, visto que o seu acionamento é feito através de pulsos elétricos que ativam sequencialmente as suas bobinas, fazendo com que o rotor se alinhe com estas, provocando um deslocamento do rotor;
- Alta precisão no seu posicionamento, visto que o rotor se movimenta em ângulos bem definidos, chamados passos, cujo erro é pequeno;
- Exatidão no Binário aplicado;
- Apresentam uma boa resposta de aceleração e desaceleração.

No entanto, estes motores estão sujeitos a perder a sua posição devido à possibilidade de existir frequência de ressonância. Caso as revoluções do motor aconteçam na frequência de ressonância o motor oscila, aquece e começa a perder os seus passos. Este é o grande inconveniente destes motores, sendo que normalmente se usa encoders associados aos motores para garantir a exatidão rotacional [26].

A Tabela 3 apresenta uma comparação com as principais variáveis dos dois motores para se verificar que a escolha dos Servomotores foi a mais acertada.

Tabela 3 - Comparação entre os Motores de passo e os Servomotores [27]

	Motor de Passo	Servomotor
Velocidade	Baixa	Alta
Binário	Alto	Médio
Facilidade de controlo	Médio	Complexo
Exatidão	Alta	Muito Alta
Durabilidade	Alta	Média
Requer Manutenção	Não	Sim

O principal fator que levou a escolher os Servomotores, foi o facto de estes possuírem uma velocidade elevada, que permite diminuir assim o tempo de ciclo de inserção de teclas, e a exatidão que estes apresentam, uma vez que as cotas das calhas do *front* são muito apertadas e como tal é necessário motores que acionem as guias lineares, que sejam bastante exatos.

No total são usados para a inserção de teclas quatro Servomotores, dois para cada um dos lados do painel frontal, ou seja, dois para as guias EGC e outros dois para as duas guias EGSL.

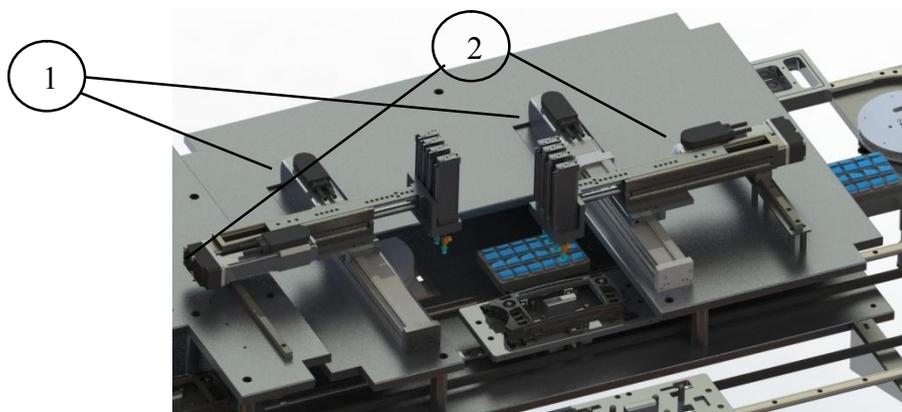


Figura 50 - Sistema de manipulação das teclas; 1 - Servomotor EMMS-40; 2 - Servomotor EMMS-55

As principais características nominais que os motores apresentam estão enunciadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades dos motores das Guias lineares

	EMMS-40	EMMS-55
Tensão Nominal [V DC]	360	360
Corrente Nominal [A]	0,63	1,19
Binário Nominal [N.m]	0,22	0,67
Velocidade Nominal [rpm]	10300	6600
Inércia [Kg.cm²]	0,055	0,245
Encoder	Absoluto	Absoluto

Os encoders usados nos motores são encoders rotativos absolutos sendo que existem dois tipos de encoders, o absoluto e o relativo. A principal diferença entre estes dois tipos de encoders é que nos encoders absolutos a posição alvo é sempre atingida em relação à posição inicial como a Figura 51 demonstra. [24]

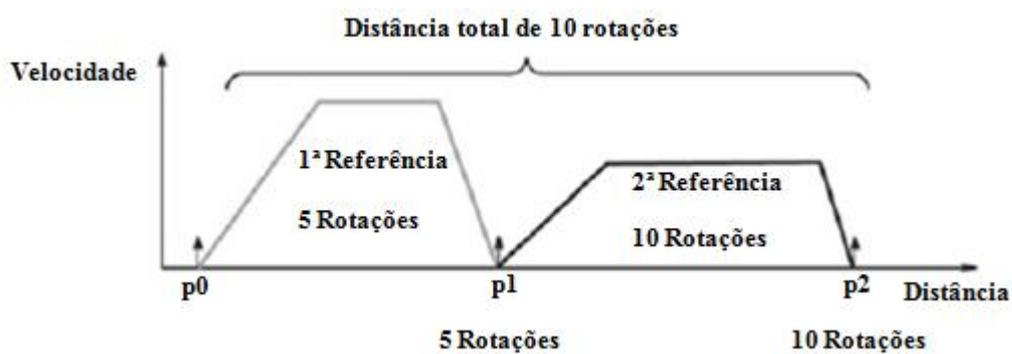


Figura 51 - Encoder Absoluto [24]

Nos relativos ou incrementais a posição alvo é obtida adicionando um valor para a posição de referência, ou seja, à medida que avança o encoder tem novas referências de posicionamento como Figura 52 demonstra. [24]

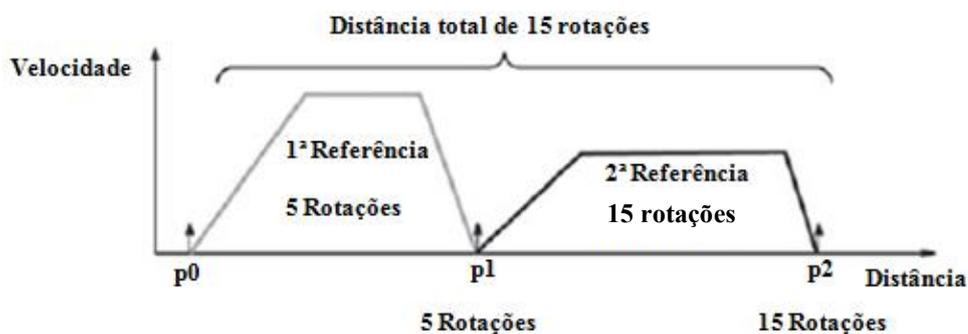


Figura 52 - Encoder Relativo [24]

6.1.3.ESFORÇOS EXISTENTES NAS GUIAS LINEARES E MOTORES

Para fazer a verificação se os Servomotores e as guias selecionadas aguentam em termos de esforços utilizou-se o programa da Festo, *Festo Positioning Drives*. Este programa para além de dar uma validação acerca dos Servomotores e guias escolhidas, permite calcular o tempo que uma guia linear com um determinado motor, para uma determinada carga demora a percorrer uma distância. Como seria muito extensivo demonstrar os passos todos para efetuar a validação de todas as guias, apenas será demonstrado com figuras do programa para a guia linear EGC, sendo que para a guia EGSL será demonstrado de uma forma mais simplificada.

Como a guia EGC suporta com todas as guias, o primeiro passo foi fazer um somatório de toda a massa que a guia suporta. A Tabela 5 apresenta todos os atuadores que estão sobre a guia EGC e a respetiva massa.

Tabela 5 - Somatório de cargas na Guia linear EGC

Equipamentos suportados pela guia EGC	
Guia EGSL	2,2 Kg
Cilindros Pneumáticos DZF	4 x 0,21 Kg
Base de conexão entre a EGSL e EGC	0,5 Kg
TOTAL	3,54 Kg

O primeiro passo no *Festo Positioning Drives* será então definir de que forma é que a carga está a ser exercida na guia e qual o seu valor. Os restantes campos apenas seriam caso de estudo se ainda não se soubesse qual a guia a usar, no entanto, como já está tudo definido apenas é importante mencionar os campos cujo preenchimento é relevante para verificar se os atuadores escolhidos aguentam com os esforços.

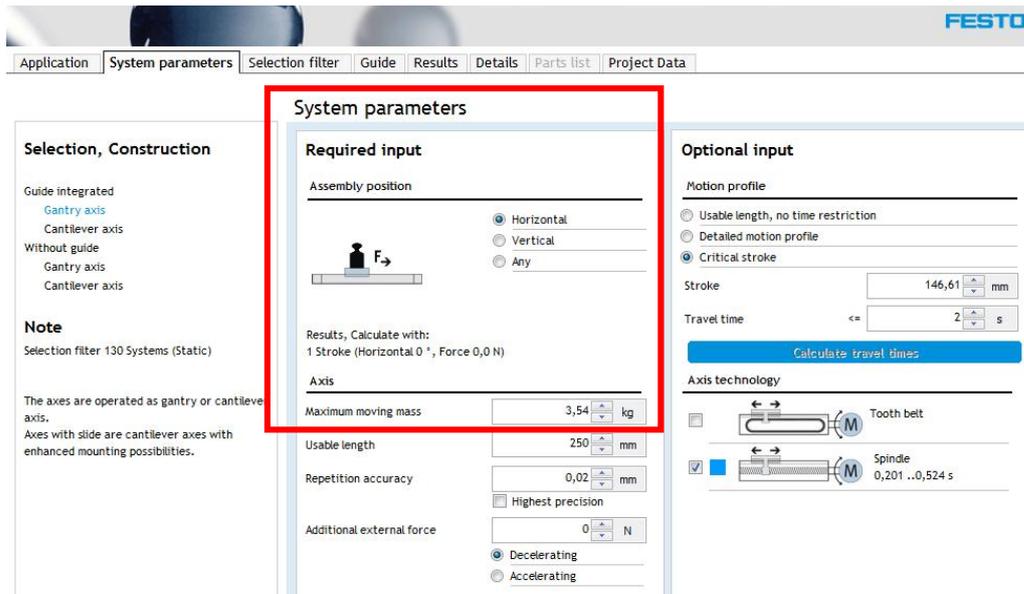


Figura 53 - Introdução do valor da carga e como está a ser aplicada na Guia linear

O passo que se segue é a introdução da distância a que as cargas estão a ser aplicadas do centro de massa da guia EGC de maneira a que o programa seja capaz de fazer cálculos relativamente aos Momentos de força existentes na guia EGC.

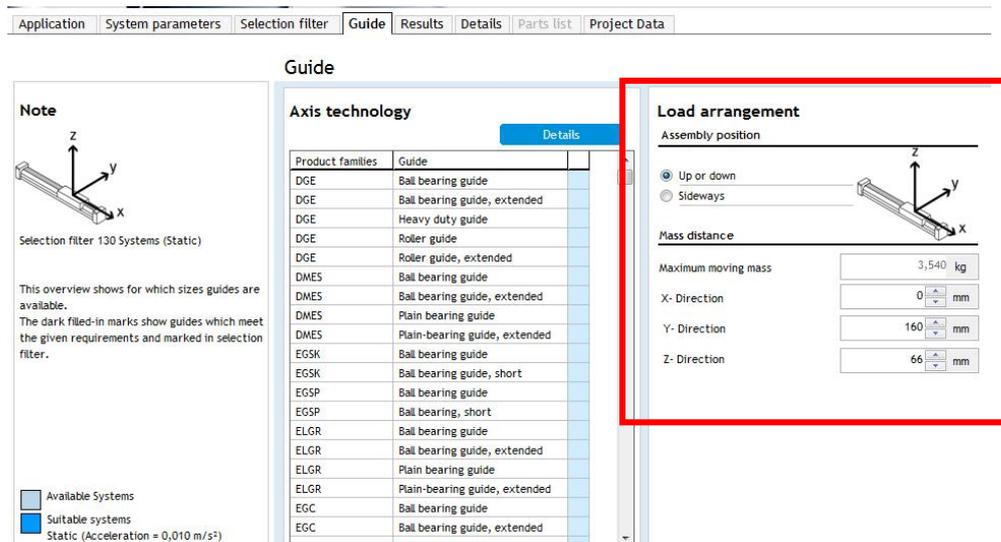


Figura 54 - Distâncias das cargas aplicadas na guia EGC

Com isto, chegou-se aos resultados, sendo que, os resultados vêm em percentagem de utilização, ou seja, 100% seria o máximo de utilização de todas as propriedades. A Figura 55 apresenta os resultados quanto à percentagem de utilização do motor, da guia linear e do fuso da guia.

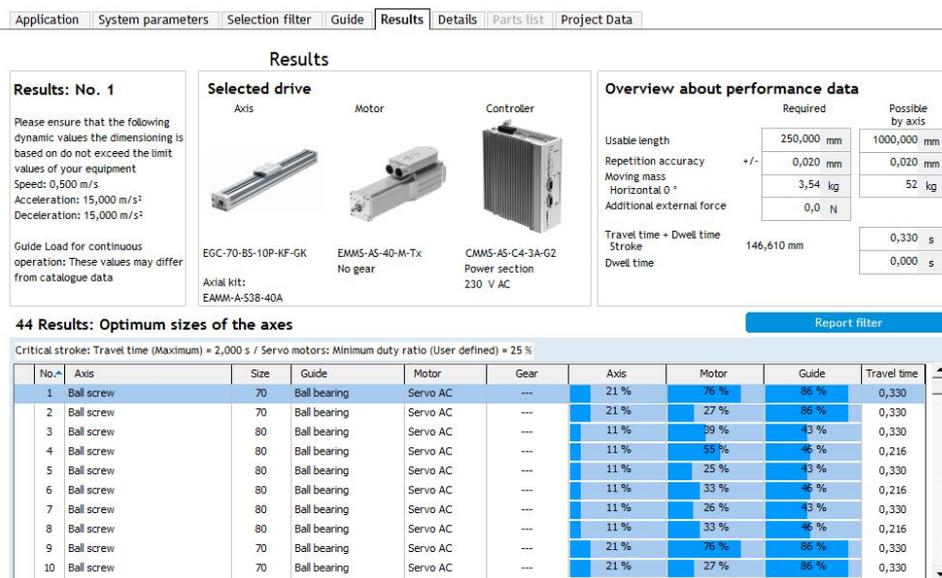


Figura 55 - Resultados para a Guia linear EGC

A primeira combinação, que foi a escolhida, resultou numa utilização de 21% do fuso da guia, 76% do motor e 86% do guiamento. Com estes resultados, a guia selecionada pode ser a utilizada.

Para a guia linear EGSL a massa que esta suporta é de 1,34Kg como a Tabela 6 apresenta.

Tabela 6 - Somatório de cargas na Guia linear EGSL

Equipamentos suportados pela guia EGSL	
Cilindros Pneumáticos DZF	4 x 0,21 Kg
Base de conexão entre a EGSL e EGC	0,5 Kg
TOTAL	1,34 Kg

Quanto aos resultados obtidos, estes foram mais apertados, não por causa de a carga ser excessiva mas por que a carga é aplicada perpendicularmente ao eixo da guia, que reduz a capacidade de trabalho. Como tal, houve necessidade de escolher uma combinação de guia e servomotor que fosse mais equilibrado, dai que se tenha escolhido a combinação número 5 como a Figura 56 demonstra, que resulta numa utilização de 52% do fuso, 42% do motor e 46% do guiamento.

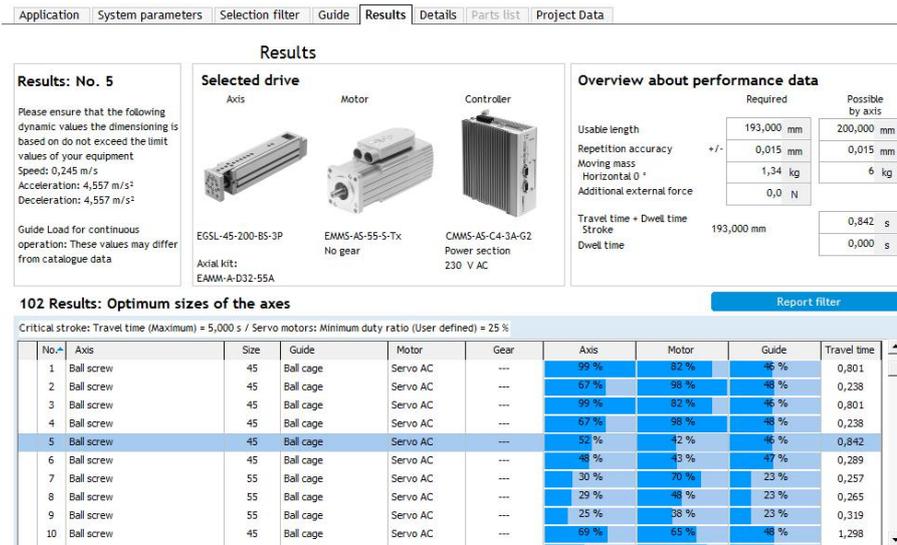


Figura 56 - Resultados para a Guia linear EGSL

6.1.4.ALTERAÇÕES AO SUPORTE DE TECLAS

Tal como já foi explicado em 5.1.1 e em 5.1.2 todas as alterações impostas ao suporte de teclas não podem acarretar mais operações logísticas, de modo a evitar operações intermédias e assim acrescentar mais custo ao produto final.

Como tal, as principais limitações para a construção de um novo suporte de teclas foram:

- Não alterar as dimensões de atravancamento que o atual suporte de teclas apresenta, por causa da rentabilização da máquina de pintura, sendo que se fossem alteradas as dimensões iriam ser pintadas menos teclas;
- Uma vez que as teclas são introduzidas uma a uma na sua posição por um Operador no suporte, estas depois de inseridas, não podem sofrer mais nenhuma operação de manuseamento, como foi explicado no subcapítulo 5.1.1.

Posto isto, as modificações que foram feitas ao suporte, tendo em consideração as restrições impostas, foram todas a pensar numa otimização do tempo necessário para pegar nas teclas e desloca-las para a devida posição de inserção no *front*, mas também alterações que permitissem um maior rigor de posicionamento das teclas no suporte de modo a tê-las sempre no mesmo *set-point* e permitir um alinhamento com o eixo das ventosas tal como dito 5.1.2.

No entanto, a principal alteração foi a ordem de colocação das teclas, na qual se tentou coloca-las no suporte com as distâncias entre as calhas que existem no painel frontal, de modo a que quando fosse para inserir as teclas se conseguisse introduzir com o mínimo de movimentos possível por parte das guias, sendo que o ideal seria os mecanismos de manipulação das teclas conseguissem pegar e posteriormente largar todas as teclas em simultâneo. Porém, não foi possível ter no suporte uma

réplica das distâncias entre as calhas do *front* devido a ser necessária uma distância mínima entre as teclas para que seja possível a pintura de todas as superfícies, visto que no painel frontal três das teclas estão praticamente juntas, como a Figura 39 demonstra.

Posto isto, fez-se uma análise das dimensões do suporte de teclas em conjunto com as distâncias entre calhas do *front*, sendo que o máximo que se conseguiu foi a colocação de três teclas em simultâneo sem ser necessário movimentar as guias, ficando apenas uma tecla para inserir, tendo as guias de se deslocar para inserir a última tecla.

O resultado em termos de posicionamento das teclas no suporte de teclas está representado na Figura 57 em comparação direta com o *front*. A única diferença reside na tecla contornada com o retângulo a preto, visto que no painel frontal está junta com as outras duas, de maneira que houve a necessidade de a separar para uma zona livre do suporte de teclas para ser possível a pintura em todas as superfícies.

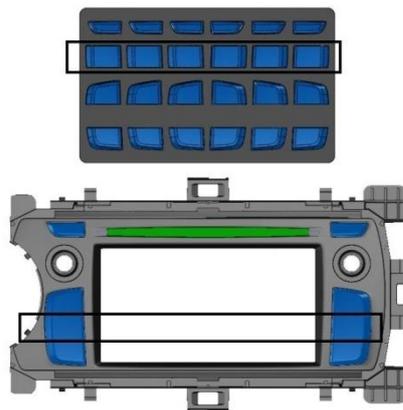


Figura 57 - Comparação do posicionamento das teclas no suporte e no *front*

Com esta disposição de teclas no suporte conseguiu-se reduzir o tempo de ciclo de inserção de teclas, uma vez que depois da guia linear do eixo z (Guia EGC) estar na posição para pegar nas teclas, a guia apenas tem de se deslocar até à posição de inserção da primeira tecla. Após estar nessa posição, o sistema de manipulação insere as três teclas (seis no total) e depois só é necessário deslocar-se para inserir a última tecla (tecla contornada a preto).

Por uma questão de uniformidade de nomenclatura a Figura 58 apresenta a legenda completa de todos os termos passíveis de serem utilizados ao longo da dissertação, relativamente ao suporte de teclas.

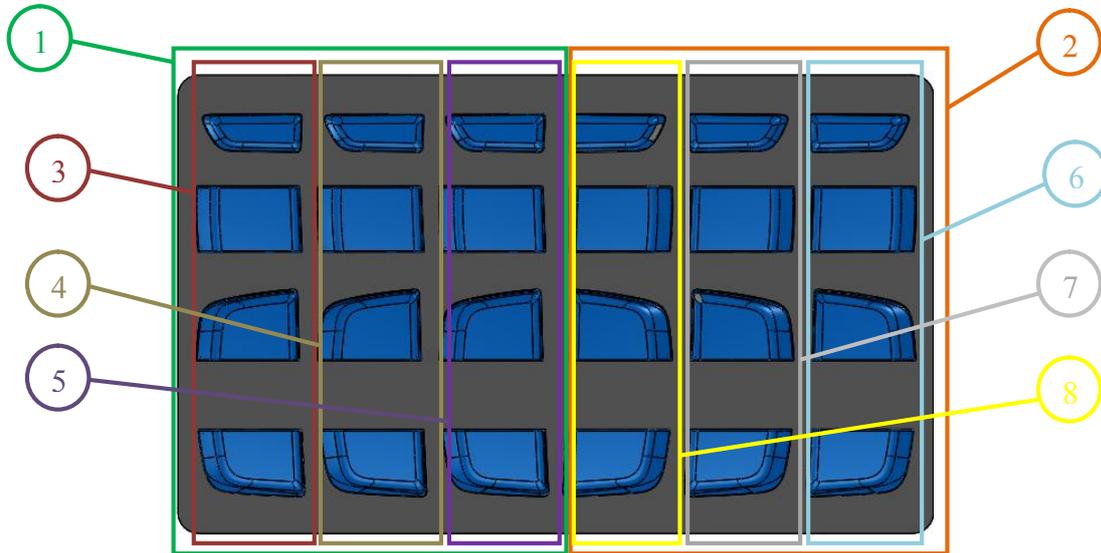


Figura 58 - Nomenclatura usada para a descrição do suporte de teclas; 1 -Conjunto de teclas para três painéis frontais para o lado esquerdo; 2-Conjunto de teclas para três painéis frontais para o lado direito; 3 - Primeira coluna de teclas para o lado esquerdo; 4 -Segunda coluna de teclas para o lado esquerdo; 5 – Terceira coluna de teclas para o lado esquerdo; 6-Primeira coluna de teclas para o lado direito; 7 -Segunda coluna de teclas para o lado direito; 8 -Terceira coluna de teclas para o lado direito

6.1.5.CICLO DE TRABALHO DA INSERÇÃO DE TECLAS

Pegando na linha de montagem atual usada para este *front*, antes do dispositivo de teste de teclas, existem dois estágios de montagem, sendo a primeira responsável pela cravação da guia de Cd's e o segundo estágio pela lubrificação das guias das teclas e só depois surge o dispositivo de teste das teclas. À frente do teste de teclas existem mais dois estágios até que o painel frontal esteja pronto para expedição, que é a inscrição de figuras nas teclas por laser e por fim o tampo print, que consiste em imprimir nas teclas determinados caracteres.

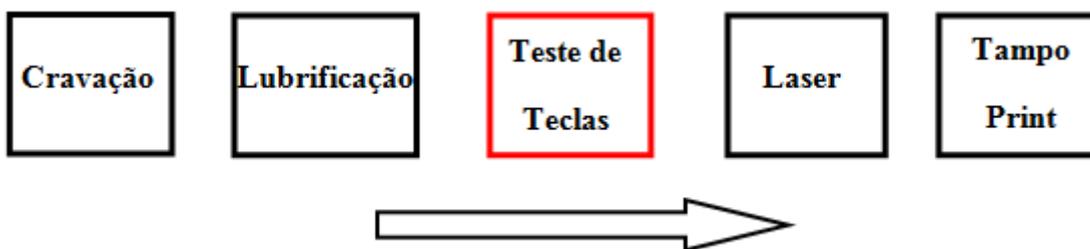


Figura 59 - Layout da linha de montagem atual

Como o dispositivo a desenvolver é automatizado, o transporte de uns dispositivos para os outros é feito por um *conveyor* em circuito fechado. Visto que para a dissertação apenas se focou na máquina de inserção e teste de teclas, a inserção do *front* e do suporte de teclas no respetivo *conveyor* não foi analisado, visto que o dispositivo em estudo fica no centro da linha, daí que não seja relevante um estudo extensivo acerca desta matéria, apenas fica o conselho de que no futuro, se a linha de montagem for toda automatizada, a colocação do *front* e do suporte de teclas na linha pode ser feita por um sistema *pick and place* ou manualmente por um operador. Como tal, para efeitos representativos colocaram-se os *conveyor's* a percorrer o dispositivo desenvolvido como a Figura 60 demonstra.



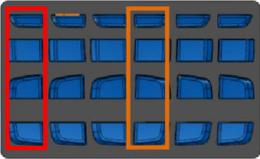
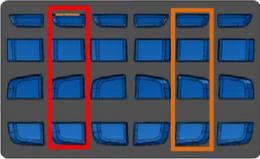
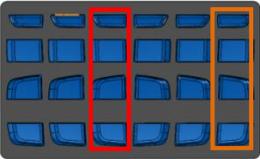
Figura 60 - *Conveyor's* usados no Dispositivo desenvolvido; 1- *Conveyor* para o suporte de teclas; 2- *Conveyor* para o *front*

Como o suporte de teclas chega ao estágio de inserção de teclas através de um *conveyor*, o ciclo de trabalho nomeadamente das guias EGSL, vai ser afetado pela disposição das teclas no suporte, devido ao facto de as teclas serem manipuladas por diferentes ordens (por colunas) se compararmos o lado direito com o lado esquerdo do suporte de teclas.

Isto deve-se ao facto de caso as guias EGSL seguissem a mesma ordem de manipulação das colunas de teclas, ao chegarem ambas à terceira coluna não iria ser possível devido ao choque entre os cilindros que as guias EGSL esquerda e direita transportam.

Deste modo teve que se arranjar uma alternativa para evitar este problema, sendo que a solução passou por alternar a sequência de manipulação das teclas por parte do avanço das guias EGSL, como a Tabela 7 demonstra.

Tabela 7 - Sequência de trabalho das guias lineares EGSL

	EGSL Esq.	EGSL Dir.	Imagem
1ª Front	1ª Coluna	3ª Coluna	
2ª Front	2ª Coluna	2ª Coluna	
3ª Front	3ª Coluna	1ª Coluna	

Deste modo cada guia EGSL irá ter quatro posições definidas, sendo três delas para posicionar corretamente os cilindros no suporte de teclas e outra posição que tem como referência a posição de inserção das teclas no *front*. Para uma correta definição e clareza de nomenclatura Figura 61 apresenta as possíveis codificações para indicar qual a posição da guia linear e a sua posição.

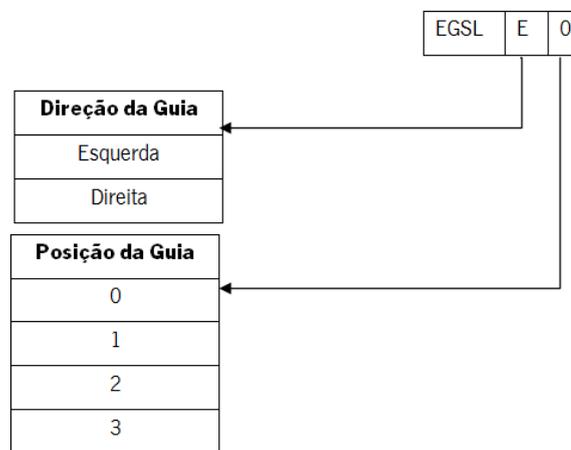


Figura 61 - Codificação do posicionamento das guias EGSL

As figuras que se seguem apresentam as diversas posições que as guias lineares EGSL podem apresentar. Na Figura 62 está representada a posição de origem das guias EGSL, sendo esta posição a de inserção das teclas no painel frontal. A codificação para este caso seria EGSL_E_0 e EGSL_D_0.

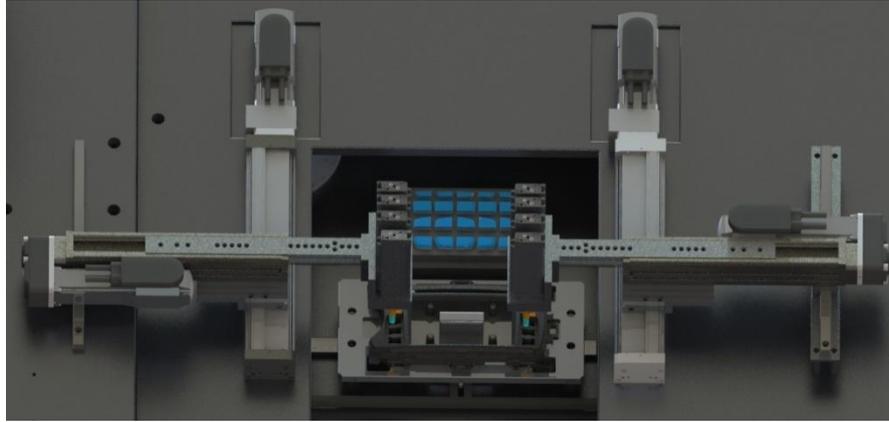


Figura 62 - Posição 0 das guias EGSL

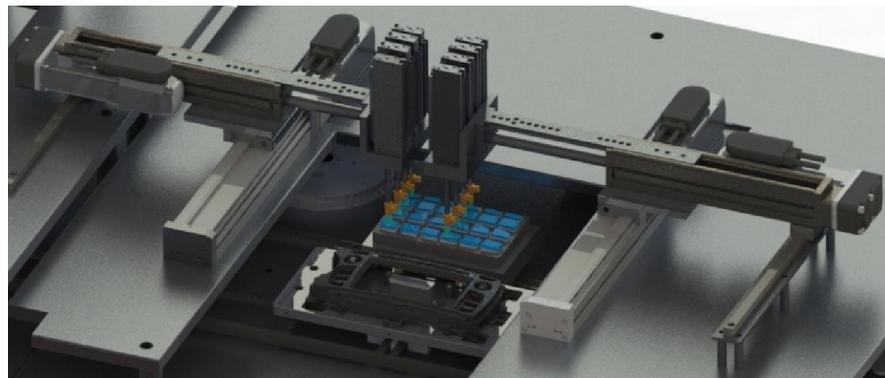


Figura 63 - Posicionamento das guias EGSL para o primeiro painel frontal de um total de três

Para a configuração representada na Figura 63, a codificação usada seria, EGSL_E_1 e EGSL_D_3.

