

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

José Luís Gonçalves do Paço

Relatório do Projecto Final

Orientadores: Prof. Doutor Manuel Rodrigues Quintas
Inv. Carlos Manuel Sousa Moreira da Silva



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro de 2008

Resumo

Este relatório trata a automatização de um processo da indústria de produção de elementos abrasivos para polimento de rochas. Sendo esta indústria muito dependente de mão-de-obra em todos os seus processos produtivos, toda a automatização introduzida permite ganhos consideráveis de produtividade. No processo actualmente utilizado, o tempo de estágio dos elementos abrasivos, para o seu endurecimento, é elevado e conduz a uma área ocupada extensa. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema manipulador de dois eixos, que permite a extracção dos tabuleiros, previamente processados na linha de enchimento. A redução da área ocupada durante a fase de estagiamento foi conseguida por empilhamento dos tabuleiros, colocados sobre carros de transporte. Estes carros serão também utilizados durante o processo de cura dos elementos abrasivos.

Abstract

In this report the automation of one stage of the production process on the abrasive industry is treated. Being an essentially labour-dependent industry all efforts in automating every operation in the production cycle will bring important gains in productivity and labour costs. In the production of bonded abrasive segments used in rock grinders a long setting stage must be considered that takes also considerable space. A tray transportation system was developed, that permits the management of the abrasive filled moulds by means of a two axis electrical manipulator. Reduction on the area occupied by the setting stage was achieved by accumulation in tray heaps over rolling carts. These carts will also be used during the heat curing stage.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos:

Aos orientadores Manuel Rodrigues Quintas e Carlos Moreira da Silva pelos esclarecimentos, conselhos e paciência demonstrada ao longo do trabalho.

Ao professor Paulo Abreu pelo auxílio prestado.

À empresa Abbralux - Indústria de abrasivos pela abertura e exposição da sua produção.

À minha namorada pela ajuda prestada e pela sua compreensão.

Ao colega Leandro Monteiro por todo o companheirismo e cooperação.

Aos restantes professores, colegas, amigos e familiares, que de alguma forma, tornaram possível a realização deste trabalho.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1- INTRODUÇÃO	1
2 - OBJECTIVOS	9
3 – ORGANIZAÇÃO E TEMAS ABORDADOS NO RELATÓRIO.....	11
4- ESTADO DA ARTE.....	13
4.1 - MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NO FABRICO DOS ELEMENTOS ABRASIVOS.....	13
4.2- DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS E MEIOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE ABRASIVOS.....	14
4.3- FORMATO DOS ELEMENTOS ABRASIVOS	19
4.4 - SISTEMA DE VAZAMENTO DE MATERIAL ABRASIVO EM MOLDES.....	20
5 - ESTUDO INICIAL DA ORGANIZAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO	21
6 - PROJECTO DO SISTEMA DE ESTAGIAMENTO.....	23
6.1 - PROJECTO MECÂNICO DO SISTEMA	24
6.1.1- <i>Projecto mecânico do tabuleiro</i>	24
6.1.2 – <i>Projecto mecânico do manipulador</i>	33
6.2 - MOTORIZAÇÃO DOS EIXOS DO MANIPULADOR.....	59
6.3- SENSORIZAÇÃO.....	69
6.3.1 - <i>Tecnologia</i>	73
6.4 - CIRCUITOS ELÉCTRICOS PROJECTADOS	77
6.4.1 - <i>Funções essenciais para o bom funcionamento do manipulador</i>	77
6.5 - DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE CONTROLO E PROGRAMAÇÃO DO PLC.....	82
6.5.1 - <i>Seleção do PLC</i>	82
6.5.2 - <i>Desenvolvimento de um algoritmo de controlo</i>	83
6.5.3 - <i>Programação do PLC</i>	87
7- CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	89
8-REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	91
ANEXO A – CIRCUITOS ELECTRICOS	93
ANEXO B – ESQUEMA DA SENSORIZAÇÃO APLICADA AO SISTEMA	105
ANEXO C – GRAFCET	109
ANEXO D – PROGRAMAÇÃO DO PLC EM LADDER	119
ANEXO E – DEFINIÇÃO DE ALGUMAS POSIÇÕES DO MANIPULADOR.....	137

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

ANEXO F – ORÇAMENTO DE ALGUNS COMPONENTES.....	141
ANEXO G – CARACTERISTICAS DOS MOTO-REDUTORES	145

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - A) SEPARAÇÃO DE BLOCOS DE PEDRA, B) ESQUEMA DA SEPARAÇÃO DE BLOCOS DE PEDRA UTILIZANDO ALMOFADAS DE AR	2
FIGURA 2 - A) CORTE DA PEDRA NAS PEDREIRAS POR FIO DE CORTE DIAMANTADO; B) FIO DE CORTE DIAMANTADO	2
FIGURA 3 - A) TRANSPORTE POR VAGÃO; B) TRANSPORTE PARA A FÁBRICA ATRAVÉS DE CAMIÃO	3
FIGURA 4 - A) CORTE DO BLOCO DE PEDRA EM LÂMINAS; B) POLIMENTO DAS LÂMINAS DE PEDRA COM UMA MÁQUINA DE CABEÇA OSCILANTE	3
FIGURA 5 - A) ABRASIVOS PARA POLIMENTO DE GRANITO, MÁRMORE E ROCHAS EM GERAL, “TIPO FICKERT”; B) ABRASIVOS PARA POLIMENTO DE MÁRMORE NOMEADOS ABRASIVOS “TIPO FRANKFURT”	4
FIGURA 6 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS DE POLIMENTO DE CABEÇA OSCILANTE	5
FIGURA 7 - CABEÇAS DA MÁQUINA DE POLIR COM OS ELEMENTOS ABRASIVOS “TIPO FICKERT”	5
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DOS ELEMENTOS ABRASIVOS “TIPO FRANKFURT”	6
FIGURA 9 - MISTURA DE MATÉRIAS-PRIMAS	15
FIGURA 10 - VAZAMENTO DE MASSA ABRASIVA NOS MOLDES COLOCADOS NAS MESAS	15
FIGURA 11 - A) PRÉ-ENDURECIMENTO EM MESA; B) PRÉ-ENDURECIMENTO EM MESA DE TAMPO MÓVEL	16
FIGURA 12 - MOLDES DE ELEMENTOS ABRASIVOS; A) SEM “INSERT”; B), C) E D) COM “INSERT”	17
FIGURA 13 - RECOLHA DOS ABRASIVOS APÓS PRÉ-ENDURECIMENTO PARA IR À ESTUFA	18
FIGURA 14 - ALGUNS FORMATOS DE ABRASIVOS PRODUZIDOS NA EMPRESA ABRALUX	19
FIGURA 15 - SISTEMA AUTOMÁTICO DE VAZAMENTO DE MATERIAL ABRASIVO NOS MOLDES	20
FIGURA 16 - ESBOÇO DE UMA POSSÍVEL ORGANIZAÇÃO DA ZONA DE PRODUÇÃO DA EMPRESA ABRALUX ÁREA COBERTA 15x37m ²	21
FIGURA 17 - DESENHO DO TABULEIRO VAZIO PARA O MOLDE UTILIZADO NA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ABRASIVOS “VELOX”	25
FIGURA 18 - DESENHO DO TABULEIRO COM OS MOLDES	26
FIGURA 19 - ANÁLISE ESTRUTURAL DO TABULEIRO SUJEITO ÀS CONDIÇÕES DE CARGA MÁXIMA	27
FIGURA 20 - ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES SOFRIDAS NO TABULEIRO NAS CONDIÇÕES DE CARGA MÁXIMA	28
FIGURA 21 - TABULEIRO CONSTRUÇÃO SOLDADA EM VISTA EXPLODIDA	29
FIGURA 22 - CARRO COM TABULEIROS ACUMULADO	30
FIGURA 23 - CARRO COM INVÓLUCRO DE ISOLAMENTO TÉRMICO PARA REALIZAR O PROCESSO DE CURA DOS ELEMENTOS ABRASIVOS	31
FIGURA 24 - RESULTADO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS REALIZADOS AOS TABULEIROS ACUMULADOS NUMA SITUAÇÃO DE CARGA MÁXIMA	32
FIGURA 25 - RESULTADO DE ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS REALIZADOS AOS TABULEIROS ACUMULADOS NUMA SITUAÇÃO DE CARGA MÁXIMA PARA A DEFORMAÇÃO	32
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA DE VELOCIDADES DO MANIPULADOR PARA O CURSO MÁXIMO	34
FIGURA 27 - ALGUMAS SOLUÇÕES DE MANIPULADORES REJEITADAS OU QUE EVOLUIRAM PARA A SOLUÇÃO FINAL	35
FIGURA 28 - SOLUÇÃO MECÂNICA FINAL DO MANIPULADOR	36
FIGURA 29 - ESTRUTURA PRINCIPAL DO MANIPULADOR EM CONSTRUÇÃO SOLDADA	37
FIGURA 30 - DEFORMAÇÃO NO MANIPULADOR PROJECTADO	38

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

FIGURA 31 – ANÁLISE ESTRUTURAL DO MANIPULADOR	39
FIGURA 32 – ANÁLISE FREQUÊNCIAL (PRIMEIRO MÓDULO FREQUÊNCIAL)	40
FIGURA 33 - CHUMACEIRA E CASQUILHO “DRYLIN® R” DA IGUS.....	41
FIGURA 34 – CHUMACEIRA E ROLAMENTO LINEAR DA INA/FAG, REFERÊNCIA KGNOS25-C-PP-AS, GUIA E SUPORTE REFERÊNCIA TSNW25.....	42
FIGURA 35 – CARRO DO EIXO HORIZONTAL POSICIONAMENTO DOS EIXOS POR FACES DE ENCOSTO	43
FIGURA 36 - GUIAS DO CARRO DO EIXO HORIZONTAL POSICIONADAS POR FACE DE ENCOSTO.....	43
FIGURA 37 – CORREIA 32AT10	44
FIGURA 39- TIMING BELT PULLEY T45Z REF. 28.0083/1	46
FIGURA 38- TIMING BELT PULLEY T 90, REF. 28.0082/0.....	46
FIGURA 40 – ACOPLAMENTO “TIPO ROTEX” QUE FAZ A LIGAÇÃO DOS VEIOS DOS MOTORES AOS VEIOS DAS POLIAS	47
FIGURA 41 – CARRO DO EIXO VERTICAL EM CONSTRUÇÃO SOLDADA	48
FIGURA 42 - CARRO VERTICAL CONSTRUÇÃO SOLDADA INTERIOR.....	49
FIGURA 43 – VISTA EXPLODIDA DA PEÇAS A SOLDAR DO CARRO DE MOVIMENTO VERTICAL	50
FIGURA 44 – PRIMEIRA FASE NA OPERAÇÃO DE PREENSÃO DO TABULEIRO.....	51
FIGURA 45 – SEGUNDA FASE NA OPERAÇÃO DE PREENSÃO DO TABULEIRO.....	51
FIGURA 46 – TERCEIRA FASE NA OPERAÇÃO DE PREENSÃO DO TABULEIRO	52
FIGURA 47 - PRIMEIRA FASE NA OPERAÇÃO DE POUSAR O TABULEIRO	52
FIGURA 48 - SEGUNDA FASE NA OPERAÇÃO DE POUSAR O TABULEIRO	53
FIGURA 49 - TERCEIRA FASE NA OPERAÇÃO DE POUSAR O TABULEIRO	53
FIGURA 50 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO ESFORÇO APLICADO ÀS MANDÍBULAS DA GARRA	54
FIGURA 51 – APLICAÇÃO DE CASQUILHOS IGLIDUR® G – BUCHA FLANGEADA – TIPO F, REF. GFM-4044-50	55
FIGURA 52 - REPRESENTAÇÃO DO BRAÇO DE ACCIONAMENTO DA MANDÍBULA.....	56
FIGURA 53 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA FORÇA DE FECHO DA MANDÍBULA	56
FIGURA 54 - ESQUEMA DO CIRCUITO PNEUMÁTICO PARA ACTUAÇÃO DOS CILINDROS DE ACCIONAMENTO DAS MANDÍBULAS	58
FIGURA 55 – JANELA PRINCIPAL DA APLICAÇÃO “ProDrive” DA SEW.....	60
FIGURA 56 - VARIADOR DE FREQUÊNCIA SEW MOVITRAC B – TAMANHO 0XS E OS.....	63
FIGURA 57 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS VARIADORES DE FREQUÊNCIA E MOTO-REDUTORES	64
FIGURA 58 – LIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE FRENAGEM	65
FIGURA 59 – EXEMPLO DE ACCIONAMENTO RETIRADO DO MANUAL MOVITRAC B UNIDADE BASE	67
FIGURA 60 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA POSIÇÃO DOS SENSORES APLICADOS AO SISTEMA	72
FIGURA 61 -CIRCUITO DE LIGAÇÃO DO DETECTOR INDUTIVO TLW3MC1 E DETECTOR INDUTIVO	73
FIGURA 62 - CIRCUITO DE LIGAÇÃO DO DETECTOR FOTOELÉCTRICO E3Z-L86 E DETECTOR FOTOELÉCTRICO	74
FIGURA 63 - CIRCUITO DE LIGAÇÃO DO DETECTOR FOTOELÉCTRICO E3Z-LS86.....	75
FIGURA 64 - DETECTOR MAGNÉTICO DE FIM DE CURSO D-C73.....	75
FIGURA 65 – FIM DE CURSO COM BATENTE DE ROLETE REGULÁVEL E CONTACTO	76
FIGURA 66 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO PAINEL DE COMANDO DO MANIPULADOR	78

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

FIGURA 67 - PLC SIEMENS SIMATIC S7 -200	82
FIGURA 68 – GRAFCET DE DEFINIÇÃO DE RESET (MOVIMENTO PARA A POSIÇÃO “0”)	83
FIGURA 69 – GRAFCET DE DEFINIÇÃO DO MOVIMENTO DE “PICK AND PLACE”	84
FIGURA 70 – GRAFCET DE DEFINIÇÃO DA INIBIÇÃO DE SAÍDAS NO FUNCIONAMENTO EM MODO MANUAL	85
FIGURA 71 – GRAFCET DE DEFINIÇÃO DO ESTADO DE EMERGÊNCIA.....	85
FIGURA 72 – DEFINIÇÃO DO ESTADO DE PARAGEM	86
FIGURA 73 – DEFINIÇÃO DE ROTINA DE RESPOSTA A SITUAÇÃO DE ERRO NA ABERTURA E FECHO DAS GARRAS	86

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – ACTUAL PRODUÇÃO DA EMPRESA ABRALUX; EQUIVALÊNCIA EM TABULEIROS NECESSÁRIOS	25
TABELA 2 – PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ABRASIVOS UTILIZANDO 100 TABULEIROS	25
TABELA 3 – DADOS REFERENTES AO CÁLCULO DO TEMPO MÍNIMO DE ENCHIMENTO DOS MOLDES DE UM TABULEIRO	33
TABELA 4 – CÁLCULO DO TEMPO MÍNIMO QUE O MANIPULADOR COMPLETA UM CICLO PARA O CURSO MÁXIMO	34
TABELA 5 - CÁLCULO DO COMPRIMENTO DAS CORREIAS [MM]	44
TABELA 6 - DADOS DAS POLIAS DENTADAS PARA ACCIONAMENTOS DOS EIXOS DO MANIPULADOR.....	45
TABELA 7 – REFERÊNCIA DOS COMPONENTES USADOS NO ACCIONAMENTO DOS EIXOS	46
TABELA 8 - REFERÊNCIAS DOS ELEMENTOS QUE CONSTITUEM OS ACOPLAMENTOS “TIPO ROTEX” SELECCIONADOS	47
TABELA 9 – RESULTADO DA FORÇA DE FECHO DA MANDÍBULA	57
TABELA 10 – PRINCIPAIS VALORES DE ENTRADA NO PROGRAMA “PRODRIVE” DA SEW PARA A SELECÇÃO DOS MOTO-REDUTORES DE ACCIONAMENTO DOS EIXOS DO MANIPULADOR	61
TABELA 11 – TABELA RETIRADA DO MANUAL MOVITRAC B UNIDADE BASE	66
TABELA 12 - TABELA COM OS PERFIS DE VELOCIDADE DO MANIPULADOR PARA A REALIZAÇÃO DE UM CICLO	68
TABELA 13 – DEFINIÇÃO DE TODA A SENSORIZAÇÃO DO SISTEMA MANIPULADOR	71

1- Introdução

A produção de mós abrasivas de tipo rígido utilizadas na preparação de superfícies de rochas ornamentais é actualmente bastante artesanal. A dificuldade em automatizar resulta, essencialmente, das características especiais do material vazado que possui elevada abrasão, provoca corrosão dos materiais envolventes e a sua viscosidade é que alterada com o tempo. Existem também problemas de contaminação devido à utilização de diversas granulometrias, aliados à venda limitada deste tipo de produto. Todos estes factores tornam estas empresas muito dependentes de mão-de-obra, obrigando-as a deslocar a sua produção para países com mão-de-obra barata.

A comercialização destes abrasivos destina-se, essencialmente, a empresas dedicadas à transformação de rochas ornamentais, que fazem avultados investimentos em maquinaria para a realização de operação de polimento, entre outras.

O polimento com este tipo de abrasivos é uma das muitas etapas realizadas na indústria de transformação de mármore e granito mas, para chegar a essa fase, é necessário passar por muitas outras.

Assim são obtidos produtos finais, tais como, lajes utilizadas nas bancas de cozinha, pavimentos de edificios, monumentos funerários, etc., que sofrem uma série de processos de corte e polimento antes de serem um produto comercial acabado.

Visando enquadrar o polimento na indústria de processamento de granito, mármore e rochas em geral, são seguidamente apresentadas algumas das etapas deste tipo de indústria transformadora.

Inicialmente, os blocos de rocha são separados utilizando cilindros hidráulicos ou almofadas de ar, como a figura 1 demonstra.

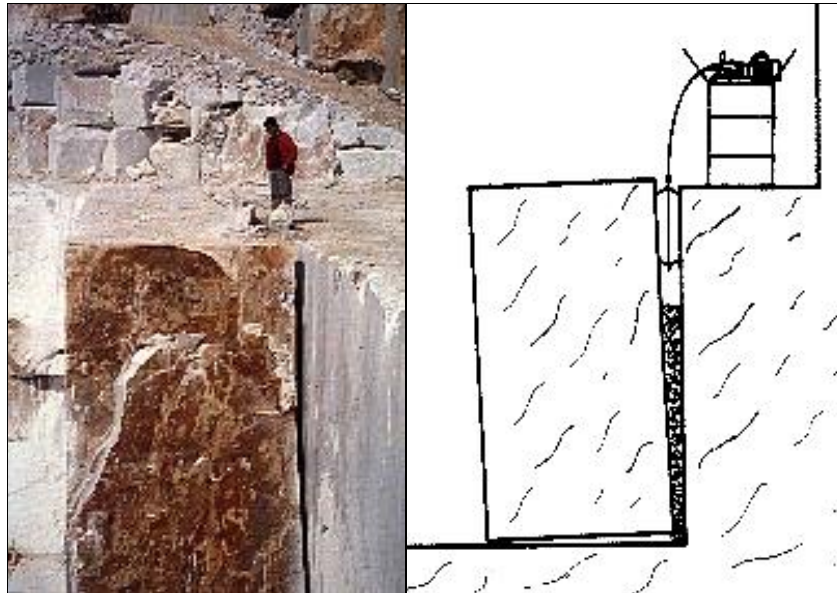


Figura 1 - a) Separação de blocos de pedra, b) Esquema da separação de blocos de pedra utilizando almofadas de ar (www.pemo.com/PORT/hydro.html)

Numa fase posterior, estes blocos de pedra, inicialmente extraídos, são cortados nas pedreiras com discos de corte e/ou correntes de corte diamantadas (figura 2), de modo a obter blocos de menores dimensões possibilitando, deste modo, o seu transporte.



Figura 2 - a) Corte da pedra nas pedreiras por fio de corte diamantado; b) Fio de corte diamantado (<http://www.cairnsmarble.com>)

Quando estes blocos se situam em zonas de difícil acesso, são colocados em vagões, recorrendo a gruas, e transportados até à zona de carregamento onde, posteriormente, são colocados em camiões que os transportam até à fábrica (figura 3). O seu transporte para longas distâncias é feito através de navios, visto existirem rochas com coloração e textura característica de cada área geográfica, sendo o custo do seu transporte pago pelo consumidor final.



Figura 3 – a) Transporte por vagão; b) Transporte para a fábrica através de camião
(<http://www.cairnsmarble.com>)

Na fábrica, a rocha é cortada em lâminas, normalmente utilizando discos de corte diamantados (figura 4.a). Posteriormente, são polidas numa máquina onde são montados os elementos abrasivos (figura 4.b).



Figura 4 - a) Corte do bloco de pedra em lâminas; b) Polimento das lâminas de pedra com uma máquina de cabeça oscilante (<http://www.cairnsmarble.com>)

Os elementos abrasivos são produzidos com diferentes granulometrias, existindo também diversos formatos (ver figuras 5.a e 5.b), alguns dos quais são mais utilizados para o polimento e brilho do granito, enquanto outros, para o do mármore. Esta diferença geométrica nos abrasivos é devida às suas propriedades mecânicas.

Assim, o mármore sendo uma rocha mais macia que o granito, implica que haja uma diferença nos elementos abrasivos utilizados na operação de polimento.

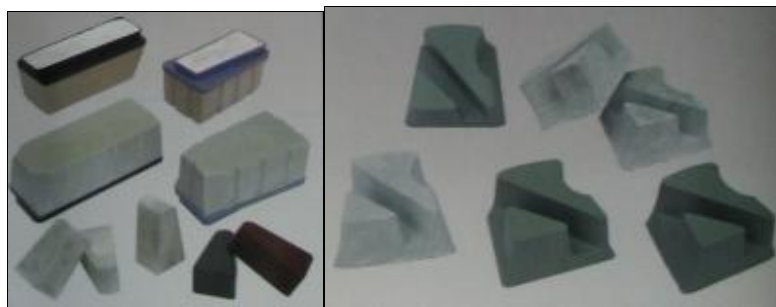


Figura 5 – a) Abrasivos para polimento de granito, mármore e rochas em geral, “tipo Fickert”; b) Abrasivos para polimento de mármore nomeados abrasivos “tipo Frankfurt” (<http://luxury88.en.ec21.com/>)

Os abrasivos com formato representado na figura 5.a, são designados por “tipo Fickert”, e são montados numa cabeça dotada com movimento simultaneamente de rotação e oscilação. As máquinas de polimento de cabeça oscilante utilizam 2, 4 ou 6 elementos abrasivos que, para além do movimento de rotação da mó, são também dotados de um movimento oscilatório em torno de um eixo longitudinal. Em consequência deste movimento oscilatório o contacto com a chapa a polir é linear (conforme ilustrado na figura 6). Desta forma, aumenta-se a pressão específica sobre a pedra, resultando numa elevada remoção de material. Pelo interior da mó abrasiva é injectada água sob pressão para lubrificar e arrefecer os elementos abrasivos.