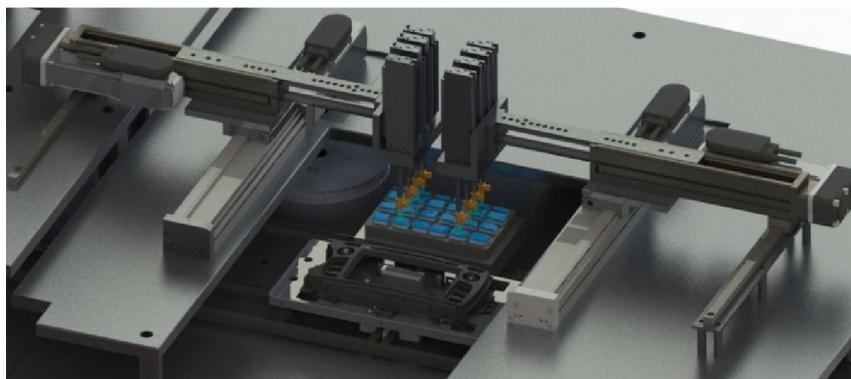


Figura 64 - Posicionamento das guias EGSL para o segundo painel frontal de um total de três

Na Figura 64 a codificação para este caso seria EGSL_E_2 e EGSL_D_2.

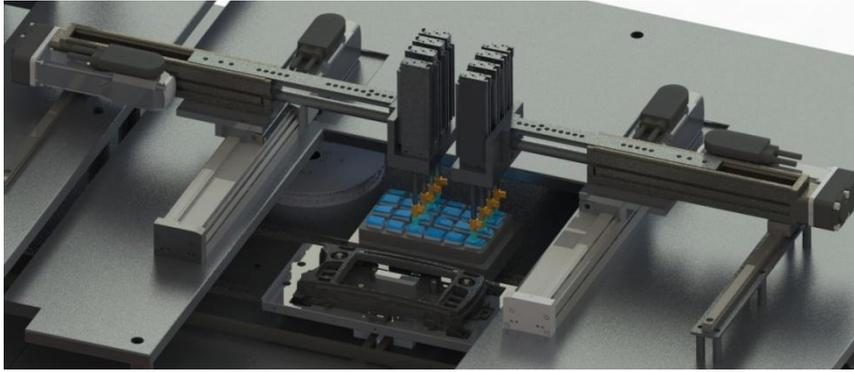


Figura 65 - Posicionamento das guias EGSL para o terceiro painel frontal de um total de três

Na Figura 65 a codificação seria EGSL_E_3 e EGSL_D_1. Quando o ciclo atinge esta situação o *conveyor* do suporte de teclas entra em rotação para que chegue um novo suporte com teclas para mais três *fronts*.

Quanto às guias EGC, estas vão ter 3 posições definidas. Na primeira posição (Figura 67) coloca todo o conjunto apto a pegar nas teclas, na segunda posição coloca o conjunto pronto para inserir três teclas de cada lado em simultâneo, e por fim a posição três para colocar a ultima tecla.

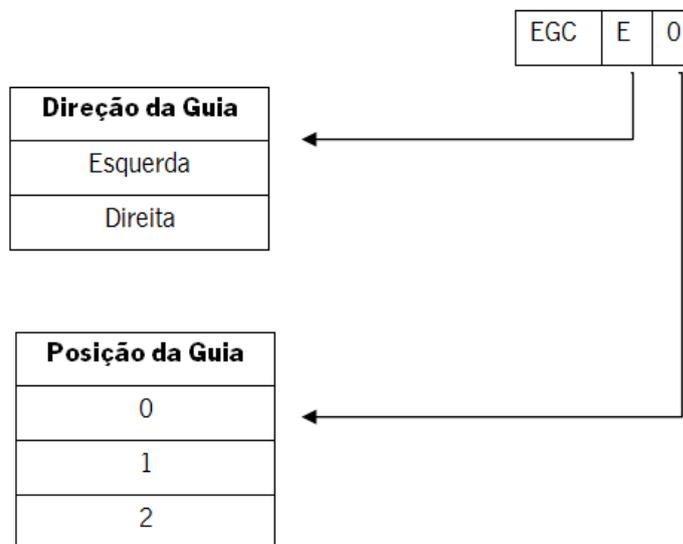


Figura 66 - Codificação do posicionamento das guias EGC

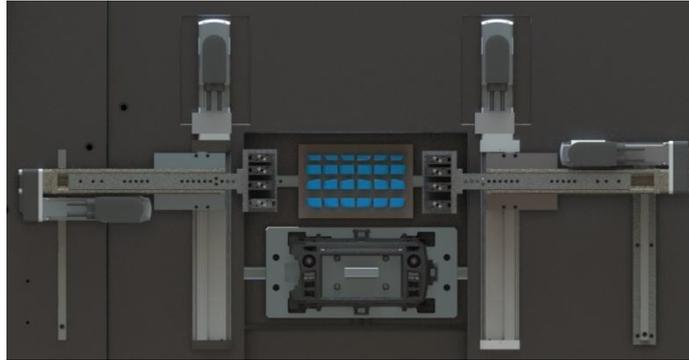


Figura 67 - Posição inicial para as guias EGC

A codificação para este posicionamento seria EGC_E_0 e EGC_D_0. Com este posicionamento por parte da guia EGC a guia EGSL tem condições para se posicionar para iniciar a manipulação das teclas.

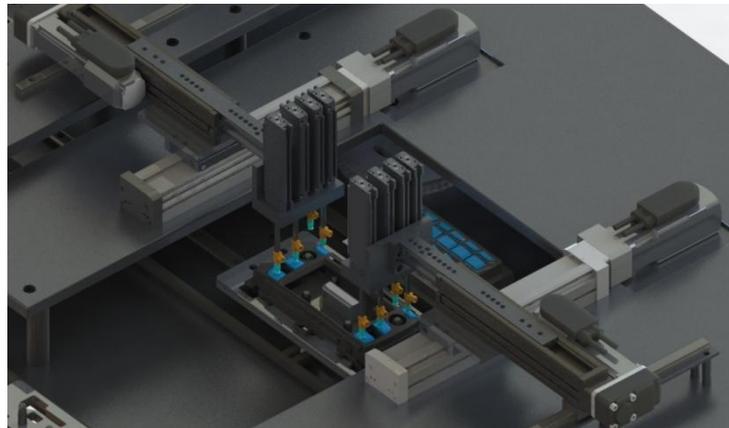


Figura 68 - Posição 1 das Guias EGC

Na posição 1 (Figura 68) das guias EGC, o sistema de manipulação das teclas insere em simultâneo três teclas de cada lado, restando inserir duas teclas, uma para cada lado. A codificação para a posição representada na Figura 68 seria EGC_E_1 e EGC_D_1.

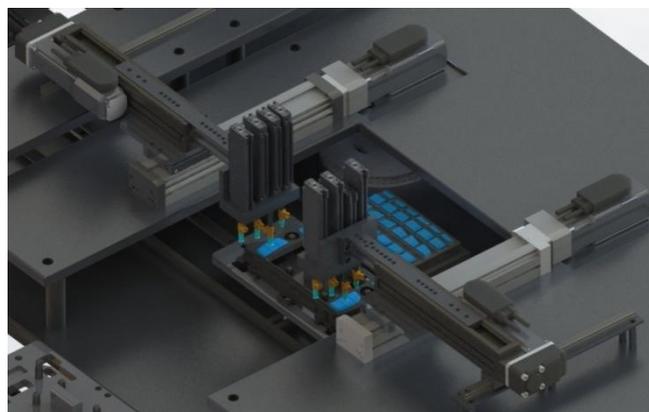


Figura 69 - Posição 2 das Guias EGC

Na posição 2, as guias EGC deslocam-se de maneira a inserir a tecla que falta em cada um dos lados, como a Figura 69 ilustra. Posto isto, o ciclo de trabalho generalizado é o seguinte:

- Inserção do painel frontal e do suporte de teclas nos respetivos *conveyor's*;
- Avanço dos *conveyor's* até à posição de inserção das teclas no *front*;
- Posicionamento das guias EGSL e EGC para a colocação dos cilindros pneumáticos na posição em que ainda existem teclas;
- Avanço dos 8 cilindros pneumáticos responsáveis por efetuar a manipulação das teclas;
- Após umas frações de segundo para se efetuar o vácuo, os cilindros recuam para retirar as teclas do suporte de teclas e estarem numa posição em que não haja toques e provocar a queda da tecla;
- Recuo das guias EGSL para a posição 0 para inserir as teclas no *front*;
- As guias EGC deslocam-se para a posição 1 de modo a posicionar 6 cilindros pneumáticos para inserir 6 teclas em simultâneo (3 teclas de cada lado);
- Avanço de 6 cilindros pneumáticos (Lado esquerdo: 1, 3 e 4; Lado direito: 5, 7 e 8) para a inserção em simultâneo de três teclas em cada um dos lados do *front*;
- Recuo dos 6 cilindros;
- Avanço das guias EGC para a posição 2, para posicionar os cilindros 2 e 4 que têm as últimas duas teclas;
- Avanço dos cilindros 2 e 4;
- Recuo dos cilindros 2 e 4;

No fim destas etapas o sistema reinicia para as origens de posicionamento estabelecidas e o *conveyor* do *front* avança para que este siga para o estágio de teste de teclas e dê entrada no estágio de inserção de teclas um novo painel frontal.

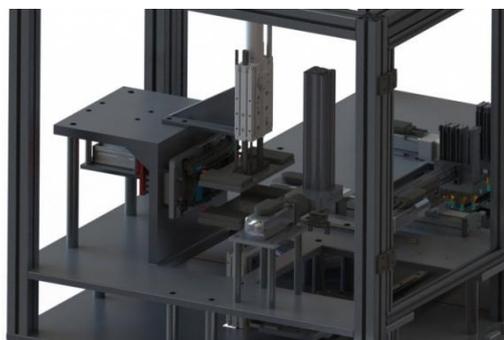


Figura 70 - Estágio de teste de teclas

6.1.6.TEMPO DE CICLO DA INSERÇÃO DE TECLAS

Para o cálculo do tempo de ciclo da inserção de teclas tem que se ter em conta os seguintes fatores:

- Velocidade e aceleração dos Servo Motores;
- Passo do fuso das guias;
- Cargas a que as guias lineares estão sujeitas;
- Distância entre as teclas no suporte e as calhas no painel frontal;
- Tempos de avanço e de recuo dos cilindros pneumáticos;
- Velocidade dos *Conveyor's* de alimentação do dispositivo com *fronts* e suportes de teclas;

Todos estes parâmetros têm influência no valor final do tempo de ciclo, e como a maioria dos atuadores são elétricos o valor será praticamente igual ao real, uma vez que em atuadores elétricos não existem flutuações de tensão ou amperagem que afetaria o rendimento dos atuadores, como acontece com atuadores pneumáticos em que os tempos de ciclo podem ser influenciados pelas flutuações de pressão na rede.

Para o cálculo dos tempos de trabalho de cada uma das guias lineares usou-se o programa *Festo Positioning Drives*, fornecido pela Festo, que permite confirmar se as guias selecionadas aguentam com os esforços a que estão sujeitas, mas também criar perfis de velocidade, aceleração em função do tempo e do deslocamento e deste modo saber qual o tempo que uma determinada guia linear demora a atingir determinadas distâncias.

• Cilindro Pneumático

Para o cálculo da velocidade dos cilindros pneumáticos recorreu-se à informação contida nos catálogos do respetivo produto. Para calcular a velocidade recorreu-se à equação 4.

$$V_{perm} = \sqrt{\frac{2 \times E_{perm}}{m_{dead} \times m_{load}}} \quad (4)$$

V_{perm} = Velocidade de impacto do cilindro [m/s];

m_{dead} = Massa da haste [0,07 Kg];

m_{load} = 0,06 Kg [Massa a deslocar pelo cilindro];

E_{perm} = 0,1 J [Energia de impacto a 6 bar].

Nas variáveis acima descritas apenas a massa da haste e a energia de impacto do cilindro são fornecidas pela Festo. A massa a deslocar pelo cilindro será o somatório da massa da ventosa, do acessório de vácuo e da tecla quando esta já estiver em fase de manipulação.

$$V_{perm} = 1,25 \text{ m/s}$$

Como o cilindro tem 80mm de curso resta agora calcular o tempo que demora a percorrer o seu curso, para o avanço e posteriormente o seu recuo.

$$t = \frac{0,08}{1,25} \times 2 \Leftrightarrow t = 0,13s$$

O tempo que demora a percorrer a ida e volta é de 0,13s, no entanto, isto apenas é uma previsão uma vez que a rede de ar comprimido pode não garantir a todo o instante os 6 bar na linha e como tal alterar ligeiramente o tempo. Outra incerteza é o tempo que o cilindro irá ter de esperar que o vácuo seja efetuado para agarrar/largar a tecla, sendo este tempo difícil de prever, de tal modo que teria que se recorrer a testes práticos para se poder ter uma noção do tempo que iria gastar. Como tal, para esta incerteza adiciona-se cerca de 0,5 segundos ao tempo que demora a percorrer os 80mm, ficando um tempo total de 0,63s para o cilindro avançar, recuar e ainda dar tempo para garantir o vácuo na peça.

- **Guia EGC**

Para o cálculo da velocidade da guia EGC durante um ciclo recorreu-se novamente ao programa *Festo Positioning Drives*. Como as guias EGC têm várias posições, teve que se calcular as velocidades entre cada uma das posições definidas. Para saber as distâncias entre os pontos de referência para as guias EGC recorreu-se à informação já apresentada no subcapítulo 6.1.1, como a Tabela 8 indica.

Tabela 8 - Distância entre os *set-points* e a origem da guia linear EGC

Posição	Distância em relação à origem [mm]
0	0mm
1	146,61
2	(146,61+15,80) = 162,41

Na prática como os *encoders* dos motores utilizados são absolutos, a programação destes é feita com distâncias sempre em relação à origem, que é a posição zero definida, ou seja, a guia apenas se

desloca 15,80 mm para atingir a posição 2, mas internamente na programação do motor só lhe interessa a distância da posição 2 em relação à origem.

Para o cálculo das velocidades teve que se inserir a carga que está aplicada na guia (3,54 Kg) (quanto maior for a carga na guia maior a dificuldade do servomotor em movimentar toda a carga, o arranjo das cargas na guia como foi apresentado no capítulo 6.1.3 e as características do servomotor). O Gráfico 1 apresenta a velocidade em função do tempo e da distância que se pretende atingir. Pela análise do gráfico conclui-se que o servomotor consegue mover e posicionar todo o conjunto para inserir três teclas em 0,33 segundos.

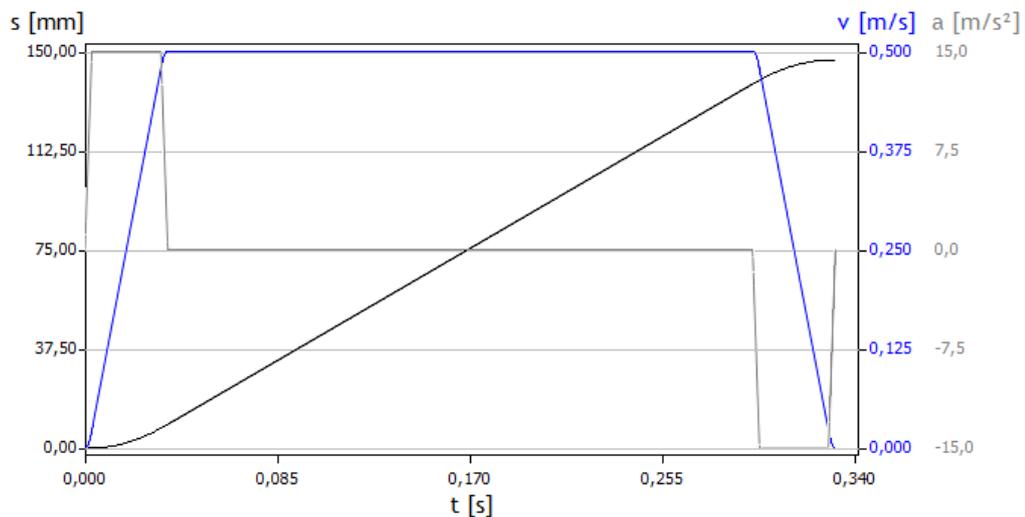


Gráfico 1 - Perfil da velocidade/aceleração em função do tempo e distância para atingir a posição 1

Para atingir a posição 2, o motor demora 0,07 segundos como o Gráfico 2 demonstra. Esta etapa pode ser crítica para a durabilidade do motor e da própria guia, visto que este não tem tempo para vencer toda a inércia do conjunto e já atingiu a posição desejada, daí que seria vantajoso usar uma aceleração mais reduzida para atingir a posição 2, tornando o movimento mais suave. No entanto, o programa não deixa modificar as propriedades do motor para além do máximo das suas propriedades, porém quando se passar para a programação reduz-se ligeiramente a sua aceleração o que aumenta o tempo embora seja desprezável dada a rapidez do processo.

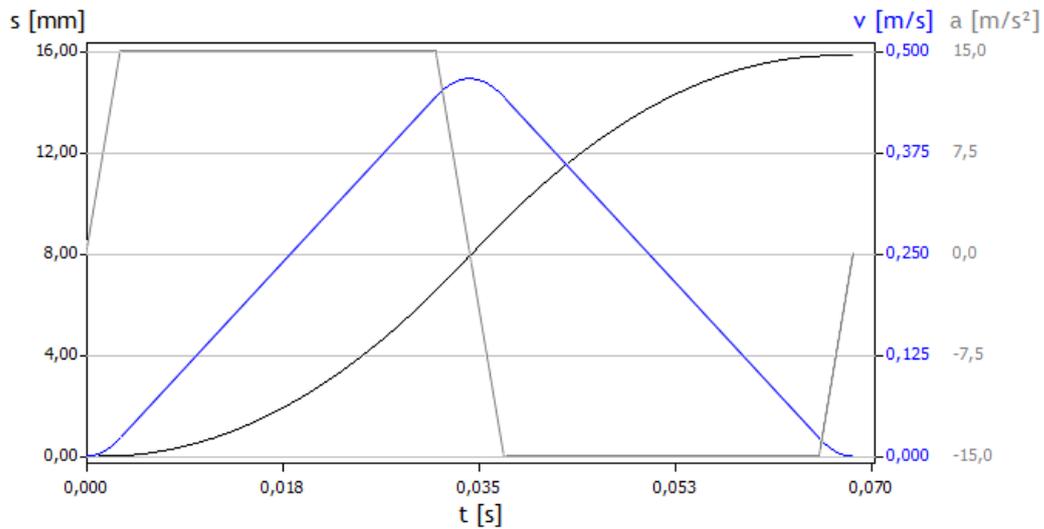


Gráfico 2 - Perfil da velocidade em função do tempo e distância para atingir a posição 2

Resta agora saber qual o tempo que demora ao sistema a voltar à origem, ou seja, qual o tempo que demora a percorrer a distância que vai desde a posição 2 até à origem, que é 0,36 segundos.

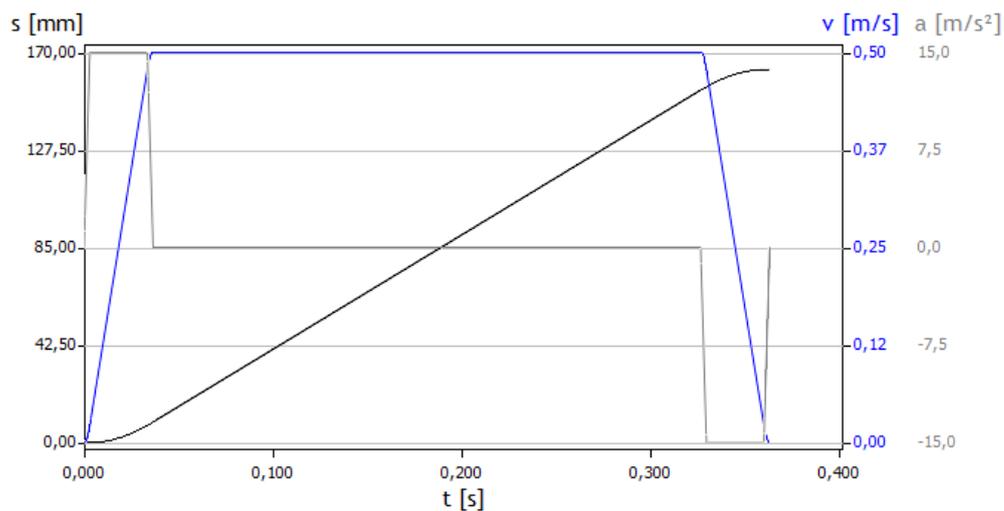


Gráfico 3 - Perfil da velocidade em função do tempo e distância para atingir a origem da guia

Tabela 9 - Tempos entre pontos de referência

Posição	Tempo [s]
0	Origem da guia linear
0-1	0,33
1-2	0,07
2-0	0,4

- **Guia EGSL**

As guias EGSL têm quatro posições bem definidas como já foi referido em 6.1.5. A Tabela 10 apresenta as distâncias entre os vários pontos de referência.

Tabela 10 - Distância entre os set-points e a origem da guia linear EGSL

Posição	Distância em relação à origem [mm]
0	0
1	7,05
2	37,65
3	68,25

No caso das guias EGSL esta inicia todos os movimentos desde a posição 0, e quando se inicia a manipulação das teclas o movimento seja, para a guia do lado esquerdo, por exemplo 0-2-0, sendo a posição alvo no suporte de teclas dependente do preenchimento de teclas no mesmo.

Para o cálculo das velocidades entre os pontos de referência recorreu-se uma vez mais ao programa *Festo PositioningDrives*. Tal como para a guia EGC, para a guia EGSL teve que se introduzir o arranjo das cargas, visto que este fator influencia a capacidade do servomotor associado à guia linear. Para que este capítulo não fique muito extenso não vão ser apresentados os gráficos para todas as posições alvo, sendo apresentados os resultados em forma de tabela, como a Tabela 11 apresenta.

Tabela 11 - Resultados de velocidades, acelerações e tempos para as guias EGSL

Posição	Velocidade [m/s]	Aceleração [m/s²]	Tempo [s]
0-1	0,36	25	0,04
0-2	0,76	25	0,09
0-3	0,76	25	0,13

- **Conveyor do *front* e do suporte de teclas**

Para o cálculo da velocidade de ambos os conveyors, este já é dado através da velocidade nominal dos mesmos, que segundo o fornecedor é de 0,3 m/s. Pela modelação 3D feita, a distância entre o início do conveyor e a zona de paragem para a inserção das teclas é de 848mm (0,848m).

Como para o estágio da Inserção de teclas a distância entre o início e a paragem é a mesma, a velocidade vai ser igual para ambos, sendo que para o cálculo do tempo de ciclo apenas se contabilizará um dos tempos por chegarem ao mesmo tempo.

Como tal, o tempo que demora a percorrer 848mm é de cerca de 2,8 segundos.

• **Tempo de ciclo para inserir teclas num painel frontal**

Para a previsão do tempo de ciclo de inserção de teclas num *front* tem que se definir alguns passos importantes nomeadamente a posição inicial das guias. Deste modo as guias antes de começarem a manipular as teclas estão nas seguintes posições:

- EGC_E_0;
- EGC_D_0;
- EGSL_E_0;
- EGSL_D_0.

O primeiro passo será mover as guias EGSL para as posições EGSL_E_1 e EGSL_D_3. Os tempos apresentados vão ter que ser dobrados devido à necessidade de retornar as guias para a posição 0, uma vez que é nessa posição que as teclas estão alinhadas com as calhas do *front* para serem inseridas. Ao tempo de movimentação das guias EGSL tem que se acrescentar o tempo dos cilindros pneumáticos para avançarem, pararem no fim de curso para dar tempo de se efetuar o vácuo nas teclas, sendo que esta operação por parte dos cilindros demora 0,63s.

Tabela 12 - Tempos para a guia EGSL

Posição Atual	Posição desejada	Tempo [s]
EGSL_E_0	EGSL_E_1	0,04x2
EGSL_D_0	EGSL_D_3	0,13x2
		Total: 0,34+0,63=1

A Figura 71 apresenta as posições EGSL_E_0 e EGSL_D_0 e também as posições EGSL_E_1 e EGSL_D_3.

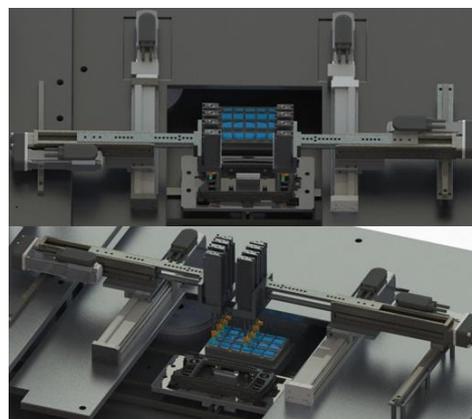


Figura 71 - Posições das guias EGSL para o primeiro passo

Com as guias EGSL recuadas para a posição 0, as guias EGC avançam para a posição 1 (Inserção de 3 três teclas de cada lado em simultâneo). O tempo que as guias EGC demoram para atingir a posição 1 é de 0,34s. Ao chegar à posição 1 tem que se acrescentar o tempo de avanço e recuo dos cilindros, que é de 0,63s.

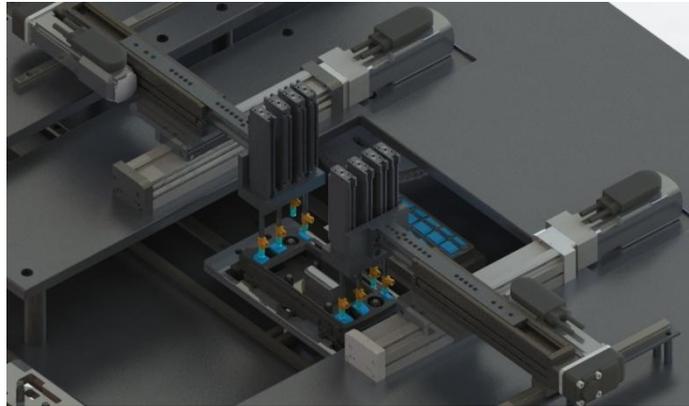


Figura 72 - Guias EGC na posição 1 e EGSL na posição 0

Tabela 13 - Tempos para inserir 3 teclas em simultâneo

Posição Atual	Posição desejada	Tempo [s]
EGC_E_0	EGC_E_1	0,34
EGC_D_0	EGC_D_1	0,34
DZF_0	DZF_1 e tornar a DZF_0	0,63
		Total: 1,3

Resta agora inserir uma tecla, sendo que para isso é necessário mover as guias EGC para a posição 2. Ao atingir esta posição os cilindros avançam novamente para inserirem as teclas como a Figura 73 demonstra.

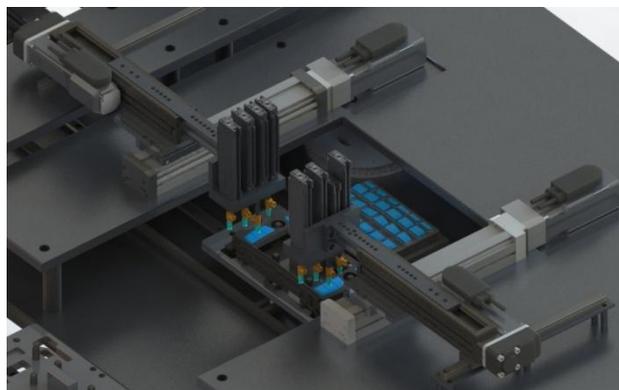


Figura 73 - Guias EGC na posição 2 e EGSL na posição 0

Tabela 14 – Tempos para inserir as últimas teclas

Posição Atual	Posição desejada	Tempo [s]
EGC_E_1	EGC_E_2	0,07
EGC_D_1	EGC_D_2	0,07
DZF_0	DZF_1 e tornar a DZF_0	0,63
		Total: 0,77

Inseridas todas as teclas e ainda com as guias EGC na posição 2 e as guias EGSL na posição 0, as guias reposicionam-se para reiniciar o processo enquanto o *conveyor* do *front* avança para fazer chegar um novo painel frontal, daí que este tempo não seja contabilizado para o ciclo. A Tabela 15 apresenta o somatório dos tempos de todos os passos de uma forma sucinta.

Tabela 15 - Tabela resumo do tempo de ciclo para o estágio de inserção de teclas

Etapa	Descrição	Tempo [s]
Etapa 1	Posicionar as guias EGSL no suporte de teclas e efetuar a manipulação das teclas e retornar para a posição 0 para inserir no <i>front</i> ;	1
Etapa 2	Posiciona as guias EGC na posição 1 e insere 3 teclas em simultâneo em cada um dos lados;	1,3
Etapa 3	Posiciona as guias EGC na posição 2 e insere 1 tecla em simultâneo em cada um dos lados;	0,77
		Total: 3

Em suma, três segundos é um tempo bastante ambicioso para a inserção das teclas, embora os cálculos tenham sido feitos com base no máximo das propriedades dos Servomotores. No entanto, temos um tempo mínimo dos três segundos, e se este tempo for muito mais curto que o de teste de

teclas, na programação da máquina utilizar-se-ia uma aceleração e velocidade mais baixa, uma vez que o estágio de teste de teclas não consegue competir com os três segundos da inserção de teclas.

Para garantir que todas as teclas foram inseridas no painel frontal existe no estágio de inserção de teclas uma câmara que deteta se todas as teclas foram colocadas. Caso haja uma ou mais teclas que por algum motivo não tenham sido inseridas o tapete de transporte do *front* avança até ao fim do seu curso sem que seja feito o teste funcional às teclas.



Figura 74 - Camera de visão artificial da IFM [28]

Quando o painel frontal atinge o fim de curso do respetivo *conveyor*, este é retirado manualmente por um operador que insere as teclas que estão em falta. Deste modo, para não estar a interromper o funcionamento normal da máquina ao introduzir o *front* na máquina para efetuar apenas o teste funcional das teclas, o operador faz um teste de qualidade, através de um teste denominado “teste por gravidade”, que consiste em rodar o painel frontal fazendo as teclas deslizar das suas calhas. Se todas as teclas descerem sem ação externa (para além da gravidade) a qualidade do funcionamento do *front* está assegurado.

Este teste no passado era o único teste que se fazia para averiguar a conformidade do funcionamento das teclas, sendo que era aprovado pelos clientes da *Fehst Components*, apenas mais tarde houve a necessidade de automatizar o teste das teclas de maneira a conseguir libertar funcionários e aumentar a produção, através da utilização dos SMAC's.

6.2. PROJETO DETALHADO PARA O TESTE DE TECLAS

Após estar completa a inserção das teclas, segue-se o teste à funcionalidade das teclas por parte da atuação dos SMAC's.

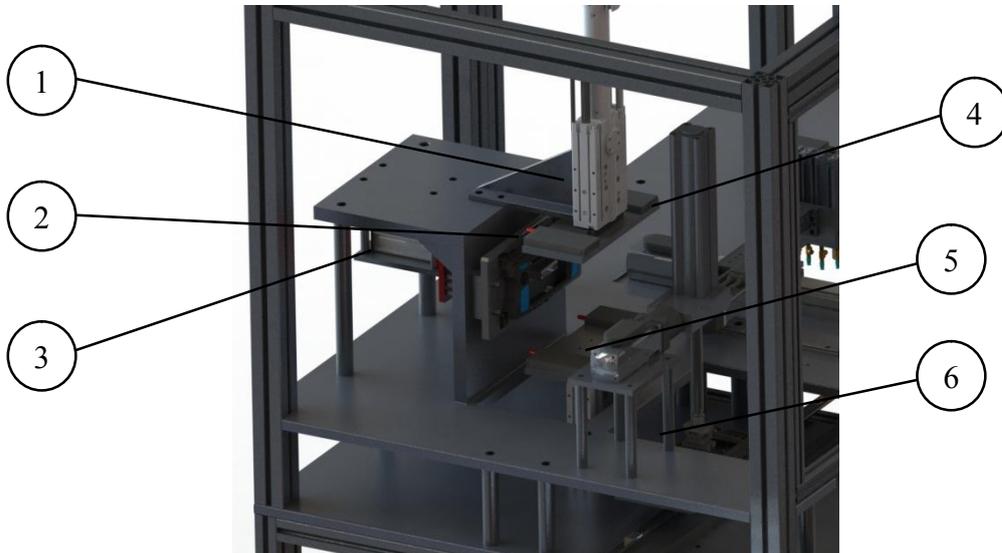


Figura 75 - Estágio de teste funcional de teclas; 1- Atuador responsável pelo posicionamento dos SMAC's (DFME-LAS); 2- SMAC's; 3- Cilindro responsável pelo calcamento das teclas; 4- Cilindro pneumático; 5- Servomotor; 6- Garra

6.2.1.MÓDULO DE ROTAÇÃO DO PAINEL FRONTAL

A principal diferença deste estágio para o do dispositivo atual é que neste, o teste é feito na posição de utilização final. Como tal, foi necessário projetar soluções para inverter o posicionamento do *front*, visto que este quando está no conveyor não se encontra na posição final de utilização. Deste modo, utilizou-se uma garra pneumática acoplada a um cilindro pneumático para manipular a base do painel frontal, estando o cilindro pneumático numa base solidária com um Servomotor para uma rotação de 90° de todo o conjunto para a indexação da base do *front* numa parede vertical, como a Figura 77 demonstra.

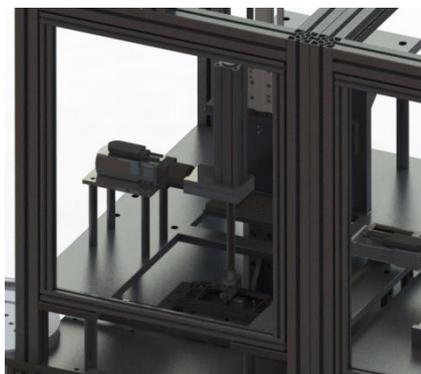


Figura 76 - Painel Frontal no conveyor na horizontal

Através da rotação dada à base do cilindro, e posteriormente com o avanço do cilindro a base é indexada à parede permitindo assim um posicionamento idêntico ao do utilizador final como a Figura 77 indica.

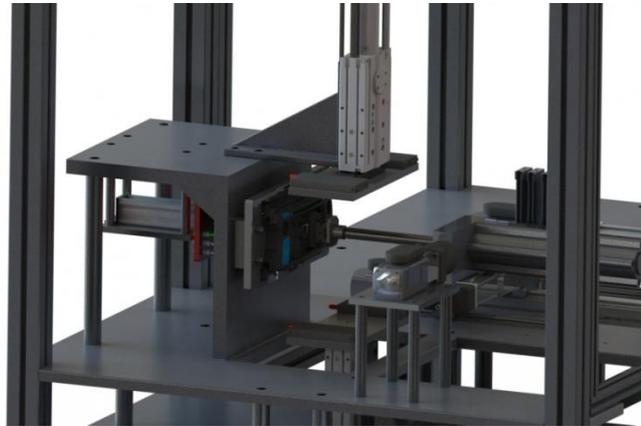


Figura 77 - Front na posição de teste de teclas

6.2.2. DIMENSIONAMENTO DO SERVO MOTOR RESPONSÁVEL PELA ROTAÇÃO DO CONJUNTO

Para o dimensionamento do Servo Motor responsável pela rotação do conjunto que permite a colocação do painel frontal na vertical, é necessário entrar com a massa dos seguintes componentes:

- Cilindro Pneumático (DSBF-C-40-200): 2Kg;
- Base de apoio do Cilindro: 1,1Kg;
- Garra Pneumática (HGCP-16-A): 0,24Kg;
- Base do *Front*: 1,9Kg;



Figura 78 - Conjunto a rodar pelo Servo Motor

Posto isto, a massa total deste conjunto resulta em cerca de 5,2Kg. Para o correto dimensionamento, foi usado uma vez mais o programa *Festo Positioning Drives*. O caso mais crítico para o motor, é quando o cilindro se encontra totalmente recuado, fazendo com que exista em desequilíbrio de forças em relação ao eixo do motor, devido ao comprimento do cilindro pneumático,

que tem uma massa de aproximadamente 2Kg. Como tal, o motor foi dimensionado tendo em conta a criticidade deste ponto, visto que tem de vencer bastante inércia (2Kg em 200mm). No entanto, o motor apenas vai fazer a rotação do conjunto quando este está recuado, portanto a situação crítica para o motor é sempre na situação acima descrita sendo a restante massa desprezável, tendo em conta que está muito próxima do centro de rotação. O resultado do programa para os parâmetros acima descritos está apresentado na Figura 79.

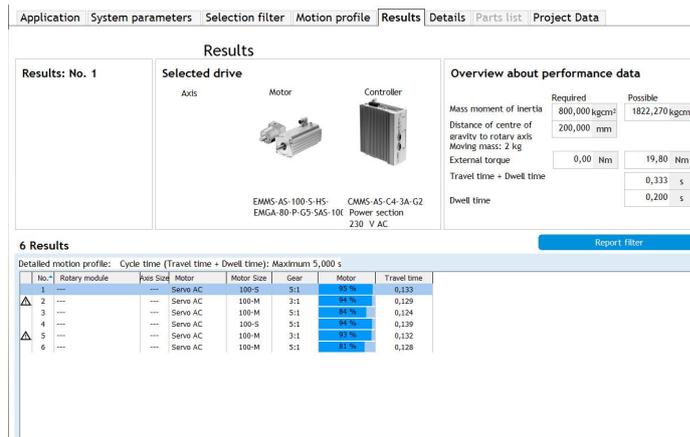


Figura 79 - Dimensionamento e escolha do Servo Motor responsável pela rotação do conjunto

Por indicação do programa, este indica que o Servo Motor por si só não consegue ter binário suficiente para fazer rodar o conjunto. Para ser possível efetuar a rotação de todo o conjunto é necessário ter acoplado ao motor um redutor, aumentando assim o binário total (Servo Motor + Redutor). As principais características do redutor selecionado são as seguintes:

- Nome: EMGA-80-P-G3-SAS-100;
- Relação de transmissão: 5:1;
- Binário: 110 Nm;

Quanto às propriedades do motor estas são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Características do Servo Motor EMMS-100

	EMMS-100
Tensão Nominal [V DC]	360
Corrente Nominal [A]	3,8
Binário Nominal [N.m]	3,76
Velocidade Nominal [rpm]	3500
Inércia [Kg.cm²]	2,53
Encoder	Absoluto

6.2.3. DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO PNEUMÁTICO RESPONSÁVEL PELA ROTAÇÃO DO *FRONT*

Para selecionar e dimensionar este cilindro pneumático recorreu-se à informação técnica que o fornecedor disponibiliza acerca dos cilindros da família DSBF. Como o curso que se pretende que o cilindro tenha é de 200mm e a sua montagem é na horizontal pelo ábaco disponível no catálogo é possível fazer a seleção do cilindro.

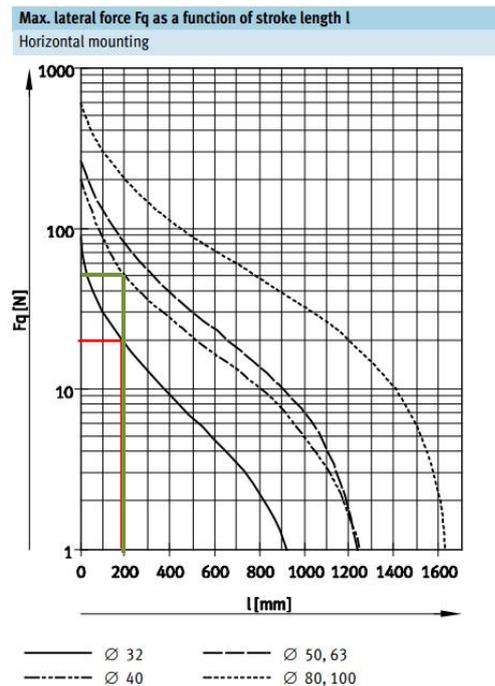


Figura 80 - Ábaco de seleção do cilindro pneumático

Como a força a que o cilindro está sujeita é de 20 N aproximadamente (1,9Kg mais 0,24Kg) o resultado para a seleção foi o cilindro DSBF-C-32, com uma haste de 32mm de diâmetro. No entanto, para assegurar que o fim de um determinado numero de horas de trabalho a haste comece a ter um comportamento de flecha optou-se pelo cilindro seguinte, com uma haste de diâmetro 40mm, ou seja DSBF-C-40.



Figura 81 - Posição crítica para a flexão da haste

6.2.4.MÓDULO DE TESTE DE TECLAS

Antes de se iniciar o teste de teclas, é necessário colocar todas as teclas na mesma posição, para que quando os SMAC's iniciassem o teste, as teclas terem todas os mesmos *set-points*, visto que os SMAC's fazem as teclas percorrerem uma determinada distância em função de uma força predefinida na programação destes.

O que foi feito, foi uma unidade de calcamento das teclas com recurso a um cilindro pneumático, em que na sua haste tem uma barra com oito pernos, cada um com uma mola, para que quando o cilindro atinge o fim do seu curso os pinos não avancem mais, evitando assim o risco de poder tirar as teclas do *front*, como a Figura 82 demonstra.

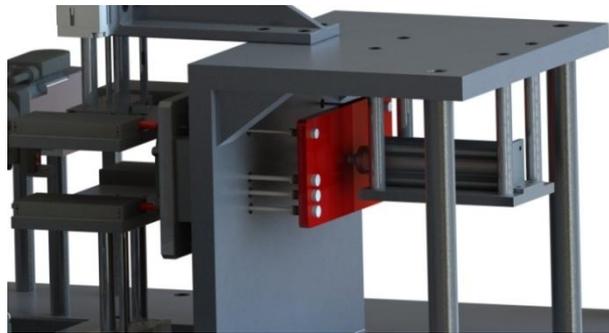


Figura 82 - Unidade de calcamento de teclas

Outra solução que foi necessário analisar, foram os atuadores que permitem a subida e descida dos SMAC's, de modo a que quando o *front* fosse inserido na parede não ocorressem colisões. Outro dos requisitos era que estes atuadores permitissem vários posicionamentos e não dois como os atuadores pneumáticos apresentam, tendo assim estes terem de ser elétricos obrigatoriamente. A solução passou por usar atuadores lineares da Festo, da família DFME-LAS, que tem um Servomotor linear incorporado juntamente com um encoder.

Tabela 17 - Propriedades do atuador DFME-LAS

Propriedades do atuador DFME-LAS	
Curso	200mm
Força Máxima	141N
Velocidade Máxima	3 m/s
Tipo de Motor	Servomotor linear
Potência	87W
Encoder:	Encoder relativo incremental

**Figura 83 - Atuador DFME-LAS**

Os atuadores DFME-LAS vão ter cerca de três posições cada um, estando para cada um deles a descrição dos seus movimentos na Tabela 18. Na posição zero o atuador DFME-LAS coloca os SMAC's numa posição em que seja possível a inserção do *front* na parede vertical, enquanto na posição um e dois, os SMAC's fazem o teste às respetivas teclas, sendo que a sincronização entre os dois atuadores teve de ser feita de maneira a que não haja choques entre o atuador superior e inferior.

Tabela 18 - Posicionamento dos atuadores DFME-LAS

Atuador DFME- LAS	Posição 0	Posição 1	Posição 2
DFME- LAS Superior			
DFME- LAS Inferior			

Para simplificar a nomenclatura, quando se chegar ao capítulo da automatização de toda a máquina usou-se a codificação representada na Figura 84.

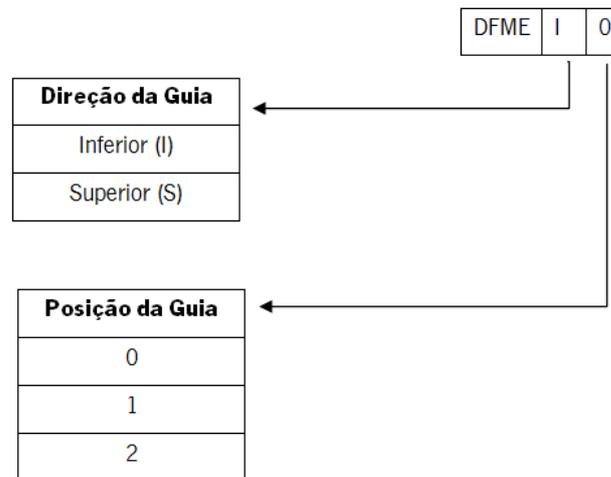


Figura 84 - Codificação do posicionamento das guias DFME

Como o estágio de inserção de teclas é bastante rápido (cerca de 3 segundos), houve a necessidade de minimizar os tempos de ciclo do estágio de teste funcional de teclas, o que para tal, teria que se utilizar o maior número possível de SMAC's de maneira a reduzir o tempo total de ciclo da máquina. Deste modo usou-se quatro SMAC's, dividindo duas teclas para cada um, sendo que cada par é movimentado na vertical por um atuador DFME-LAS, aumento assim a rapidez de posicionamento dos SMAC's.



Figura 85 - SMAC

A Tabela 19 apresenta as propriedades do SMAC a ser utilizado na máquina. Não houve grandes pré-requisitos para a seleção deste atuador, uma vez que a força a ser exercida em função do curso necessário é baixa e como tal o SMAC LAL15-015-5 encaixa perfeitamente nas necessidades.

Tabela 19 - Propriedades do SMAC LAL-015-5

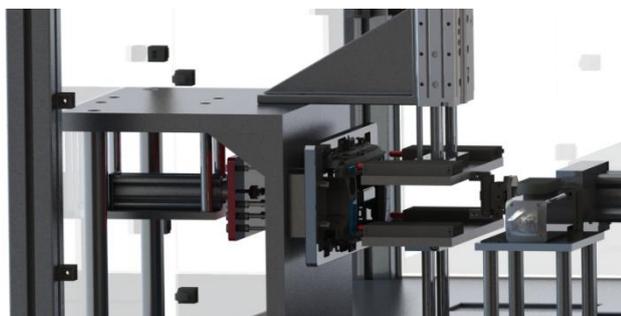
LAL15-015-5	
Tensão [V]	24
Tamanho [mm]	120x58x15
Curso [mm]	15
Força Máxima [N]	5
Corrente Máxima [A]	1.7
Máximo de massa a mover [Kg]	0.05
Peso [Kg]	0.23

Tendo em conta as propriedades do SMAC selecionado e as especificações que o cliente exige, as variáveis de funcionamento para os SMAC's estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Variáveis de funcionamento dos SMAC's

Variáveis de funcionamento dos SMAC's	
Curso a obter das teclas	2,2mm
Força a exercer	25g = 0,25N
Velocidade	10 mm/s
Massa	500g

Quanto à codificação dos SMAC's para a automação foi feita da maneira que se segue. Para a codificação dos SMAC's houve necessidade de distinguir o SMAC da esquerda e direita, divididos também pela posição superior e inferior, tal como foi feito com os atuadores DFME. A Figura 86 mostra o posicionamento dos SMAC's para a divisão de SMAC's esquerdos/direitos com superiores e inferiores.

**Figura 86 - Posicionamento dos SMAC's em função dos atuadores DFME**

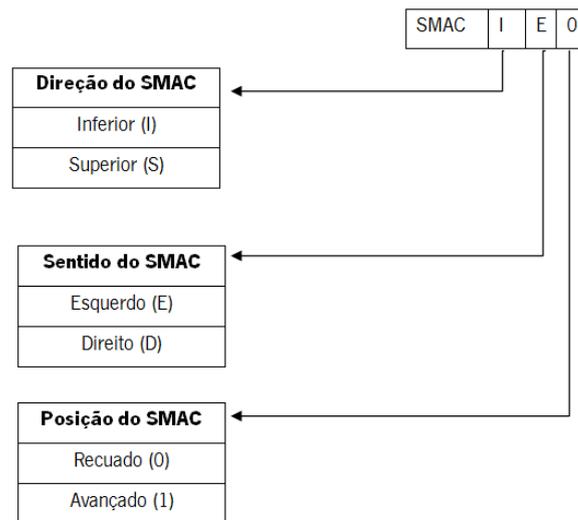


Figura 87 - Codificação do posicionamento dos SMAC

6.2.5.CONFORMIDADE DO *FRONT*

A conformidade de um painel frontal é dada caso não haja nenhuma tecla que exceda a força prevista (0,25N) para um deslocamento de 2,22mm, para os quais os SMAC's estão programáveis. Caso haja alguma tecla que não cumpra com os requisitos definidos, o painel frontal é imediatamente rejeitado. A causa da rejeição de um *front* pode ter inúmeras origens tal como já enunciado no capítulo 5.2.3. Como a manipulação do *front* à saída da máquina não vai ser caso de estudo e podendo existir duas opções, um operário a fazer a transferência para a máquina seguinte e também retirar o produto da linha caso haja necessidade, ou um sistema automatizado que faça estas duas funções. Como não irá ser especificado o método de transporte do *front* e como consequência o caminho que este irá seguir apenas se usou duas lâmpadas para indicar o estado de conformidade do painel frontal, uma verde para indicar que está conforme e uma vermelha para indicar que está em não conformidade.



Figura 88 - Baliza sinalizadora

6.2.6.TEMPO DE CICLO PARA O TESTE DE TECLAS

Para o cálculo do tempo de ciclo do teste de teclas tem que se ter em conta os seguintes fatores:

- Velocidade do cilindro pneumático que efetua a rotação do *front*;
- Velocidade da garra pneumática;
- Velocidade e aceleração do Servo Motor;
- Velocidade do cilindro pneumático responsável pelo calcamento das teclas;
- Velocidade e aceleração dos atuadores DFME;
- Velocidade e aceleração dos SMAC's.

Todos estes parâmetros têm influência no valor final do tempo de ciclo de teste de teclas. Para o cálculo dos tempos de trabalho do Servo Motor e dos atuadores DFME recorreu-se novamente ao programa *Festo Positioning Drives*.

• Cilindro Pneumático que efetua a rotação do *front*

Para o cálculo da velocidade deste cilindro pneumático recorreu-se à informação contida nos catálogos do respetivo produto. Para calcular a velocidade recorreu-se à equação 4.

V_{perm} = Velocidade de impacto do cilindro;

m_{dead} = Massa da haste [0,8Kg];

m_{load} = 2Kg [Massa a deslocar pelo cilindro];

E_{perm} = 0,35 J [Energia de impacto a 6 bar].

Nas variáveis acima descritas apenas a massa da haste e a energia de impacto do cilindro são fornecidas pela Festo. A massa a deslocar pelo cilindro será o somatório da massa da ventosa, do acessório de vácuo e da tecla quando esta já estiver em fase de manipulação.

$$V_{perm} = 0,66 m/s$$

Como o cilindro tem 200mm de curso resta agora calcular o tempo que demora a percorrer o seu curso, para o avanço e posteriormente o seu recuo.

$$t = \frac{0,2}{0,66} \times 2 \Leftrightarrow t = 0,6s$$

O tempo que demora a percorrer a ida e volta é de 0,6s, no entanto, isto apenas é uma previsão, uma vez que a rede de ar comprimido pode não garantir a todo o instante os 6 bar na linha e como tal alterar ligeiramente o tempo. Como este tempo é meramente teórico, e para ter algum coeficiente de

segurança neste tempo adiciona-se cerca de 0,5, resultando num tempo total de 1,1s para este o cilindro avançar e recuar.

- **Garra pneumática**

Para o cálculo da velocidade da garra pneumática aplicada no cilindro teria que se saber à semelhança dos cilindros a massa das mandíbulas e a energia de impacto, no entanto, o fabricante não fornece estes dados, o que impossibilita o cálculo da velocidade para este atuador. Porém é verídico afirmar que o tempo de abertura e fecho vai ser menor que o tempo dos cilindros que estão associados às ventosas, sendo que o tempo de ciclo para estes cilindros é de 0,13s com um curso de 80mm, o que poderemos concluir que o tempo de ciclo para as garras será menor.

- **Servo Motor**

Para se calcular o tempo de rotação de 90° por parte do motor para posicionar todo o conjunto na parede vertical, foi necessário otimizar a aceleração de modo a que não seja demasiado rápido e desta forma assegurar que a *front* saia da sua base, e a própria base saia do acoplamento da garra. O perfil de velocidade/aceleração/posição alcançado no Festo Positioning Drives está representado na Figura 89.

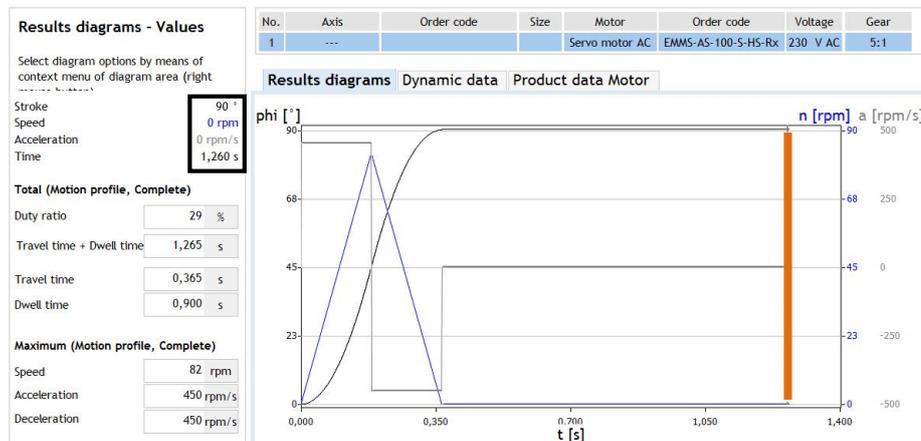


Figura 89 - Perfil de velocidade/aceleração/posição

Pelo gráfico dado pelo programa este indica que o motor, consegue fazer a rotação do conjunto em aproximadamente 1,3 segundos. Este valor só é conseguido devido à redução da velocidade nominal de 3600 rpm para 82 rpm, reduzindo conseqüentemente a aceleração e desaceleração para 450 rpm/s. Este tempo seria suficiente para garantir a estabilidade do conjunto, associado a um tempo de suavização (tempo de paragem) de aproximadamente 1 segundo. Com esta nova

configuração da velocidade e aceleração é possível diminuir os esforços no Servo Motor, uma vez que usando as propriedades máximas do mesmo, este ficaria com uma sobrecarga de 95% do máximo aceitável (Figura 79) e assim apenas se usa 20% das capacidades como a Figura 90 demonstra.

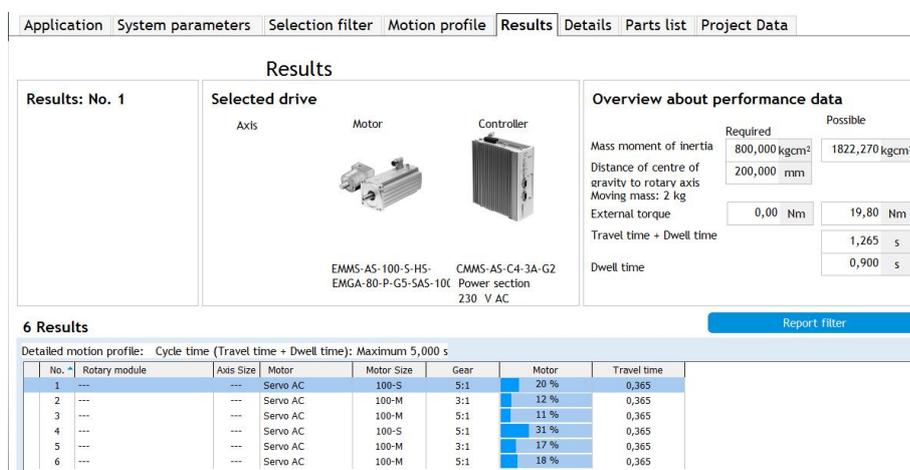


Figura 90 - Esforços no EMMS-100-S

• **Cilindro pneumático que efetua o calcamento das teclas**

Para o cálculo da velocidade deste cilindro pneumático recorreu-se novamente à informação contida nos catálogos do respetivo produto. Para calcular a velocidade recorreu-se novamente à equação 4.

V_{perm} = Velocidade de impacto do cilindro;

m_{dead} = Massa da haste [0,14Kg];

m_{load} = 0,652Kg [Massa a deslocar pelo cilindro];

E_{perm} = 0,4 J [Energia de impacto a 6 bar].

$$V_{perm} = 3m/s$$

Como o cilindro tem 50mm de curso resta agora calcular o tempo que demora a percorrer o seu curso, para o avanço e posteriormente o seu recuo.

$$t = \frac{0,05}{3} \times 2 \Leftrightarrow t = 0,3s$$

O tempo que demora a percorrer a ida e volta é de 0,3s, no entanto, este tempo é demasiado curto daquilo que poderá ser praticado na realidade. Como tal, a solução seria na prática utilizar um regulador de pressão para que a pressão fosse menor que 6 bar e desta forma diminuir a energia de impacto. Convém salientar que o fabricante apenas disponibiliza a energia de impacto para 6 bar, dai

que seja difícil prever qual o tempo que demoraria para uma pressão menor uma vez que o fabricante não disponibiliza dados para efetuar o cálculo.

Contudo, o tempo para calcular o tempo de ciclo total utilizado será o valor que resultou dos cálculos acima apresentados.

- **Atuadores DFME**

Para efetuar o cálculo dos tempos para os atuadores DFME é necessário separar os atuadores por superior e inferior e as suas respectivas posições, como foi explicado em 6.2.4. A Tabela 21 apresenta sucintamente as posições que os atuadores têm de atingir com a descrição quantitativa dos movimentos.

Tabela 21 - Tabela para as codificações / deslocamento para atuadores DFME

	Posição Inicial	Posição Final	Deslocamento [mm]
DFME_S	DFME_S_0	DFME_S_1	118
DFME_S	DFME_S_1	DFME_S_2	44
DFME_I	DFME_I_0	DFME_I_1	11
DFME_I	DFME_I_1	DFME_I_2	31

Para o cálculo dos tempos para atingir as diversas posições foi novamente usado o programa *Festo Positioning Drives*, no entanto, para não se tornar repetitivo, os resultados dos tempos são ser apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Tempos para os atuadores DFME

	Posição Inicial	Posição Final	Tempo [s]
DFME_S	DFME_S_0	DFME_S_1	0,8
DFME_S	DFME_S_1	DFME_S_2	0,45
DFME_I	DFME_I_0	DFME_I_1	0,75
DFME_I	DFME_I_1	DFME_I_2	0,4

Estes tempos foram obtidos com recurso às propriedades máximas dos atuadores, uma vez que não ha criticidade na movimentação dos mesmos.

- **SMAC**

Para calcular os tempos de análise de teste da qualidade das teclas tem que se ter em conta a distância a que os apontadores dos SMAC estão da superfície das teclas, acrescentando ainda os 2,2mm que as teclas têm que percorrer desde o seu ponto zero, para que o produto esteja conforme as especificações.

A distância percorrida pelos SMAC está apresentada na Tabela 23, juntamente com a velocidade para as respetivas posições.

Tabela 23 - Distâncias percorridas pelos SMAC's

	DFME_1 [mm]	Velocidade [m/s]	DFME_2 [mm]	Velocidade [m/s]
SMAC_S_E	5	5	6,90	6,90
SMAC_S_D	5	5	6,90	6,90
SMAC_I_E	6,7	6,7	6,84	6,84
SMAC_I_D	6,7	6,7	6,84	6,84

Os tempos para os SMAC's estão representados na Tabela 24, sendo que estes tempos representam apenas meio ciclo (Ida por exemplo), como tal ida e volta será o dobro do calculado.

Tabela 24 - Tempos de atuação para os SMAC's

	DFME_1 [mm]	Tempo	DFME_2 [mm]	Tempo
SMAC_S_E	5	0,5s x 2	6,90	0,7s x 2
SMAC_S_D	5	0,5s x 2	6,90	0,7s x 2
SMAC_I_E	6,7	0,7s x 2	6,84	0,7s x 2
SMAC_I_D	6,7	0,7s x 2	6,84	0,7s x 2

- **Tempo de ciclo para o estágio de teste funcional das teclas**

Resta agora fazer um somatório dos tempos de cada um dos atuadores, seguindo a sequência de atuação, como a Tabela 25 apresenta.