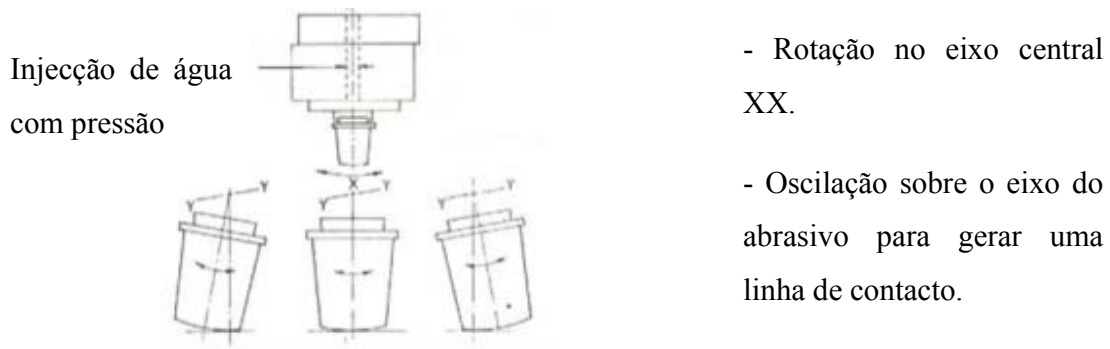


Figura 6 – Esquema de funcionamento das máquinas de polimento de cabeça oscilante (www.worldstonex.com)

À medida que a lâmina rochosa avança sobre a máquina de polimento, o tamanho de grão dos elementos abrasivos utilizado em cada mó vai diminuindo, melhorando progressivamente o acabamento da superfície polida (figura 7).



Figura 7 – Cabeças da máquina de polir com os elementos abrasivos “tipo Fickert” (<http://www.hollistersmonument.com/process.htm>)

Para o polimento do mármore utilizam-se elementos abrasivos “tipo Frankfurt” como os representados na figura 8.

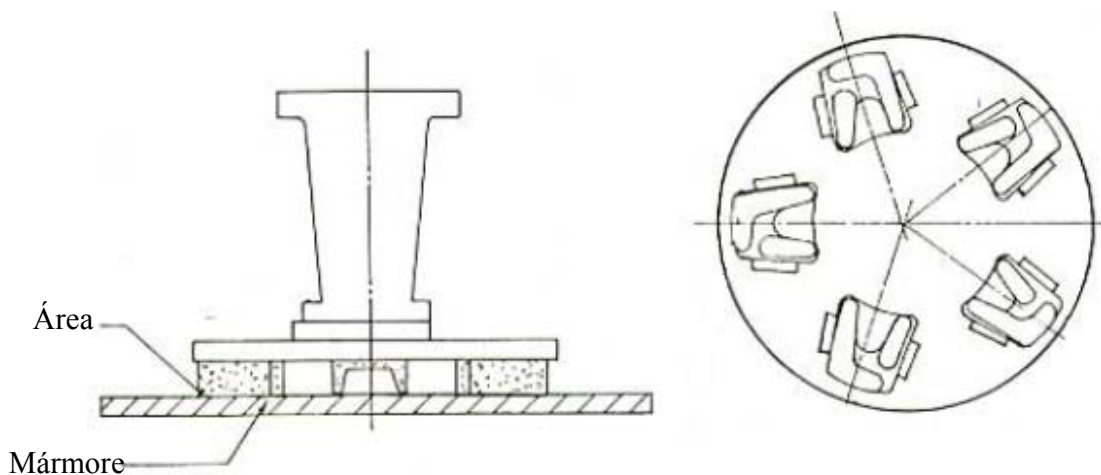


Figura 8 - Representação do funcionamento dos elementos abrasivos “tipo Frankfurt”

O polimento realizado pelos abrasivos “tipo Frankfurt” difere do polimento realizado pelos “tipo Fickert”, pela existência de uma área de contacto em vez uma linha de contacto. Para além destes formatos existem ainda formatos com a forma de disco.

A observação do processo produtivo destes abrasivos foi efectuada numa pequena empresa “Abralux- Indústria de abrasivos, Lda¹”, actualmente com novas instalações, situados no pólo industrial de Valença. Esta empresa dedica cerca de noventa por cento da sua produção ao mercado espanhol e tem uma produção diária que actualmente ronda os 2500 elementos abrasivos.

O presente trabalho insere-se numa continuação do trabalho “*Projecto de um sistema automático para vazamento de material abrasivo em moldes*”, realizado pelo autor deste relatório, no ano lectivo de 2007/08, no âmbito da disciplina de *Projecto de Sistemas de Automação*, da Licenciatura em Engenharia Mecânica da FEUP e coordenada pelo Prof. Manuel Rodrigues Quintas e pelo Inv. Carlos Moreira da Silva. Consistiu na concepção e realização de um sistema automático capaz de vazar a massa abrasiva para enchimento dos moldes.

¹ “Abralux, Indústria de Abrasivos, Lda” a partir de agora, designada ao longo deste relatório apenas por Abralux.

Com a automatização deste processo, apenas foi dado um pequeno passo para o objectivo a longo prazo que visa o projecto de automatização total da linha de produção. Seguidamente, são referidos os restantes processos do ciclo produtivo.

Inicialmente, são doseadas as matérias-primas, para depois se proceder à sua mistura, com uma misturadora industrial. Daí resulta uma massa de elevada viscosidade, que é vazada em moldes de PVC e que, após um período de estagiamento ou pré-endurecimento (início de reacção química exotérmica), permite a manipulação para sua colocação em estufa, onde é feita a cura final. Após aproximadamente doze horas de cura, os abrasivos são retirados da estufa e embalados.

O presente projecto trata da concepção e automatização de um sistema ligado ao processo de estagiamento. Actualmente, a massa abrasiva é vazada em moldes de PVC colocados sobre uma mesa onde o seu pré-endurecimento é realizado. O tempo de pré-endurecimento que permita configurar uma certa consistência aos elementos abrasivos, de forma a poder ser manuseados sem derrames, é superior a 30 minutos. Este tempo de reacção pode variar com a temperatura ambiente e a composição química de cada mistura. Como consequência, a área de fábrica ocupada com mesas é elevada, dado que apenas 48 abrasivos ocupam cerca de 1 m².

Para garantir a não contaminação dos elementos abrasivos de grão mais finos pelos de maiores granulometrias, utiliza-se uma estratégia cíclica de produção que vai do elemento abrasivo de menor grão ao de maior grão. Este ciclo pode durar mais de um mês até ser reiniciado, dependendo das necessidades em satisfazer as encomendas e da área reservada ao stock. No final de cada ciclo é realizada uma limpeza geral e cuidadosa da zona de produção.

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

2 - Objectivos

O objectivo do presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma unidade automática de descarga de tabuleiros de suporte de moldes, previamente processados na linha de enchimento. Enquanto as massas vazadas se encontram num estado líquido, todas as movimentações devem ser controladas de forma a evitar os derrames.

Os tabuleiros deverão ser empilhados e posteriormente transportados para um local de endurecimento e cura.

A cadência de descarga dos tabuleiros no manipulador é imposta pelo tempo de enchimento dos moldes de um tabuleiro. Estudos realizados permitem estimar que o tempo de enchimento de um tabuleiro é superior a um minuto e meio. Portanto, a velocidade máxima para o manipulador será calculada para o tempo de ciclo de retirar o tabuleiro e voltar à posição inicial.

Condicionantes ao projecto:

- Manter o tipo de formatos de molde existentes, uma vez que a realização de novos moldes implicaria um grande investimento por parte da empresa;
- Necessidade de extracção dos moldes para o carro a uma velocidade controlada, de forma a evitar derrame da massa abrasiva;
- Compatibilizar o ciclo de manipulação de tabuleiros, efectuado pelo manipulador, com a cadência de vazamento;
- Minimizar a área ocupada pelo processo de estagiamento.

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

3 – Organização e temas abordados no relatório

O presente relatório foi organizado por áreas de abordagem ao projecto, começando pelo estado da arte na produção de abrasivos, referindo algumas das matérias-primas utilizadas no seu fabrico, assim como os processos actuais de produção dos mesmos. Dentro do estado da arte é ainda referido o projecto do sistema automático que permite o doseamento do material abrasivo e o seu vazamento nos moldes.

Seguidamente é descrito o projecto começando pela elaboração do projecto mecânico do tabuleiro e do manipulador, seguindo-se o projecto de motorização e sensorização de todo o sistema, o projecto dos circuitos eléctricos, e o desenvolvimento de um algoritmo de controlo e a programação de um PLC que controla todo o sistema de estagiamento.

Por fim, apresentam-se as conclusões deste trabalho, assim como trabalho a realizar futuramente.

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

4- Estado da arte

4.1 - Matérias-primas utilizadas no fabrico dos elementos abrasivos

No fabrico de elementos abrasivos empregam-se diversas matérias-primas. A qualidade do abrasivo deve-se à quantidade e qualidade de cada matéria-prima. Poder-se-á dizer, que um dos segredos no fabrico de abrasivos de cada empresa está na quantidade de cada componente a adicionar à mistura.

Seguidamente, são referidas as principais matérias-primas utilizadas, bem como, a sua função:

- **Carboneto de silício e corindo²**, são os agentes activos (os abrasivos propriamente ditos) que realizam o trabalho de polimento e brilho. São comercializados diferentes elementos abrasivos com 21 variedades de granulometrias (diâmetros da ordem de 1 micron até 1-3 mm).

- **Óxido de magnésio**, é um dos dois componentes do cimento magnésiano. Vem em forma de um pó microscópico actuando como ligante.

- **Cloreto de magnésio dissolvido em água**, é o segundo componente do cimento magnésiano. Esta solução é a que facilita a mistura de todas as matérias-primas.

² Corindo

O corindo, também designado por corundo, consiste num mineral de óxido de alumínio (Al_2O_3) que apresenta colorações diversas: rosa, azul, cinzento e também verde, branco e castanho. Quando é azul designa-se por safira e se é vermelho toma o nome de rubi. Ao apresentar outras cores junta-se a palavra oriental. Assim, ao apresentar cor púrpura, é designado por ametista oriental, amarelo por topázio oriental e verde por esmeralda oriental.

O corindo possui as seguintes características: dureza Mohs de 9; densidade 4,02; cristaliza no sistema hexagonal; brilho adamantino a vítreo.

O corindo surge como mineral acessório em rochas metamórficas, gneisses, micaxistos e calcários cristalinos. Também aparece em rochas ígneas pobres em sílica. O rubi e a safira são utilizados como pedras preciosas e também possuem grande valor em relojoaria e no fabrico de outros instrumentos de precisão. O corindo é utilizado como abrasivo. O esmeril é uma variedade negra de corindo associada a óxidos de ferro e utilizado como abrasivo. Pode ser também obtido artificialmente. O electrocorindo é obtido artificialmente a partir da fusão do bauxite a 2000 °C (Wikipédia).

- **Resina em pó**, actua como coligante e ao mesmo tempo estabiliza a dureza do cimento magnesiano. Sem esta resina, o cimento magnesiano sofre um processo de endurecimento que vai dificultar o uso adequado dos abrasivos nas máquinas de polir.

- **Outros produtos inorgânicos**, são aqueles que preenchem o elemento abrasivo, dotando o abrasivo com algumas características adicionais (plasticidade, maior ou menor dureza, porosidade, etc).

4.2- Descrição dos processos e meios utilizados na produção de abrasivos

Como já foi referido, a produção deste tipo de abrasivos é feita, actualmente, de modo muito artesanal, essencialmente devido ao facto da massa vazada possuir características abrasivas, endurecimento gradual (conforme a temperatura ambiente e composição química) e existir a possibilidade de contaminação devido às diversas granulometrias utilizadas na produção.

Este endurecimento progressivo é acelerado se a temperatura ambiente for elevada e torna-se um problema, na medida em que obriga a uma lavagem com água a pressão elevada de todo o equipamento em contacto com a massa, já que essa massa, decorrido algum tempo, acaba por ficar encrostada nas superfícies de contacto.

Por ordem de execução, os processos actualmente utilizados no fabrico são:

1- Doseamento das matérias-primas

O doseamento é realizado recorrendo à dosificação volumétrica e à pesagem efectuada manualmente por operários.

2- Mistura das matérias-primas

Esta operação é actualmente realizada com uma misturadora industrial constituída por uma pá rotativa e uma cuba. Este processo é o principal causador de pó na fábrica (figura 9).



Figura 9 – Mistura de matérias-primas³

3- Colocação dos moldes de plástico sobre a mesa e vazamento da massa abrasiva dentro dos moldes

Estes processos são realizados por operários, sendo o vazamento da massa nas formas do molde realizado recorrendo a um jarro de cerca de 4 litros. A operação de vazamento é bastante incómoda para os operários, podendo trazer-lhes graves sequelas para a saúde, devido à conjugação do peso da massa abrasiva vazada (massa específica cerca de 2500 kg/m^3) com a posição debruçada de acesso aos moldes.



Figura 10 – Vazamento de massa abrasiva nos moldes colocados nas mesas (Abralux)

³Imagem fornecida pela empresa Abbralux, relativa a uma empresa que actualmente já não existe.

4- Estagiamento ou pré-endurecimento em mesa

Esta fase é necessária para, permitir a posterior transferência dos moldes vazados para a estufa, sem derrame do material abrasivo. O tempo de estagiamento varia com a temperatura ambiente, podendo demorar cerca de 5 horas se a temperatura ambiente for da ordem dos 10°C.

A figura 11.b mostra uma solução encontrada por uma empresa do género, para poupar espaço no estagiamento, utilizando um sistema de elevação para movimentar os tampos das mesas.



Figura 11 – a) Pré-endurecimento em mesa⁴; b) Pré-endurecimento em mesa de tampo móvel⁴

⁴ Imagem fornecida pela empresa Abbralux, relativa a uma empresa que actualmente já não existe.

5- Colocação em estufa

As estufas são actualmente constituídas por caixas termicamente isoladas, onde são amontoados os moldes com os elementos abrasivos pré-endurecidos. Na actual produção é corrente contabilizar-se algumas más desperdiçadas por aquecimento excessivo. Este facto, deve-se às bolsas de ar que se formam resultantes da deformação dos moldes e do consequente desmoronamento por gravidade. Estas bolsas localizadas de ar podem atingir temperaturas muito acima dos 180°C, temperatura a que o processo de cura deve ocorrer. O excesso de temperatura provoca a formação de pequenas fendas nos elementos abrasivos e caso a temperatura atinja valores proibitivos dá-se a danificação por deformação plástica do “insert” levando automaticamente à rejeição do elemento abrasivo. Estes “inserts” (confrontar figuras 13.b, 13.c e 13.d) são elementos em Teflon® ou Politetrafluoretileno (PTFE) que são encaixados nas cavidades das formas de alguns moldes (dependendo do elemento abrasivo a fabricar), que após cura vão ser parte integrante do elemento abrasivo. Este serve para fixação do elemento abrasivo à mó da máquina de polimento.

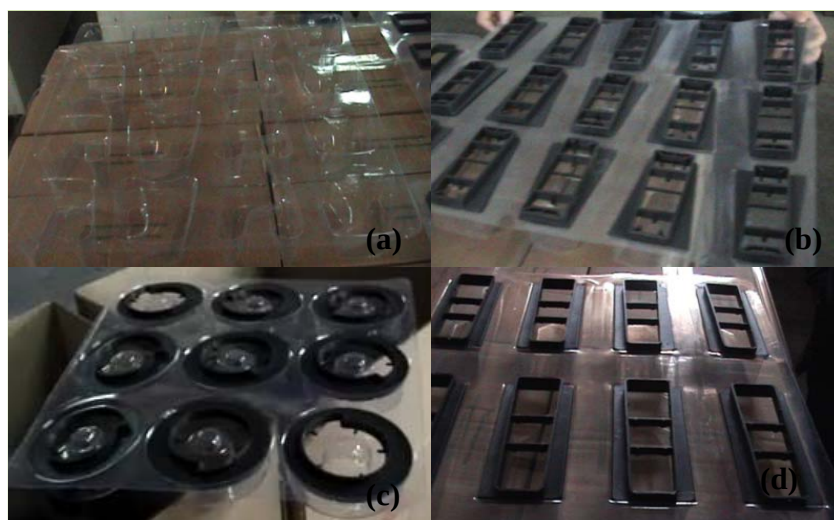


Figura 12 – Moldes de elementos abrasivos; a) Sem “insert”; b), c) e d) Com “insert”

Actualmente, ao colocar os elementos abrasivos nas estufas é necessário assegurar-se que já sofreram um bom pré-endurecimento, afim de garantir consistência e poderem ser empilhados de forma a evitar o mais possível a retenção dos gases.



Figura 13 – Recolha dos abrasivos após pré-endurecimento para ir à estufa⁵

6- Extracção dos elementos abrasivos da estufa e embalagem

O procedimento de extracção dos elementos abrasivos é realizado no dia seguinte à sua produção, devido ao tempo necessário à sua cura (nunca menos de 12 horas). Este processo é de elevada dificuldade, sobretudo quando a produção não é retirada no dia seguinte. Nesse caso, finalizada a reacção, a temperatura dos abrasivos vai descer até à temperatura ambiente e o plástico dos moldes deformados deixa de estar maleável, obrigando os operários a desenvolver grandes esforços para extrair os elementos abrasivos. Esta operação torna-se muito desagradável e mesmo incómoda para os operários, devido ao calor e gases libertados da reacção.

⁵ Imagem fornecida pela empresa Abralux, relativa a uma empresa que actualmente já não existe.

4.3- Formato dos elementos abrasivos

Como já foi referido anteriormente, estes elementos abrasivos são destinados ao polimento e brilho do granito, do mármore e de rochas em geral. Na sua produção pode-se encontrar 3 formas de elementos abrasivos (“tipo Fickert”, “tipo Frankfurt” e em forma de disco ou mó), existindo diversos tamanhos dentro de cada formato. Ao todo encontram-se 12 a 14 elementos abrasivos diferentes, podendo existir, para cada configuração, 21 tipos de grão⁶.

A empresa Abbralux fabrica, essencialmente, elementos abrasivos “Velox”⁷, que se inclui dentro do formato “tipo Fickert”.



Figura 14 – Alguns formatos de abrasivos produzidos na empresa Abbralux

⁶ Grãos existentes

Tamanho de: 16 - 24 - 30 - 36 - 46 - 60 - 80 - 100 - 120 - 180 - 220 - 280 - 320 - 400 - 600 - 800 - 1000 - 1200 - 1500 - GLOXILUX – SPARKLUX, estes dois últimos realizam o abrilhantamento da lâmina rochosa.

⁷ “Velox” esta designação resulta da necessidade de diferenciar tamanhos dentro do mesmo formato “tipo Ficker”.

4.4 - Sistema de vazamento de material abrasivo em moldes

No ano de 2006/07 e no âmbito da disciplina de *Projecto de Sistemas de Automação* foi realizado o projecto e implementação de um sistema automático para vazamento de material abrasivo nos moldes (figura 15).

Este permite o enchimento automático de quatro moldes de material abrasivo em simultâneo, através de quatro válvulas, actuadas por cilindros pneumáticos independentes.

Para o comando das válvulas de fecho, existem quatro sensores fotoelétricos para detecção do nível de enchimento. Estes podem ser ajustados para o nível pretendido através de um sistema de posicionamento mecânico.

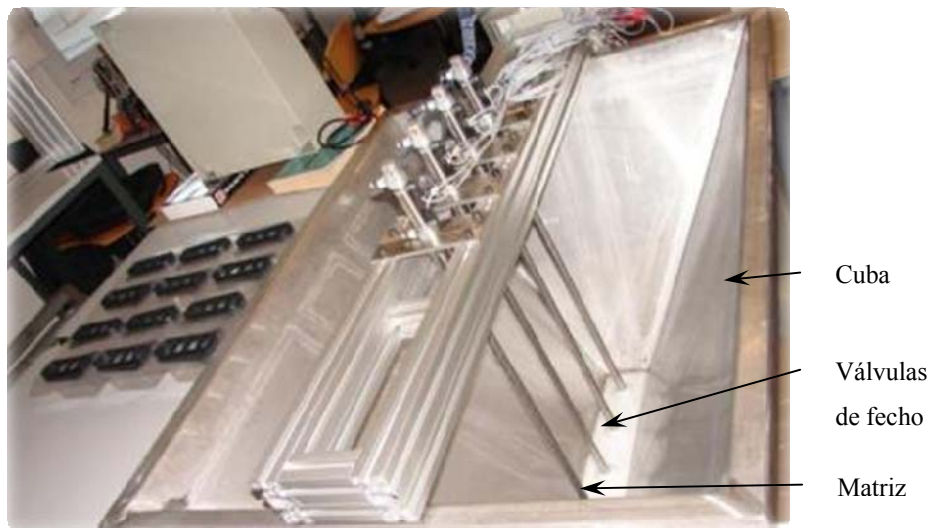


Figura 15 – Sistema automático de vazamento de material abrasivo nos moldes

Na parte inferior pode-se encaixar diferentes matrizes que, juntamente com o sistema de fecho da válvula ajustável a cada tipo de matriz, permite o vazamento da massa em qualquer tipo de molde.

Este sistema de vazamento pode trabalhar de modo automático, sendo controlado por um PLC “Siemens Simatic S7-200”.

Os testes realizados a este sistema deram bons resultados, mas o seu funcionamento em contínuo, está dependente da realização dos sistemas de estagiamento e de alimentação dos tabuleiros, a implementar nas novas instalações de empresa Abralux.

5 - Estudo inicial da organização da linha de produção

Para realizar o projecto de automatização de alguns processos, foi necessário realizar um estudo sobre qual o *layout* da zona de produção. Assim, foi tida como base a área de produção da empresa Abbralux nas novas instalações. Concluiu-se então que, a zona de enchimento (figura 16) deverá ser constituída, por um sistema de abastecimento de tabuleiros com os moldes previamente colocados no seu interior, um sistema transportador de correntes responsável pelo transporte dos tabuleiros até à zona de vazamento, e um sistema de estagiamento que permita retirar os tabuleiros com os moldes cheios para um carro podendo transportar até um máximo de dez tabuleiros. O sistema automático de estagiamento será então constituído pelo manipulador, que permite a extracção dos tabuleiros a velocidade controlada de forma a evitar derrames, pelo próprio tabuleiro e pelo carro, estando este guiado desde a zona de abastecimento até à zona de extracção do tabuleiro do transportador para o carro receptor.

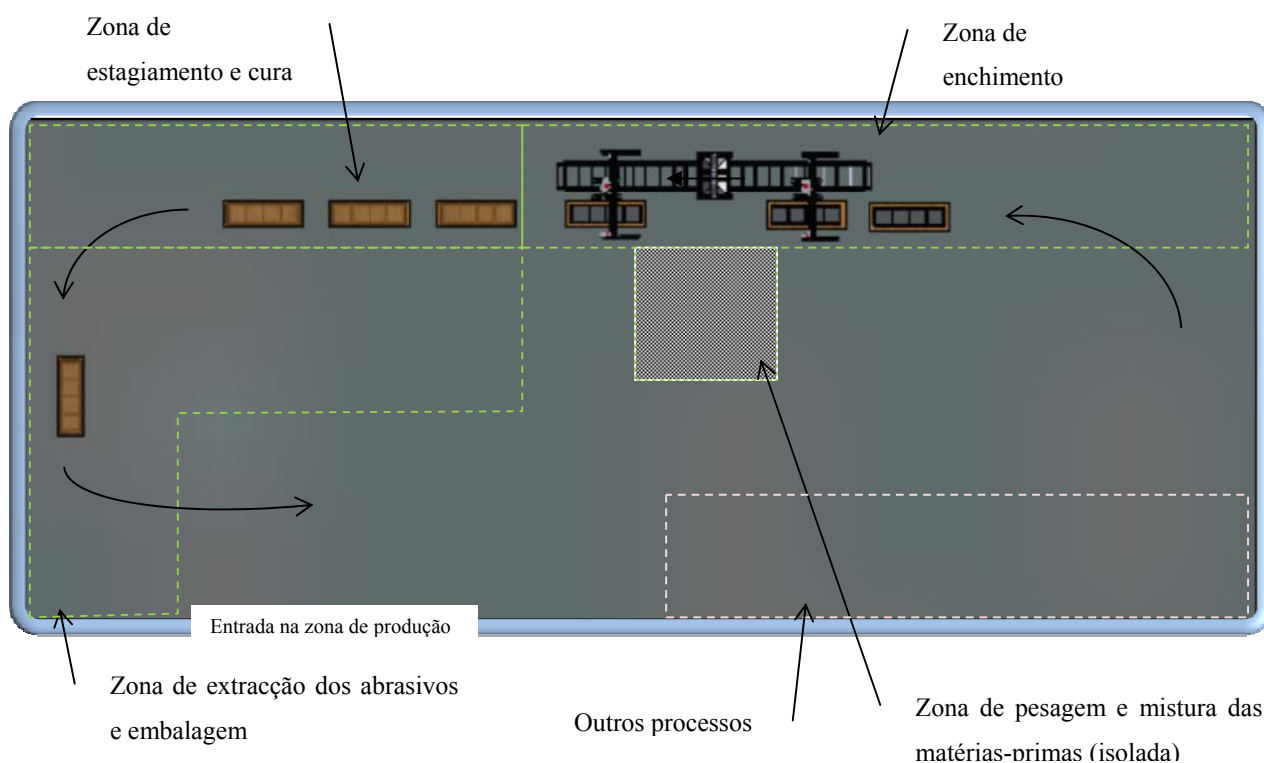


Figura 16 – Esboço de uma possível organização da zona de produção da empresa Abbralux área coberta 15x37m²

Na zona de estagiamento e de cura será colocado um invólucro de isolamento térmico que assenta sobre a base isolada do próprio carro. Este isolamento e a reacção química exotérmica vão permitir atingir a temperatura de cura.

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

A extracção dos abrasivos será, numa primeira fase, realizada de modo manual, pelo que futuramente, deverá ser automatizada.

A zona de pesagem e mistura de matérias-primas deverá ser isolada, de modo a não provocar contaminação da zona de produção com poeiras daí resultantes.

6 - Projecto do sistema de estagiamento

No estudo realizado previamente, concluiu-se que a melhor solução para o sistema de estagiamento, seria deslocar os moldes de PVC em tabuleiros. Estes são deslocados até à zona de enchimento num sistema transportador de correntes e, logo após o seu enchimento, são retirados por um manipulador para um carro receptor. Estes tabuleiros devem permitir o seu empilhamento sobre um carro. Quando o carro atingir a sua capacidade máxima é substituído por outro vazio e transportado para o local de endurecimento e cura. Todo o restante processo de estagiamento deverá ser realizado com os tabuleiros colocados sobre o carro, bastando, para isso, a colocação de um isolamento térmico pela parte superior envolvendo o conjunto.

Para além de reduzir o espaço dedicado à produção, esta solução também vai permitir eliminar algumas operações, que constam do processo produtivo actualmente utilizado.

O sistema projectado vai permitir ultrapassar alguns problemas que actualmente existem no processo produtivo, reduzindo a dependência de mão-de-obra, aumentando a competitividade da empresa e evitando deslocalizações para outros países.

Assim, para realizar a automatização do sistema de estagiamento, a utilização de tabuleiros é essencial. A movimentação do molde cheio de massa abrasiva é impossível sem um tabuleiro, já que estes moldes são em PVC, muito deformável, tornando qualquer tentativa de deslocação do molde antes do período de pré-endurecimento, num risco de derrame de massa abrasiva.

A utilização de tabuleiros vem, então, possibilitar o transporte dos moldes até à zona de enchimento e posterior empilhamento num carro receptor. Este deverá transportá-los até uma zona de estagiamento e cura, de modo a poder entrar outro vazio, dando continuidade ao sistema de produção.

Todos os movimentos, desde o sistema transportador de correntes, até ao movimento do carro receptor, passando pelo movimento do manipulador devem ser suaves de modo a evitar derrames.

Este sistema foi projectado tendo em conta a legislação da Directiva 98/37/CE, conhecida como a Directiva Máquina. Assim, toda a máquina foi pensada de forma a garantir a segurança da máquina e operadores.

6.1 - Projecto mecânico do sistema

A automatização eficiente de um sistema, nunca será conseguida se o projecto mecânico não for realizado da melhor forma. Foram por isso, no início, contempladas diversas hipóteses de accionamento, sendo necessário garantir um compromisso de projecto mecânico versus custo de automatização.

Assim, a sua realização resulta de um sem número de alterações que foram realizadas, e que, devido a algumas impossibilidades, foram corrigidas, resultando numa solução final.

6.1.1- Projecto mecânico do tabuleiro

A utilização de tabuleiros, tem por objectivo substituir as actuais mesas onde as massas abrasivas são vazadas nos moldes e subsequentemente estagiamento. Estes trazem múltiplas vantagens:

- São empilhados até dez tabuleiros, permitindo ocupar uma menor área de fábrica;
- Quando empilhados no carro, permitem a colocação pela parte superior de um invólucro de isolamento térmico, criando uma espécie de estufa, proporcionado as condições de cura no próprio carro de transporte;
- Facilitam a desmoldagem, não permitindo que o molde se deforme sobre os restantes moldes. Este ao deformar-se vai ficar retido sobre a base do tabuleiro, ficando os elementos abrasivos praticamente separados do molde deformado;
- Evitam a formação de bolsas de ar quente na estufa, permitindo uma distribuição do calor mais uniforme, apenas pelo facto de estarem separados os moldes pelas chapas do tabuleiro, permitindo uma melhor circulação dos gases dentro da estufa;
- Permitem o manuseamento e transporte cuidado dos moldes vazados, tornando o sistema de vazamento fixo e os moldes móveis.

Para a produção de elementos abrasivos “Velox” (que representam 90% da actual produção da empresa Abralux) é utilizado um molde com 12 formas deste elemento abrasivo. Para igualar a actual produção de aproximadamente 2500 elementos abrasivos diários, serão necessários 52 tabuleiros e 6 carros, supondo que cada tabuleiro suportará 4 moldes.

Peso de um elemento abrasivo	1,2	kgf
Produção actual /dia (Peso)	3000	kgf
Número de elementos abrasivos produzidos /dia	2500	Unidades
Elementos abrasivos por tabuleiro	48	Unidades
Quantidade de tabuleiros necessária	53	Unidades
Carros necessários	6	Unidades

Tabela 1 – Actual produção da empresa Abbralux; equivalência em tabuleiros necessários

Caso se pretenda aumentar a produção e fabricar 100 tabuleiros, serão necessários 10 carros e a produção será quase duplicada (tabela 2).

Carros	10	Unidades
Tabuleiros necessários	100	Unidades
Quantidade produzida (Peso)	5760	Kgf
Número de elementos abrasivos produzidos/dia	4800	Unidades

Tabela 2 – Produção de elementos abrasivos utilizando 100 tabuleiros

Tendo em atenção todas as vantagens que a aplicação de tabuleiros nos vai trazer à produção de abrasivos, chegou-se ao seguinte formato construtivo, tido como o mais adequado ao fim em vista (figura 17).

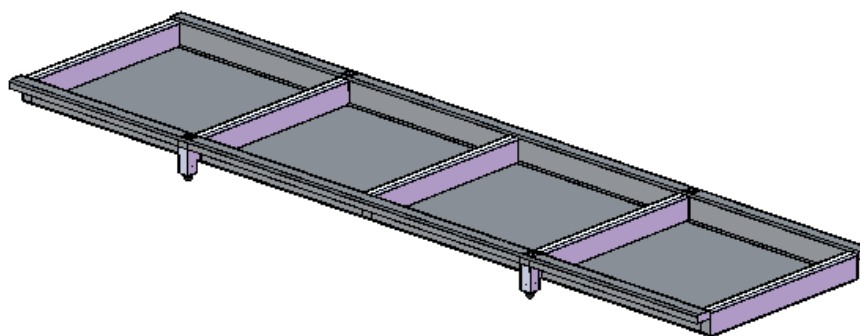


Figura 17 – Desenho do tabuleiro vazio para o molde utilizado na produção de elementos abrasivos “Velox”

Este tabuleiro será utilizado para o formato dos elementos abrasivos “tipo Fickert” com o tamanho “Velox”, e permite o encaixe de quatro moldes no seu interior. O tabuleiro, vai permitir o posicionamento por batentes laterais no transportador de correntes, originando um posicionamento eficiente de todas as formas de modo a garantir o seu correcto enchimento.

O sistema de vazamento de massa abrasiva nos moldes permite encher 4 formas em simultâneo. O formato do tabuleiro que mais vantagens apresenta, tais como a facilidade de empilhamento no carro e o que melhor se adapta ao sistema de vazamento, é o representado na figura 18 (dispõe de quatro moldes em linha).

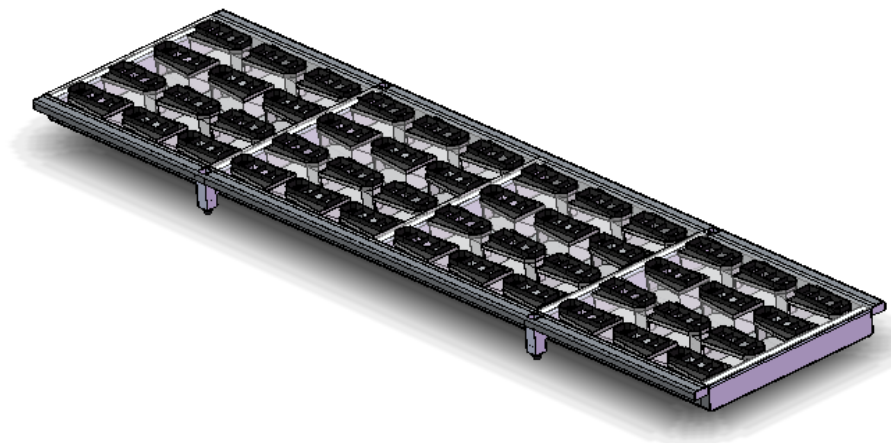


Figura 18 - Desenho do tabuleiro com os moldes

Para o fabrico deste formato de tabuleiro foi realizado um estudo de modo a tornar a sua construção a mais económica possível, visto a quantidade de tabuleiros necessária ser elevada. Assim para a análise estrutural, os tabuleiros foram sujeitos às condições de carga máxima, que se verificam quando se encontram com todos os moldes cheios. Para tal análise, foi aplicada uma força distribuída, na zona onde são apoiados os moldes com massa abrasiva. Foi aplicado um encastramento numas das pernas do tabuleiro e as restantes foram fixadas verticalmente. O material seleccionado para sua construção foi o aço inox AISI 316L⁸.

⁸ A justificação para a aplicação deste aço é apresentada na página 35 deste relatório.

Foi utilizado como critério de cálculo a limitação das deformações do tabuleiro compatíveis com a manutenção do conteúdo dos moldes sem que ocorram derrames. A deformação de toda a estrutura, que poderá conduzir a dificuldades de encaixe das pernas dos tabuleiros, também foi verificada.

Foi igualmente feito um cálculo de verificação de tensões, recorrendo ao critério de von Mises.

Para realizar esta análise estrutural foi utilizada a aplicação “CosmoWorks”, que vem com o *software* de desenho “SolidWorks”. Os resultados desta análise estão apresentados na página seguinte nas figuras 19 e 20.

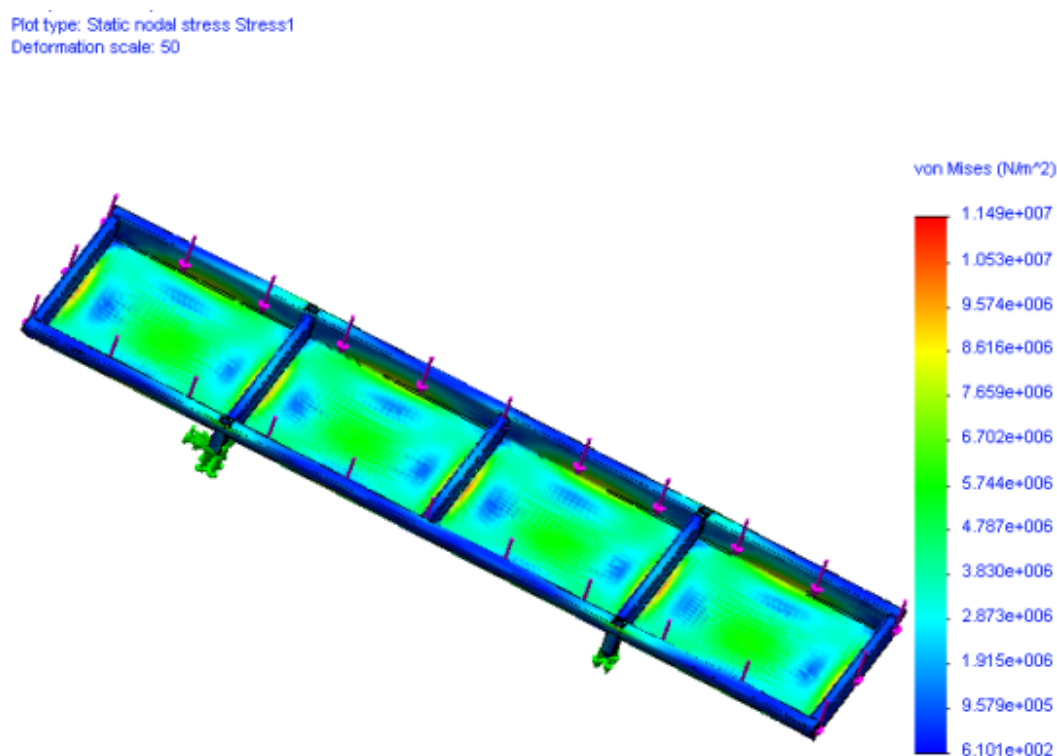


Figura 19 – Análise estrutural do tabuleiro sujeito às condições de carga máxima

Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 50

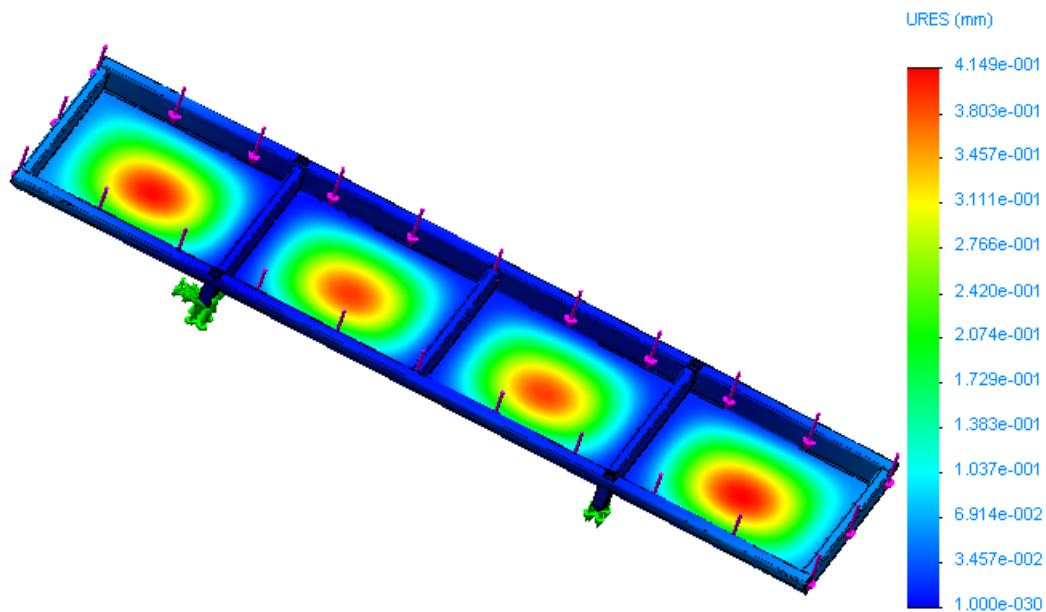


Figura 20 - Análise de deformações sofridas no tabuleiro nas condições de carga máxima

A deformação máxima obtida é de 0,4 mm situada na zona central de apoio ao tabuleiro. Desta análise resulta uma tensão máxima de 11,5 MPa, utilizando o critério de von Mises, valor muito abaixo da tensão de cedência do aço utilizado (205 MPa).

Até chegar a esta solução foram estudadas outras soluções intermédias, mas a solução escolhida foi a que implicava menor custo em termos de material usado para sua construção e ao mesmo tempo aquela que é obtida por processos de fabrico bastante simples, como quinagem e soldadura. Como será fabricado um elevado número de tabuleiros, recomenda-se a construção de um molde para posicionar os diferentes elementos a soldar do tabuleiro.

A figura 21 representa a vista explodida de todos os elementos constituintes do tabuleiro. As cinco travessas do tabuleiro são obtidas por quinagem de chapa, assim como a base principal do tabuleiro.

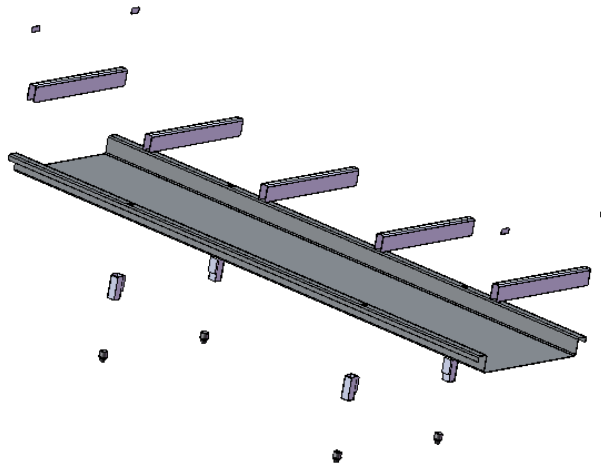


Figura 21 -Tabuleiro construção soldada em vista explodida

A espessura de chapa e o formato do tabuleiro resultam de uma otimização estrutural, recorrendo ao programa de análise de elementos finitos *CosmoWorks*. Assim a espessura de chapa deverá ser de 2 mm e as pernas do tabuleiro deverão estar distanciadas longitudinalmente cerca de um metro.

Cada tabuleiro pesará cerca de 30 kgf e, quando carregado com os moldes cheios, pesará cerca de 90 kgf.

Estes tabuleiros vão estar sujeitos a condições de temperatura de cerca de 180°C, que aliado aos gases no interior das estufas e alto nível de corrosão, exigem uma construção em material adequado. Para prolongar o tempo de vida dos tabuleiros, o material seleccionado para o seu fabrico é o aço inoxidável AISI 316L, que pelas suas características, resiste a estas condições de corrosão, possibilitando o retorno a curto prazo do elevado investimento inicial feito nos mesmos.

Uma alternativa à utilização deste aço inoxidável era o fabrico do tabuleiro em aço de construção, com posterior galvanização. Contudo, os custos totais (que englobam o custo do material e dos processos de fabrico), aliados ao tempo de vida dos tabuleiros, apontam para a utilização do aço inoxidável AISI 316L.

Estes tabuleiros vêm possibilitar o empilhamento dos mesmos em carros, que podem ser deslocados para zonas específicas da fábrica, na própria fase de estagiamento (figura 22).

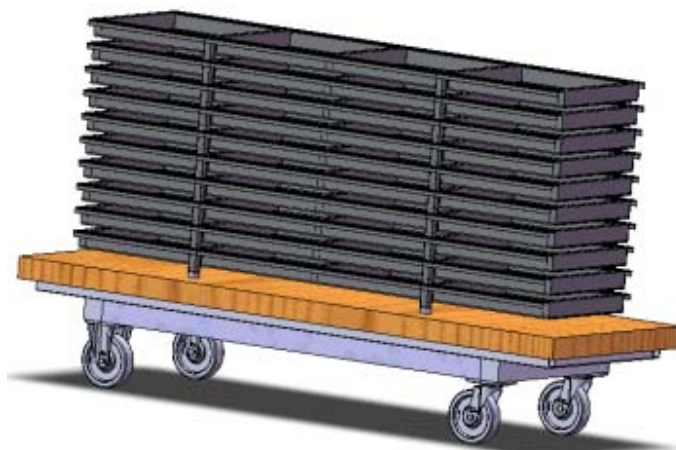


Figura 22 – Carro com tabuleiros acumulado

A circulação deste carro junto da linha de enchimento deve ser feita com guiamento, de maneira a permitir o posicionamento do mesmo relativamente ao sistema de alimentação e de extracção dos tabuleiros (manipulador).

O projecto deste carro não se encontra totalmente realizado, essencialmente, devido à falta de tempo e condições técnicas para efectuar um estudo térmico que será necessário, para criar condições, que permitam a cura dos elementos abrasivos no próprio carro (figura 23). Contudo, fica como um trabalho a realizar futuramente, assim como a sua actuação dentro da linha de enchimento.

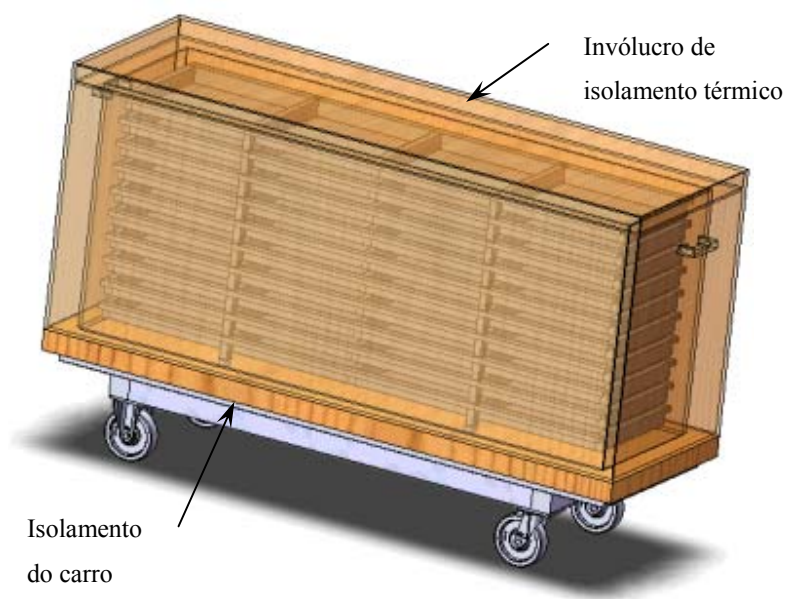


Figura 23 - Carro com invólucro de isolamento térmico para realizar o processo de cura dos elementos abrasivos

Finalmente, foi realizada uma verificação estrutural de todos tabuleiros acumulados (na aplicação CosmoWorks), numa situação de carga máxima, que se verifica quando temos 10 tabuleiros empilhados e os moldes se encontram todos cheios. Esta solicitação resulta numa tensão máxima de 41,8 MPa, utilizando o critério de von Mises, que ocorre na face interna da perna do tabuleiro inferior, pelo que se conclui que estes resistem a essa solicitação.