Tabela 25 - Sequência e tempo total para o Estágio de teste de teclas

Atuador	Tempo [s]
Avanço Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Fecho Garra HGPC-16	<0,13
Recuo Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Servo Motor	1,3
Avanço Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Abertura da Garra HGPC-16	<0,13
Recuo Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Ciclo Cilindro de Calçamento	0,6
DFME	0,8
SMAC	0,7
DFME	0,45
Avanço Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Fecho Garra HGPC-16	<0,13
Recuo Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Servo Motor	1,3
Avanço Cil. Pneumático DSBF-50	1,1
Abertura da Garra HGPC-16	<0,13
Total	<13,77

O tempo total para o estágio de teste de teclas será de aproximadamente 14 segundos. As etapas que acrescentam mais tempo neste estágio são sem dúvida a rotação e colocação do *front* na parede, o que faz com que neste estágio o tempo de ciclo seja muito mais longo comparando com o estágio de inserção de teclas.

6.3. Tempo total de ciclo

O tempo total do ciclo de todo o dispositivo é de aproximadamente 17 segundos o que resulta numa redução do tempo de ciclo para menos de metade em relação ao equipamento existente, o que é bastante positivo e lucrativo para a empresa. Nestes 17 segundos é efetuada a inserção de teclas em dois painéis frontais e é efetuada o teste de teclas num *front*, enquanto que no existente em 38

segundos é efetuado o teste de qualidade num painel frontal e feita a inserção de teclas manualmente num outro para a seguir testar imediatamente o estado das teclas.

6.4. ASPETOS SALIENTADOS NO CAPÍTULO 6

Com a análise detalhada aos principais atuadores conclui-se que estes são atuados eletronicamente ou por ar comprimido.

Os atuadores elétricos, à exceção dos SMAC's são todos movimentados por fusos, acionados por Servo Motores, o que permite atingir elevadas exatidões de posicionamento.

Com os atuadores selecionados foi possível atingir um tempo de ciclo total de 17 segundos.

CAPÍTULO 7

7. AUTOMAÇÃO DA MÁQUINA

Para efetuar a validação da sequência das etapas definidas no projeto, de cada atuador elaborou-se SFC [6] no *Automation Studio* [8] segundo a Norma IEC 61131-3. Nos SFC desenvolvidos elaborou-se um estudo acerca da paragem de emergência com as vantagens e desvantagens de cada uma das hipóteses de se obter a paragem.

Após a conclusão dos SFC, estes foram convertidos para equações algébricas de maneira a permitir programação em Linguagem Ladder [12] para programar no TIA Portal V11 [29] o autómato selecionado.

7.1. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Todas as máquinas necessitam segundo a diretiva máquinas de comandos que permitam a um determinado utilizador iniciar, interromper o funcionamento normal caso algo não esteja a funcionar dentro da normalidade. Para isso foi colocado numa posição estratégica comandos capazes de iniciar, pausar e parar completamente a máquina.

Para iniciar o funcionamento normal utilizou-se uma botoneira preta, ZB5AC2, da Schneider [30] para dar ordem de inicialização a toda a máquina em que o seu modo de funcionamento é normalmente aberto através da atuação de uma mola.



Figura 91 - Botoneira ZB5AC2 [30]

Para parar a produção normal do dispositivo, após efetuar um conjunto de operações, utilizou-se um botão STOP, o ZB5AW343 da Schneider para interromper o funcionamento da mesma, com contactos normalmente abertos. [30]



Figura 92 - Botoneira ZB5AW343 [30]

Para a interrupção da máquina em casos de emergência utilizou-se a botoneira XALK178F, em que o modo de funcionamento de operar é através de contactos normalmente fechados.



Figura 93 - Botoneira XALK178F [30]

Para uma interface mais gráfica e mais detalhada em termos de menus de funcionamento foi selecionada uma consola de interface da Siemens, a consola KTP400 Comfort [31]. As propriedades da consola KTP400 Comfort estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Propriedades da consola KTP400 Comfort [31]

Propriedades	KTP 400 Comfort
Ecrã	4.3 Polegadas
Resolução	480x272 Píxeis
Elementos de Contolo	Ecrã Táctil, com 4 botões funcionais
Interfaces	1 x RJ 45 Ethernet para Profinet 1 x RS 485/422 para Profibus 1 x USB-host, 1 x USB-Device 2 x SD

7.2. SEQUÊNCIA DE TRABALHO

A sequência de trabalho para o dispositivo para o funcionamento normal em produção é de um modo sucinto como a Figura 94 apresenta. Para a elaboração dos SFC que traduzem a sequência idealizada aquando da realização do projeto mecânico conceptual, teve que se ter em conta a sequência de etapas mais rápidas possíveis de maneira a ter o menor tempo de ciclo.

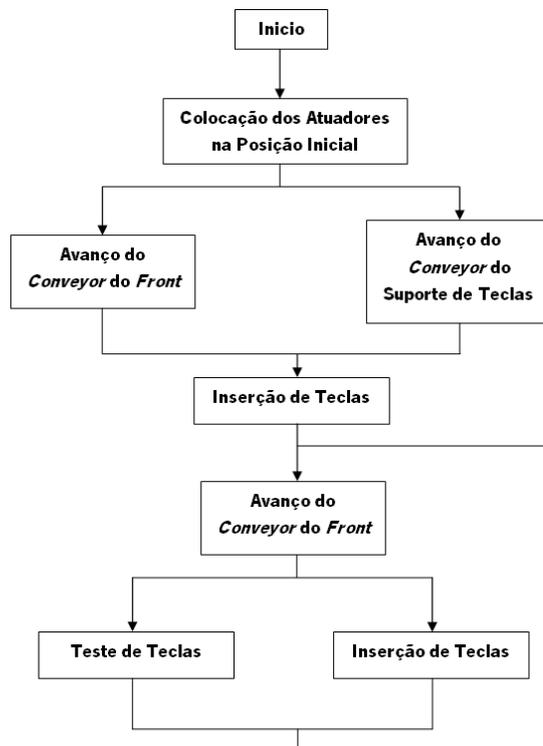


Figura 94 - Esquema de funcionamento da Máquina

Após o botão start ser acionado (Início) a sequência evolui para o modo de preparação de funcionamento, posicionando os atuadores nas posições que permitam o começo da produção normal

no menor tempo possível. Após todos os atuadores estarem posicionados é dada a ordem dos *conveyors* avançarem e introduzirem teclas e um painel frontal. Após o suporte de teclas e o painel frontal estarem posicionados existem condições para se iniciar a inserção de teclas. Quando a inserção de teclas é concluída o *conveyor* evolui até ao estágio de teste de teclas onde se faz o teste funcional às mesmas. Ao mesmo tempo que estão a ser testadas as teclas, estão a ser inseridas teclas num painel frontal que foi introduzido, sendo que o ciclo se repete até ser dada ordem de paragem.

Tendo em conta o esquema de funcionamento e a descrição efetuada, que para a elaboração dos SFC existem quatro grupos principais, um ciclo de preparação (Colocação de todos os atuadores na posição inicial), ciclo de funcionamento normal (Avanço dos *conveyor's*, Inserção e Teste de teclas) e caso seja necessário ciclos de paragem.

7.2.1.SFC ELABORADOS NO *AUTOMATION STUDIO* (IEC 61131-3)

Para a elaboração e validação dos SFC utilizou-se o *Automation Studio*, em que os SFC dividem-se em quatro principais grupos, ciclo de preparação (Colocação de todos os atuadores na posição inicial), ciclo de funcionamento normal (Avanço dos *conveyor's*, Inserção e Teste de teclas) e caso seja necessário ciclos de paragem.

Para a elaboração dos SFC do ciclo de preparação após o botão de *start* ser atuado, teve-se em conta os seguintes fatores sendo com estes pressupostos que a máquina deve iniciar a produção normal:

- Todos os Atuadores devem ser avançados ou recuados para a sua posição inicial previamente definido no projeto mecânico;
- Não devem existir peças no interior da Máquina.

O Módulo de preparação é constituído por quatro SFC, sendo que todos eles são interligados de forma sequencial. A principal razão para haver um largo número de SFC é que desta forma consegue-se controlar mais facilmente cada operação a que cada SFC é destinado. A lista a seguir apresenta o nome dado aos SFC bem como a explicação do que cada um efetua.

Para facilitar a compreensão dos SFC elaborados a Tabela 27 e a

Tabela 28 apresentam as entradas e saídas dos atuadores que constituem o dispositivo desenvolvido.

Tabela 27 - Entradas e Saídas dos Atuadores Pneumáticos

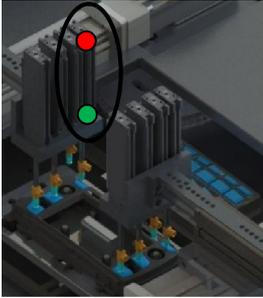
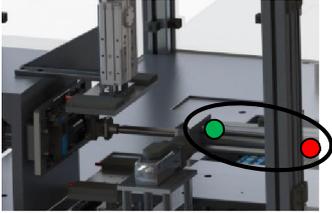
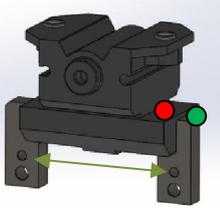
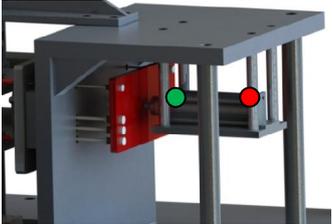
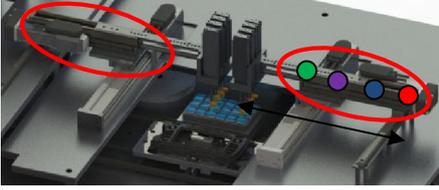
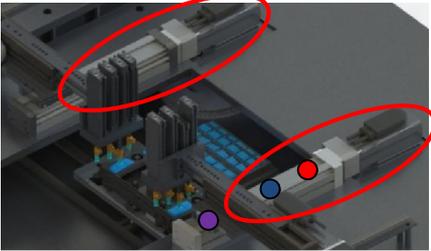
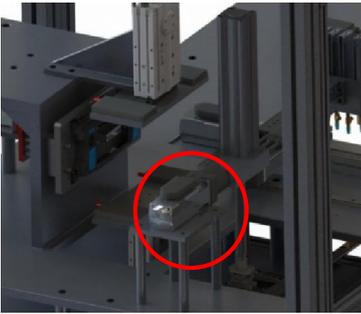
Atuador	Sensores de Posição Inicial	Sensores de Posição Final
Cilindro A A1 até A8	a1_0; a2_0; a3_0; a4_0; a5_0; a6_0; a7_0; a8_0	a1_1; a2_1; a3_1; a4_1; a5_1; a6_1; a7_1; a8_1;
	<p>Conjunto de 8 atuadores responsáveis por efetuar a manipulação das teclas.</p> <p>Ex: Sensor a1_0 ativo (Cilindro A1 recuado)</p> <p>Ex: Sensor a1_1 ativo (Cilindro A1 avançado). Estado representado na Figura.</p>	
Cilindro B	b0	b1
	<p>Cilindro B responsável por efetuar a colocação do painel frontal num plano vertical.</p> <p>Ex: Sensor b_0 ativo (Cilindro B recuado)</p> <p>Ex: Sensor b_1 ativo (Cilindro B avançado). Estado representado na Figura.</p>	
Garra	g0	g1
	<p>Garra responsável por manipular a base onde está colocado o painel frontal.</p> <p>Ex: Sensor g_0 ativo (Garra recuada)</p> <p>Ex: Sensor g_1 ativo (Garra avançada). Estado representado</p>	
Cilindro D	d0	d1
	<p>Cilindro responsável por efetuar o calcamento das teclas no estágio de inserção de teclas.</p> <p>Ex: Sensor d_0 ativado (Cilindro recuado). Estado representado</p> <p>Ex: Sensor d_1 ativado (Cilindro avançado)</p>	

Tabela 28 - Entradas e Saídas dos Atuadores elétricos

Atuador	Sensor de Posição Inicial	Sensores das Posições Intermédias
Guia Linear EGSL	egsl_e/d_0	egsl_e/d_1; egsl_e/d_2; egsl_e/d_3;
 <p>Guias Lineares responsáveis pelos movimentos longitudinais.</p> <p>Ex: Sensor egsl_d_0 ativado(Guia recuada);</p> <p>Ex: Sensor egsl_d_1 ativado (Pos. intermédia 1) Estado representado;</p> <p>Ex: Sensor egsl_d_2 ativado (Pos. intermédia 2);</p>		
Guia Linear EGC	egc_e/d_1	egc_e/d_1; egc_e/d_2; egc_e/d_3;
 <p>Guias Lineares responsáveis por movimentos longitudinais na inserção das teclas.</p> <p>Ex: Sensor egc_d_0 ativado (Guia recuada);</p> <p>Ex: Sensor egc_d_1 ativado (Posição intermédia 1);</p>		
Servo Motor	m0	m1
 <p>Servo Motor responsável por efetuar a rotação do painel frontal para colocação num plano vertical.</p> <p>Ex: Sensor m0 é ativado quando o motor coloca o cilindro na vertical (Estado representado);</p> <p>Ex: Sensor m1 é ativado quando o motor coloca</p>		
Atuador DFME	s0/sc_0	s1/sl_1; s2/sl_2;
 <p>Conjunto de 2 Atuadores responsáveis pelo posicionamento dos SMAC.</p> <p>Ex: Sensor sc_0 ativado (Guia recuada) Estado representado;</p> <p>Ex: Sensor sl_1 ativado(Posição intermédia 1);</p> <p>Ex: Sensor sl_2 ativado(Guia avançada);</p>		

- **SFC1-F2-START/STOP:** Neste SFC apenas está contemplado o início e a paragem do funcionamento do dispositivo;

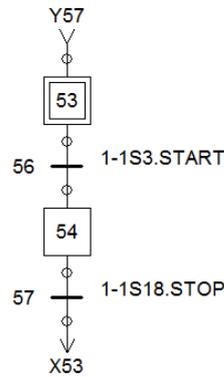


Figura 95 - SFC2-F2-START/STOP

- **SFC1-F2-PREPARACAO-INS. TECLAS:** Neste SFC posiciona-se todos os atuadores do estágio de inserção de teclas na posição inicial definida.

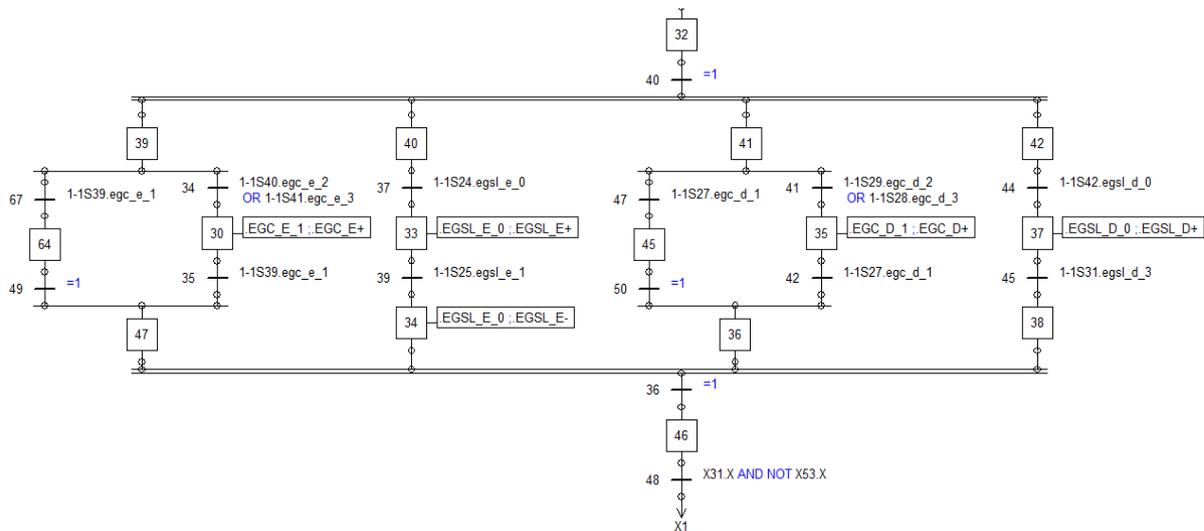


Figura 96 - Excerto do SFC que posiciona os atuadores do Estágio de Inserção de teclas

- **SFC1-F2-TESTE TECLAS:** Neste SFC posiciona-se todos os atuadores que pertencem ao estágio de teste de teclas;

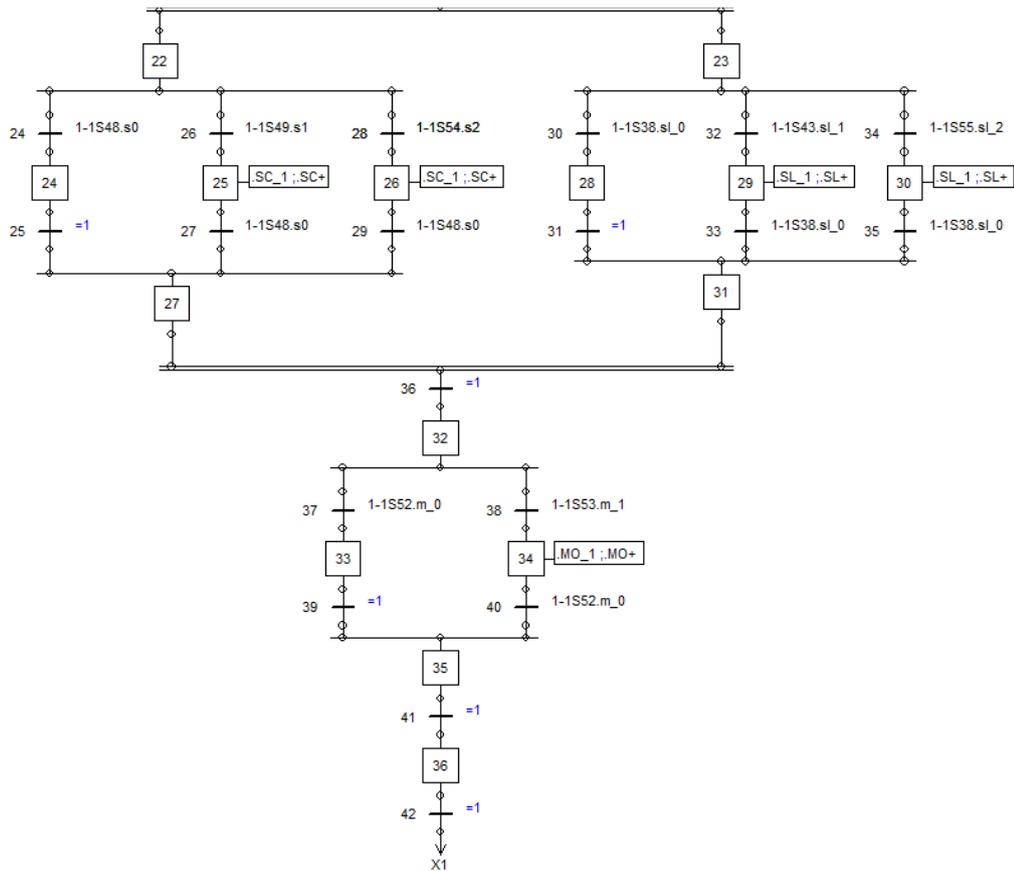


Figura 97 - Excerto do SFC responsável pela preparação dos atuadores do Estágio de teste de teclas

- **SFC2-F2-PREP-CONVEYORS:** Neste SFC, após a garantia de que não existem peças no interior da máquina, este introduz um *front* e um suporte de teclas.

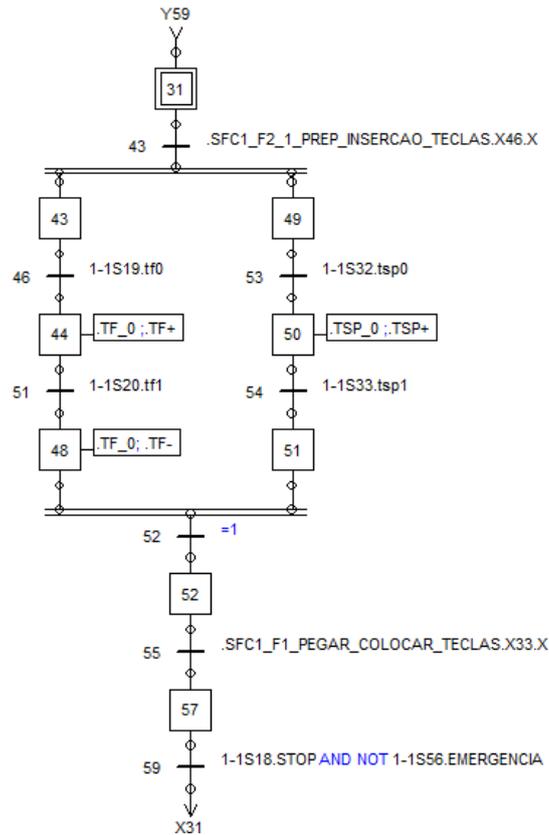


Figura 98 - SFC de entrada de peças no interior da Máquina

Após todos estes SFC terem evoluído a máquina inicia a sua produção normal, em que para este módulo existem dez SFC. A apresentação dos SFC para o módulo de produção normal será feita no Anexo A. A lista que se segue apresenta a descrição individual sucinta do que cada SFC efetua.

- **SFC1-F1-PEG-COL-TODAS-TECLAS:** Neste SFC é feita apenas a manipulação das teclas através de ventosas que estão no suporte de teclas.
- **SFC2-F1_2-SFC-POSIC-GUIAS-1º(2º e 3º)-CICLO:** Como foi dito em 6.1.5 as guias lineares tem que se posicionar em diferentes posições, para se conseguir inserir o maior numero de teclas em simultâneo. Desde modo, o 1º ciclo é para posicionar as guias no suporte de teclas e os restantes dois ciclos para inserir as teclas no *front*.
- **SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-6-TECLAS:** Após as Guias lineares estarem na devida posição são inseridas 6 teclas em simultâneo no *front*.

- **SFC2-F1_2-SFC-POSIC-GUIAS-2º-CICLO:** Funcionamento igual ao SFC2-F1_2-SFC-POSIC-GUIAS-1º CICLO

- **SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-2-TECLAS:** Neste SFC são inseridas as duas ultimas teclas no painel frontal e caso todas as teclas estejam inseridas, este tem ordem para seguir para o teste de teclas.

- **SFC2_F1_2_SFC_CONVEYOR_FRONT:** Após todas as teclas terem sido inseridas o *conveyor* avança o *front* para o estágio de teste de teclas e em simultâneo faz entrar um novo painel frontal no estágio de inserção de teclas.

- **SFC1_F1_TESTE_TECLAS:** Neste SFC efetua-se a rotação do *front* para a parede vertical e posteriormente realiza-se o teste funcional a todas as teclas. Após ter sido feito o teste, o painel frontal é novamente colocado no *conveyor* para sair da máquina e o *front* que estava na inserção de teclas deslocar-se-à para o teste de teclas.

- **SFC2_F1_2_TAPETE_SUP_TECLAS:** Após se ter efetuado a inserção de teclas em três *fronts*, este SFC dá ordem para dar entrada a um novo suporte de teclas.

- **SFC2_F1_1_SFC_PRINCIPAL:** Neste SFC faz-se a interligação de todos os SFC que pertencem ao modo de produção normal. Para além de fazer a interligação, efetua o posicionamento das guias lineares no suporte de teclas, em que o posicionamento das guias varia conforme as teclas que já tenham sido utilizadas, tal como já foi explicado em 6.1.5.

-

7.2.2.PROCEDIMENTOS DE PARAGEM DA PRODUÇÃO

Para ser efetuada a paragem da produção, esta tem de ser feita por intermédio de um Operador, através da atuação da botoneira stop. Para se dar a paragem da produção, esta só acontece quando não existirem peças no interior da máquina, ou seja, caso o operador tenha a intenção de interromper a produção mesmo que esteja um suporte de teclas com teclas para três *fronts*, a produção só irá parar quando estiverem concluídas todas as operações para os três painéis frontais.

Caso haja algum imprevisto na produção, como colisões entre atuadores, manipulação incorreta de teclas e de *fronts*, o botão de emergência deve ser imediatamente acionado. Após o botão de emergência ser acionado, terá obrigatoriamente de ser possível em qualquer etapa do SFC obter a paragem de emergência. Para se efetuar a paragem de emergência existem duas formas de a obter através da programação dos SFC, a paragem sem sequência de emergência e com sequência de emergência. [32]

Caso a paragem seja com sequência de emergência, após ser atuado o botão de emergência os atuadores efetuam movimentos determinados por/pelos SFC de emergência. [32]

No caso de a paragem ser feita sem haver sequência, após a atuação da botoneira provoca a paragem do sistema/automatismo através da inibição das ações e/ou pela paragem da evolução dos SFC. Caso a paragem esteja associada às ações, este método desativa as saídas de um estado 1 para estado 0. Este método pode ser obtido através da inserção de funções de inibição na interface com a parte operativa.

A outra possibilidade de paragem sem sequência é através da paragem da evolução, que consiste em colocar em todas as transições a emergência no estado 0 para o SFC evoluir, caso seja dada ordem para a paragem, esta fica no estado 1 e impede a evolução do SFC. O grande inconveniente neste tipo é que as ações associadas às etapas ativas permanecem validadas, o que leva a que os movimentos iniciados proseguem até que atinja a próxima etapa, o que pode causar perigos. [32]

No caso da Máquina desenvolvida a opção utilizada para tratar das situações de emergência foi a paragem sem sequência com a paragem da evolução dos SFC como a Figura 99 demonstra.

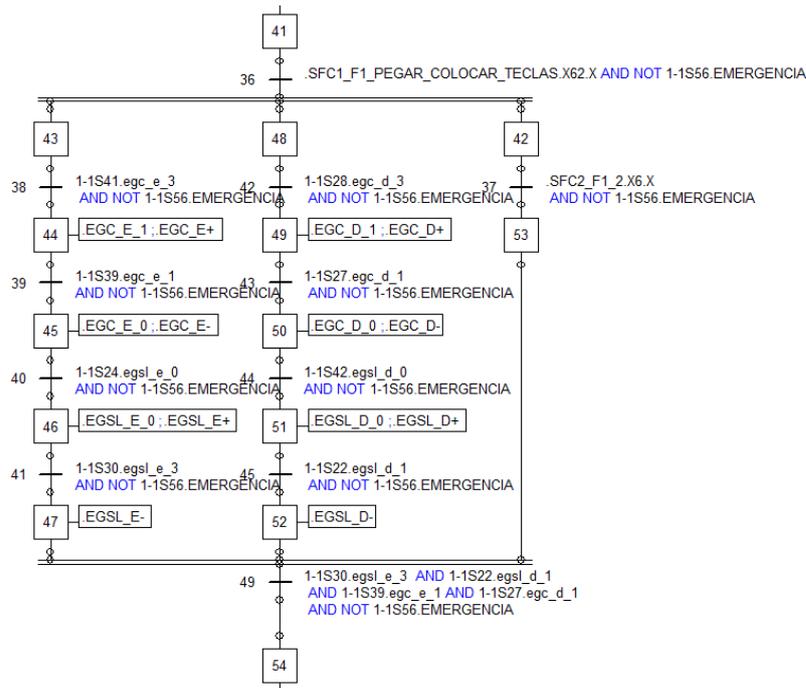


Figura 99 - Excerto do SFC principal com paragem de evolução

Escolheu-se este tipo de paragem de emergência devido ao facto de a máquina funcionar sem intervenção humana, e ter a toda à sua volta proteções que impedem os operadores de interferirem no funcionamento e desta forma evitar custos adicionais num PLC usado para os SFC de segurança. No entanto, para efetuar este tipo de paragem, a melhor maneira de o fazer é a partir da atuação da emergência, atuar sobre a válvula de corte geral de ar comprimido e desta forma os atuadores permaneciam na posição sem evoluir para o estado final da ação onde foi dada ordem de paragem.

7.2.3.Coordenação dos SFC

Para o controlo da máquina existem inúmeros SFC e como tal é necessário interliga-los da forma mais correta para que a sequência de trabalho seja a desejada. Para coordenar os SFC existem dois métodos, o método de coordenação vertical [32] e coordenação horizontal. [32]

No projeto realizado usou-se o método de coordenação vertical em que este método é hierárquico e há vários níveis de decisão. Assim sendo, cada tarefa pode controlar qualquer tarefa num nível inferior, mas nunca tarefas ao mesmo nível. [32]

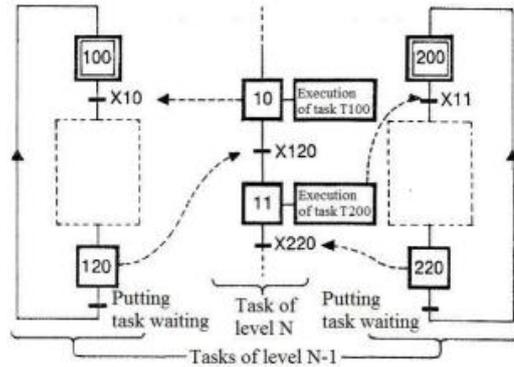


Figura 100 - Exemplo de coordenação vertical [33]

Com esta abordagem hierárquica, é possível ter uma visão global sobre o sistema e, também, uma visão local bem detalhada do sistema. O processo de sincronização é ilustrado de forma pormenorizada na Figura 100, na ordem específica a evolução de cada tarefa. Após o fim de cada tarefa, o nível mais elevado e nos seus próximos passos vai lançar outra tarefa e assim sucessivamente [32].