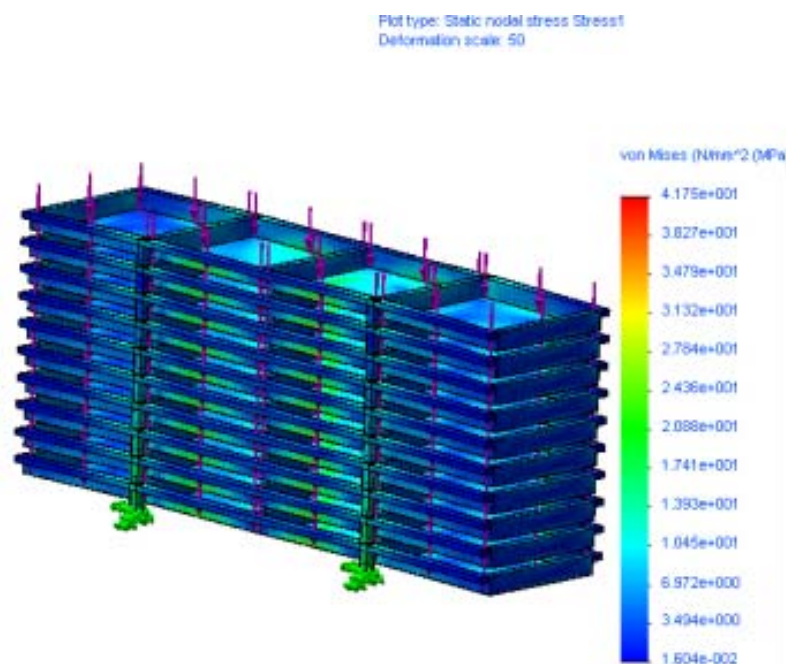


Figura 24 - Resultado de análise de elementos finitos realizados aos tabuleiros acumulados numa situação de carga máxima

A deformação máxima para a mesma solicitação é de 1,1 mm, o que é considerado aceitável por se verificar ao centro da chapa principal do tabuleiro como a figura 25 demonstra.

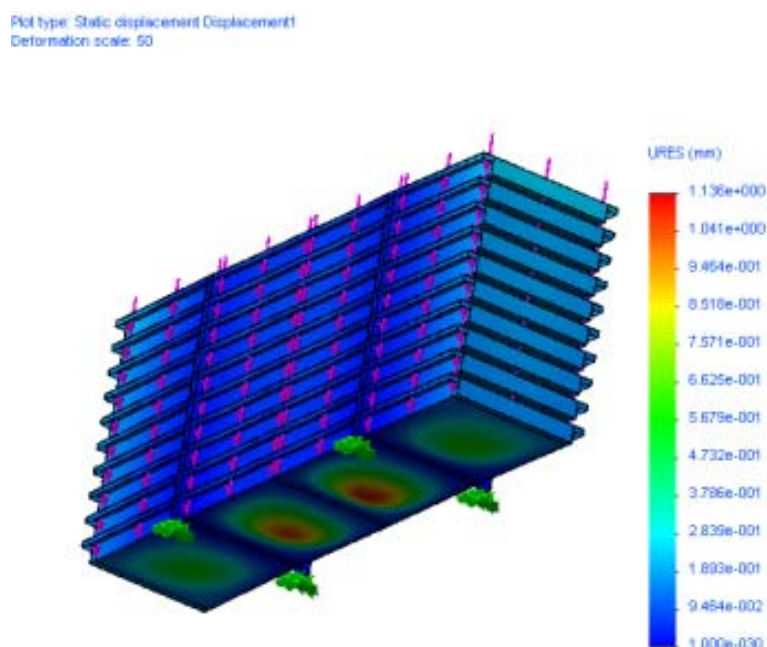


Figura 25 - Resultado de análise de elementos finitos realizados aos tabuleiros acumulados numa situação de carga máxima para a deformação

6.1.2 – Projecto mecânico do manipulador

No manipulador projectado, os principais requisitos de construção são a capacidade de carga, o deslocamento necessário em cada eixo, a velocidade, a garra adaptável ao tabuleiro projectado e a repetitibilidade no posicionamento.

Assim, necessitamos que o manipulador tenha uma capacidade **de carga superior a 1000 N**, uma vez que um tabuleiro cheio de moldes pesa cerca de 900 N.

O tempo mínimo com que o manipulador deve percorrer um ciclo é dado pelo tempo que o sistema de vazamento demora a encher os moldes de um tabuleiro. Ensaio realizado na empresa Abbralux, para o enchimento das formas do molde “Velox”, apontam para tempos da ordem de 6 segundos por linha de formas, o que dá um tempo de 100 segundos por tabuleiro (tabela 3).

Tempo de enchimento de uma linha de formas	6	s
Velocidade média do transportador de correntes	50	mm/s
Distância a percorrer entre formas do molde	170	mm
Tempo de transição entre linhas de enchimento	2	s
Tempo de retirar um tabuleiro do transportador de correntes	10	s
Número de linhas por tabuleiro	12	Unidades
Tempo enchimento completo de um tabuleiro	100	s

Tabela 3 – Dados referentes ao cálculo do tempo mínimo de enchimento dos moldes de um tabuleiro

O manipulador deverá ter um curso vertical mínimo de 930 mm e um curso horizontal mínimo de 1200 mm.

Se o actuador linear tiver uma velocidade de 0,1 m/s, verificamos que o tempo de execução de um ciclo é de cerca de 70 segundos (ver tabela 4), estando reservado ainda algum tempo para abrir e fechar a garra e eventuais ajustes para situações não pensadas.

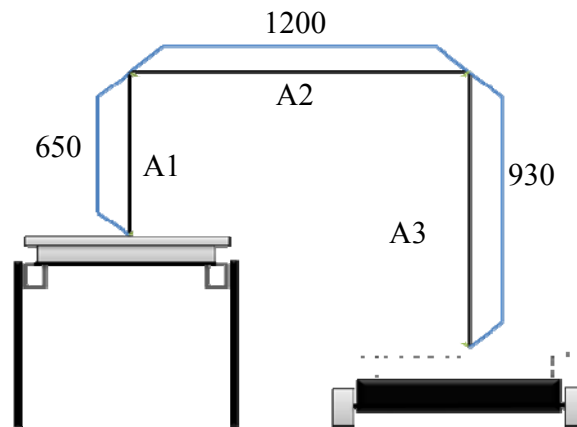


Figura 26 – Representação do diagrama de velocidades do manipulador para o curso máximo

	Distância [mm]	v [mm/s]	a [mm/s ²]	Tempo [s]	Tempo total acumulado [s]
A1	450	100	0	4,5	4,5
Rampa de aceleração	100	---	50	2	6,5
Rampa de desaceleração	100	---	50	2	8,5
A2	1000	100	0	10	18,5
Rampa de aceleração	100	---	50	2	20,5
Rampa de desaceleração	100	---	50	2	22,5
A3	730	100	0	7,3	29,8
Rampa de aceleração	100	---	50	2	31,8
Rampa de desaceleração	100	---	50	2	33,8
Se a velocidade de retorno for idêntica, o tempo total de ciclo será:					67,6

Tabela 4 – Cálculo do tempo mínimo que o manipulador completa um ciclo para o curso máximo⁹

O manipulador foi projectado tendo em conta a cadeia cinemática e a dinâmica do sistema. Este resulta de um processo iterativo de algumas soluções rejeitadas, quer por motivos de resistência mecânica, quer por motivos construtivos, como a aplicação de soluções de motorização, aplicação de sistemas de guiamento, elevado custo de fabrico, etc.

⁹ Nestes cálculos não foi contabilizado o tempo da operação de agarrar e pousar o tabuleiro

A figura 28 mostra algumas das soluções mecânicas a que se chegou, mas que por algum dos motivos anteriormente descritos, foram abandonadas ou sofreram uma evolução para a solução final.



Figura 27 - Algumas soluções de manipuladores rejeitadas ou que evoluíram para a solução final

Assim, a solução final considerada, resulta de uma iteração de soluções e encontra-se representada na página seguinte figura 28, com a descrição de alguns elementos.

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

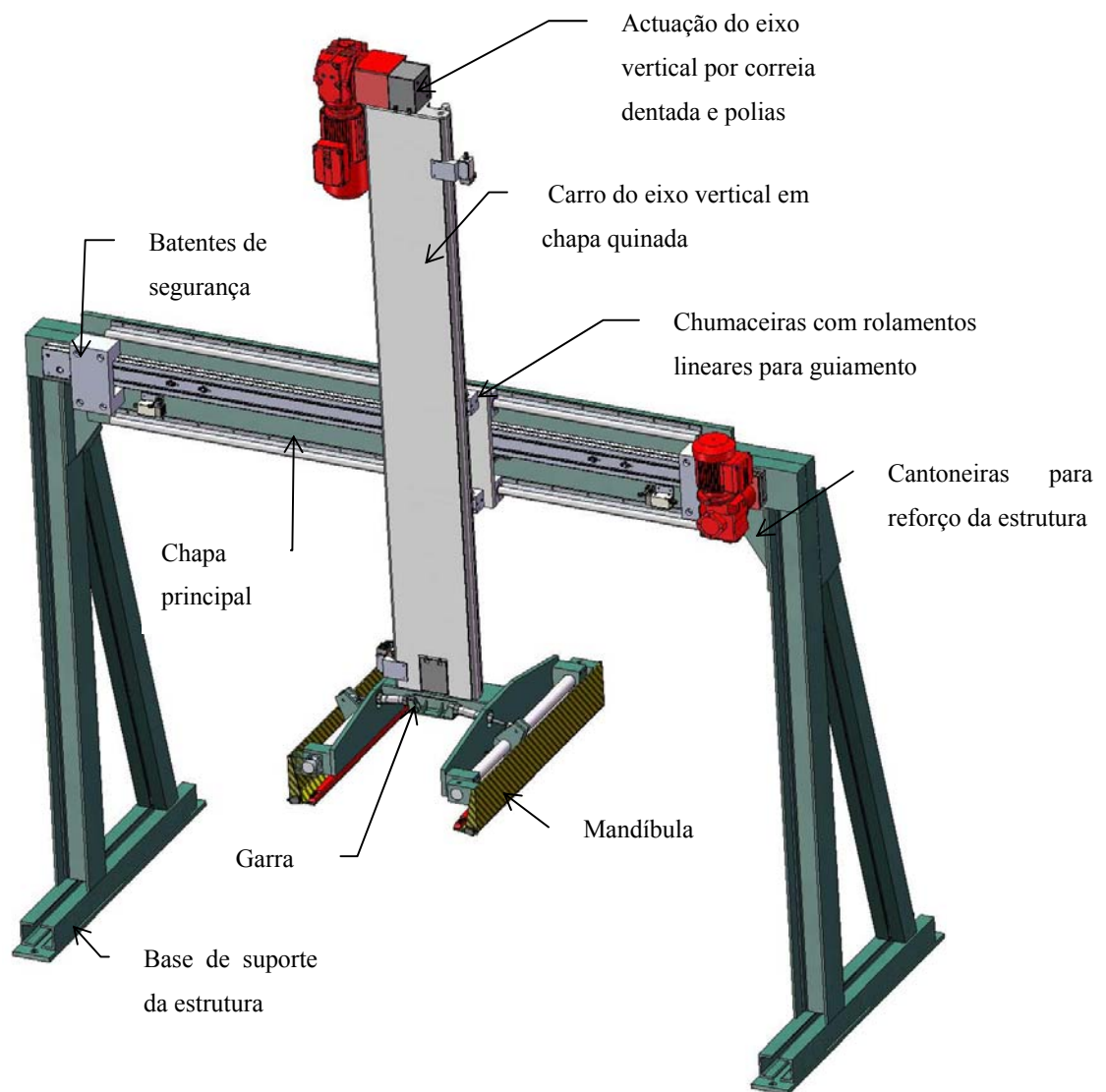


Figura 28 - Solução mecânica final do manipulador

Seguidamente serão descritos alguns dos componentes que constituem este manipulador.

- Estrutura principal

A grande maioria dos componentes a soldar da estrutura principal foi desenhada com perfis existentes no mercado (perfis HEA e UPN), com vista a minimizar os custos (figura 29).



Figura 29 – Estrutura principal do manipulador em construção soldada

Esta estrutura é toda ela realizada em construção soldada, em aço St37. Esta foi reforçada por cantoneiras, de modo a compensar os esforços de flexão e torção que se verificavam na viga superior, na zona em que termina a chapa principal. A deformação angular da viga principal no plano perpendicular ao plano definido pelos eixos do manipulador é considerado um factor crítico, já que uma pequena deformação nesta, vai reflectir-se num grande deslocamento ao nível da garra quando esta estiver toda descida.

Para determinar esta deformação foi efectuado o cálculo computacional por elementos finitos, utilizando a aplicação *CosmoWorks* (figuras 30 e 31).

A estrutura foi encastrada por uma das extremidades de apoio, e a outra extremidade restringida a deslocamentos no plano de apoio. Assim, de forma a testar o manipulador à situação máxima de esforços, a garra foi colocada a meio do eixo horizontal de movimento, e foi-lhe aplicada uma solicitação de 1000 N na direcção vertical, peso correspondente a um tabuleiro com moldes cheios, bem como, foi definida uma aceleração gravítica de $9,8 \text{ m/s}^2$, dado que o peso da própria estrutura é significativo.

A deformação máxima é de 1,2 mm na parte inferior da garra (figura 30). Esta deformação foi tida como razoável por forma a garantir o encaixe entre tabuleiros e também a limitação da inclinação do tabuleiro.

Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 260.436

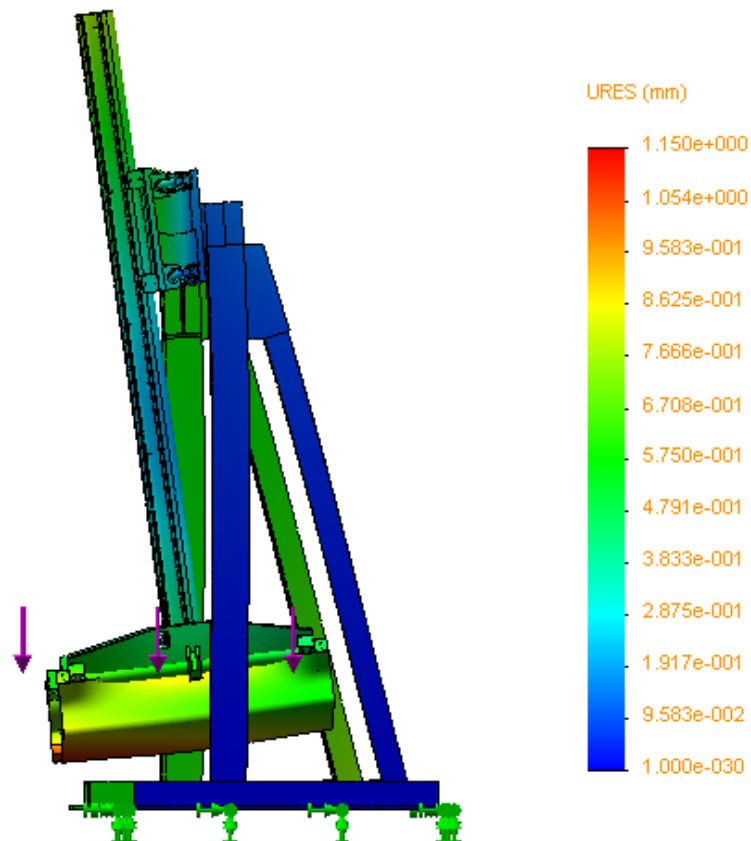


Figura 30- Deformação no manipulador projectado

Para as mesmas solicitações, nos resultados da análise estrutural ao manipulador, pode verificar-se pelo critério de von Mises, que a tensão máxima será de 47,9 MPa, sendo este um valor aceitável para o aço utilizado (St 37), visto este ter uma tensão de cedência superior a 200 MPa (figura 31).

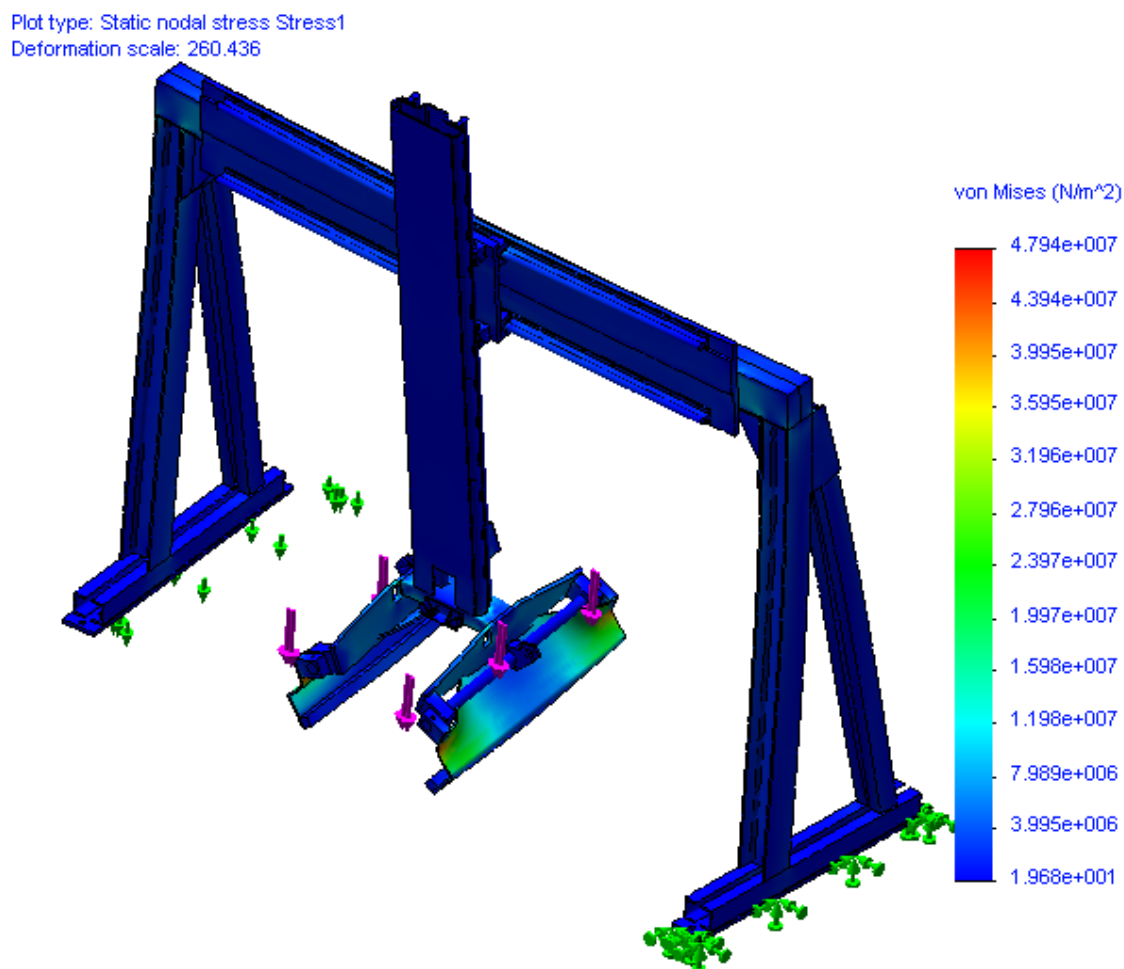


Figura 31 – Análise estrutural do manipulador

De modo a assegurar que o desempenho do manipulador não seja comprometido por frequências introduzidas no sistema pela movimentação dos seus eixos, foi realizada uma análise

frequencial da estrutura na aplicação *CosmoWorks* do *SolidWorks*, de modo a saber onde se situa o primeiro modo frequencial. Para a análise, o manipulador foi encastrado em ambas as extremidades de apoio. Assim, verifica-se que o primeiro modo frequencial ronda os 14 Hz, que é um valor considerado elevado, comparativamente às baixas solicitações de ordem frequencial que teremos.

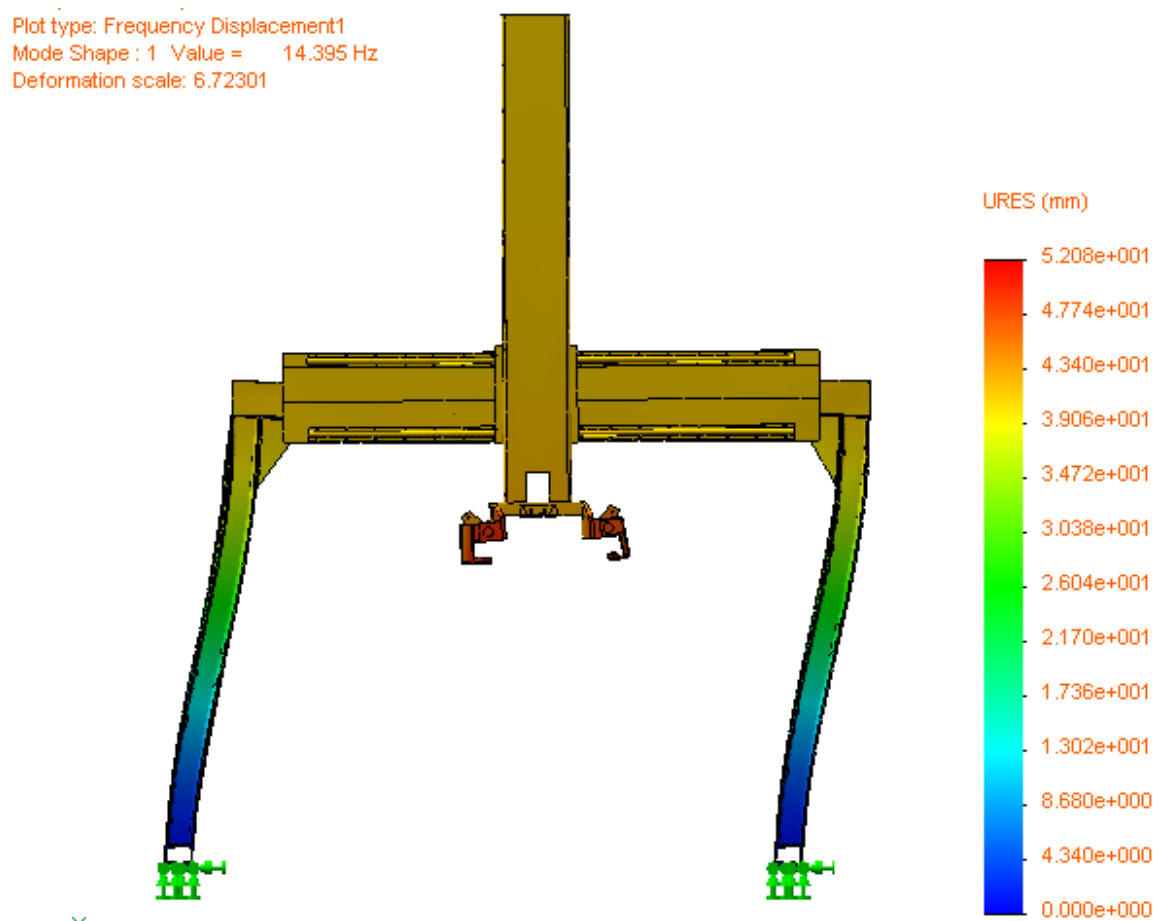


Figura 32 – Análise frequencial (primeiro módulo frequencial)

Batentes de Segurança

Na estrutura principal do manipulador são aparafusados dois batentes laterais, que vão funcionar como uma limitação física ao movimento do eixo horizontal. De modo que, no caso de os fins de curso de segurança não accionarem o freio do motor, resultante de alguma anomalia impossível de prever, estes batentes serão um limite de último recurso (destrutivo), para evitar que os dois carros de movimentação saiam arremessados pela lateral, pondo em perigo os operários.

Guiamentos para o movimento linear

Para o guiamento do movimento linear nos dois eixos foi inicialmente considerada uma solução existente no mercado, de baixo custo, fornecida pela empresa IGUS. Trata-se de casquilhos de deslizamento designados por “DryLin® R” (figura 33), construídos num plástico especial de baixo atrito. A sua utilização ficou comprometida devido à necessidade de aumentar a rigidez do eixo vertical. Este facto levou, por sua vez, a um consequente aumento do seu peso e impossibilitou a utilização dos mesmos. É de salientar que, para estes casquilhos, é necessário garantir um braço de força admissível, que obriga ao seu afastamento. Existe ainda uma relação peso – velocidade linear a respeitar, em que para um aumento do peso, a velocidade terá de diminuir e vice-versa, caso contrário, estes aquecem com o movimento, acabando por se danificar rapidamente. Contudo, esta seria uma boa solução, de baixo custo, e foi por isso explorada a sua possível utilização.

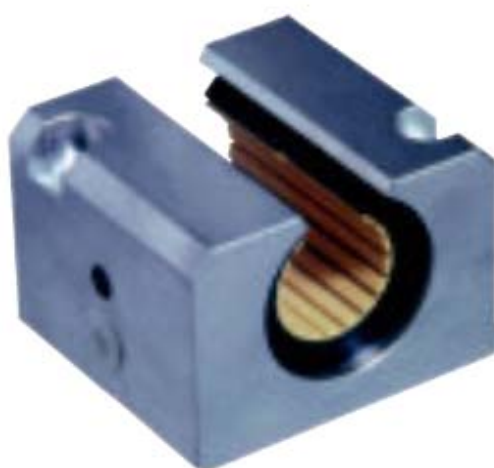


Figura 33 - Chumaceira e casquilho “DryLin® R” da IGUS

A inviabilidade da solução anterior obrigou ao recurso de uma solução de preço mais elevado, que é o caso dos casquilhos de deslizamento com esferas (ou rolamentos lineares). Tendo em atenção as cargas que devem suportar, foram escolhidos rolamentos lineares e chumaceiras da INA/FAG, referência KGNOS25-C-PP-AS e as guias com respectivo suporte, referência TSNW25 (figura 34).

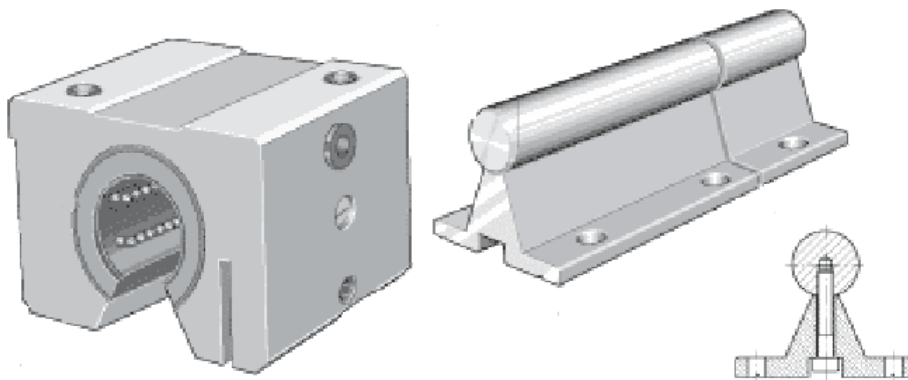


Figura 34 – Chumaceira e rolamento linear da INA/FAG, referência KGNOS25-C-PP-AS, guia e suporte referência TSNW25

Estes rolamentos lineares têm um coeficiente de atrito máximo de 0,0025 e suportam uma carga de 2260 N cada um. Esta solução possui um raspador que evita a entrada de sujidade.

Para cada eixo de movimento linear vão existir dois rolamentos fixos e dois flutuantes (figuras 35). Os fixos vão encostar a uma face de encosto maquinada, onde a chumaceira vai apertar. Estes vão permitir um certo tolerânciamento na perpendicularidade entre os eixos vertical e horizontal.

Na chapa principal, vão ser aparafusados os suportes dos veios de guiamento do movimento do eixo horizontal, existindo igualmente, um suporte fixo e um flutuante (figura 36).

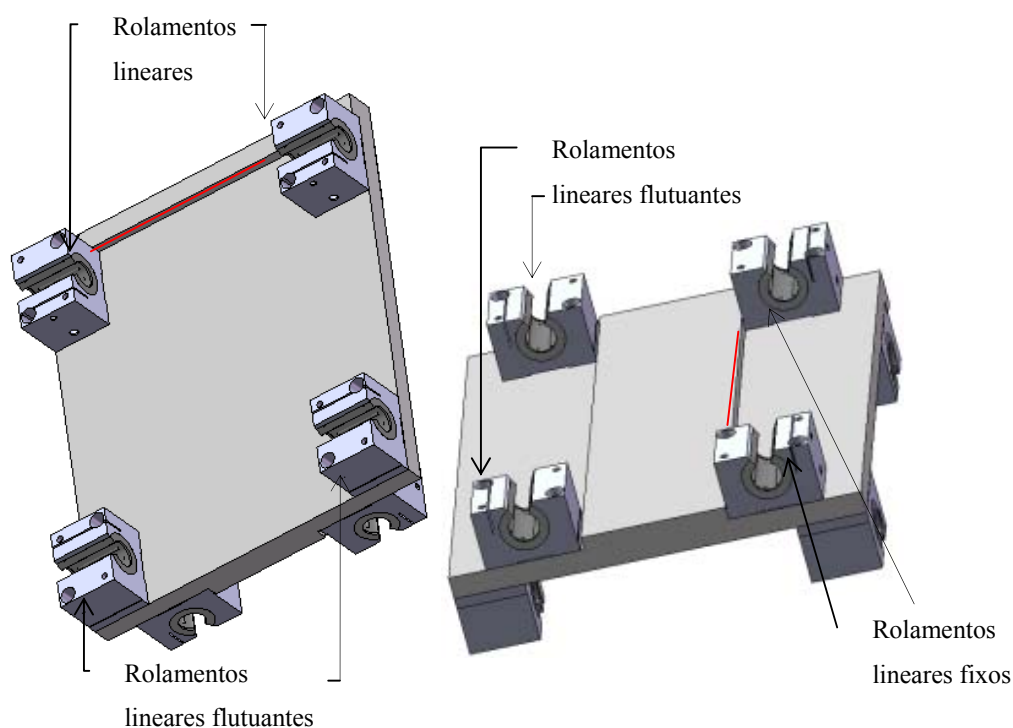


Figura 35 – Carro do eixo horizontal posicionamento dos eixos por faces de encosto

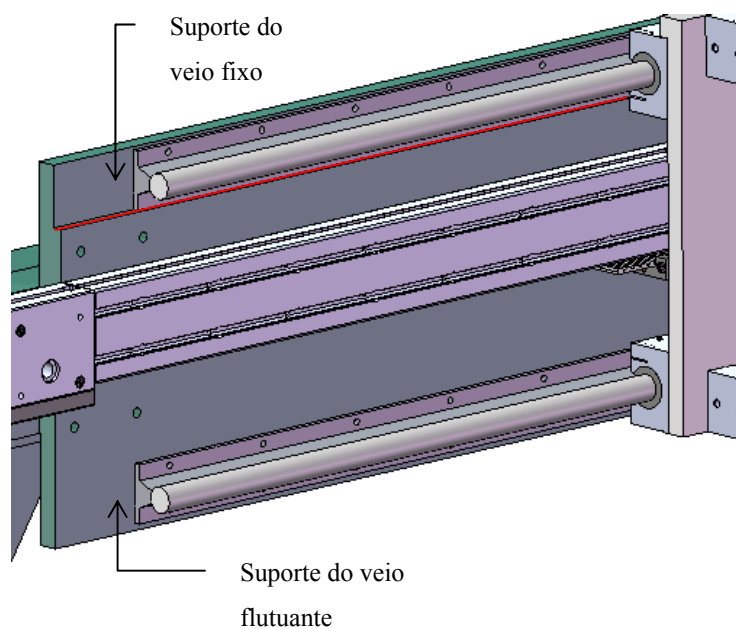


Figura 36 - Guias do carro do eixo horizontal posicionadas por face de encosto

Accionamento dos eixos vertical e horizontal

Para o accionamento dos eixos vertical e horizontal, foram estudados vários tipos de accionamento existentes, tais como, o accionamento pinhão-cremalheira, o fuso de esferas, o

accionamento por cilindro hidráulico, utilizando uma fonte hidropneumática e também hidráulica. Contudo, as soluções de utilização da hidráulica, de fuso de esferas, de pinhão cremalheira de dentado helicoidal e de hidropneumática foram, por motivos económicos, postas de lado. A solução de pinhão cremalheira de dentado recto, também foi rejeitada porque iria introduzir vibrações no manipulador.

Assim, a solução que apresenta melhor relação qualidade-custo, respondendo ao caderno de encargos, é a solução de polia com correia dentada. O conjunto das correias e das polias foram retirados do catálogo da “Minitec”. Estes apresentam duas soluções para as polias (T45 e T90), visto que, para ambos os casos, são utilizadas correias dentadas 32AT10.

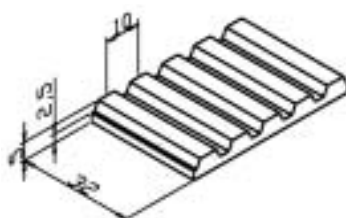


Figura 37 – Correia 32AT10

	Movimento vertical	Movimento Horizontal
Curso	1890	2200
Distância entre esticadores	240	340
Comprimento reservado ao retorno nas rodas dentadas e aos esticadores ¹⁰	380	380
Folga de segurança	50	50
Comprimento total da correia	3970	4490

Tabela 5 - Cálculo do comprimento das correias [mm]

Polia dentada:	T90	T 45
Correia		
D =	58.6 mm	58.6 mm
Largura	32mm	32 mm

¹⁰ Valores retirados do catálogo do fornecedor Minitec

Dentes	19	19
Correia dentada	32AT10	32AT10
Comprimento na inversão	210 mm	210 mm
Binário máximo	130 Nm	70 Nm

Tabela 6 - Dados das polias dentadas para accionamentos dos eixos do manipulador¹¹

O cálculo do binário máximo estimado para as polias, teve em linha de conta as principais solicitações.

Assim, o cálculo aproximado do binário máximo verificado nas polias é dado por:

$$- T_h \approx (M_h \times a + Fa) \times \frac{D}{2} = (400 \times 0,05 + 4000 \times 0,0025) \times \frac{0,0586}{2} = 0,9 \text{ N.m}$$

$$- T_v \approx M_v \times g \times \frac{D}{2} = 300 \times 9,8 \times \frac{0,0586}{2} = 86 \text{ N.m}$$

Th [N.m] - Binário máximo, que se pode verificar no acoplamento da polia para accionamento do carro do eixo horizontal.

Tv [N.m] - Binário máximo, que se pode verificar no acoplamento da polia para accionamento do carro do eixo vertical.

Mv [kg] - Massa máxima, que se pode verificar no carro do eixo vertical.

Mh [kg] - Massa máxima, que se pode verificar no carro do eixo vertical.

g [m/s²] - Aceleração gravítica.

a [m/s²] – Aceleração imposta ao carro do eixo horizontal.

Fa [N] - Força de atrito dos rolamentos lineares , Fa=CxN em que C é o coeficiente de atrito dos rolamentos lineares C=0,0025.

D [m] – Diâmetro da polia, igual em ambos os casos.

Com estes valores verifica-se que, para o accionamento do eixo vertical, devem ser utilizadas as polias designadas por T90 e para o eixo horizontal as polias T45. Para implementar esta solução, diferentes acessórios são necessários, tais como, parafusos para aperto específico de

¹¹ Valores retirados do catálogo do fornecedor Minitec

alguns componentes, esticadores para esticar e fixar as correias aos carros dos eixos, e perfil alumínio 45x90F. O perfil alumínio 45x90F serve para fixar as polias do eixo horizontal, ao mesmo tempo que permite a recirculação da correia pelo seu interior. A tabela 7 refere todo o material e acessórios para a solução preconizada, apresentando a designação do fabricante, referência e quantidade dos mesmos.

Designação do fabricante	Referência	Quantidade
Timing belt pulley T 90 Z	28.0082/1	1
Timing belt pulley T 90	28.0082/0	1
Power-lock fastener	21.1018/0	8
Thread (A) M8x20	25.1087/0	8
Timing belt pulley T45Z	28.0083/1	1
Timing belt pulley T45	28.0083/0	1
Timing belt tensioner	28.0090/0	4
Timing belt AT10/metro	28.0093/0	8,5
Profile 45x90F/metro	20.1032/0	2,2

Tabela 7 – Referência dos componentes usados no accionamento dos eixos (fornecedor Minitec)

As figuras 38 e 39 são uma representação das polias utilizadas, retiradas do catálogo.



Figura 38- Timing belt pulley T 90, ref. 28.0082/0



Figura 39- Timing belt pulley T45Z ref. 28.0083/1

Acoplamento do veio do motor ao da polia

Para fazer as ligações dos veios de saída do motor ao veio da polia, foi necessário seleccionar dois acoplamentos. Para ambos os eixos, o diâmetro do veio de saída do moto-redutor é de 25 mm e o da polia 17 mm.

No catálogo do fabricante KTR foram seleccionados dois acoplamentos “tipo Rotex” cujas referências dos elementos que os constituem se encontram na tabela 8.

Designação do fabricante	Referência
ROTEX 28 St Large hub Ø17H7 keyway	DIN 020285101700
ROTEX 28, Spider 92 Shore A YELLOW	20281000001
ROTEX 28 St, Large hub Ø25H7 keyway	DIN 20285101700

Tabela 8 - Referências dos elementos que constituem os acoplamentos “tipo Rotex” seleccionados

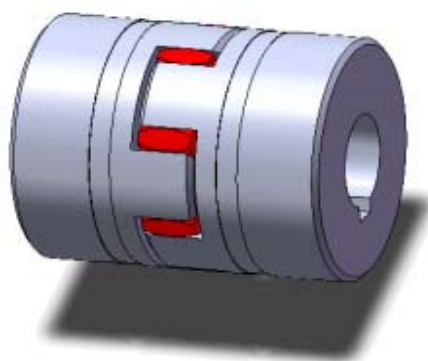


Figura 40 – Acoplamento “tipo Rotex” que faz a ligação dos veios dos motores aos veios das polias

Para alojar estes acoplamentos e ao mesmo tempo fixar os moto-redutores de flange, foram projectas lunetas em aço.

Projecto mecânico do carro do eixo vertical

O projecto do carro do eixo vertical foi o sistema que mais alteração sofreu desde o começo do projecto. Inicialmente, pensava-se que dois veios de espessura considerável chegariam para guiar a subida da garra, suportando os esforços nela aplicados. Porém, através do cálculo de elementos finitos, verificou-se que essa concepção não servia para o efeito, devido à elevada deformação desses veios quando a garra se encontra na posição de descida (deformações da ordem dos 2,5 mm, utilizando veios de 50 mm de diâmetro). Posteriormente, foi considerada a

utilização de perfis de alumínio, mas a existência de incompatibilidade de componentes, por estes serem de fabricantes diferentes, veio impossibilitar a sua montagem.

Por fim, recorreu-se ao projecto de um carro em construção soldada e chapa quinada de aço (figura 41). O seu formato é análogo ao anteriormente considerado, em perfil de alumínio, havendo diferença no peso total, que nesta solução é de 100 kgf, cerca de 20 kgf acima que o anterior. Mas esta diferença de peso total é compensada pela possibilidade de otimizar a sua estrutura.

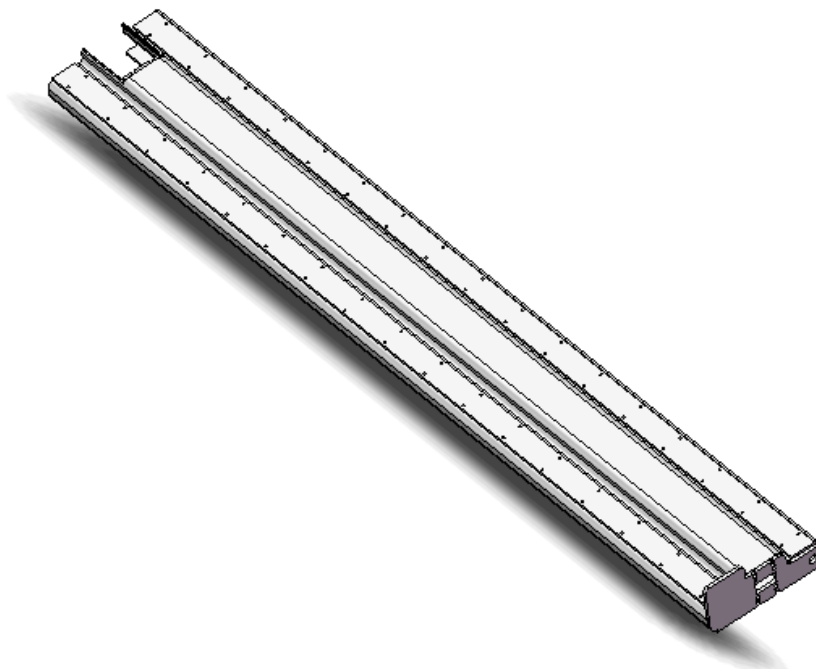


Figura 41 – Carro do eixo vertical em construção soldada

Visando o aumento da rigidez, reforçou-se a estrutura com 5 chapas (ou nervuras) internas, como o representado na figura 42. Para além desta função, as nervuras das extremidades vão ter funções adicionais, uma de fixação da luneta do acoplamento “tipo Rotex” e a outra possui dois veios soldados, com dois orifícios roscados internamente de modo a permitir aparafusar a garra. Estas duas nervuras vão permitir também aparafusar as polias, estando estas e todas as restantes nervuras furadas ao centro, de modo a permitir a circulação da correia dentada.

Ao longo do carro duas chapas vão ser soldadas e posteriormente rectificadas, onde vão assentar e serão aparafusadas as bases dos veios de guiamento.

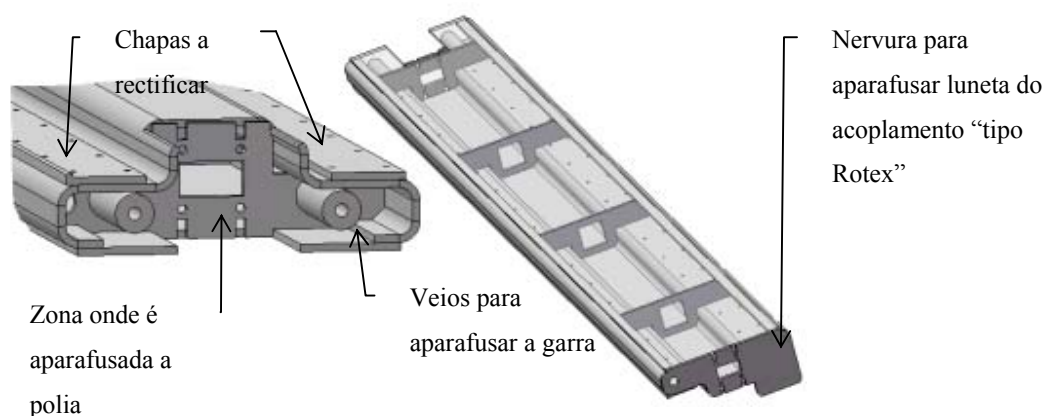


Figura 42 - Carro vertical construção soldada interior

Na figura 43, apresenta-se a vista explodida dos componentes a soldar do carro do eixo vertical.

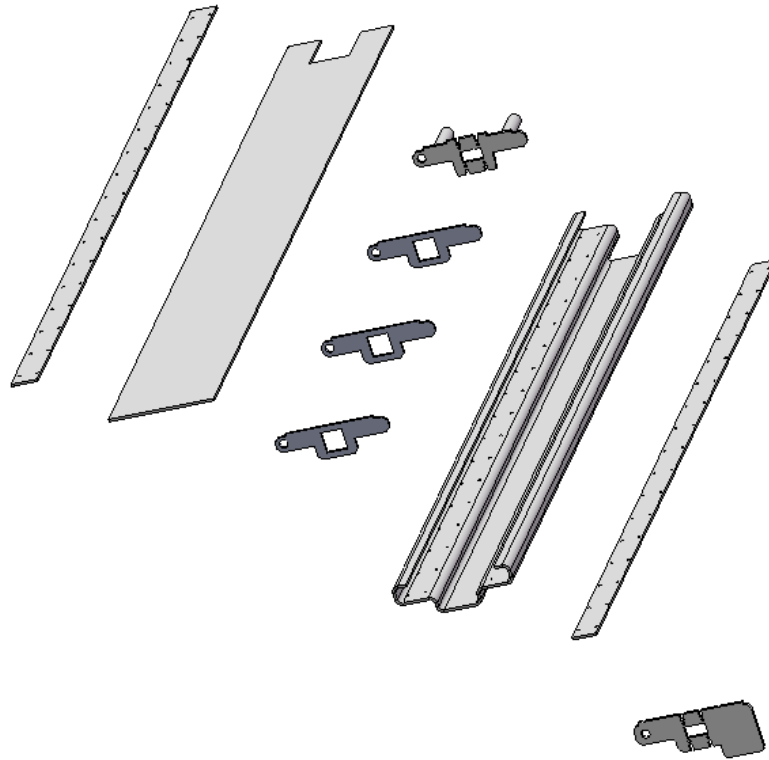


Figura 43 – Vista explodida da peças a soldar do carro de movimento vertical

Garra de preensão do tabuleiro

A garra do manipulador foi projectada de modo a que ao agarrar o tabuleiro, por acção do movimento de avanço limitado de dois cilindros, este não fique apertado pelas duas mandíbulas.

Para realizar a preensão do tabuleiro pelo manipulador, existem três fases, que são descritas seguidamente:

1 - Aproximação do tabuleiro

A aproximação do tabuleiro (figura 44), colocado no sistema de transporte de correntes, é feita com a garra aberta e a uma velocidade reduzida (quando se encontra na sua proximidade).