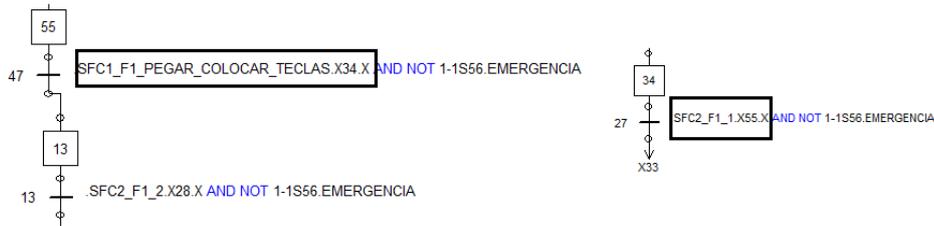


Figura 101 - Exemplo de coordenação vertical nos SFC desenvolvidos em *Automation Studio*

7.3. AUTÓMATO SELECIONADO

O PLC selecionado, foi um autômato da Siemens, o *Simatic S7-400 CPU 412-2* [34]. Este tipo de autômato funciona segundo comunicação Profibus DP [35].

Profibus é um protocolo de comunicação extensivamente usado no mercado para a indústria automatizada, que trabalha em redes de campo aberto independentes em que a interface entre estes permite uma grande variedade de aplicações [35].

Tabela 29 - Principais Propriedades do S7 400 CPU 412-2

S7-400 CPU 412-2	
Programa	STEP 7
Memória	
Memória de trabalho	
Integrada	256 KB para código
	256 KB para dados
Memória temporária	512 KB RAM
Tempos de processamento	
Operações dos Bits	75 ns
Operações de Words	75 ns
Temporizadores e Contadores	
Número Máximo de contadores	2048
Memória retentiva	Desde C 0 até C 2047
Intervalo de contagem	0 até 999
Número máximo de temporizadores	2048
Memória retentiva	Desde T 0 até T 2047
Intervalo de tempo	10 ms até 9990 ms
Saídas e Entradas	
Total de areas de endereço I/O	4 KB / 4 KB

Para se efetuar a programação do PLC utilizou-se a linguagem de programação Ladder, na qual se traduziu as ações do SFC elaborados para a linguagem Ladder, com recurso ao programa da Siemens, TIA Portal V11 [29].

Este software da Siemens permite a programação de controladores lógicos programáveis (PLC) que permite programar várias gamas de PLC da marca Siemens bem como trabalhar em ambientes gráficos para a programação de consolas de interface Homem-Máquina.

7.4. Programação Ladder

Para se efetuar a programação em ladder utilizou-se o algoritmo apresentado no Capítulo 4.3 em que se converte o formalismo SFC (IEC 61131-3), ou seja os SFC elaborados no *Automation Studio*, e traduz-se algebricamente para que as equações obtidas sirvam de base à obtenção de programas em Linguagem Ladder que se pretende implementar no TIA Portal.

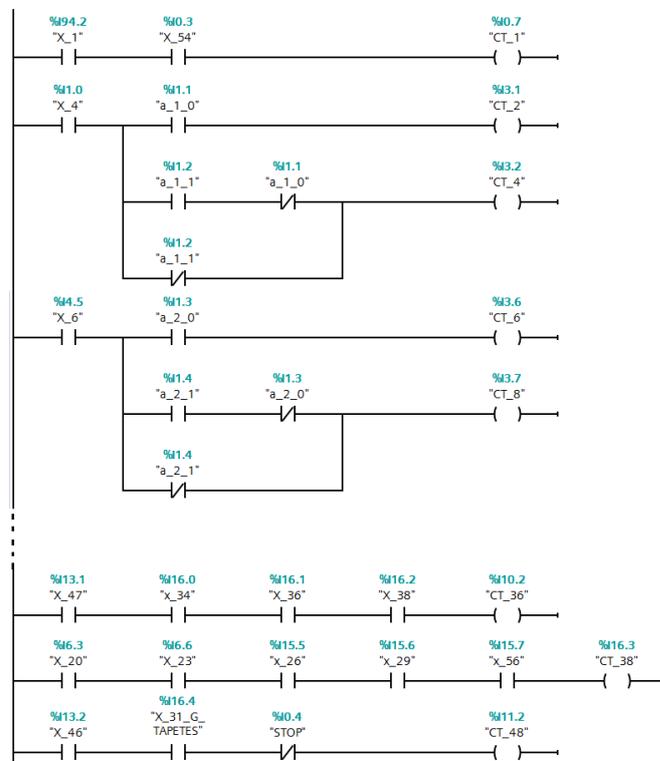


Figura 102 - Excerto de um Diagrama de Ladder obtido no TIA Portal V11

A partir do algoritmo obteve-se as equações algébricas que são utilizadas para efetuar a modelação do PLC S7-412-2 DP via TIA Portal da Siemens (Anexo B).

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSÕES

O principal objetivo das empresas hoje em dia passa por otimizar todos os seus processos de maneira a conseguir obter tempos de produção mais rápidos, de modo a aumentar a produção e por consequente tornar os seus produtos mais competitivos.

É com este intuito que a realização desta Dissertação de Mestrado se concretiza, em que através da otimização de um equipamento já existente, conjugando o conceito do dispositivo existente com um novo que consiga efetuar mais operações e que acrescente maior valor acrescentado a um determinado produto. Contudo, o projeto desenvolvido não foi construído fisicamente, obtendo-se no final apenas um estudo conceptual de num único dispositivo conseguir englobar a inserção automatizada de teclas num painel frontal e posteriormente efetuar o teste funciona às teclas.

Para a construção do projeto conceptual foram usados atuadores e tecnologias que permitam obter um tempo de ciclo mais reduzido em relação ao tempo atualmente praticado até o painel frontal estar apto a seguir para o cliente. O tempo total de ciclo calculado para o projeto conceptual é de 17 segundos o que comparado com os 38 segundos para efetuar o teste funcional de teclas a um *front* e inserir teclas manualmente em duas unidades, é uma redução bastante significativa.

A otimização dos 17 segundos conseguidos no projeto conceptual foi possível devido à boa sequenciação de trabalho elaborada no *Automation Studio*, em que se optimizou todos os atuadores para que estivessem o menor tempo possível parados de maneira a que não houvesse tempos mortos. Após a validação da sequência de trabalho, a programação do PLC da *Siemens* apenas foi traduzida para linguagem *Ladder*, com base nos SFC elaborados previamente no *Automation Studio*, ficando assim a máquina pronta na sua totalidade para partir para a sua fabricação e validação.

No futuro se for do interesse da *Fehst*, seria positivo que a construção do dispositivo avançasse, embora fosse necessário efetuar um estudo prévio acerca da alimentação de painéis frontais e de suporte de teclas, visto que para a Dissertação este ponto não foi aprofundado, pelo que no futuro seria pertinente automatizar toda a linha de montagem de um futuro produto, de acordo com a linha já existente (Ver Figura 59).

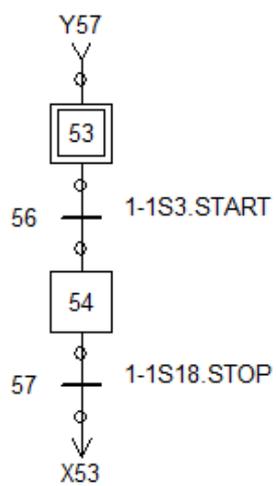
Na parte do projeto de Automação seria importante ser aprofundado a programação dos Servo Motores, uma vez que a programação destes foi equiparado com um atuador com várias posições intermédias, efetuar a programação da consola de interface com o Operador e elaborar mais modos de funcionamento da máquina, como por exemplo um modo manual de movimentação dos atuadores.

REFERÊNCIAS

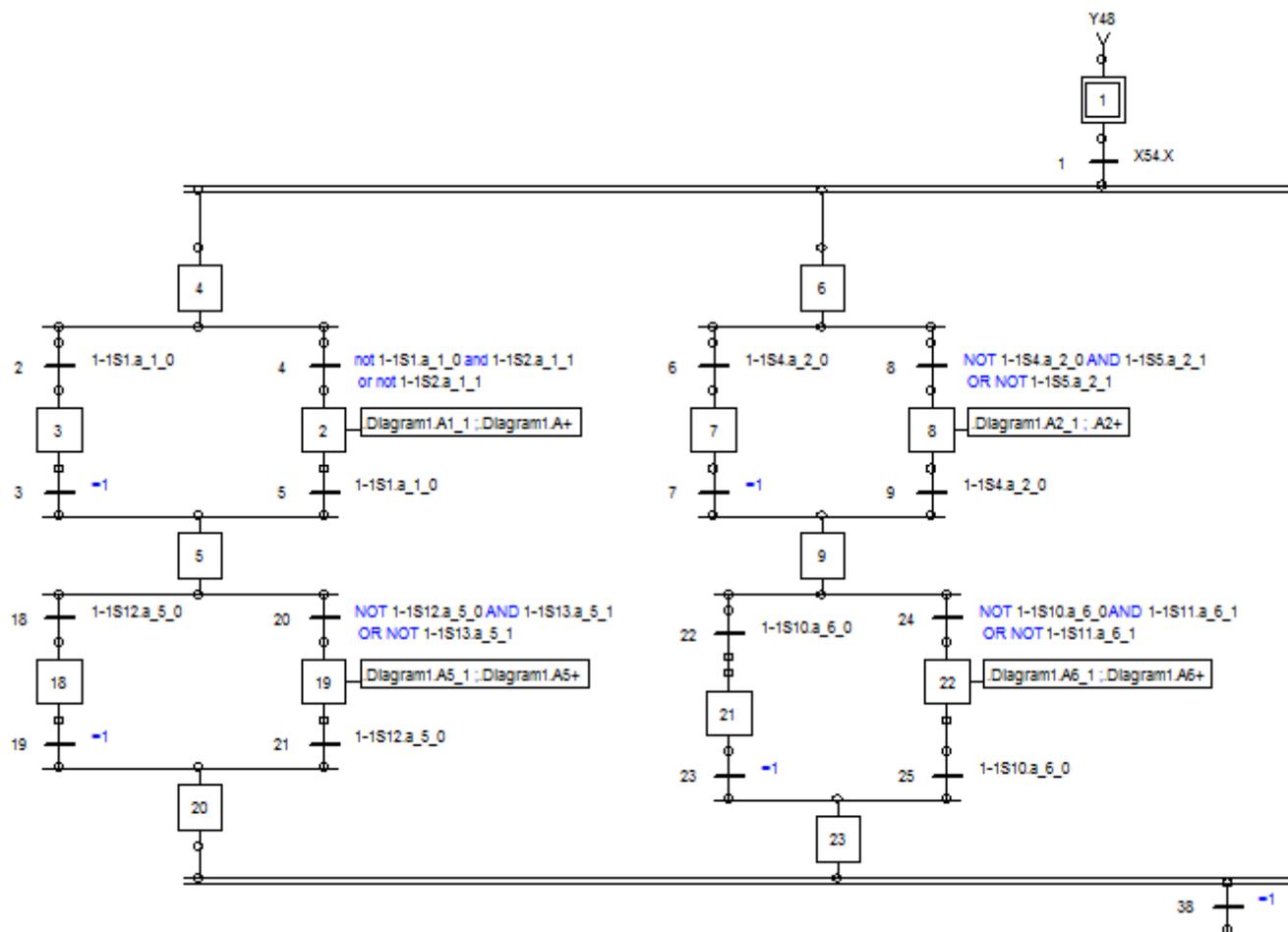
- [1] Fehst Components, disponível a 18 de Novembro de 2013 em: <http://www.fehstgroup.com/Main.html>.
- [2] SMAC-MCA, "SMAC-LAL", disponível a 23 de Maio de 2013 em: www.smac-mca.com.
- [3] Asimow, M., *"Introduction to Design"*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- [4] Cross, Nigel., *"Engineering Design Methods, Strategies for Product Design"*, 3th Edition, The Open University, Milton Keynes, UK.
- [5] Dieter, G., Schmidt, L., *"Engineering Design"*, 4th Edition, Washington DC, McGraw-Hill, 2011.
- [6] Machado, J., *"Concepção e realização do Comando Operacional de Sistemas Industriais de Eventos Discretos"*, Universidade do Minho, 2001.
- [7] Machado, J., *"Automação de Sistemas a Eventos Discretos"*, Universidade do Minho
- [8] Automation Studio, Fabricante: Famic Technologies, versão 5.0, disponível a 09 de 11 de 2013 em: www.automationstudio.com.
- [9] Wikipedia, *"Automation Studio"*, disponível a 09 de Novembro de 2013 em: http://en.wikipedia.org/wiki/Automation_Studio.
- [10] Machado, J, C.P. Leão, et al., *"Design and Development of an Industrial Network Laboratory"*, Guimarães : Universidade do Minho.
- [11] BORGES, P., *"Software Seguro para Sistemas Mecatrónicos Temporizados"*, Dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, 2010
- [12] R. Alur, L. Dil, *"Automata for Modelling Real-Time Systems"*, Theoretical Computer Science, 1994.
- [13] SolidWorks 2013, Fabricante: Dassault Systemes, versão SP2, disponível em <http://www.solidworks.com>.
- [14] Festo, "Festo Pneumatic" disponível a 12 de Janeiro de 2013 em: http://www.festo.com/cms/en-gb_gb/14573.htm.
- [15] Hesse, S., *"Clamping with compressed air and vacuum"*, Esslingen, Festo, Blue Digest on Automation, 2001.
- [16] Avitech, disponível a 16 de Fevereiro de 2013 em: www.avitechhp.com.br/MyImages/camozzi_ventosas_planas_serie_vtcf.jpg.
- [17] Avitech, disponível a 18 de Novembro de 2013 em: http://www.avitechhp.com.br/MyImages/camozzi_ventosas_planas_serie_vtof.jpg.
- [18] Avitech, disponível a 18 de Novembro de 2013 em: http://www.avitechhp.com.br/MyImages/camozzi_ventosas_de_foles_serie_vtcn.jpg.

- [19] Campilho, A., “*Medição e o Erro de Medição*”, Porto: FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [20] SMAC-MCA, “SMAC Applications”, disponível a 23 de 05 de 2013 em: <http://www.smac-mca.com/applications.php>.
- [21] Linear Motion Tips, disponível a 18 de Novembro de 2013 em: <http://www.designworldonline.com/uploads/ImageGallery/plb-actuator2.jpg>.
- [22] Brighentti, disponível a 18 de Novembro de 2013 em: <http://www.brighentti.com.br/Portals/0/PropertyAgent/432/Images/186.jpg>.
- [23] Rocha, Joaquim, “Servo Acionamento”, Ministério da Educação, Universidade Tecnológica Federal do Panamá, disponível a 16 de Março de 2013 em: pessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/arquivos/Acionamento_06_Servomotores.pdf.
- [24] ABB, “*ABB Documentation*” disponível a 24 de Abril de 2013 em: <http://www.abb.pt/>.
- [25] Firoozian, R., “*Servo Motors and Industrial Control Theory*”, Springer, Mechanical Engineering Series. 978-0-387-85458-8.
- [26] Acarnley, P. “*Stepping Motors, a guide to theory and practice.*”, Institution Engineering, 2007.
- [27] Brites, G., Almeida Santos, F., Puga, V., “*Motor de Passo*”, Universidade Federal Fluminense.
- [28] IFM, “*Processamento industrial de imagens*” disponível a 27 de Setembro de 2013 em: <http://www.ifm.com/ifmpt/web/news/der-vision-sensor-nimmt-ihre-produktion-unter-die-lupe.html>.
- [29] TIA Portal, Fabricante: Siemens, versão V11, disponível a 11 de Novembro de 2013 em: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/tia-portal/controller-sw-tia-portal/Pages/Default.aspx>.
- [30] Schneider Electric, “*Schneider Electric*”, disponível a 13 de Junho de 2013 em: www.schneider-electric.com.
- [31] Siemens Automation, “*Human Machine Interface*” disponível a 13 de Junho de 2013 em: www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/operator-interfaces/hmi-comfortpanels
- [32] Machado, J., Seabra E., “*A Systematized approach to obtain dependable controllers specifications*” Universidade do Minho, 2010.
- [33] Siemens Automation, “*Standard CPU's*”, disponível a 02 de Maio de 2013 em: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-400/cpu/standard-cpus/pages/default.aspx#SIMATIC%20S7-400%20CPU%20412-2%20>.
- [34] Machado, J., Seabra E., “*A Systematized approach to obtain dependable controllers specifications*” Universidade do Minho, 2010.
- [35] Machado, J, C.P. Leão, et al., “*Design and Development of an Industrial Network Laboratory*”, Guimarães, Universidade do Minho.

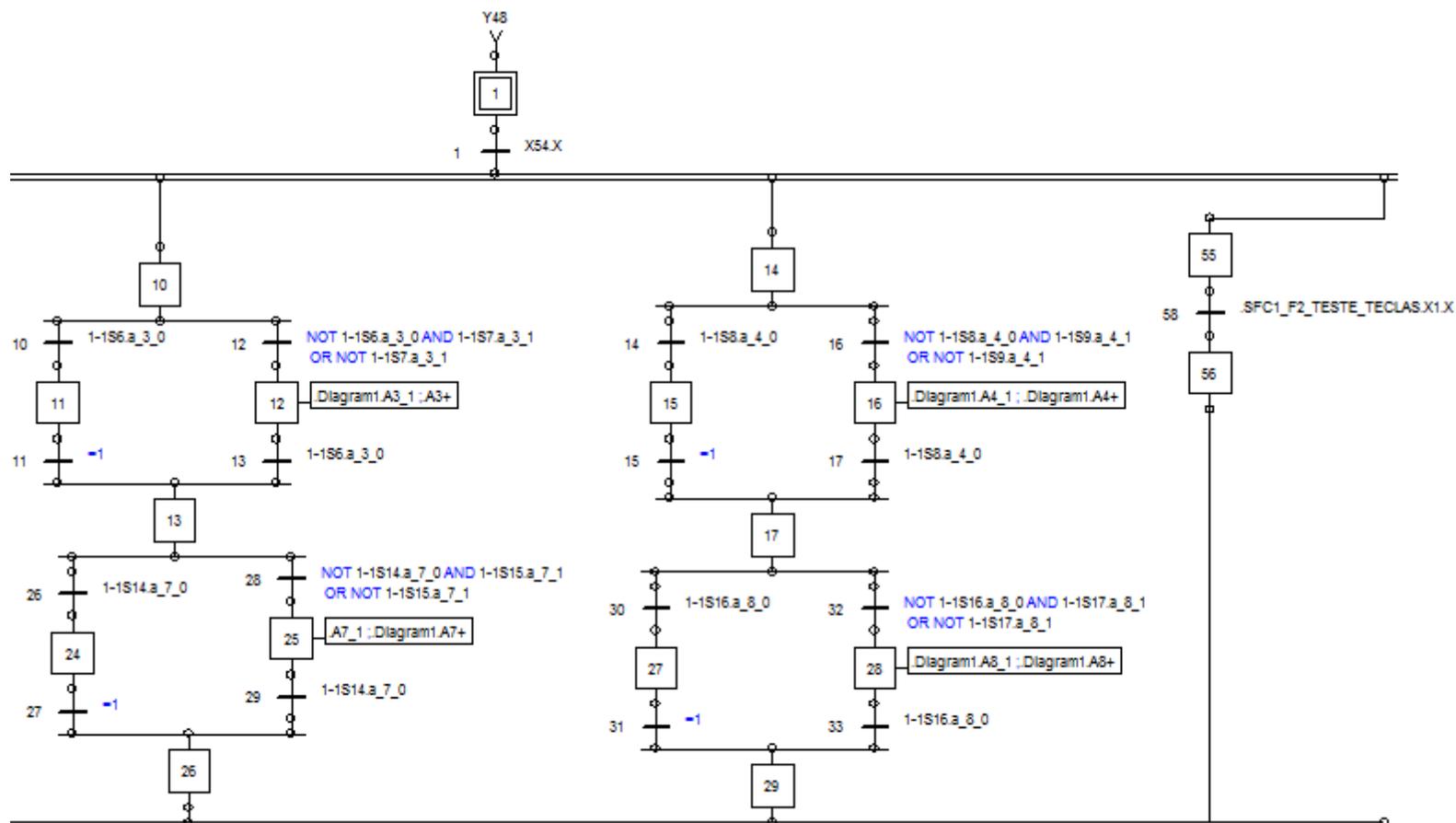
**ANEXO A – SIMULAÇÃO DOS SFC [IEC 61131-3] OBTIDOS NO
*AUTOMATION STUDIO***

A1. SFC1-F2-START/STOP

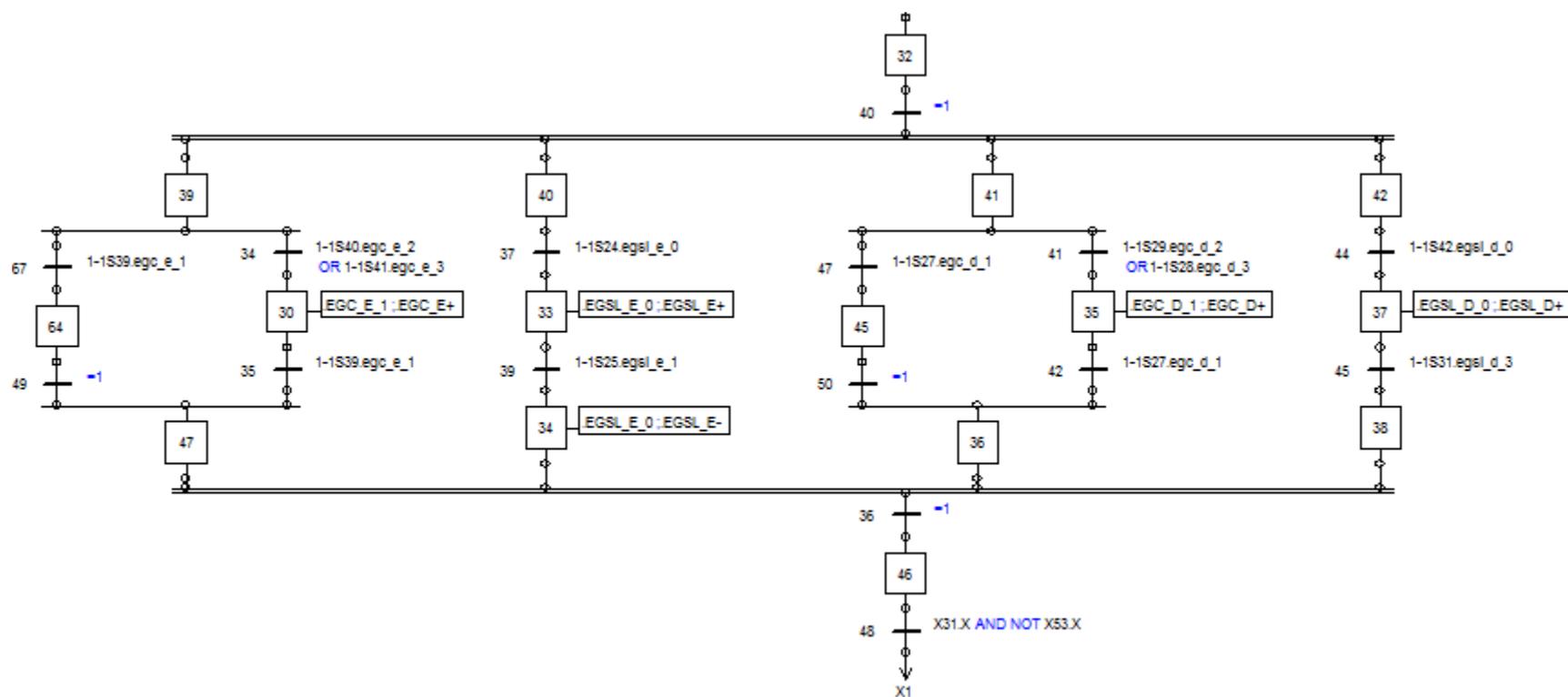
A2. SFC1-F2-PREPARACAO-INS. TECLAS



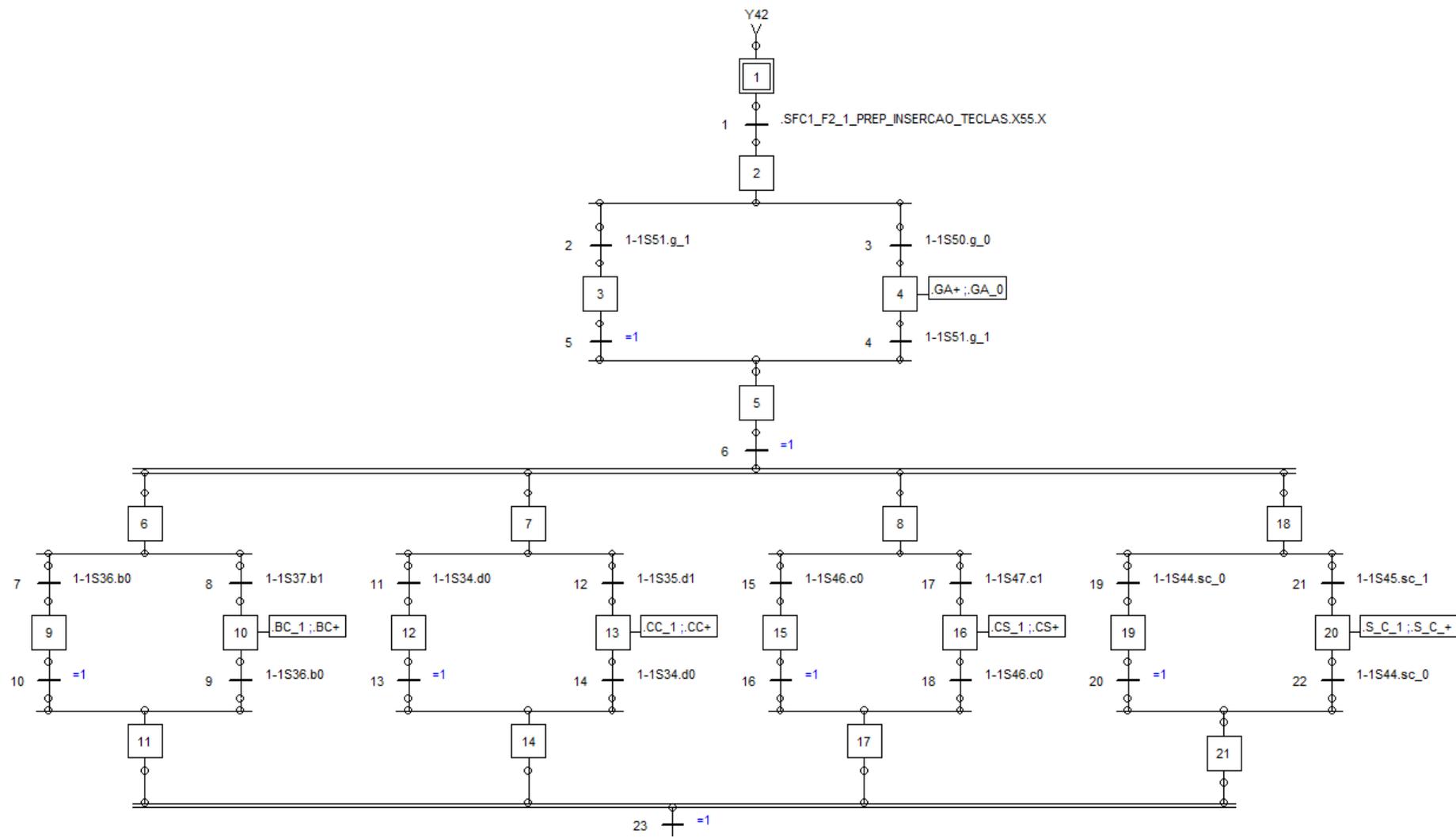
A2. SFC1-F2-PREPARACAO-INS. TECLAS (CONTINUAÇÃO)



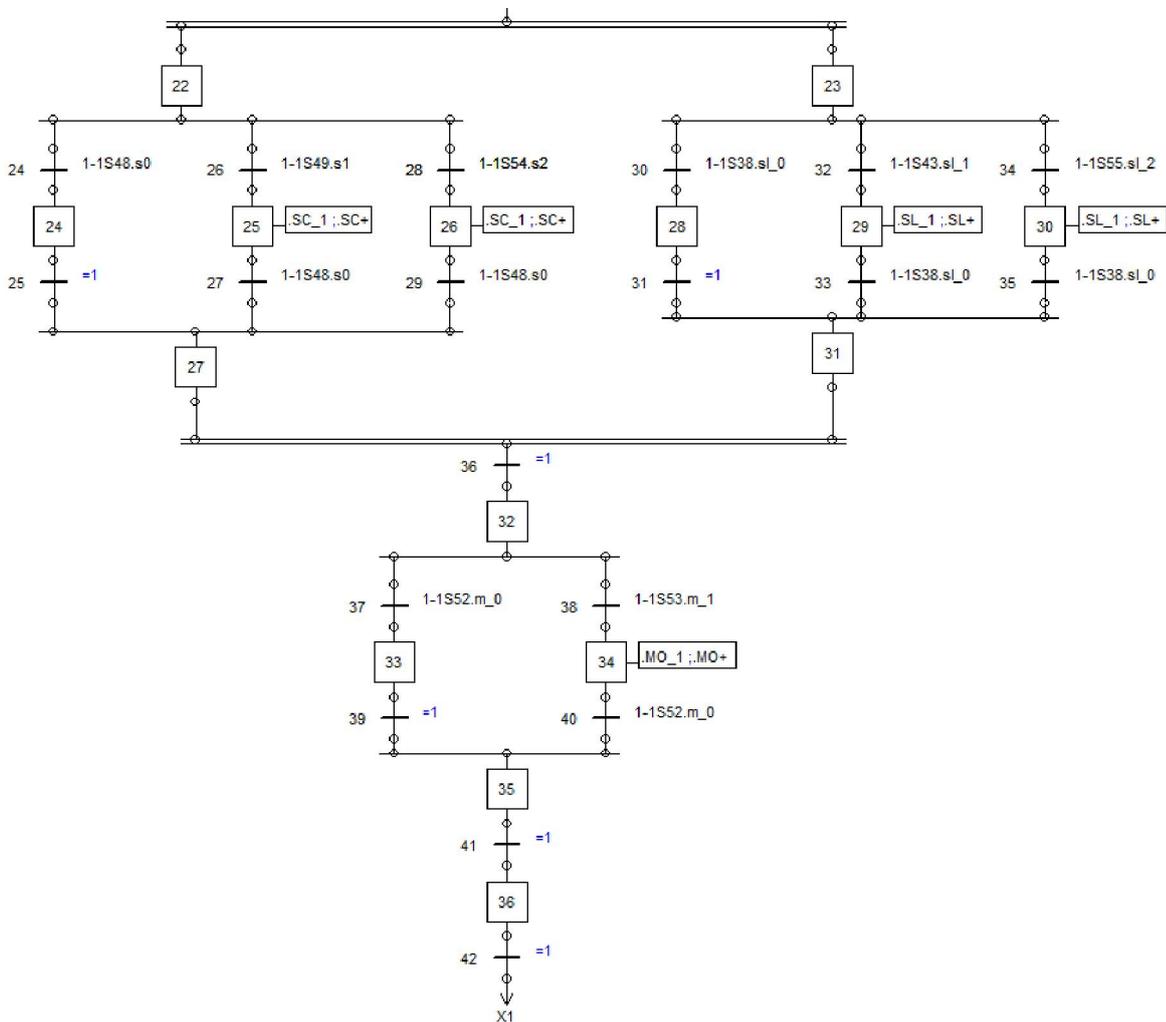
A2. SFC1-F2-PREPARACAO-INS. TECLAS (CONTINUAÇÃO)