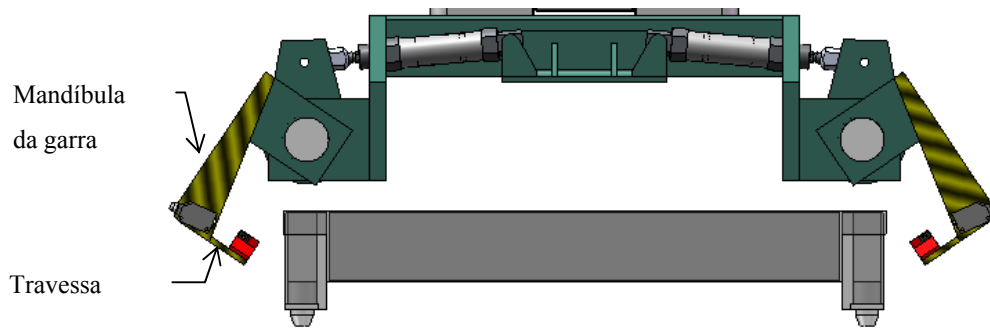


Figura 44 – Primeira fase na operação de prensão do tabuleiro

2 - Paragem de descida e início de fecho da garra

O movimento de descida termina quando se verificar a activação de um dos detectores fotoeléctricos colocados na própria garra, por detecção do tabuleiro a 90 mm da sua posição, dando ordem de fecho da garra (figura 45).

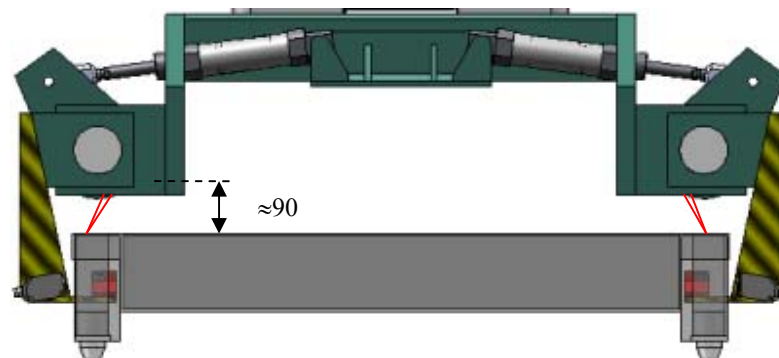


Figura 45 – Segunda fase na operação de prensão do tabuleiro

3 - Subida do manipulador

A subida do manipulador, é efectuada, quando os detectores de fim de curso dos cilindros ficarem actuados. Esta é realizada a velocidade lenta, até o tabuleiro ficar suspenso pelas travessas existentes nas mandíbulas (figura 46). A subida a velocidade mais rápida, iniciar-se-á quando os dois detectores indutivos inseridos nas travessas detectarem o tabuleiro.

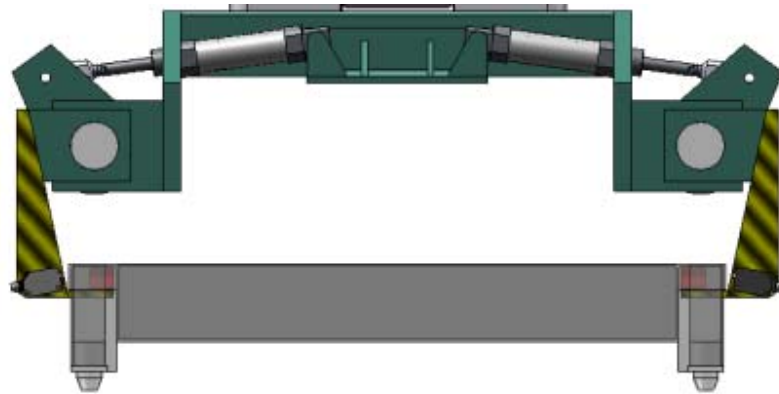


Figura 46 – Terceira fase na operação de prensão do tabuleiro

A colocação destas travessas permite evitar que o tabuleiro fique apoiado na garra pelos rebordos, impedindo assim deformações nesses rebordos.

Na operação de pousar o tabuleiro, vão existir igualmente três fases para a sua execução:

1 - Redução de velocidade de aproximação

A redução da velocidade de descida é realizada aquando da aproximação do manipulador ao empilhamento de tabuleiros ou do próprio carro receptor, através de dois detectores fotoelétricos colocados nas mandíbulas da garra, que os vão detectar, a 200 mm destes.

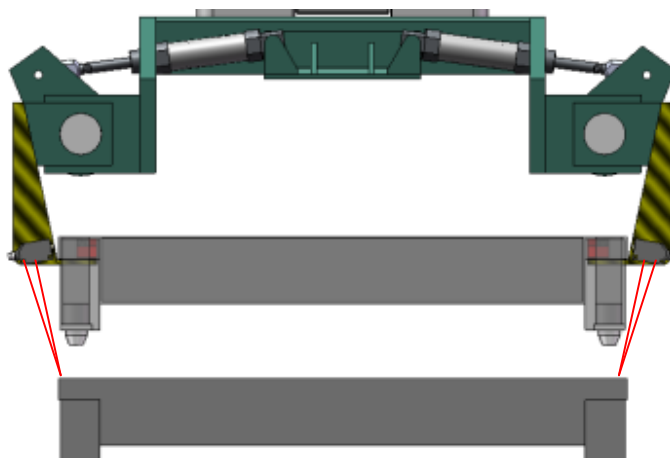


Figura 47 - Primeira fase na operação de pousar o tabuleiro

2 – Paragem do movimento de descida e abertura da garra

A paragem do movimento de descida é feita pelo outro par de detectores fotoeléctricos situados na garra. Logo após a sua detecção é realizada a abertura da garra.

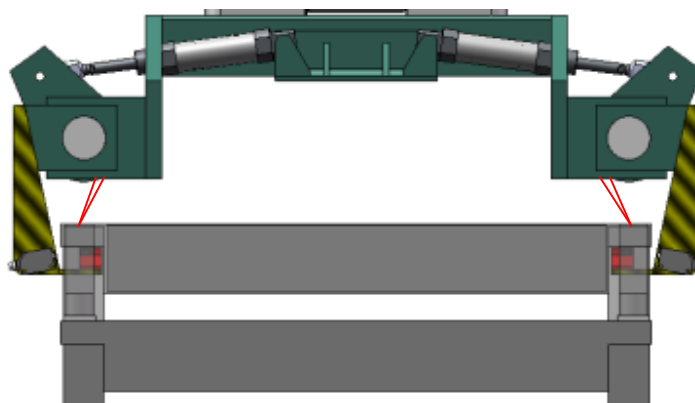


Figura 48 - Segunda fase na operação de pousar o tabuleiro

3- Início do movimento de subida

Assim que os detectores magnéticos de fim de curso dos cilindros detectarem a garra na posição de aberta, é iniciado o movimento de subida, finalizando assim, a operação de pousar o tabuleiro.

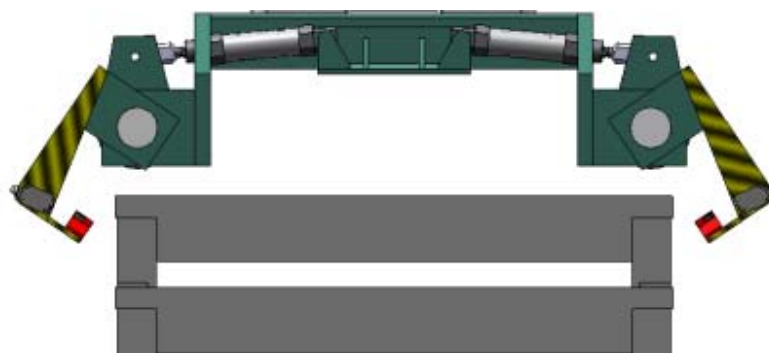
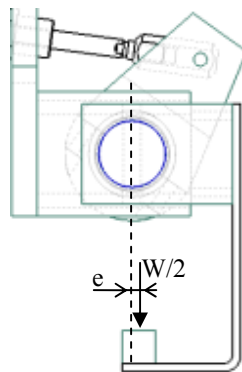


Figura 49 - Terceira fase na operação de pousar o tabuleiro

Para que não se verifique o deslizamento do tabuleiro na operação de prensão, este já deve estar posicionado no próprio transportador de correntes, evitando problemas de desgaste dos componentes.

O sistema de prensão foi projectado de modo a que a linha de acção-reacção ao peso passe na proximidade do eixo da articulação da mandíbula, fazendo deste modo com que o tabuleiro seja todo ele suportado pelo eixo, sem que seja necessária a força de actuação do cilindro pneumático. A grande vantagem deste sistema, é permitir que em caso de falha da actuação do fecho da garra, esta não vai abrir, evitando a queda do tabuleiro.



$W/2$ - Metade do peso do tabuleiro cheio;

e - Representa o desvio da linha de acção reacção do peso relativamente ao eixo da articulação da mandíbula.

Figura 50 - Esquema representativo do esforço aplicado às mandíbulas da garra

Para o eixo de articulação das mandíbulas, é necessário um componente que permita efectuar a rotação com atrito reduzido e consequente desgaste dos elementos que compõe o eixo. Para esse efeito, foi pensada a utilização de um rolamento. No entanto, como a amplitude de rotação é muito baixa, os fabricantes de rolamentos não recomendam o seu uso. Assim, para esta aplicação recorreu-se à utilização de casquilhos “Iglidur® G – Bucha Flangeada – Tipo F” do fornecedor IGUS (figura 51).

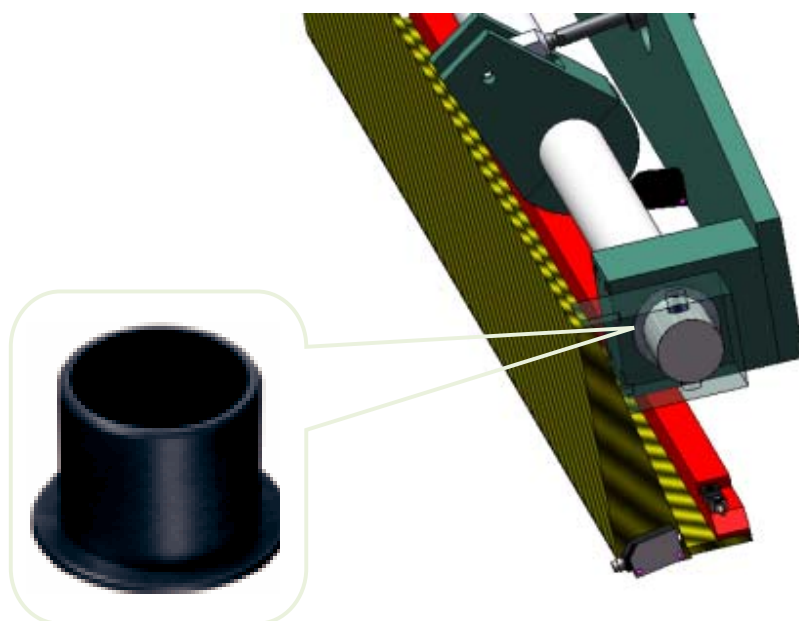


Figura 51 – Aplicação de casquilhos **Iglidur® G – Bucha Flangeada – Tipo F**, ref. GFM-4044-50

Para o accionamento das mandíbulas foram seleccionados dois cilindros pneumáticos, que vão actuar em dois braços projectados para realizar esse movimento. A escolha deste tipo de actuação, deve-se principalmente ao baixo custo que os cilindros pneumáticos, válvulas e restantes componentes pneumáticos apresentam relativamente às outras alternativas.

Os braços são constituídos por duas peças, que transmitem, por atrito, o binário originado pela acção do cilindro (figura 52).

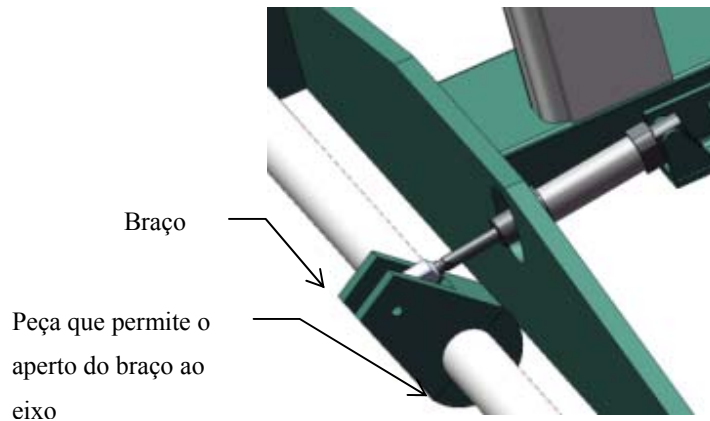


Figura 52 - Representação do braço de accionamento da mandíbula

Para esta configuração, o binário introduzido pelo avanço do cilindro varia devido à rotação do eixo da mandíbula. Seguidamente, é calculada a força aproximada do fecho da mandíbula F_2 , utilizando um cilindro de 25 mm de diâmetro, para uma pressão da alimentação do ar de 6 Bar.

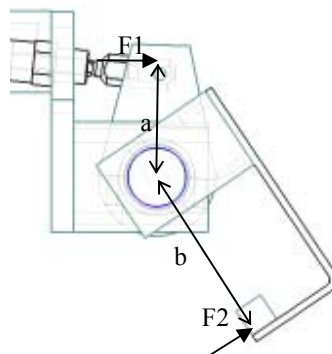


Figura 53 – Esquema representativo da força de fecho da mandíbula

Fórmulas utilizadas nos cálculos:

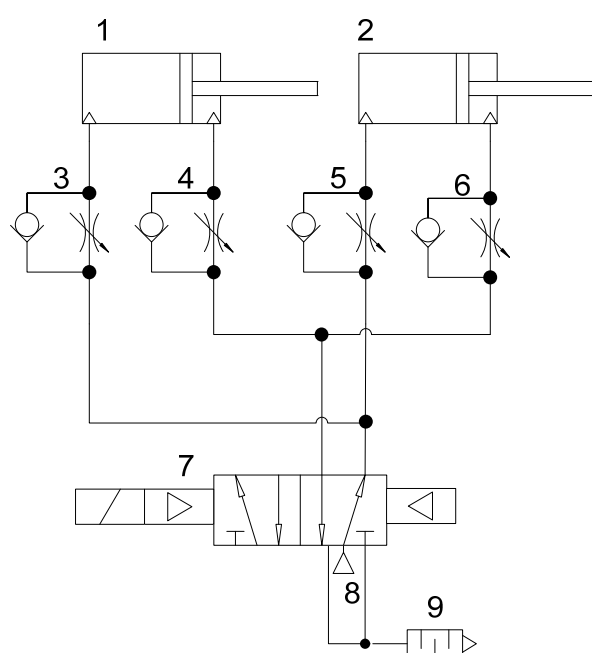
$$F_1 = P \times A_{eff}$$

$$F_2 = F_1 \times \frac{a}{b}$$

Diâmetro do cilindro	D_cilindro	0,025	m
Área do cilindro	A_cilindro	0,000491	m²
Pressão da alimentação ar	P	600000	Pa
Força aplicada pela haste do cilindro ao braço	F1	295	N
Braço da força F1	a	0,07	m
Braço da força F2	b	0,126	m
Força de fecho da mandíbula	F2	163	N

Tabela 9 – Resultado da força de fecho da mandíbula

O circuito pneumático deve ter dois estranguladores em “meter-out” por cilindro (figura 54), para regular a velocidade de fecho e abertura de modo a permitir uma aproximação suave do tabuleiro. A electroválvula deverá ser monoestável, garantindo que em caso de falha eléctrica o tabuleiro fique sempre aprisionado (cilindro avançado). O movimento dos cilindros é realizado em simultâneo, pelo que é apenas utilizada uma electroválvula para o efeito.



1, 2 - Cilindro Pneumático

3,4,5,6 - Estrangulador

7 - Electroválvula
pneumática 5/2
monoestável

8 - Fonte de ar comprimido

9 - Silenciador

Figura 54 - Esquema do circuito pneumático para actuação dos cilindros de accionamento das mandíbulas

O material seleccionado, do fornecedor SMC, para a implementação do circuito apresentado na figura 55 é o seguinte:

- Cilindro pneumático - C85N25-40 – 2 unidades;
- Electroválvula - SY3160-5LOU-C6F-Q – 1 unidade;
- Base de encaixe - SS5Y3-60-02D-4-Q – 1 unidade;
- Silenciador - AN203-KM8 – 1 unidade;
- Ficha de alimentação da electroválvula – SY100-30-4A-10 - 1 unidade;
- Estranguladores – AS2201F-01-06 - 4 unidades.

O orçamento para estes elementos figura no anexo F

Barreira de segurança para impedir o acesso à zona perigosa¹²

Por razões de segurança o acesso ao espaço de trabalho do manipulador deve ser restringido. Para isso, devem ser colocadas na zona de acesso ao manipulador barreiras de segurança fixas e nas zonas de extracção dos carros, devem ser colocadas barreiras de segurança fotoeléctricas.

¹² «Zona perigosa», qualquer zona dentro e/ou em torno de uma máquina, na qual a presença de uma pessoa exposta, a submeta a um risco para a sua segurança ou saúde.

6.2 - Motorização dos eixos do manipulador

O manipulador projectado é uma solução dedicada à aplicação em causa. Este é, na sua definição, um sistema de “Pick and Place”, estando todas as sequências de operações definidas no *software* do PLC. Para a movimentação dos eixos, pretende-se um controlo em malha aberta, num sistema de controlo “tudo ou nada”.

A motorização dos eixos XY tem de obedecer a várias exigências, como fiabilidade, segurança, alguma precisão, reduzida vibração, atravancamento, consumo energético, custo, etc.

Para a escolha da solução final foram descartadas as seguintes soluções:

- Utilização de **pneumática**, descartada por não garantir um movimento linear suave, devido à oscilação com a compressão do ar, à dificuldade de implementação de rampas de aceleração e desaceleração, sem o recurso de um sistema de controlo em anel fechado. Para baixas velocidades o atrito dos cilindros interfere no movimento, tornando-o irregular;

- Utilização de **hidropneumática**, descartada pelo elevado preço dos componentes;

- Utilização de **hidráulica**, descartada pelo elevado preço dos componentes, visto ser necessário um cilindro hidráulico de dois metros para o movimento vertical, um motor hidráulico para o movimento horizontal, e uma fonte de energia hidráulica.

Finalmente, a utilização de **moto-redutores eléctricos com freio associado a um variador de frequência**, foi a solução escolhida. Esta é uma solução económica, permite a implementação de rampas de aceleração e desaceleração, e permite a actuação de um freio em caso de falha eléctrica, paragem e emergência.

Por razões de ordem funcional e de atravancamento, optou-se por redutores de parafuso sem-fim.

Procedeu-se ao contacto do fornecedor de moto-redutores SEW, que nos cedeu o *software* “ProDrive” para o cálculo dos moto-redutores e respectivos freios.

Cálculo dos moto-redutores

Os cálculos dos moto-redutores foram efectuados recorrendo ao *software* da SEW “ProDrive” (figura 55).

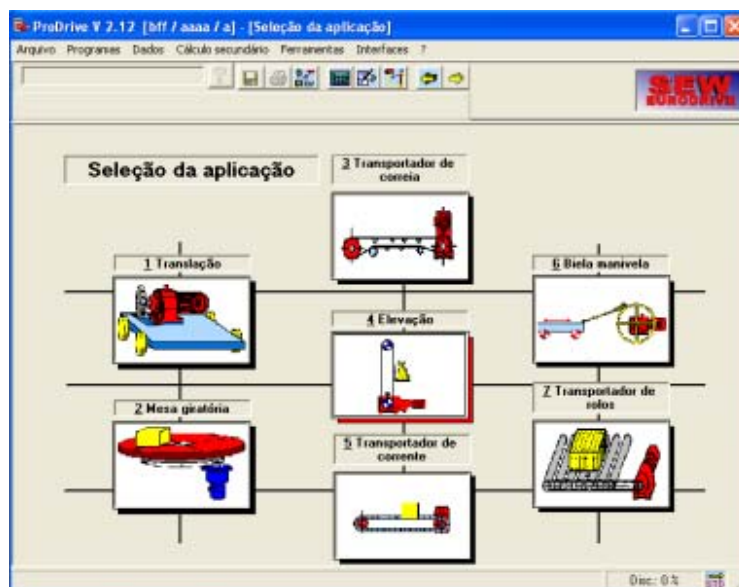


Figura 55 – Janela principal da aplicação “ProDrive” da SEW

Os principais dados a inserir no programa para efectuar os cálculos dos moto-redutores de accionamento do eixo vertical e horizontal, encontram-se na tabela 10.

	Eixo vertical	Eixo horizontal
Tipo de movimento	Elevação	Transportador de correia
Velocidade máxima	0,1 m/s	0,1 m/s
Carga máxima (massa a movimentar)	300 kg	400 kg
Diâmetro da polia	58,6 mm	58,6 mm
Aceleração	0,05 m/s ²	0,05 m/s ²
Tipo de motor	Servomotor assíncrono	Servomotor assíncrono
Velocidade de rotação do motor	1360 rpm	1300 rpm
Tipo de redutor	Parafuso sem-fim	Parafuso sem-fim

Tabela 10 – Principais valores de entrada no programa “Prodrive” da SEW para a selecção dos moto-redutores de accionamento dos eixos do manipulador

Como resultado à introdução destes dados de entrada, obteve-se uma lista de moto-redutores, com características idênticas, onde se procedeu à escolha de uma das soluções apresentas. Além dos moto-redutores, encontram-se seguidamente referidos os variadores de frequência, freio e teclado de programação do variador.

Solução encontrada para a motorização do eixo vertical:

- Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim:
 - Referência: SF47CT80N4;
 - Potência: $P=0,55\text{kW}$;
 - Velocidade nominal do motor: $n_M=1360\text{ rpm}$;
 - Razão de transmissão: $i=44,22$;
 - Velocidade nominal na saída do redutor: $n_A=31\text{ rpm}$.
- Conversor de frequência MOVITRAC07B, referência: MC07B0005-5A3-4-00.
- Resistência de frenagem BW072-003, referência: 08260583.
- Teclado, FBG11B, referência: 18206352

Solução encontrada para a motorização do eixo horizontal:

- Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim:
 - Referência: SF37DR63L4;
 - Potência: $P=0,25\text{kW}$;
 - Velocidade nominal do motor: $n_M=1300\text{ rpm}$;
 - Razão de transmissão: $i=43,68$;
 - Velocidade nominal na saída do redutor: $n_A=30\text{rpm}$.
- Conversor de frequência MOVITRAC07B, referência: MC07B0003-5A3-4-00.
- Resistência de frenagem BW072-003, referência: 08260583
- Teclado, referência FBG11B, referência: 18206352

O moto-redutor de accionamento do eixo horizontal, encontra-se sobredimensionado por motivos de segurança, e por ser o de mais baixa potência, dentro da mesma gama de variadores de frequência que o aplicado ao eixo vertical.

Finalmente, procedeu-se à confirmação dos resultados e fez-se um pedido de orçamento¹³ ao fornecedor SEW.

¹³ Para verificar o orçamento e as características dos componentes destinados à motorização dos eixos deve-se consultar o anexo G.

Variadores de frequência

A necessidade de movimentos suavizados, na movimentação dos eixos do manipulador, obriga à aplicação de variadores de frequência. Estes, por questões de compatibilidade, como referido anteriormente, devem ser da mesma gama.

Os variadores de frequência seleccionados (*Movitrac B*, representado na figura 56) possuem três modos de operação. Modo de operação por referência analógica, por referências fixas e operação manual por consola (ou teclado). Como no sistema projectado se pretende um controlo “grosseiro”, aproveitando as saídas binárias do PLC¹⁴, aplicou-se a operação por referências fixas.

Os tamanhos construtivos dos variadores são, 0S para o variador de 0,55 kW e 0XS para o variador de 0,25 kW, sendo o seu formato idêntico (figura 56).

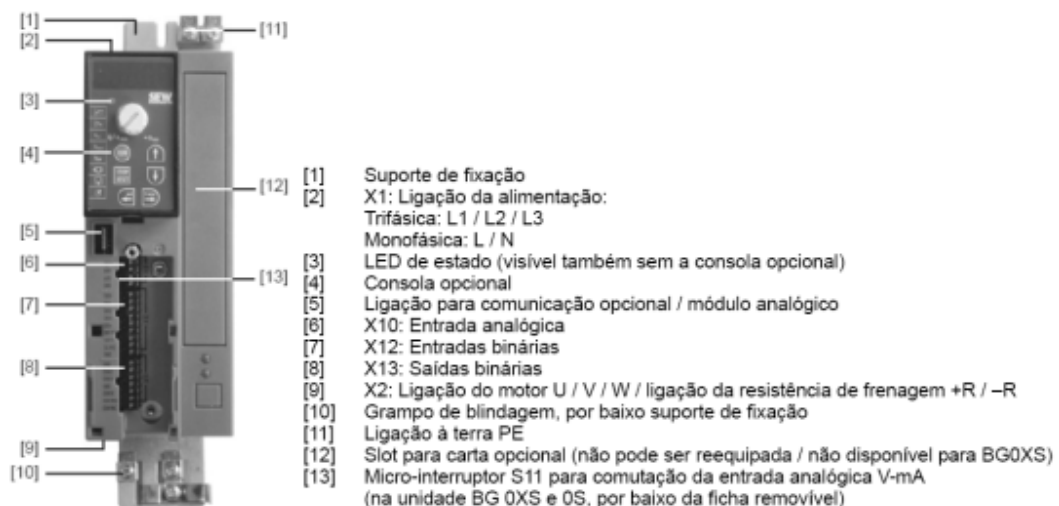


Figura 56 - Variador de frequência SEW Movitrac B – Tamanho 0XS e 0S

¹⁴ O módulo de expansão binário do PLC possui um menor preço de venda que um módulo analógico

A ligação do variador de frequência ao moto-reductor, freio e PLC estão representadas nas figuras 57 e 58.

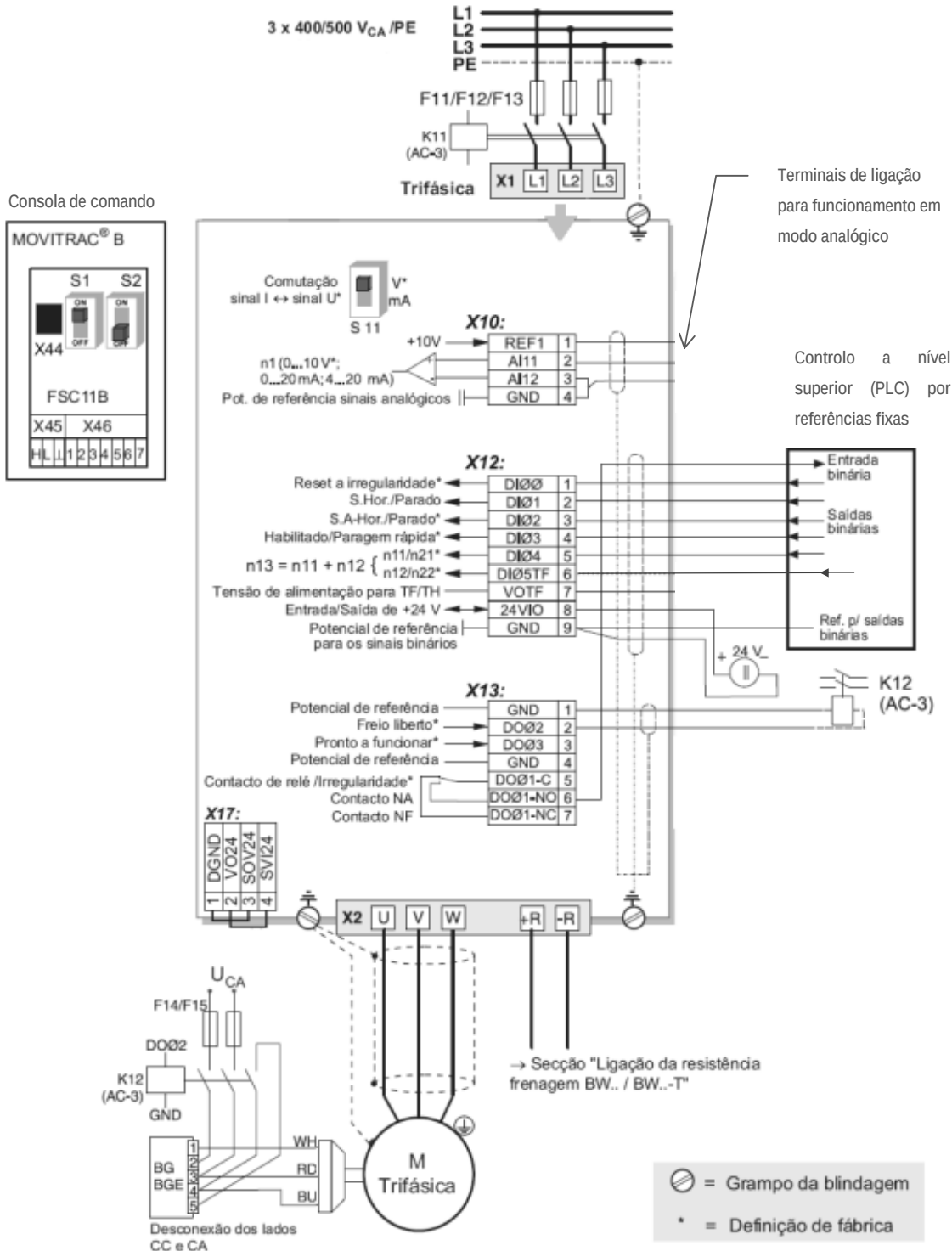


Figura 57 - Esquema de ligação dos variadores de frequência e moto-redutores (SEW, 2007)

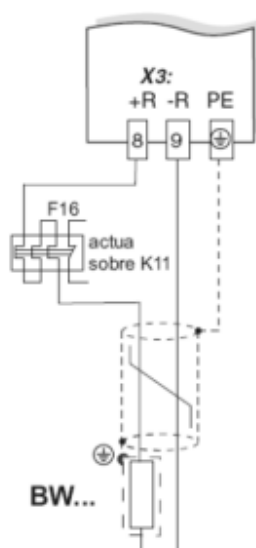


Figura 58 – Ligação da resistência de frenagem (SEW, 2007)

Quando o relé externo (F16) actua, o contactor K11 tem que ser desactuado e a entrada DIØØ “/Controlador inibido” deve comutar para o valor lógico ”0”. A SEW recomenda o uso apenas de contactores de categoria de utilização AC-3.

No modo de operação por referências fixas, existem 6 entradas binárias no variador que, para esta aplicação, devem estar ligadas às saídas do PLC ou ao painel de comando para movimentação manual do manipulador realizada por *hardware*. Na existência de alguma irregularidade detectada por algum dos variadores de frequência, estes comunicam com o PLC através das saídas DOØ1-NO.

Modo de operação por referências fixas

A tabela 11 e a figura 59 foram retiradas do manual de instruções de operação do variador de frequência *Movitrac B*, e são elucidativas do modo de funcionamento do variador por referências fixas. Assim, através de 6 entradas digitais é possível realizar ações de inibição do controlador, paragem, habilitação e paragem, e colocar na saída, três referências de velocidade para o sentido horário e três para o sentido anti-horário.

Função	X12:1 (DIØØ) /Contr. inibido	X12:2 (DIØ1) S.Hor./ Paragem	X12:3 (DIØ2) S.A-Hor./ Paragem	X12:4 (DIØ3) Habilitação/ Paragem	X12:5 (DIØ4) n11/n21	X12:6 (DIØ5) n12/n22
Controlador inibido	0	X	X	X	X	X
Paragem	1	X	X	0	X	X
Habilitação e paragem	1	0	0	1	X	X
S. Horário com n11	1	1	0	1	1	0
S. Horário com n12	1	1	0	1	0	1
S. Horário com n13	1	1	0	1	1	1
S. Anti- Horário com n11	1	0	1	1	1	0

Tabela 11 – Tabela retirada do manual *Movitrac B* unidade base (SEW, 2007)

O exemplo da figura 59 é elucidativo do modo como se pode obter um perfil de velocidade, para uma configuração das referências de entrada do variador, no modo de operação por referências fixas. Para isso, são utilizados os terminais X12:1...X12:6. A saída binária X10:3 (DO02 “/Freio”) é usada para comutação do contactor do freio K12.

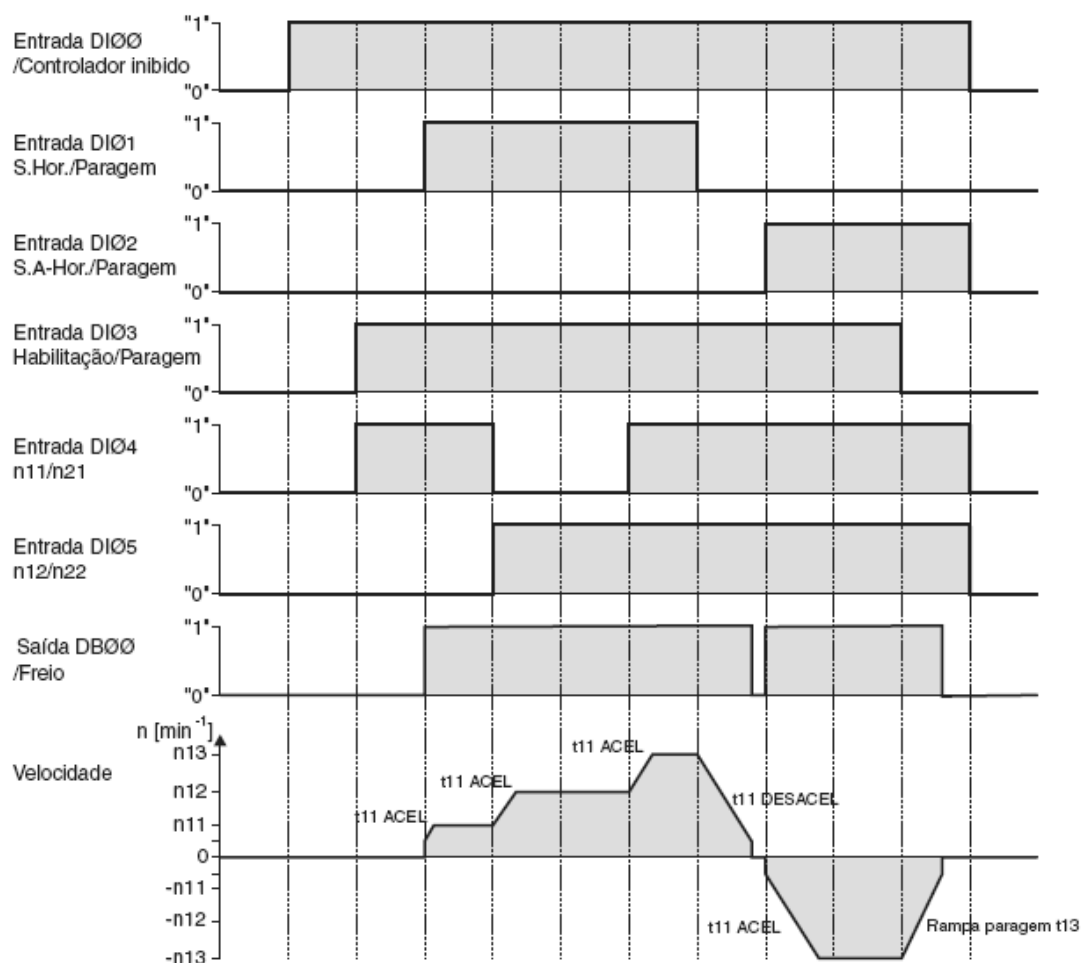


Figura 59 – Exemplo de accionamento retirado do manual Movitrac B unidade base (SEW, 2007)

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Para o manipulador projectado, foi realizado um diagrama com os perfis de velocidade que se pretende para a movimentação dos eixos.

A numeração das diferentes etapas está de acordo com as etapas do Grafcet definidas na programação do PLC (c.f. anexo C).

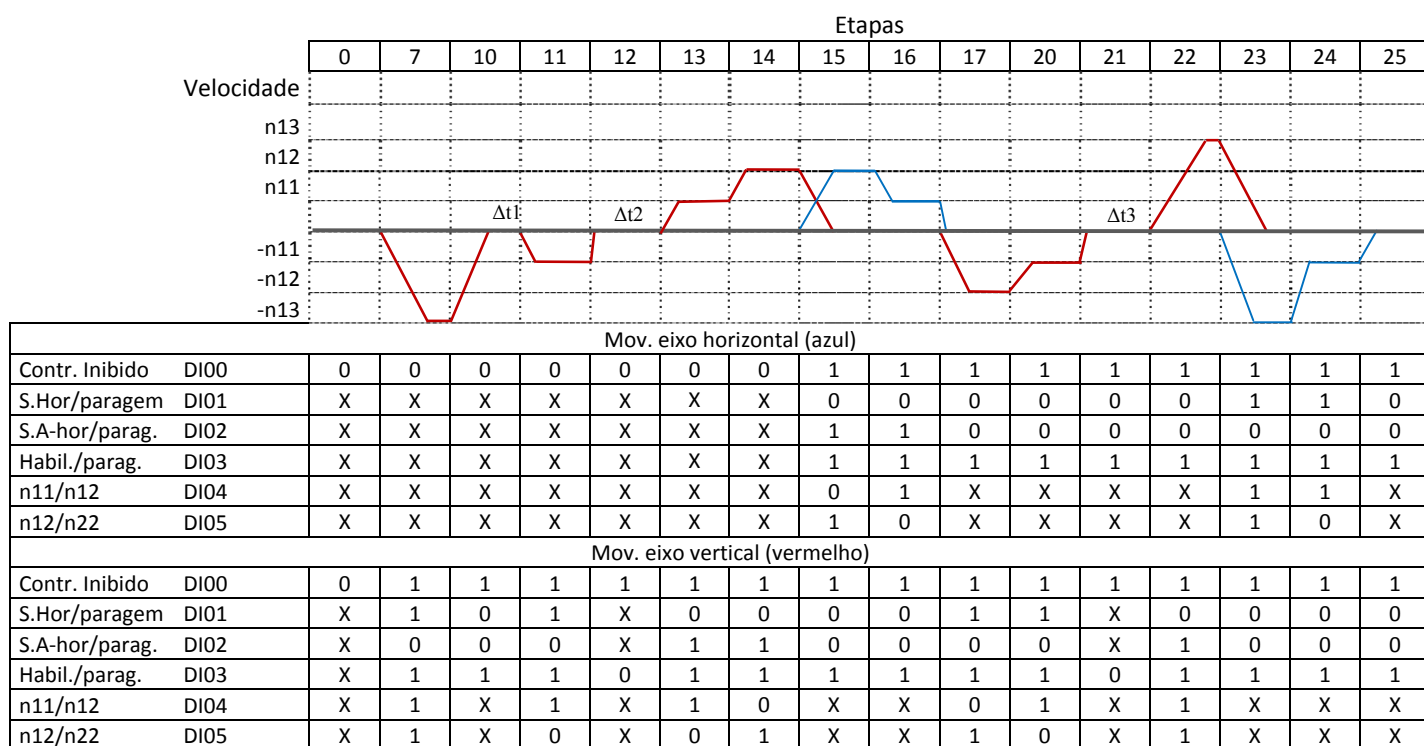


Tabela 12 - Tabela com os perfis de velocidade do manipulador para a realização de um ciclo

Em que:

Δt_1 – representa o tempo de espera de tabuleiro;

Δt_2 – representa o tempo de fecho da garra;

Δt_3 – representa o tempo de abertura da garra.

6.3- Sensorização

Uma boa sensorização de todo o sistema manipulador é essencial para o seu bom funcionamento, uma vez que os sensores são utilizados para a transição entre estados no controlo do sistema, realizado em malha aberta.

A figura 60 procura elucidar sobre a localização de todos os detectores utilizados. Para saber mais ao pormenor sobre a localização e integração de cada detector utilizado, deve-se consultar o anexo B.

A sensorização aplicada ao sistema envolve detectores com as seguintes funções:

- Detectores S12, S13, S30, S31, S34, S35, responsáveis pelo envio de informação para realizar a redução ou incremento de velocidade.
- Detectores S11, S14, S21, S23, S32, S33, S40, S41, S42, S43, S51, responsáveis pelo envio de informação para realizar paragem e/ou mudança da direcção do movimento.
- Detectores S10, S15, S20, S25, S50, S52 responsáveis pelo envio de informação para realizar paragem de emergência.

A tabela seguinte, descreve de forma mais pormenorizada, a função atribuída a cada detector, assim como, o tipo de detector. Esta inclui as botoneiras do painel de comando.

Design.	Tipo	Função
B1	Botoneira <i>Start</i>	Inicia a actividade ou volta à tarefa que estava em execução
B2	Botoneira <i>Reset</i>	Volta à posição "0"(S21 e S11 activos)
B3	Botoneira <i>Stop</i>	Força a paragem de todo o sistema podendo optar por um "Reset" ou por voltar à tarefa com um "Start"
S1	Selector <i>Modo Manual</i>	Permite o funcionamento independente do PLC, operando na consola de comando (essencial para situações de emergência, inspecção, calibração, etc)
B5	Botoneira <i>Cima</i> 	Permite o movimento da garra em modo manual para cima (botoneira monoestável)
B6	Botoneira <i>Baixo</i> 	Permite o movimento da garra em modo manual para baixo (botoneira monoestável)
B7	Botoneira <i>Esquerda</i> 	Permite o movimento da garra em modo manual para esquerda (botoneira monoestável)

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

B8	Botoneira <i>Direita</i> 	Permite o movimento da garra em modo manual para direita (botoneira monoestável)
B9	Botoneira <i>Emergência</i>	Força a paragem de todo o sistema, com necessidade de rearmá-lo após actuação.
B10	Botoneira <i>Entrada em espaço de trabalho</i>	Permite a paragem para entrada no espaço de trabalho da máquina (botoneira monoestável)
B11	Botoneira <i>de carro colocado</i>	Confirma a colocação de um carro vazio receptor colocado (botoneira monoestável)
S2	Selector <i>Abertura/Fecho garra</i>	Permite a abertura ou fecho da garra em modo manual
S10	Fim de curso mecânico	Protecção e com paragem de emergência – força a paragem dos motores accionando o freio
S11	Detector indutivo	Detector de fim de curso - envia ordem de paragem do movimento horizontal
S12	Detector indutivo	Funciona como comutador de velocidade com rampa de desaceleração
S13	Detector indutivo	Funciona como comutador de velocidade com rampa de desaceleração
S14	Detector indutivo	Detector de fim de curso - envia ordem de paragem do movimento horizontal
S15	Fim de curso mecânico	Protecção com paragem de emergência – força a paragem dos motores accionando o freio
S20	Fim de curso mecânico	Protecção com paragem de emergência – força a paragem dos motores accionando o freio
S21	Detector indutivo	Sensor para accionamento de rampa de paragem na subida
S22	Detector indutivo	Detecção de carro cheio emissão de aviso
S23	Detector indutivo	Sensor para accionamento de rampa de paragem na descida funcionando como zona de espera do tabuleiro
S25	Fim de curso mecânico	Protecção e com paragem de emergência – força a paragem dos motores accionando o freio
S30	Detector indutivo	Detecção do tabuleiro em modo de transporte
S31	Detector indutivo	Detecção do tabuleiro em modo de transporte
S32	Detector fotoelétrico	Detecção do tabuleiro para permitir abrir e fechar garra
S33	Detector fotoelétrico	Detecção do tabuleiro para permitir abrir e fechar garra
S34	Detector fotoelétrico	Funciona como comutador de velocidade com rampa de desaceleração ao detectar o carro/tabuleiro receptor
S35	Detector fotoelétrico	Funciona como comutador de velocidade com rampa de desaceleração ao detectar o carro/tabuleiro receptor
S40	Detector magnético	Detecção do cilindro na posição de avanço
S41	Detector magnético	Detecção do cilindro na posição de avanço
S42	Detector magnético	Detecção do cilindro na posição de recuo
S43	Detector magnético	Detecção do cilindro na posição de recuo

S50	Fim de curso mecânico	Detecção que limita a descida do manipulador na descida, quando colocado na zona do tapete, função de protecção – força a paragem dos motores accionando o freio
S51	Detector Fotoeléctrico	Detecção de tabuleiro no transportador pronto a retirar
S60	Barreira de Segurança fotoeléctrica	Protecção com paragem de emergência – força a paragem dos motores accionando o freio
S52	Fim de curso mecânico	Fim de curso de segurança para avanço de tabuleiro no sistema transportador. Protecção e com paragem de emergência – força a paragem dos motores do manipulador e do transportador, accionando o freio
S70	Fim de curso mecânico	Detecção de carro receptor colocado em posição juntamente com S71 ¹⁵
S71	Fim de curso mecânico	Detecção de carro receptor colocado em posição juntamente com S70 ¹⁵

Tabela 13 – Definição de toda a sensorização do sistema manipulador

¹⁵ Estes detectores irão servir para indicar que o carro receptor dos tabuleiros (cujo projecto apenas está esboçado) se encontra posicionado. Por este não estar finalizado, a localização dos detectores não se encontra definida e por isso, não se encontram representados na figura 56. Eventualmente, a utilização de guias para o avanço do carro receptor possibilitará a utilização de apenas um destes detectores para sinalizar a sua localização.