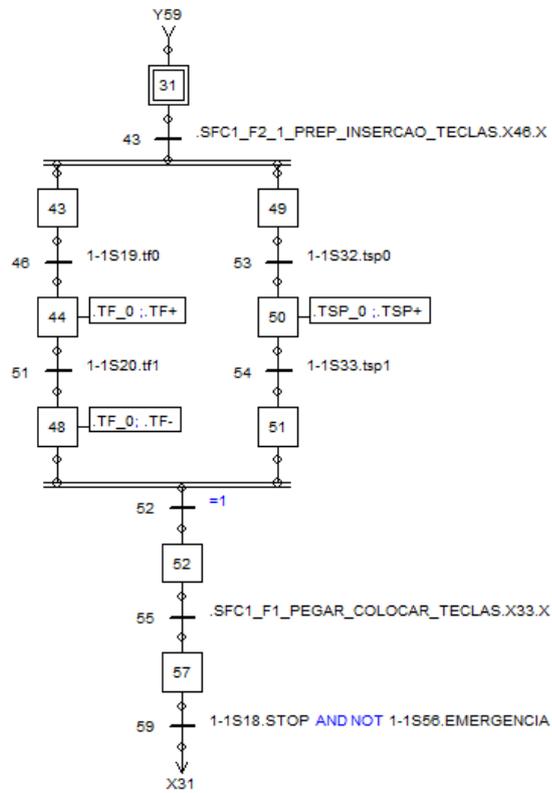
A3. SFC1-F2-TESTE TECLAS



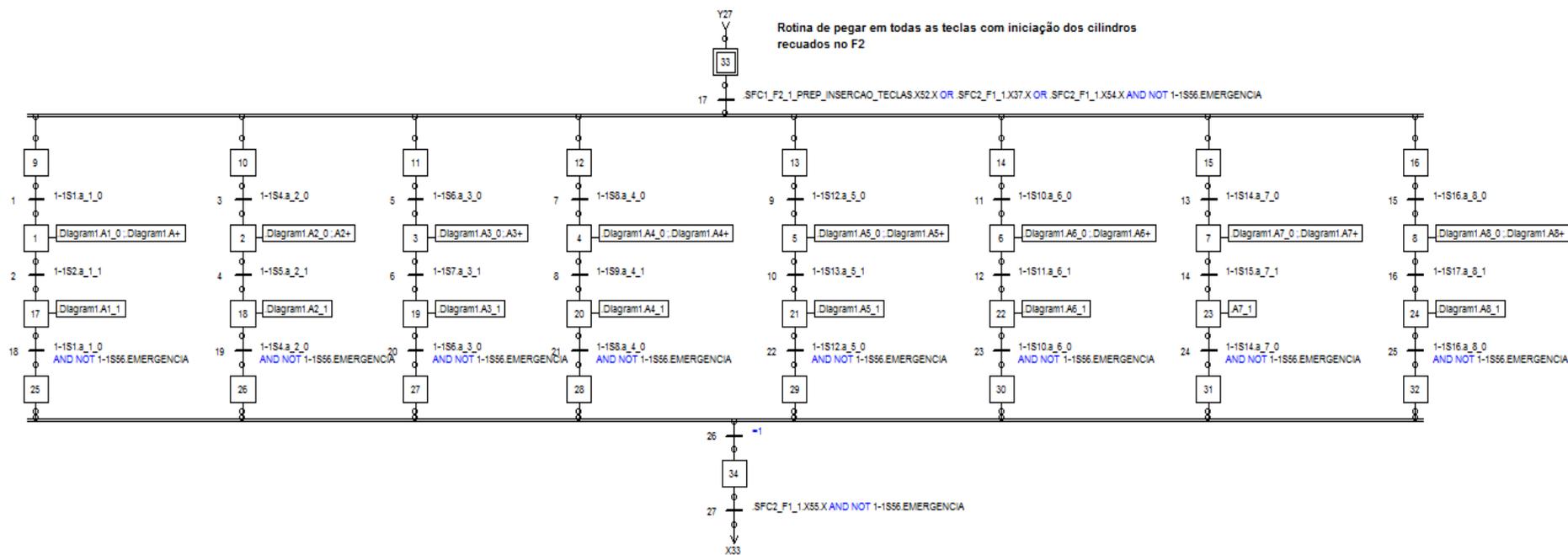
A3. SFC1-F2-TESTE TECLAS (CONTINUAÇÃO)



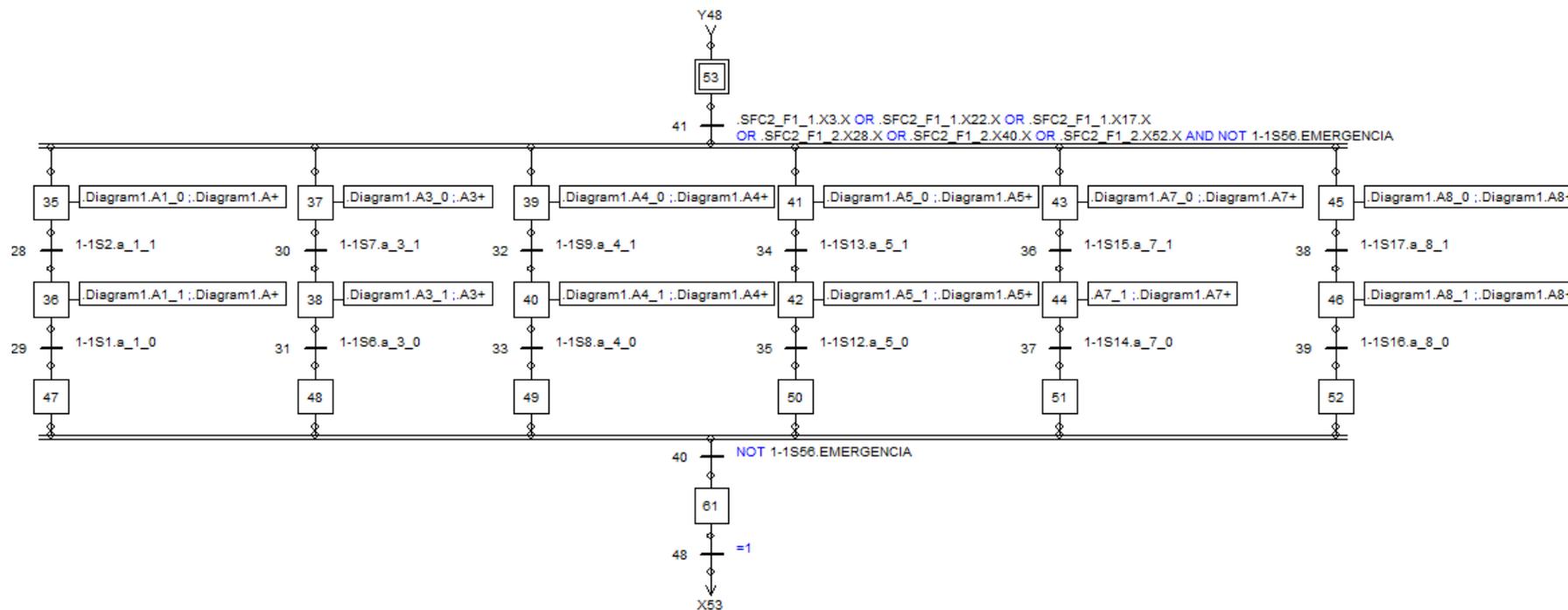
A4. SFC2-F2-PREP-CONVEYORS



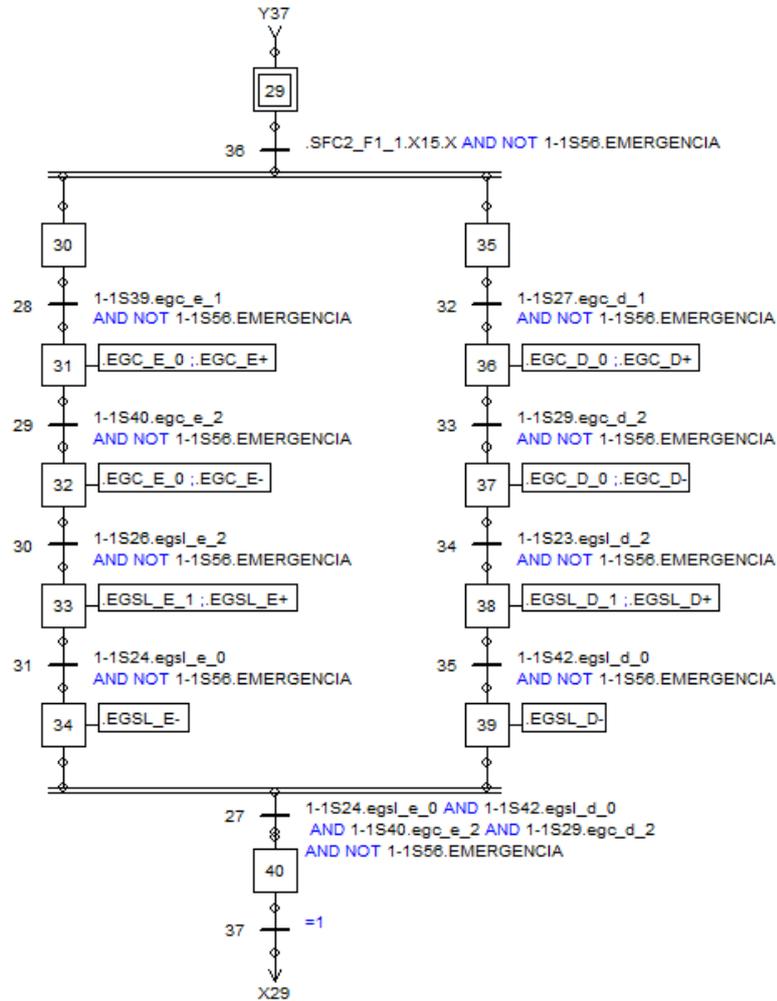
A5. SFC1-F1-PEG-COL-TODAS-TECLAS



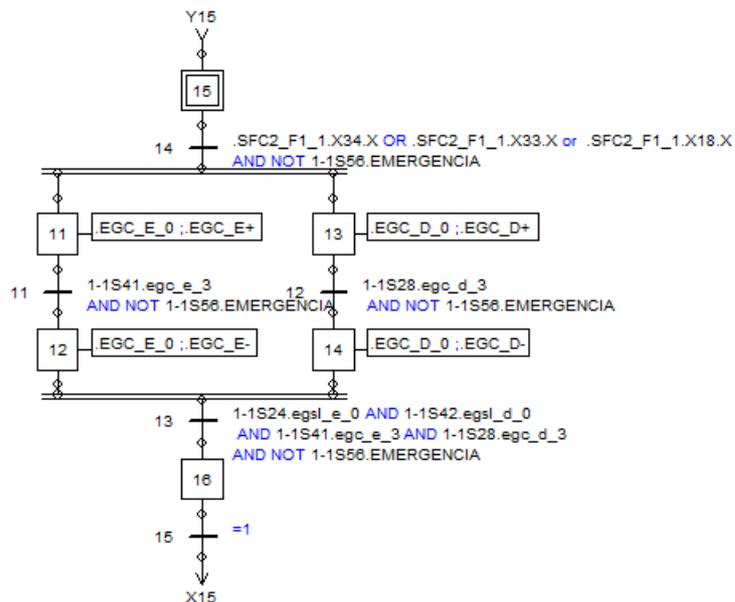
A6. SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-6-TECLAS



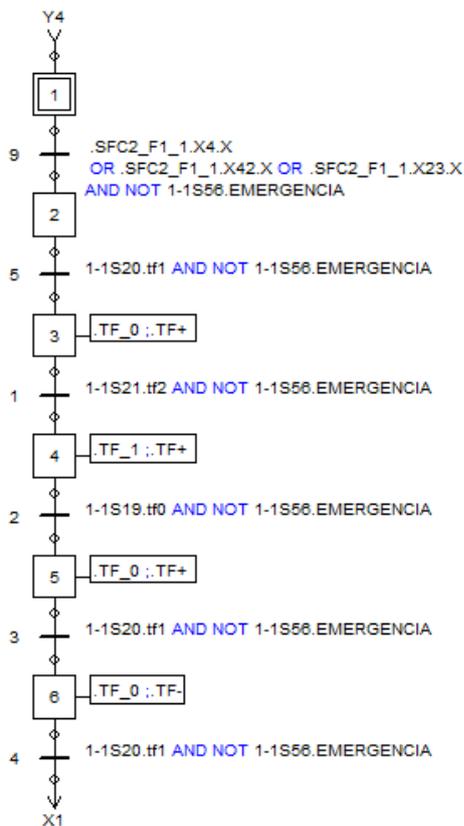
A7. SFC2-F1_2-SFC-POSIC-GUIAS-2º-CICLO



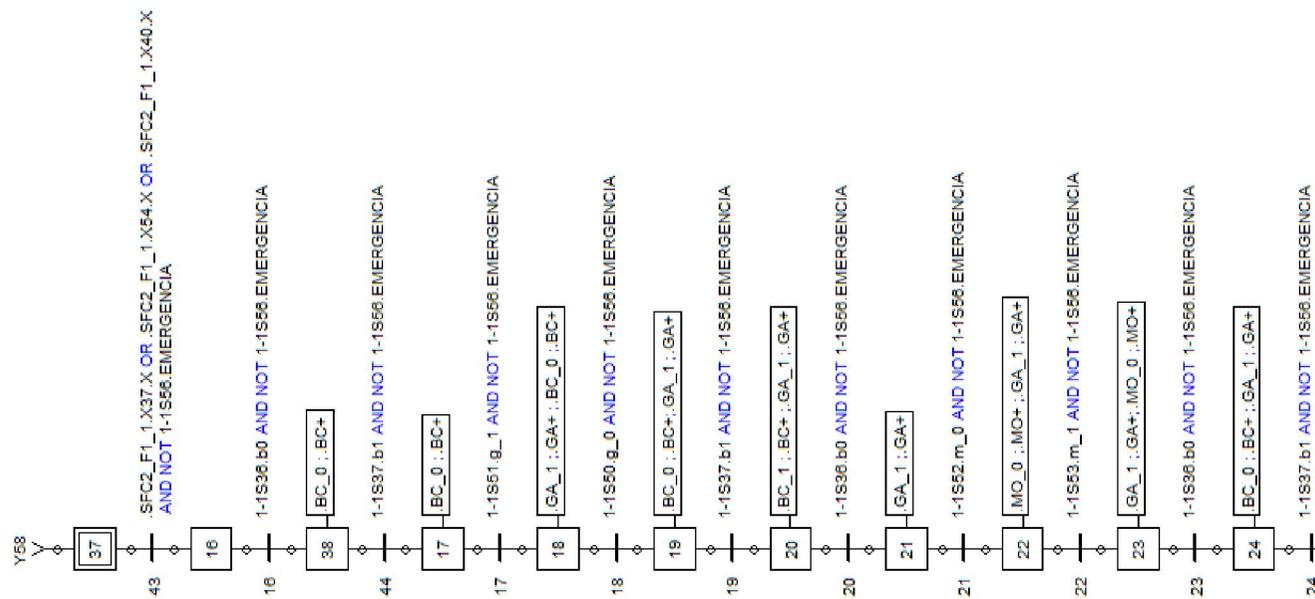
A8. SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-2-TECLAS



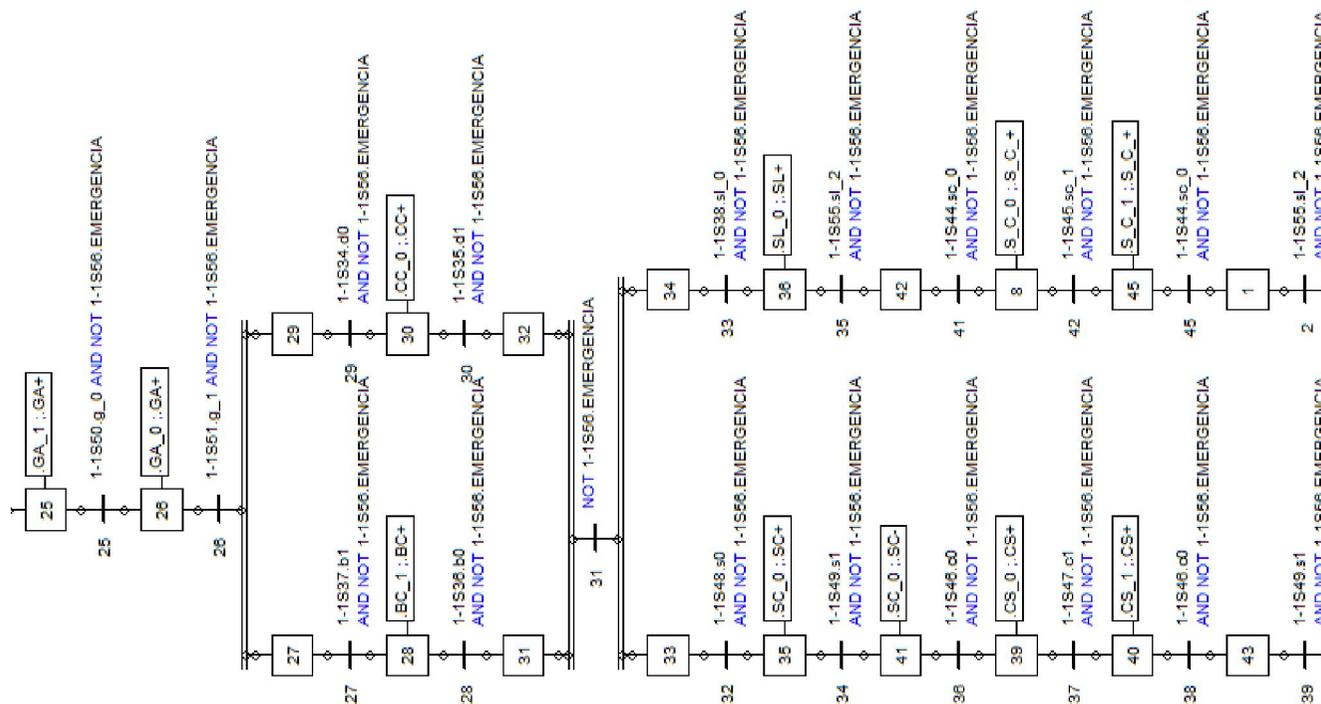
A9. SFC2-F1-2-SFC-CONVEYOR_FRONT



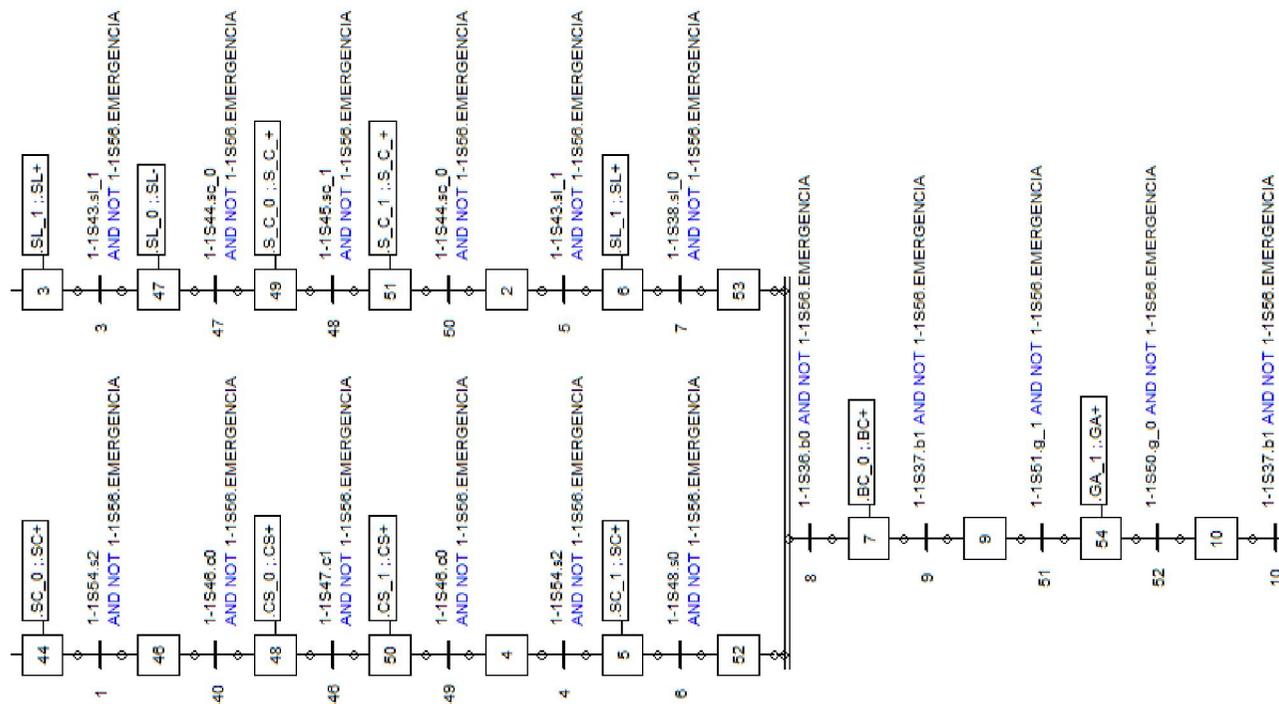
A10. SFC1-F1-TESTE-TECLAS



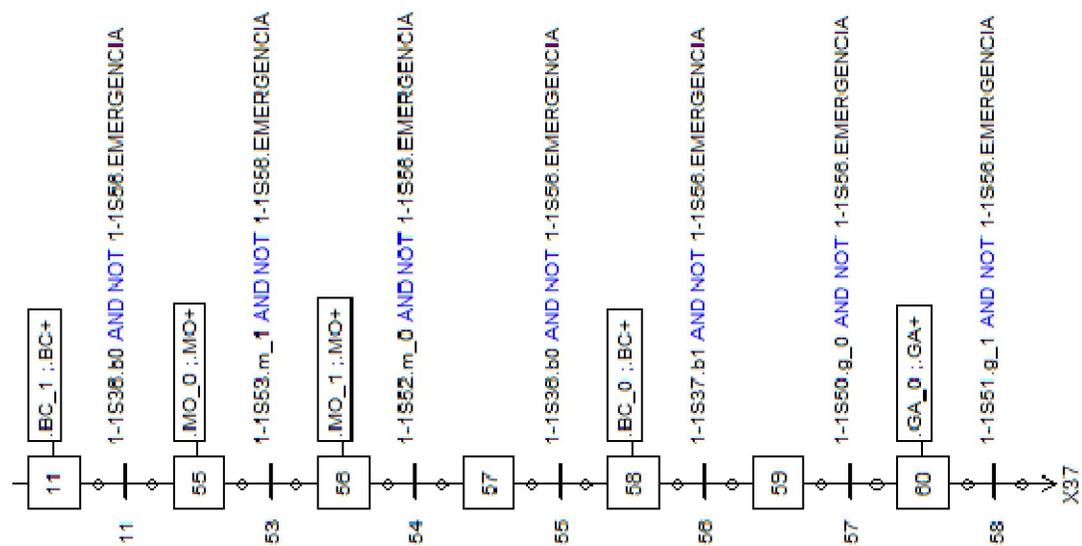
A10. SFC1-F1-TESTE-TECLAS (CONTINUAÇÃO)



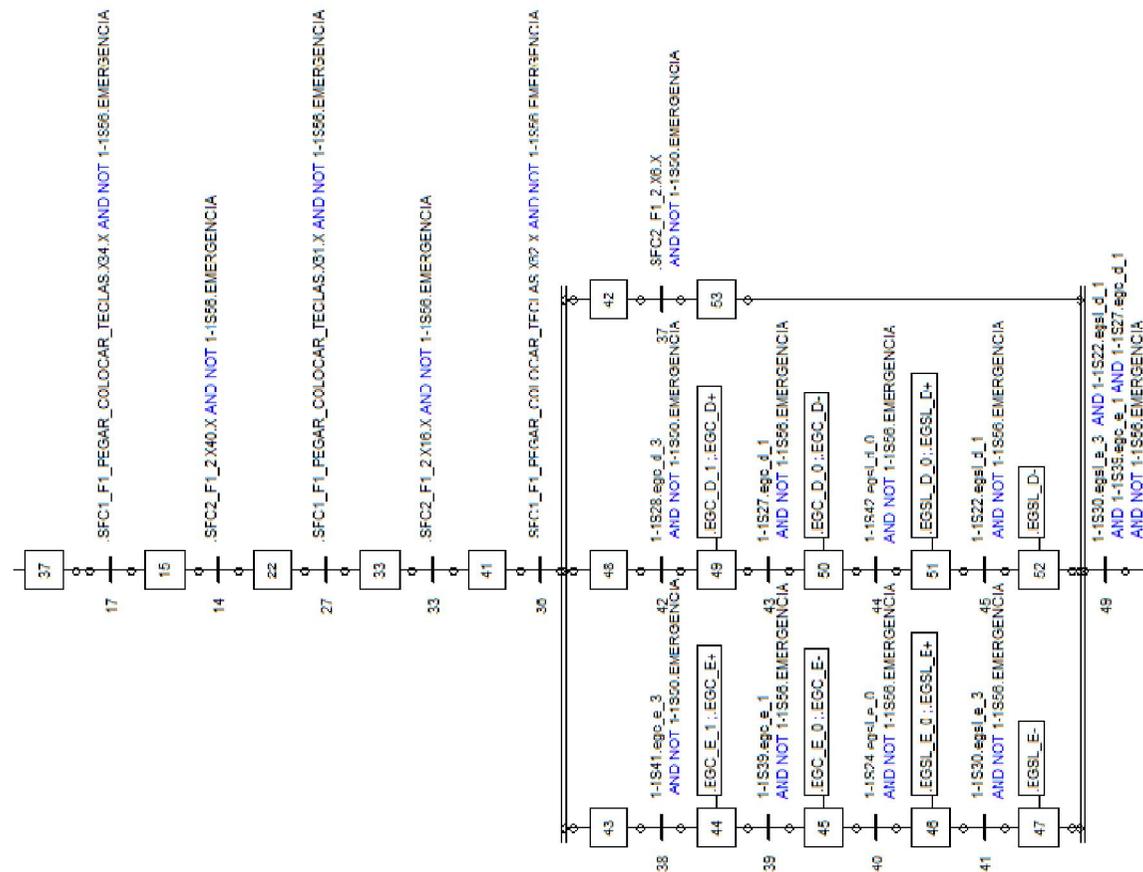
A10. SFC1-F1-TESTE-TECLAS (CONTINUAÇÃO)



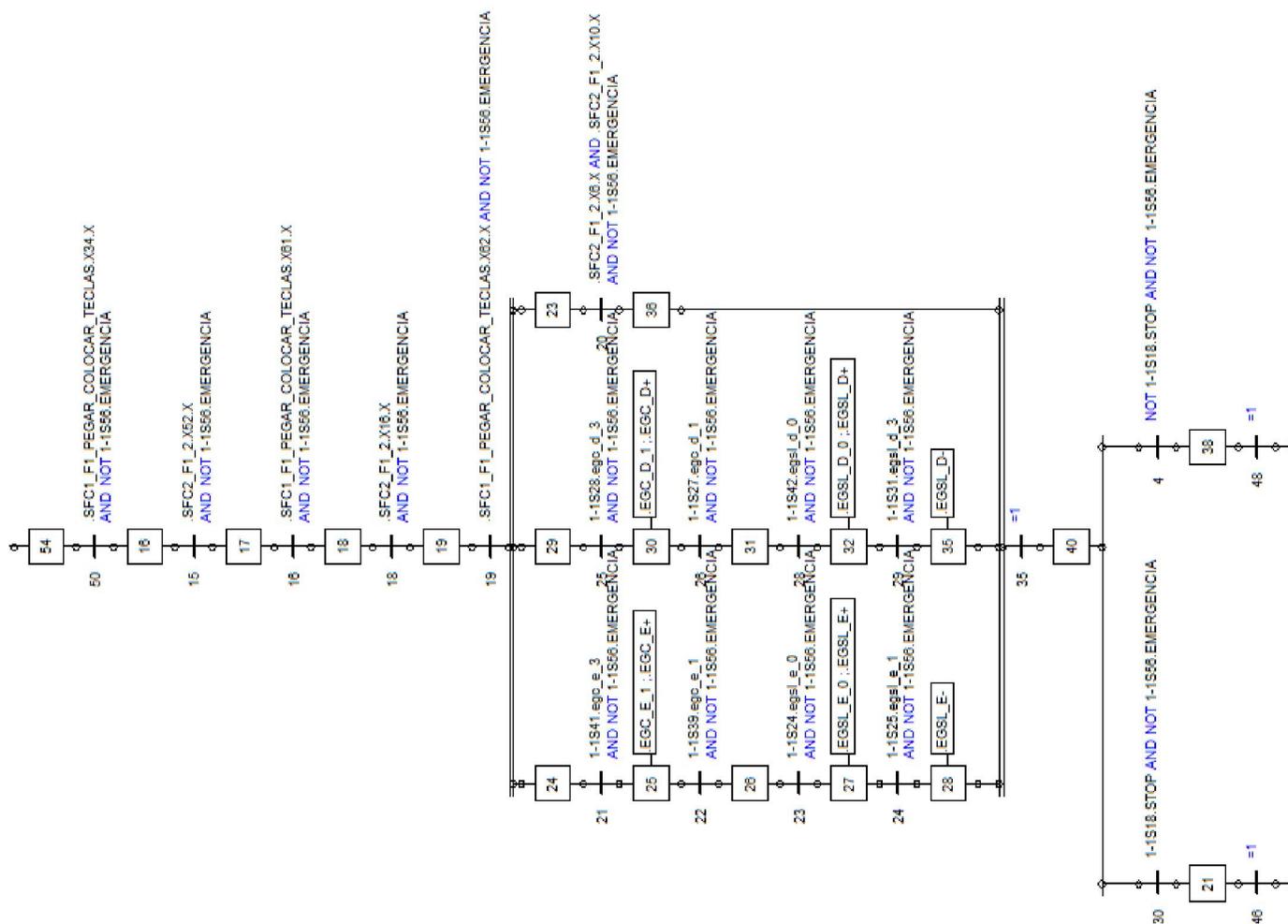
A10. SFC1-F1-TESTE-TECLAS (CONTINUAÇÃO)

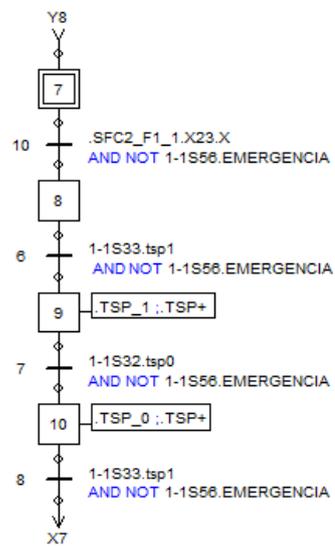


A11. SFC2-F1-1-SFC_PRINCIPAL (CONTINUAÇÃO)



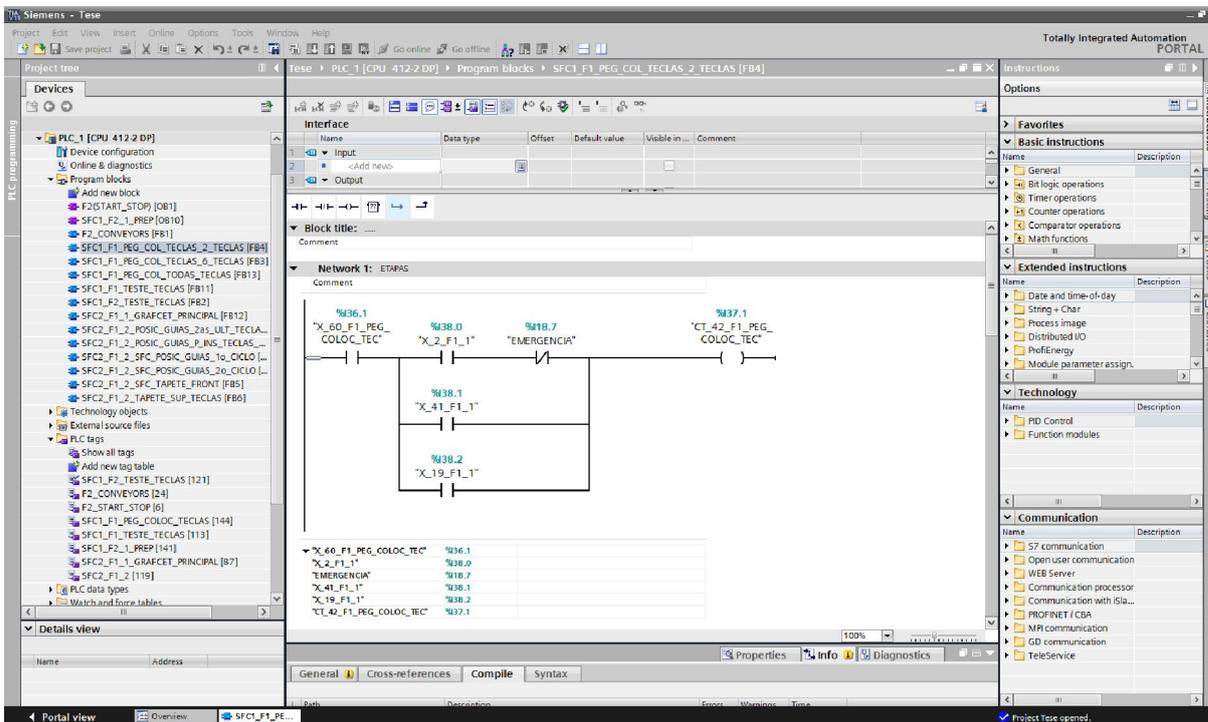
A11. SFC2-F1-1-SFC_PRINCIPAL (CONTINUAÇÃO)



A12. SFC2-F1-2-TAPETE_SUP_TECLAS

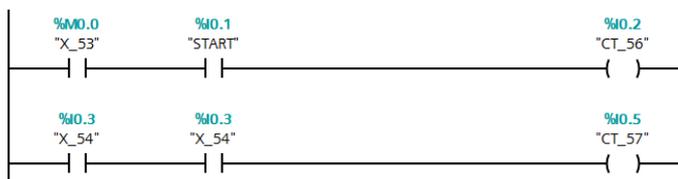
**ANEXO B – DIAGRAMAS DE LADDER OBTIDOS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO
TIA PORTAL V11**

B1. AMBIENTE GRÁFICO DO TIA PORTAL V11

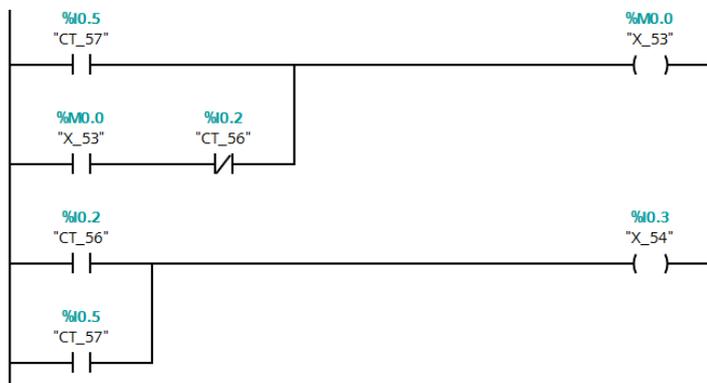


B2. DIAGRAMAS DE LADDER PARA O SFC1-F2-START/STOP

B2.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES

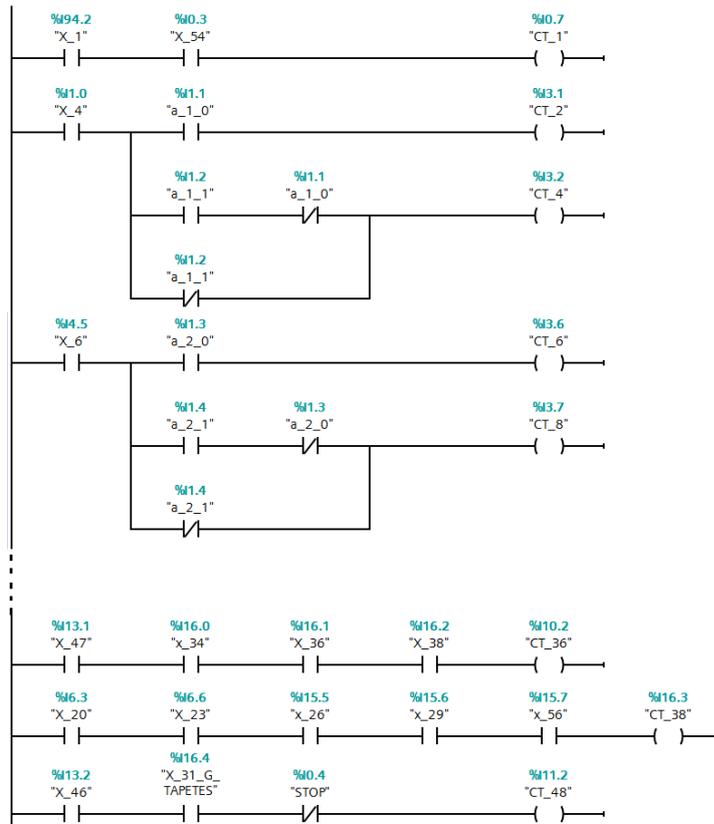


B2.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

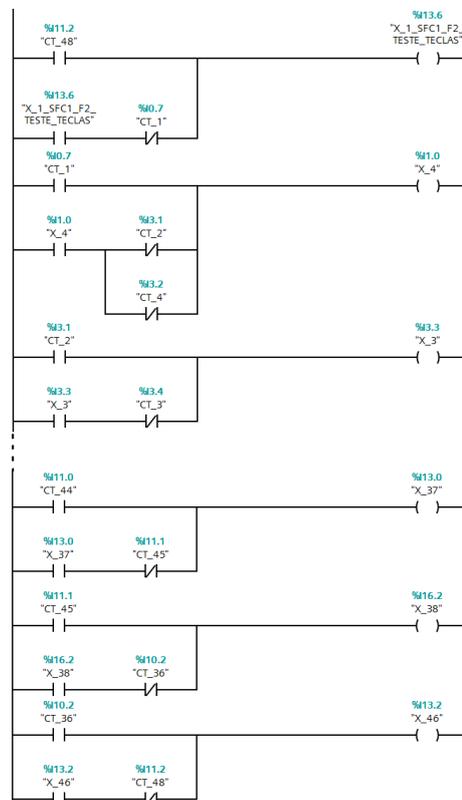


B3. SFC1-F2-PREPARACAO-INS. TECLAS

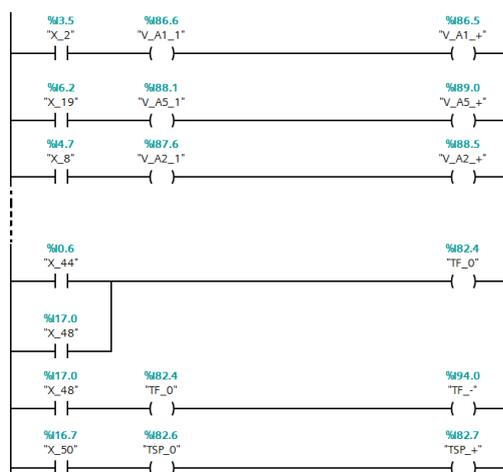
B3.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B3.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

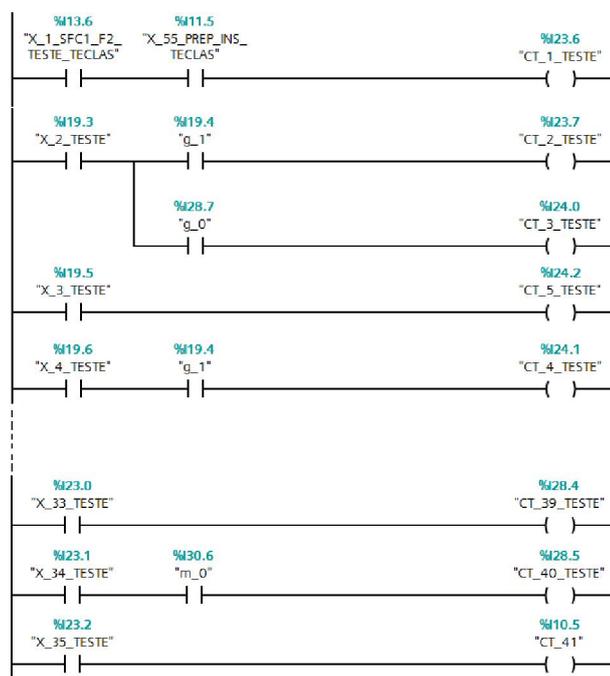


B3.3. AÇÕES

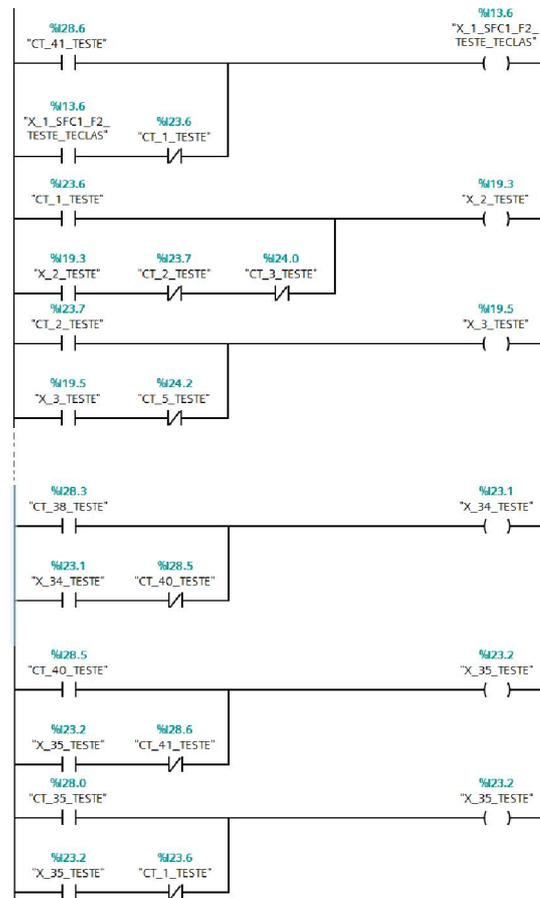


B4. SFC1-F2-TESTE TECLAS

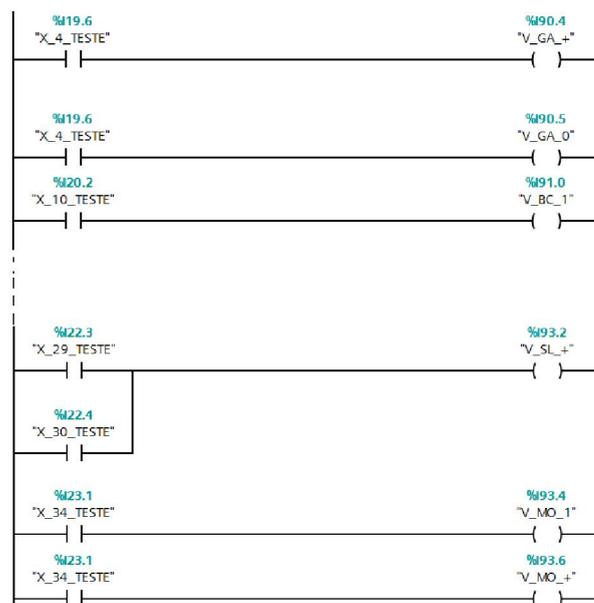
B4.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B5.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

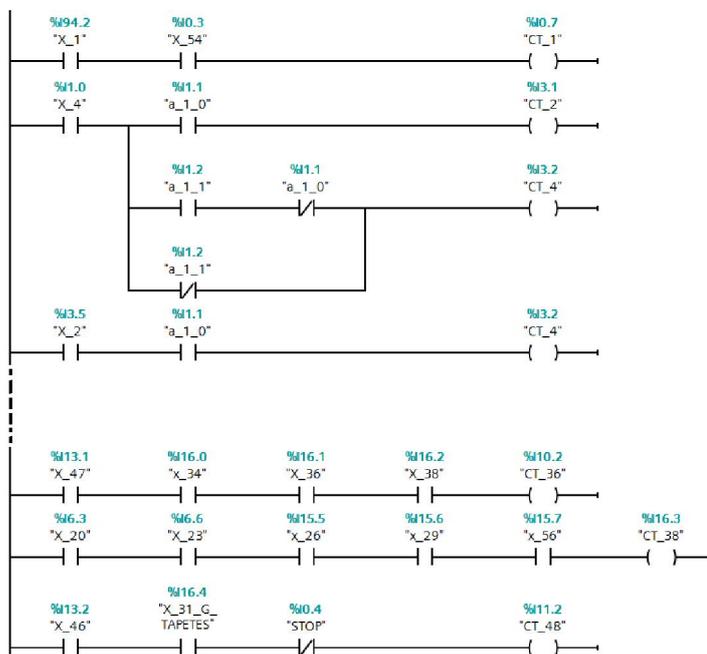


B5.3. AÇÕES

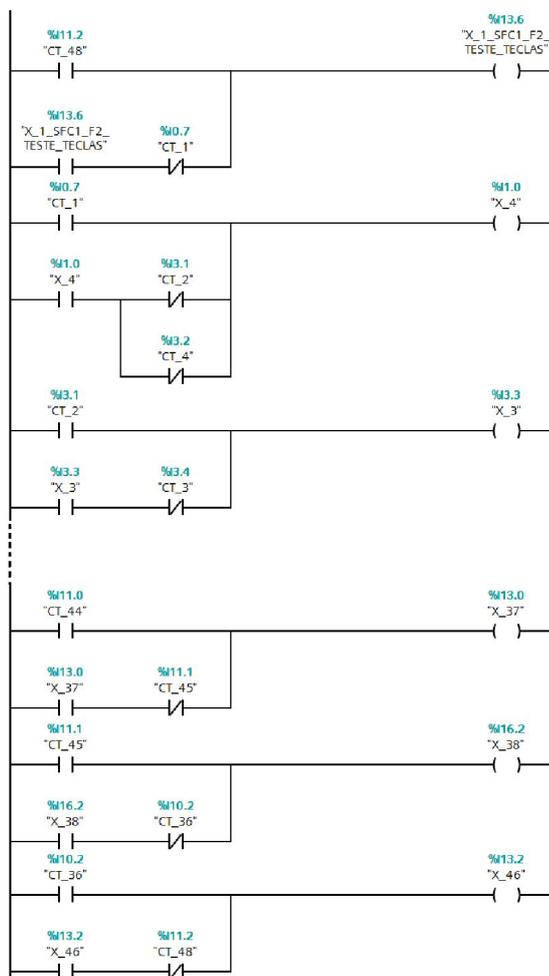


B6. SFC2-F2-PREP-CONVEYORS

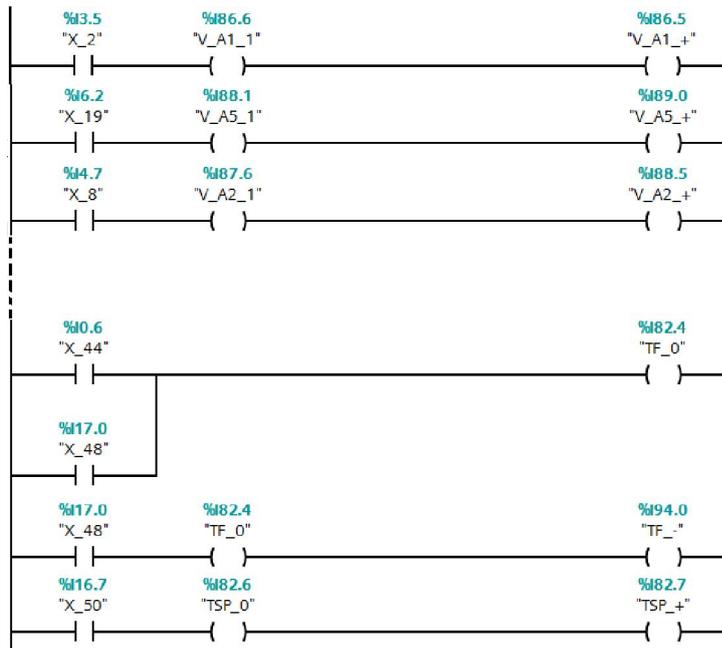
B6.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B6.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

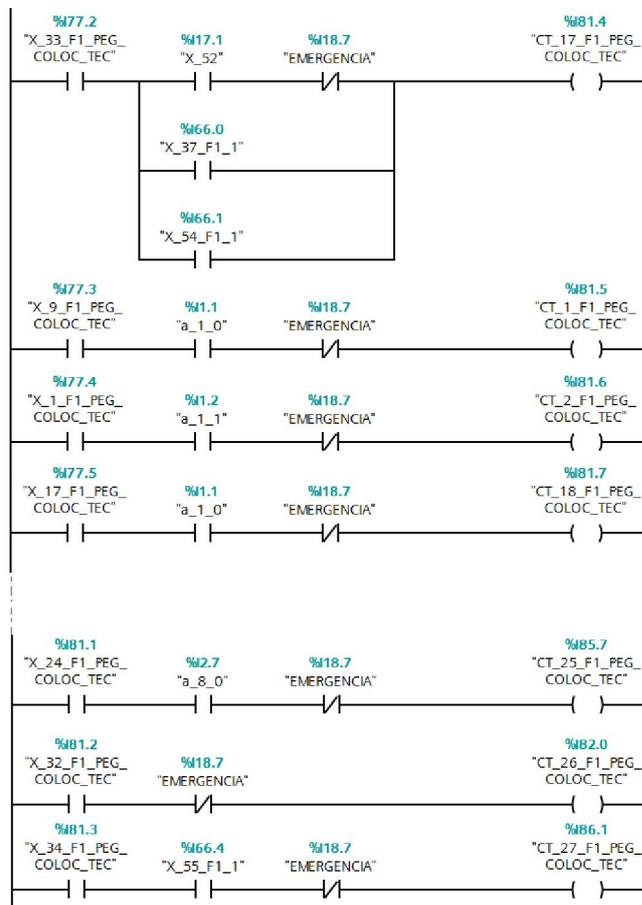


B6.3. AÇÕES

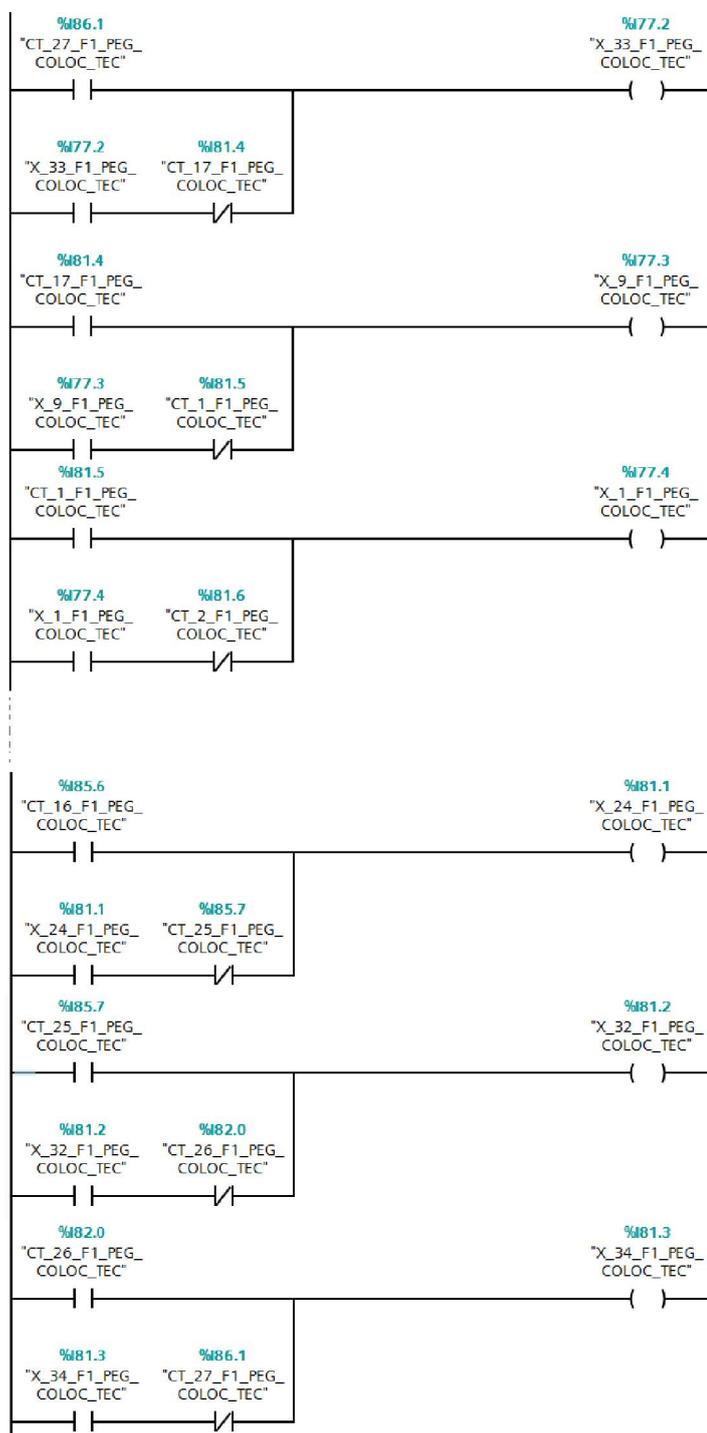


B7. SFC1-F1-PEG-COL-TODAS-TECLAS

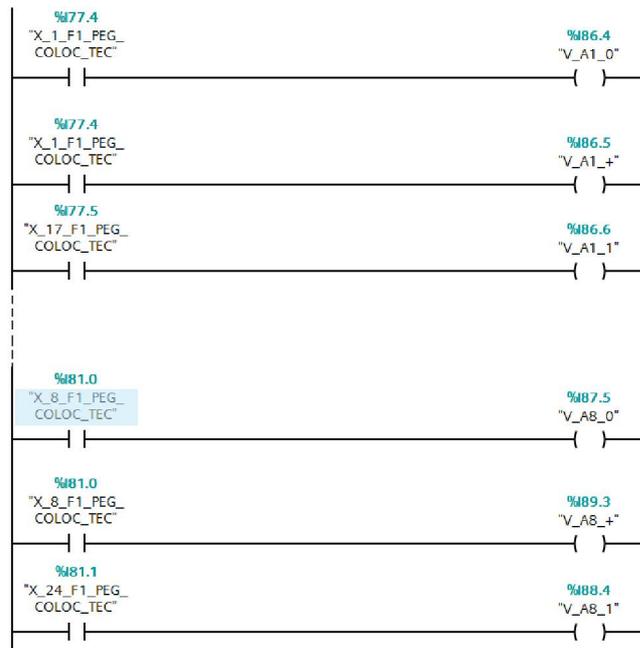
B7.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B7.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

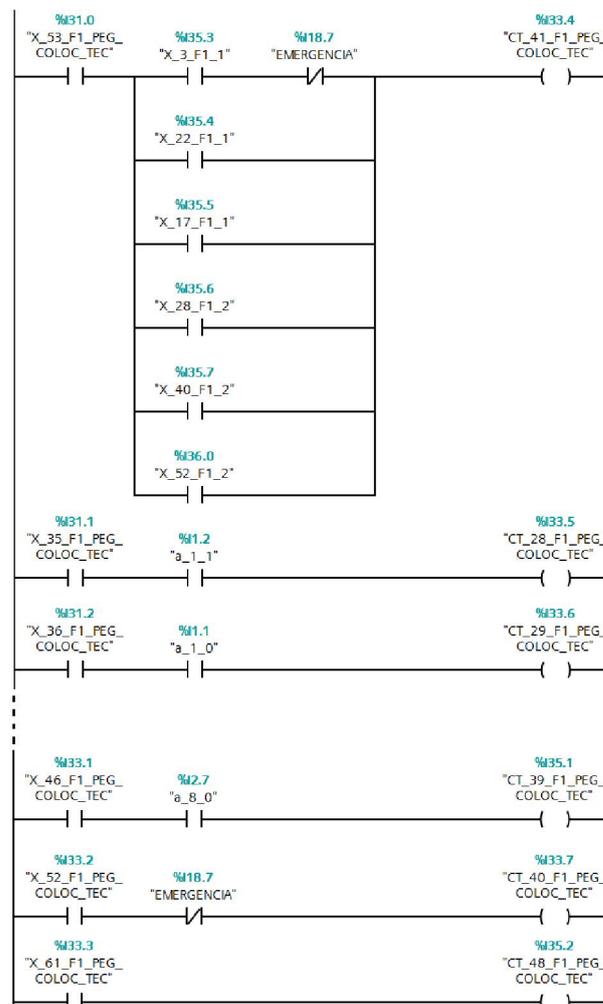


B7.3. AÇÕES

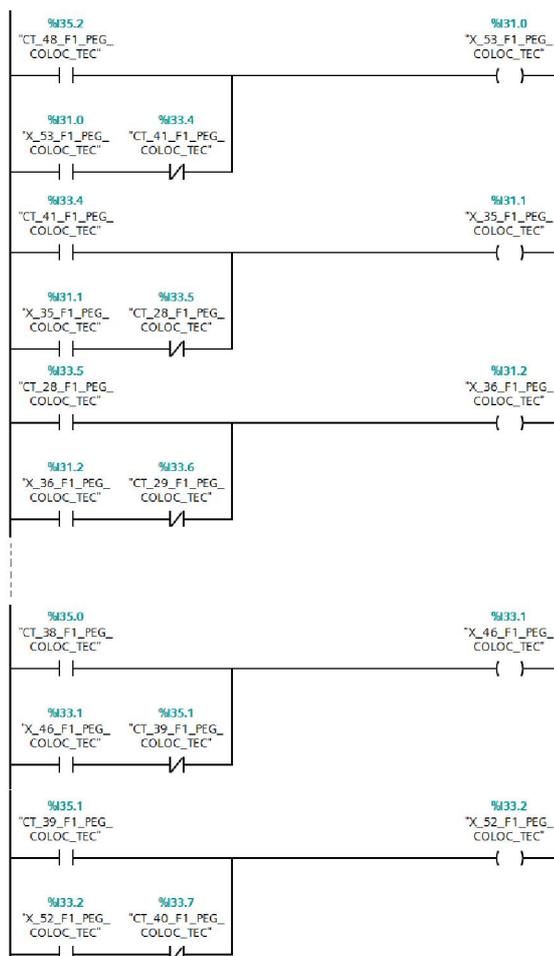


B8. SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-6-TECLAS

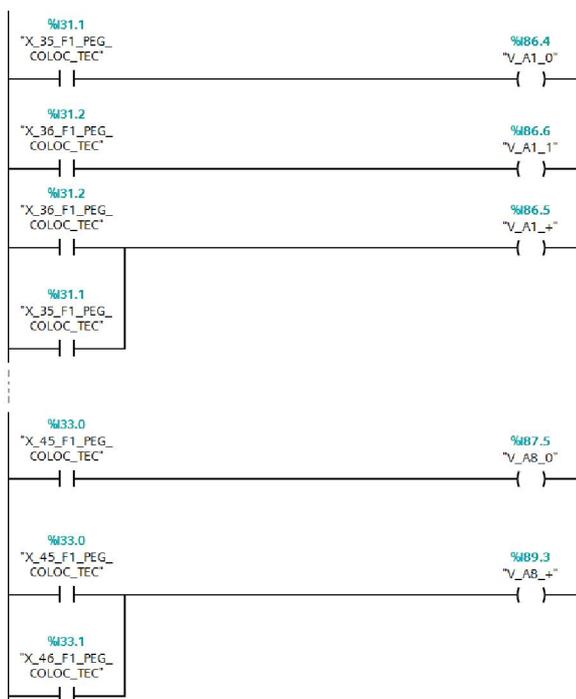
B8.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B8.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

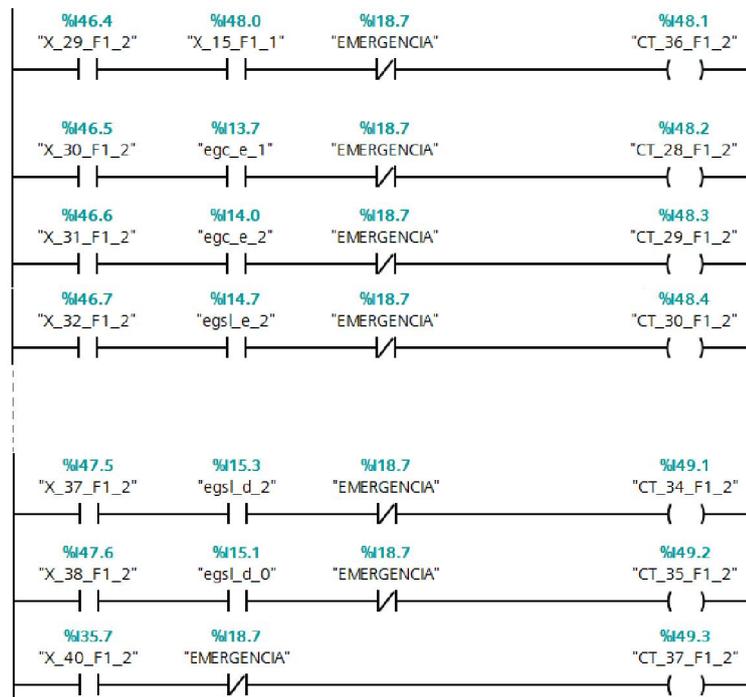


B8.3. AÇÕES

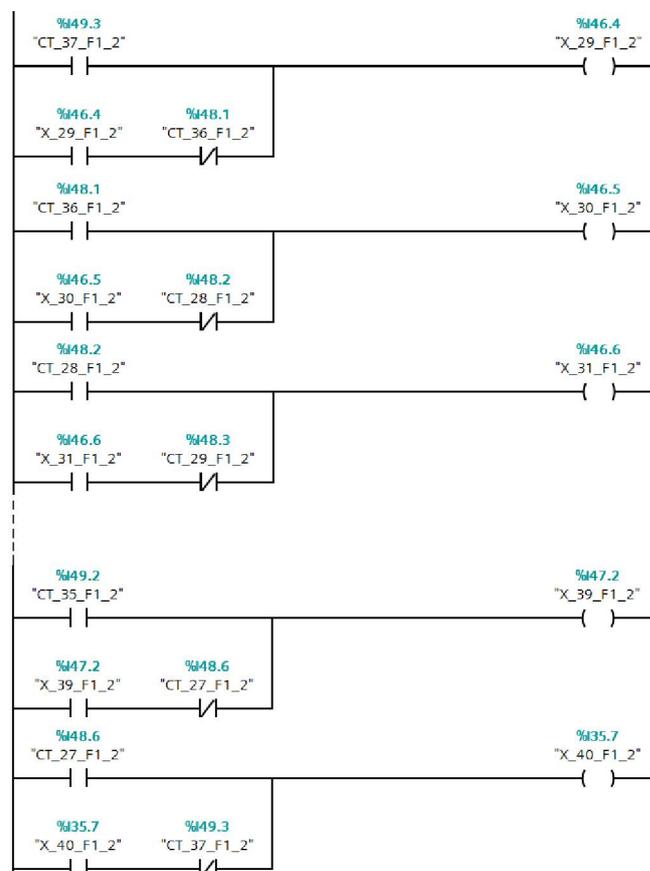


B9. SFC2-F1_2-SFC-POSIC-GUIAS-2º-CICLO

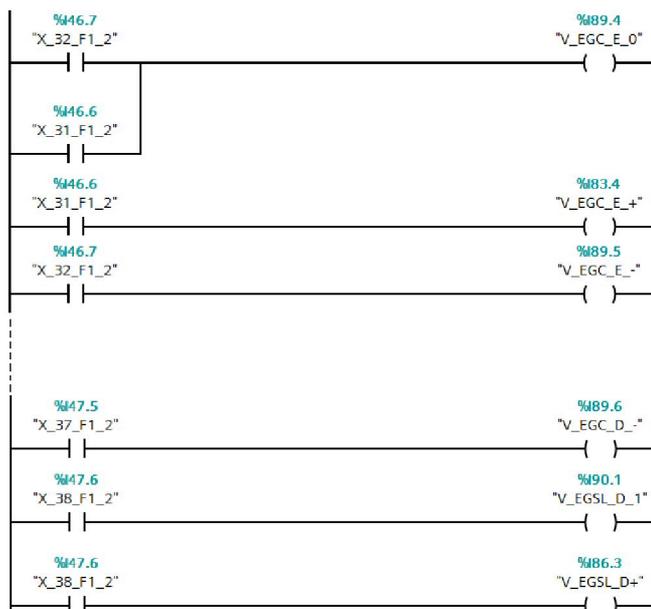
B9.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B9.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

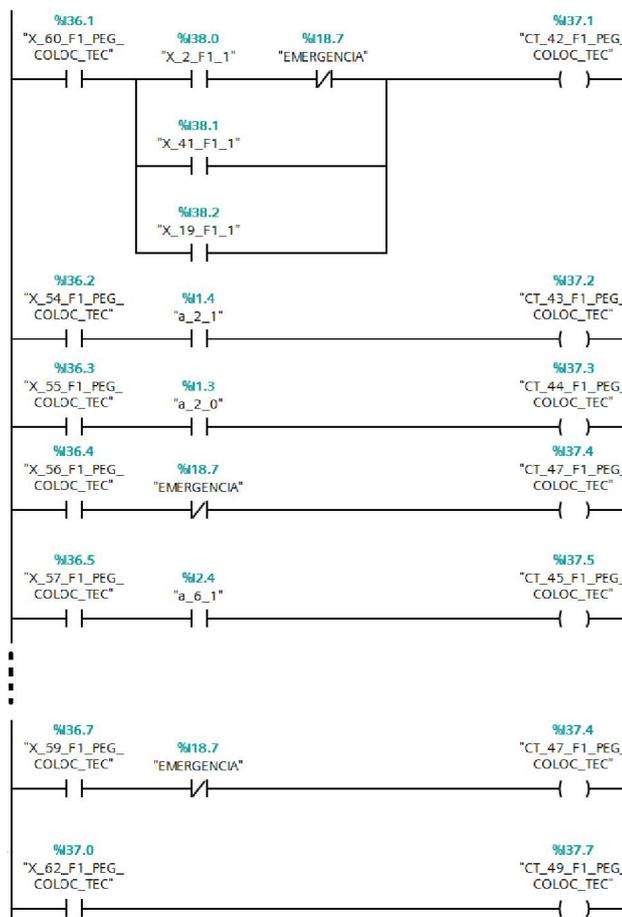


B9.3. AÇÕES

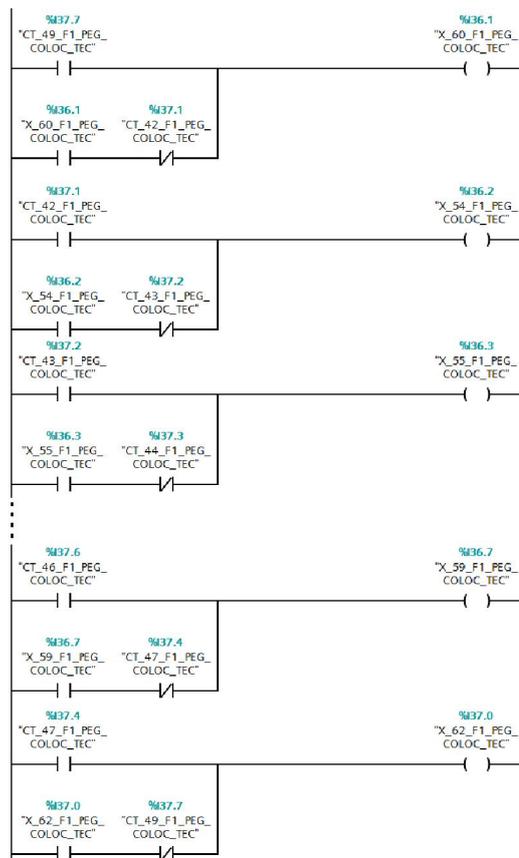


B10. SFC1-F1-PEG-COL-TECLAS-2-TECLAS

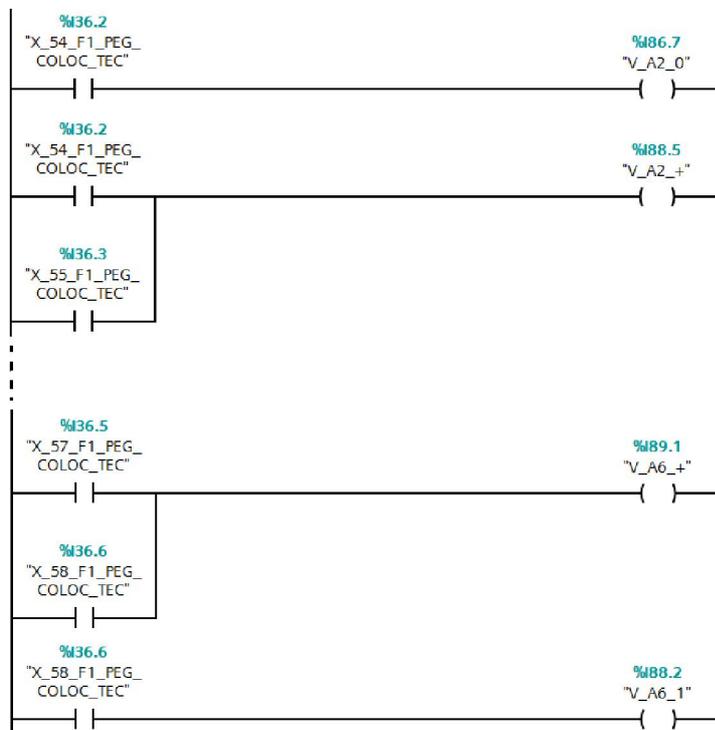
B10.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B10.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

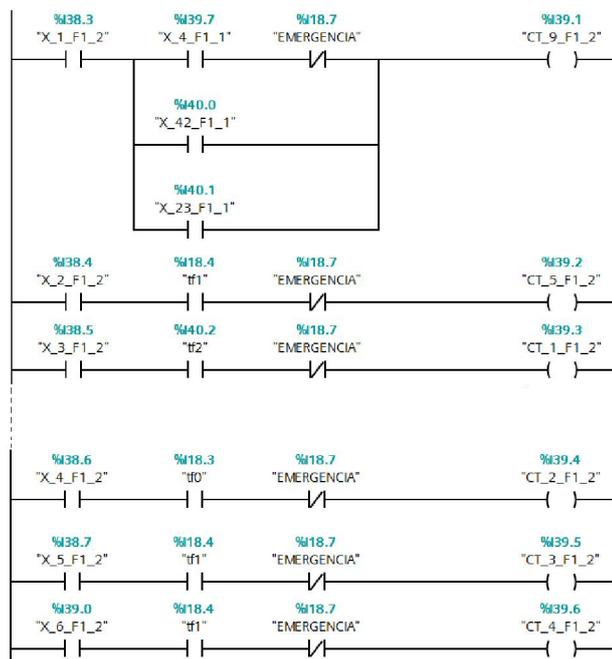


B10.3. AÇÕES

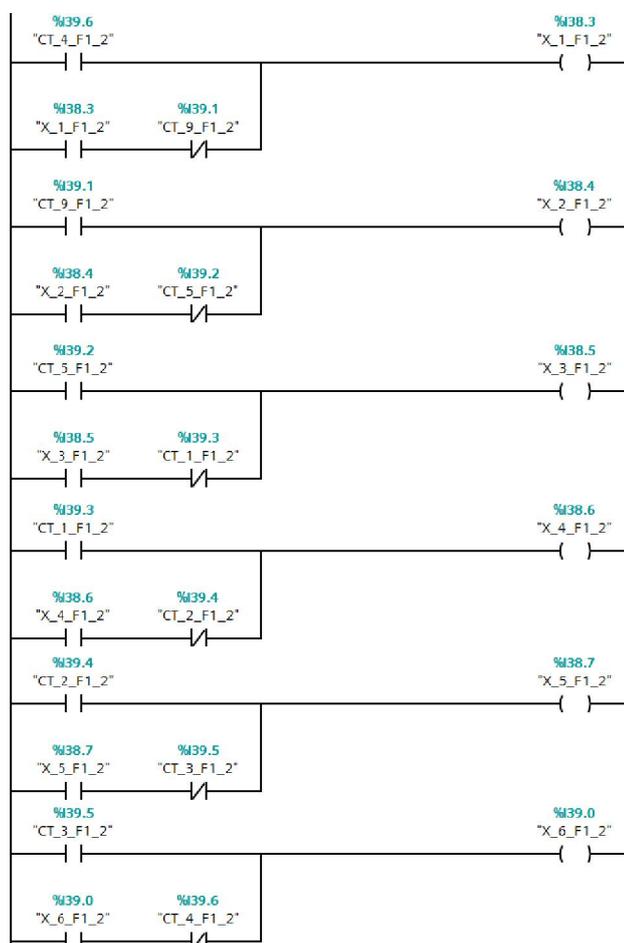


B11. SFC2-F1-2-SFC-CONVEYOR_FRONT

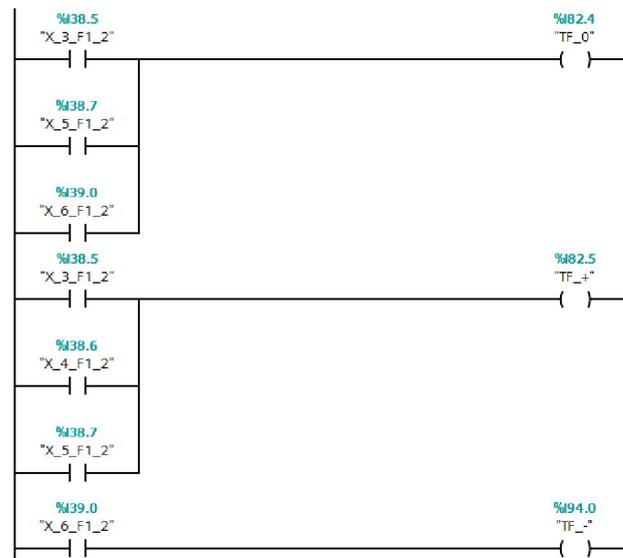
B11.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B11.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

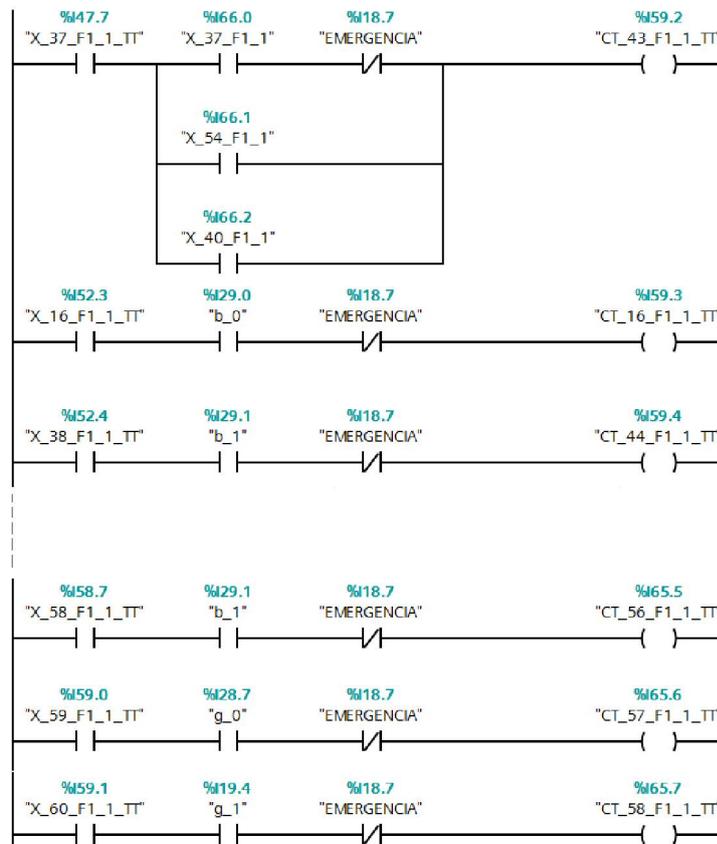


B11.3. AÇÕES

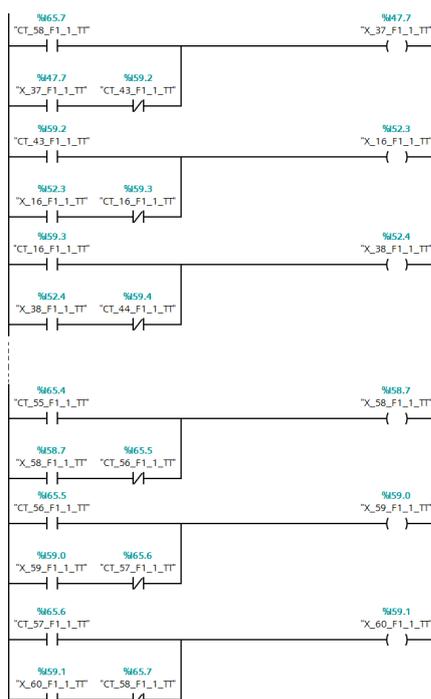


B12. SFC1-F1-TESTE-TECLAS

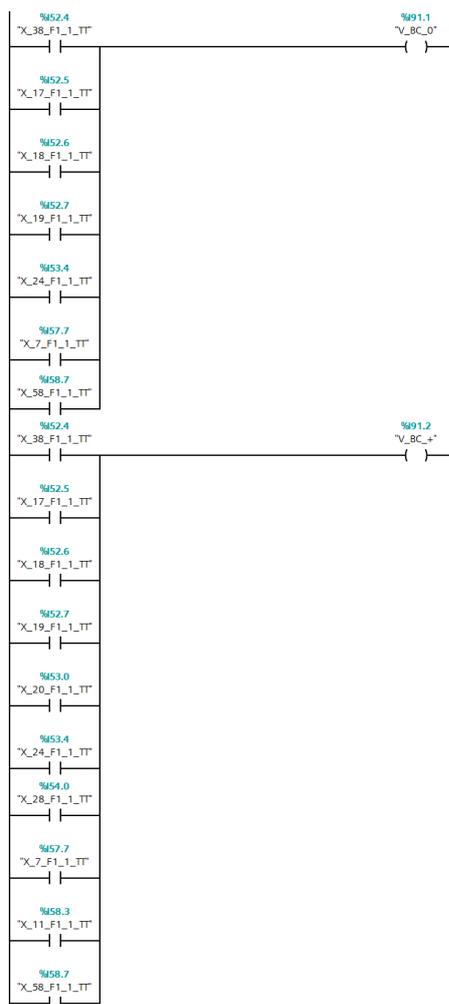
B12.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES

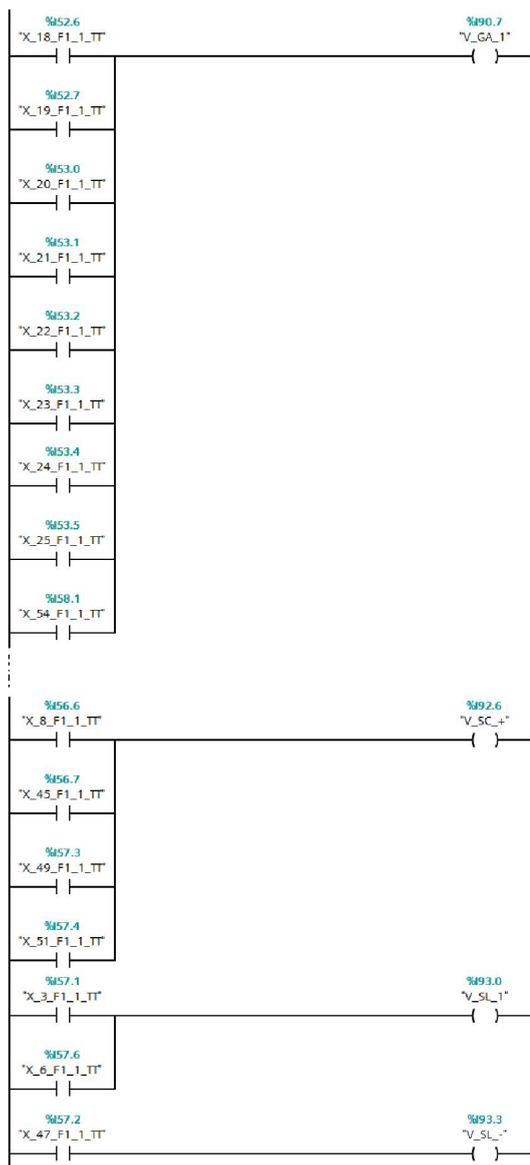


B12.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS



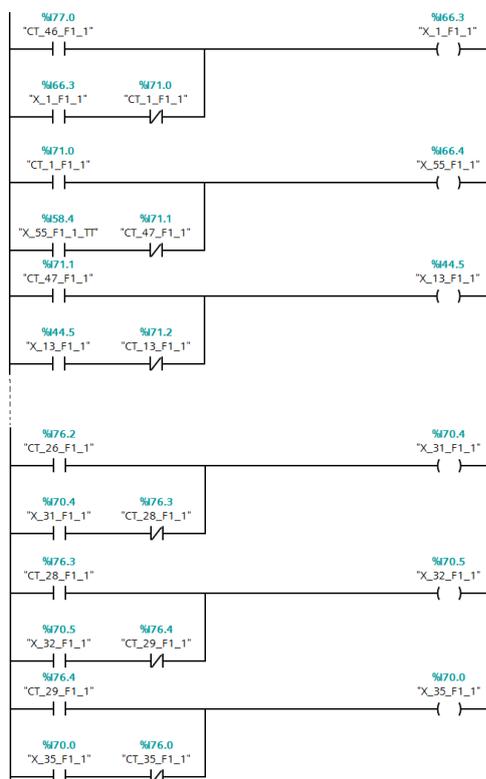
B12.3. AÇÕES



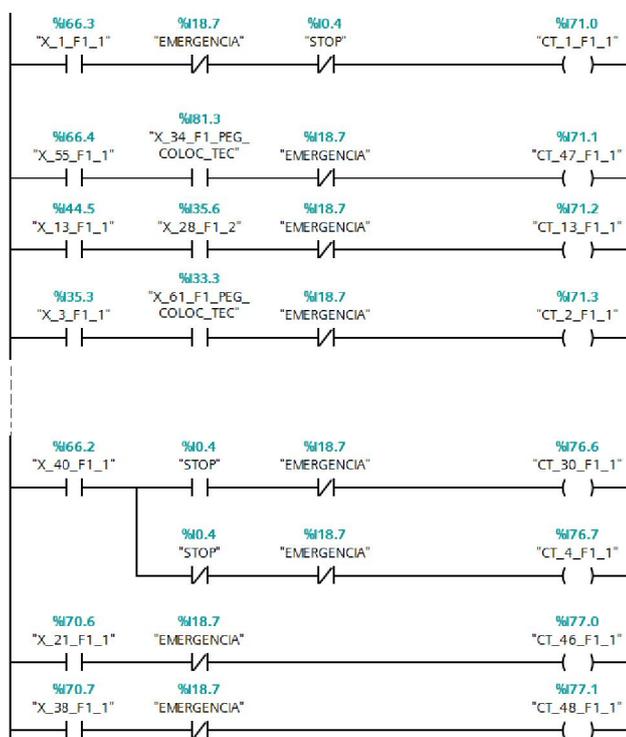


B13. SFC2-F1-1-SFC_PRINCIPAL

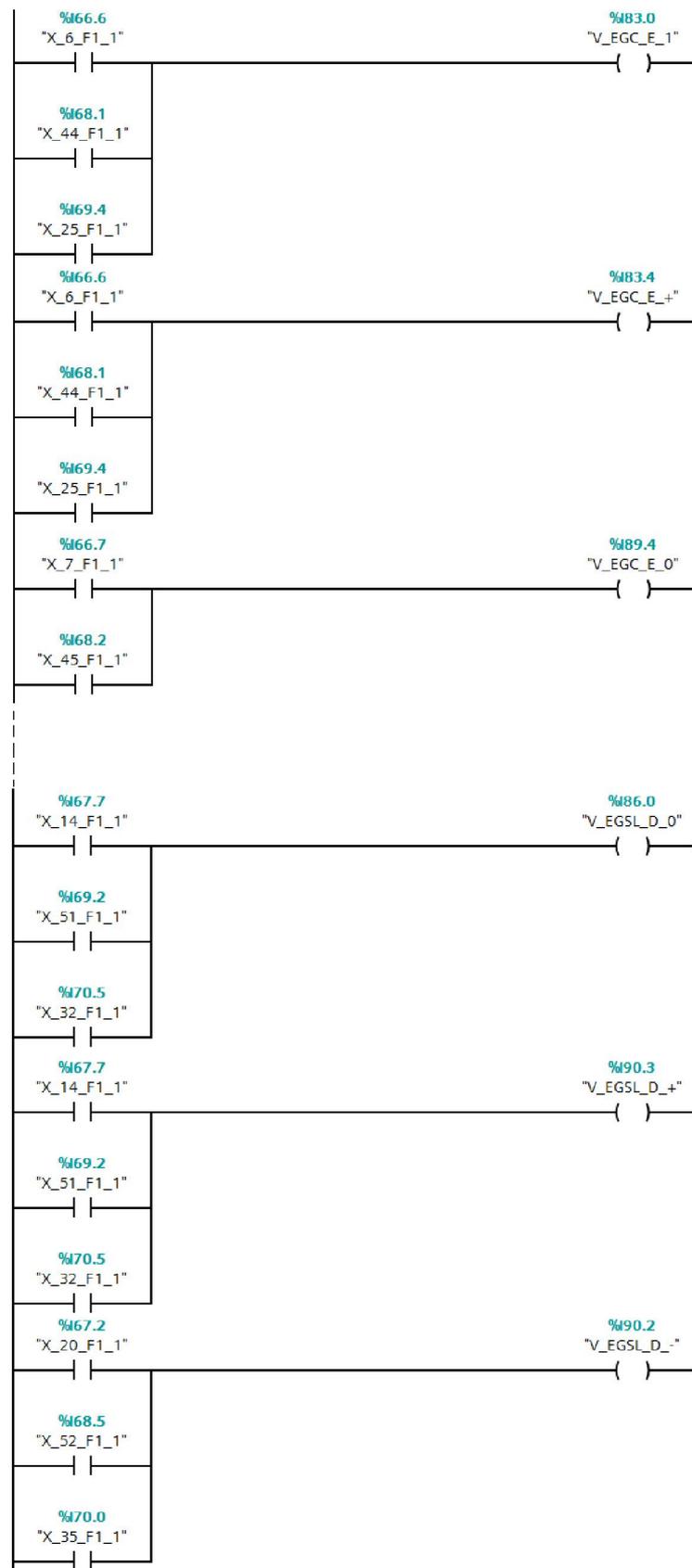
B13.1. CONDIÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B13.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS

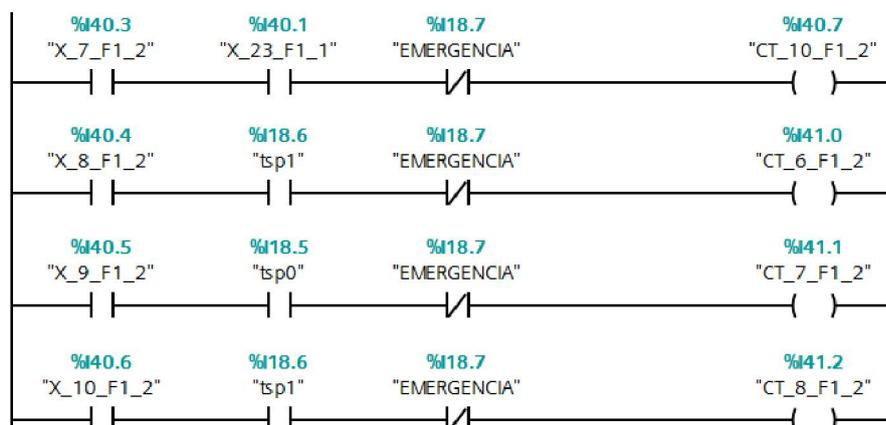


B13.3. AÇÕES

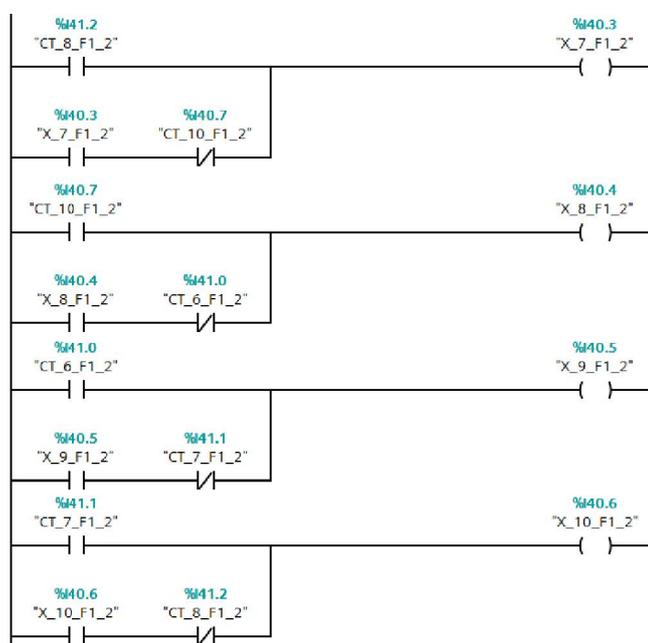


B14. SFC2-F1-2-TAPETE_SUP_TECLAS

B14.1. CONDIÇÕES DE TRANPOSIÇÃO DAS TRANSIÇÕES



B14.2. VARIÁVEIS ASSOCIADAS ÀS ETAPAS



B14.3. AÇÕES