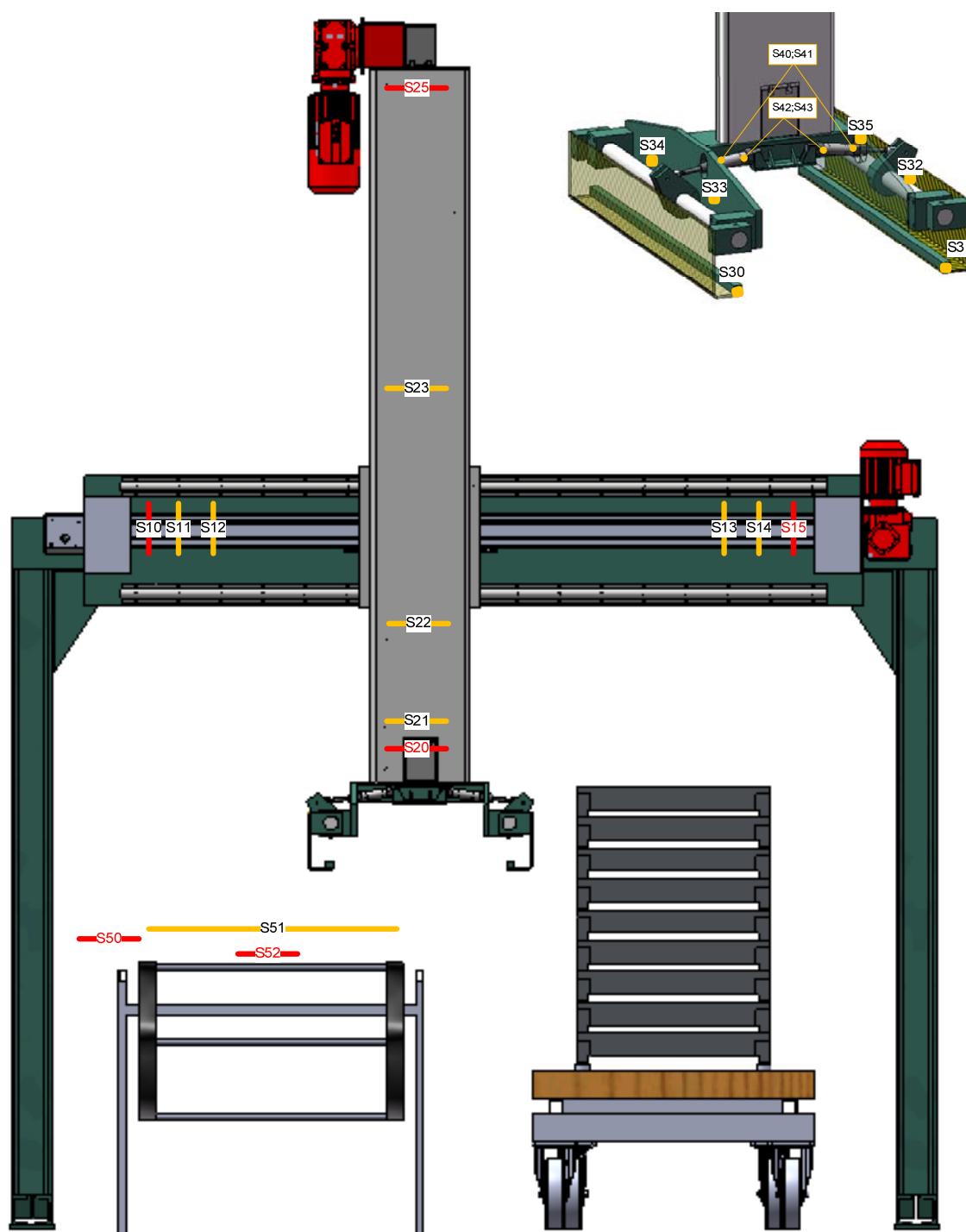


Figura 60 – Esquema representativo da posição dos sensores aplicados ao sistema

6.3.1 - Tecnologia

Detectores indutivos

- TLW3MC1 Omron aplicado em S11, S12, S13, S14, S21, S22, S23, S30, S31

Principais características:

- Funcionamento interno do tipo PNP;
- Distância de detecção para o aço inoxidável 2,5 mm;
- Corrente admissível 15 mA.

No catálogo do detector não é referido um consumo mínimo, pelo que se prevê que a “descarga” seja realizada pelas entradas do PLC (consumo por entrada cerca de 2,5 mA). Assim, para o circuito representado na figura 61, a resistência (“carga”) não será necessária.

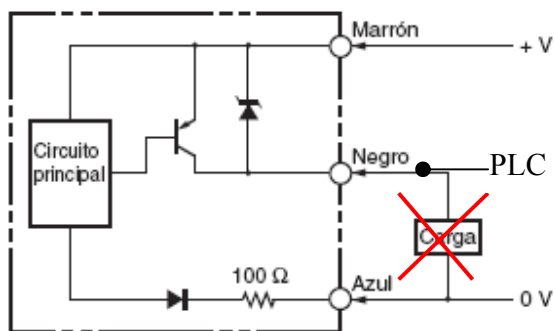


Figura 61 -Circuito de ligação do detector indutivo TLW3MC1 (Omron) e detector indutivo

Nos desenhos dos circuitos eléctricos (anexo A), as ligações dos detectores indutivos referentes aos 0 VDC não foram representadas; assim como os sensores descritos seguidamente.

Detectores fotoeléctricos

- E3Z-L86 Omron aplicado em S32 e S33

Principais características:

- Funcionamento interno do tipo PNP;
- Distância de detecção de 90 mm;
- Detecção por reflexão no objecto;
- Corrente admissível 100 mA.

A “descarga” é igualmente realizada pelas entradas do PLC.

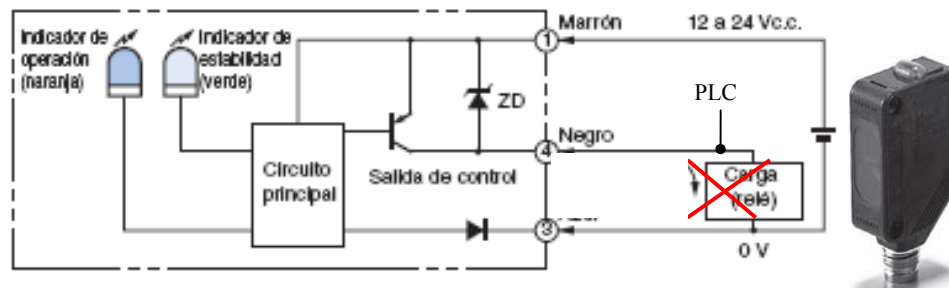


Figura 62 - Circuito de ligação do detector fotoeléctrico E3Z-L86 (Omron) e detector fotoeléctrico

- E3Z-LS86 Omron aplicado em S34 e S35

Principais características:

- Funcionamento interno do tipo PNP;
- Distância de detecção ajustável entre 20 e 200 mm;
- Detecção por reflexão no objecto;
- Corrente admissível 100 mA.

De modo semelhante aos casos anteriores, a “descarga” é realizada pela entrada do PLC.

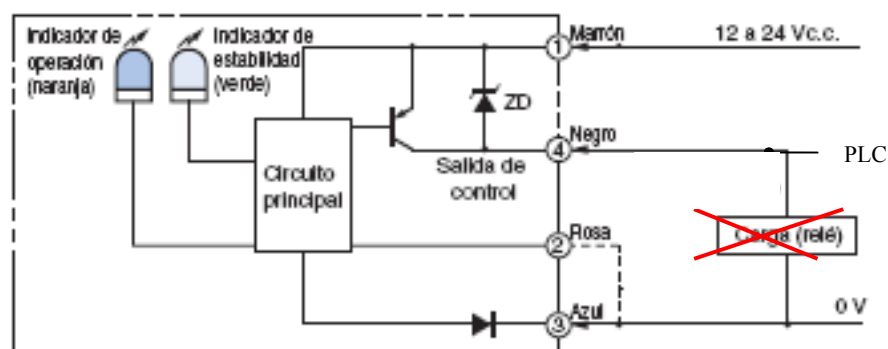


Figura 63 - Circuito de ligação do detector fotoelétrico E3Z-LS86 (Omron)

- E3Z-R86 Omron aplicado em S51

Principais características:

- Funcionamento interno do tipo PNP;
- Detecção por intromissão do objecto no feixe de luz reflectido num espelho frontal;
- Corrente admissível 100 mA.

O circuito de ligação é idêntico ao da figura 62.

Fins de curso magnéticos

Este detector é fixo através de uma abraçadeira ao cilindro pneumático, que tem um êmbolo magnético para sua detecção.

Principais características:

- Funcionamento interno do tipo PNP;
- Detecção do magnética do êmbolo.



Figura 64 - Detector magnético de fim de curso D-C73

Fins de curso mecânicos

- HL-5030 aplicados em S10, S15, S20, S25, S50, S52

Os fins de curso utilizados são de batente com rolete regulável e a sua aplicação é dedicada à segurança de todo o sistema. A sua actuação resulta no fecho de um contacto eléctrico.



Figura 65 – Fim de curso com batente de rolete regulável e contacto

6.4 - Circuitos eléctricos projectados

O projecto dos circuitos eléctricos foi realizado, com vista a evitar situações possíveis de perigo para os operadores, seguindo as normas da directiva máquina.

Os circuitos realizados encontram-se no anexo A deste relatório.

Por motivos de protecção, de componentes e operador, foram colocados no circuito um disjuntor diferencial e um contactor magneto-térmico em série com a entrada da fonte de alimentação 24 VDC. À saída da fonte foi também colocado um fusível de protecção.

6.4.1 - Funções essenciais para o bom funcionamento do manipulador

Algumas funções essenciais como o arranque, a paragem, os modos de funcionamento, a sinalização, etc, devem estar bem definidas, de modo a não comprometer o bom funcionamento de todo o sistema, evitando situações de perigo. Assim, seguidamente são descritas algumas das funções aplicadas ao funcionamento do manipulador.

Arranque

De acordo com o referido no Anexo 1 da directiva máquina relativo ao arranque de uma máquina: *«O arranque de uma máquina só deve poder ser efectuado por uma acção voluntária sobre um órgão de comando previsto para o efeito. O mesmo se deve verificar:*

- *para o novo arranque após uma paragem, seja qual for a sua origem,*
- *para o comando de uma alteração importante das condições de funcionamento (por exemplo, da velocidade, da pressão, etc.) ...»*

Assim, aplicando esta norma para o manipulador projectado, o arranque inicial após ligar todo o sistema, e estando este em *Modo Automático*, só acontece premindo a botoneira de *Reset* que o fará deslocar-se até à posição “0”¹⁶. A partir desta posição, o sistema iniciará a sua actividade, após premir a botoneira *Start*.

¹⁶ Posição da garra definida como carro do eixo horizontal deslocado à esquerda e carro do eixo vertical subido ver anexo E.

Esta função de reset inicial até à posição “0” e toda a sequência de funcionamento do manipulador em *Modo Automático* são controladas pelo *software* do PLC¹⁷.

O sistema, após paragem, só volta a entrar em funcionamento quando se premir a botoneira *Start* ou a botoneira de *Carro colocado* ou então quando se voltar a realizar um novo reset, premindo a botoneira de *Reset*.

Uma possível configuração do painel de comando encontra-se ilustrada na figura 66.



Figura 66 – Esquema representativo do painel de comando do manipulador¹⁸

¹⁷ Para consultar o programa realizado deve ser consultado o anexo D.

¹⁸ - A botoneira de *Carro colocado* e a botoneira de *Entrada em espaço de trabalho* não se encontram representadas neste painel, pois devem situar-se na proximidade das zonas de entrada e saída do espaço de trabalho. A botoneira de Emergência, para além de ter um ou mais no espaço de trabalho da máquina, deve possuir um colocado na lateral desta consola, numa zona visível.

- As botoneiras representadas que não fazem alusão ao seu tipo, são monoestáveis. Quando a mandíbula não responde à ordem de abertura ou fecho, uma lâmpada fará a sinalização deste erro, e o sistema é parando.

Dispositivos de paragem

- Paragem normal

A paragem do sistema pode verificar-se premindo a botoneira *Stop* ou premindo o botoneira *Entrada em espaço de trabalho*, que permite a entrada no espaço de trabalho. As ordens de paragem da máquina são prioritárias sobre as ordens de arranque.

Os moto-redutores, variadores de frequência e freios são certificados, pelo que cumprem todas as normas da directiva máquina, permitindo uma paragem segura, quando as ligações que permitem o seu comando são efectuadas de forma correcta.

- Paragem de emergência

Relativamente à paragem de emergência a directiva máquina refere: «... *Este dispositivo deve:*

- *conter órgãos de comando claramente identificáveis, bem visíveis e rapidamente acessíveis,*

- *provocar a paragem do processo perigoso num período de tempo tão reduzido quanto possível, sem provocar riscos suplementares,*

- *eventualmente desencadear, ou permitir desencadear, determinados movimentos de protecção.*

Quando se deixa de accionar o comando de paragem de emergência depois de ter disparado uma ordem de paragem, esta ordem deve ser mantida por um bloqueamento do dispositivo de paragem de emergência até ao respectivo desbloqueamento; não deve ser possível obter o bloqueamento do dispositivo sem que este provoque uma ordem de paragem; o desbloqueamento do dispositivo apenas deve poder ser obtido através de uma manobra apropriada e não deve repor a máquina em marcha, mas somente autorizar um novo arranque.»

Seguindo estas exigências, no manipulador foram previstas diversas actuações de emergência, através da actuação das botoneiras de emergência, colocados no painel de comando e na zona de perigosa (considerada nesta aplicação como o espaço de trabalho do manipulador). A

botoneira de emergência actuará directamente na inibição dos controladores dos variadores de frequência e forçará o bloqueio do movimento pelo freio.

Outros actuadores da emergência previstos são os fins de curso mecânicos, que vão servir como um limite à movimentação do sistema, fazendo actuar a paragem de emergência. As barreiras de protecção são também dispositivos de segurança que forçam a paragem de emergência caso detectem alguma intromissão no espaço de trabalho, quando o manipulador se encontra em funcionamento normal. Ainda como segurança, existe nos variadores de frequência seleccionados uma saída dedicada a dar sinal de irregularidade no variador, fazendo neste caso, actuar também a paragem de emergência. Estes actuadores de emergência, vão actuar num relé com realimentação, ficando a emergência ligada mesmo quando desarmar a emergência.

Para todos estas situações, de paragem de emergência, esta só será desactivada quando a respectiva origem da paragem (ou anomalia) for desactivada e for premido a botoneira de *Reset*.

Para a manutenção do manipulador foi previsto um modo de funcionamento do sistema, designado por *Modo Manual*. Este permite o funcionamento do manipulador através da consola de comando em duas velocidades de movimentação (baixa e média).

Para este modo de funcionamento, é necessário que o operador, mantenha sempre premida a botoneira referente à operação que se encontra a realizar.

O retorno ao funcionamento normal do sistema, no caso de algum fim de curso mecânico de emergência estar actuado pelos próprios carros do eixo, deve ser realizado por um operador qualificado, colocando um sinal na entrada de inibição do controlador do variador de frequência (DIØØ) e utilizando o teclado do próprio variador para movimentação do eixo.

Selector de modo de funcionamento/marcha

Como referido anteriormente, por questões de manutenção, regulação, inspecção, etc. do manipulador, foi previsto um modo de funcionamento do sistema, o *Modo Manual*. Este permite o funcionamento do manipulador através da consola de comando em duas velocidades de movimentação (baixa e média).

O outro modo de funcionamento (*Modo Automático*), vai funcionar através do PLC pelo programa realizado.

O selector do modo de marcha, simultaneamente:

- exclui o modo de comando automático,
- permite os movimentos apenas por meio de órgãos de comando, que exijam uma acção contínua (botoneiras monoestáveis),
- permite o funcionamento dos elementos móveis perigosos, apenas em condições da maior segurança (velocidade reduzida), impedindo riscos provenientes de sequências encadeadas,
- impede todos os movimentos susceptíveis de apresentar riscos pela actuação voluntária ou involuntária sobre os sensores internos da máquina.

Para isso, o operador tem, no painel de comando, a possibilidade de controlar o funcionamento dos elementos sobre os quais actua.

Sinalização

A **sinalização de emergência** é efectuada por uma lâmpada vermelha rotativa, situada na estrutura do manipulador.

A **sinalização de carro cheio** é efectuada por uma lâmpada amarela rotativa, enquanto o processo de colocação e extracção do carro não é realizado de modo automático. Quando a automatização destes for realizada, esta sinalização deixa de ser necessária. Esta pode ser situada na zona de acesso ao espaço de trabalho.

A **sinalização de erro na abertura ou fecho da garra** é efectuada por meio de uma lâmpada vermelha, situada no painel de comando.

6.5 - Desenvolvimento do algoritmo de controlo e programação do PLC

6.5.1 - Selecção do PLC

Para controlar os diversos sistemas e a sua interacção, foi seleccionado um PLC Siemens Simatic S7-200, 224 CPU. Esta escolha deve-se ao facto de já existir um PLC igual para controlar o sistema de vazamento do material abrasivo nos moldes, pelas suas características de expansão de saídas e entradas digitais, e pela familiarização com o *software* de programação. Assim, algumas das principais características deste PLC são:

- CPU com 14 Entradas e 10 saídas;
- Módulos de expansão até 94 entradas e 74 saídas digitais;
- Intensidade por saída máx. 750 mA;
- Consumo por entrada 2,5 mA;
- Saídas por transístores;
- Entradas por optoacopladores;
- Alimentação 24 VDC;
- *Software*: STEP 7-Micro/WIN (STL, Ladder, FBD);
- Frequência limite de impulsos 20kHz.



Figura 67 - PLC Siemens Simatic S7 -200

6.5.2 - Desenvolvimento de um algoritmo de controlo

A programação do PLC seleccionado para realizar o controlo dos processos (Siemens Simatic S7-200, 224 CPU) pode ser realizada recorrendo a três linguagens de programação, *Ladder* (diagrama de contactos), *STL* (código) e *FBD* (diagrama de blocos). Sendo a linguagem de programação *Ladder* a mais utilizada e por ser a de mais fácil compreensão entre estas, a escolha recaiu sobre a mesma.

Inicialmente, para melhor compreensão do funcionamento do sistema, foi realizado um Grafcet comportamental e só depois se procedeu à tradução para linguagem *Ladder*.

Ao ligar todo o sistema em modo automático, será necessário premir *Reset*. Esta função vai iniciar uma sequência de movimentos do manipulador (ver Grafcet da figura 68) até à zona pré-definida, nomeada por posição “0” (consultar anexo E).

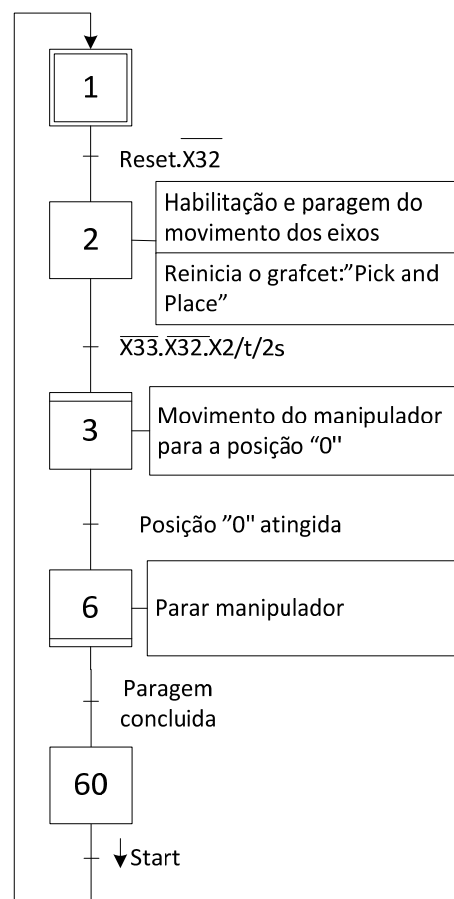


Figura 68 – Grafcet de definição de Reset (movimento para a posição “0”)

Após a sua execução, até à etapa 60 o sistema estará habilitado a iniciar a extracção automática dos tabuleiros, sendo para isso necessário premir a botoneira *Start* (Grafcet da figura 69).

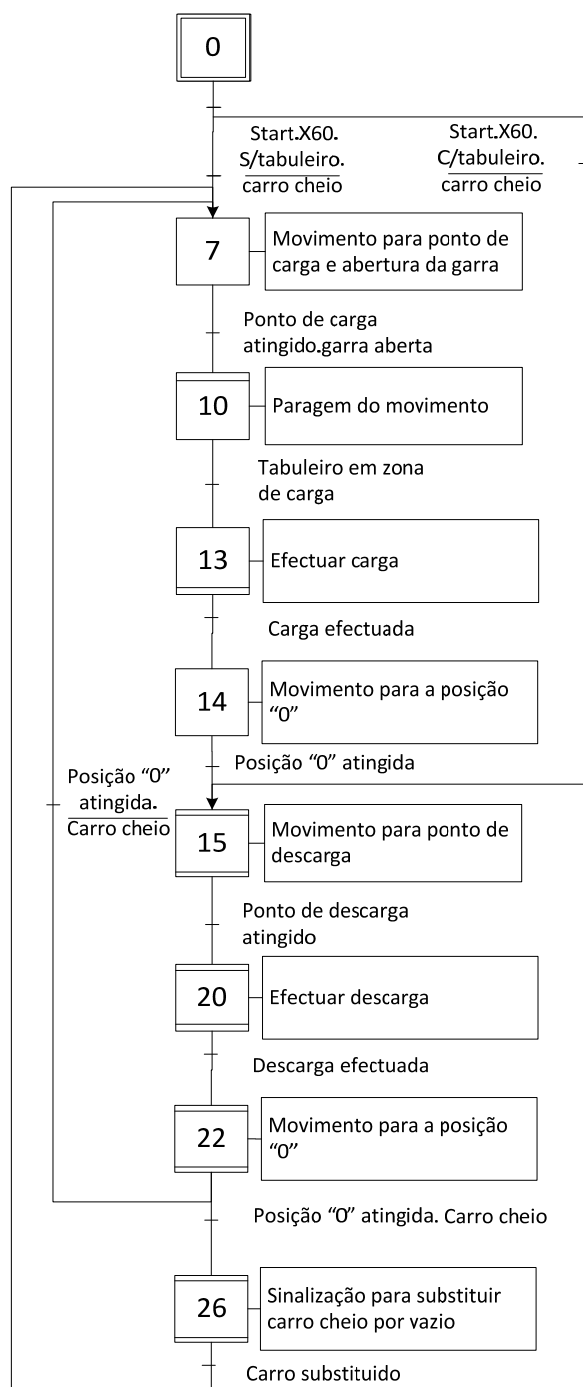


Figura 69 – Grafcet de definição do movimento de “Pick and Place”

O funcionamento em *Modo Manual* é realizado apenas por *hardware*, para isso, as saídas do PLC devem estar inibidas (Grafcet figura 70). Os estados iniciais do Grafcet de *Reset* e “Pick and Place” são reiniciados.

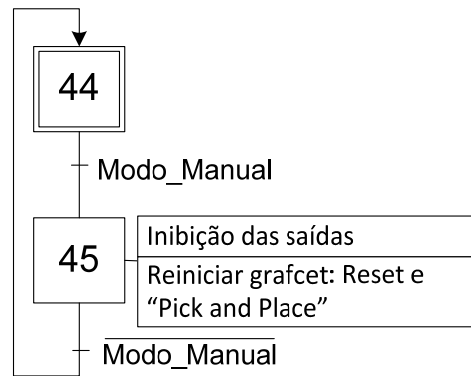


Figura 70 – Grafcet de definição da inibição de saídas no funcionamento em modo manual

Na actuação de qualquer dispositivo de emergência, para além da ordem de inibição efectuada por *hardware*, é realizada a inibição do controlador por *software* (Grafcet figura 71) e ao mesmo tempo é reiniciado o programa, para que o operador realize um novo reset ao sistema.

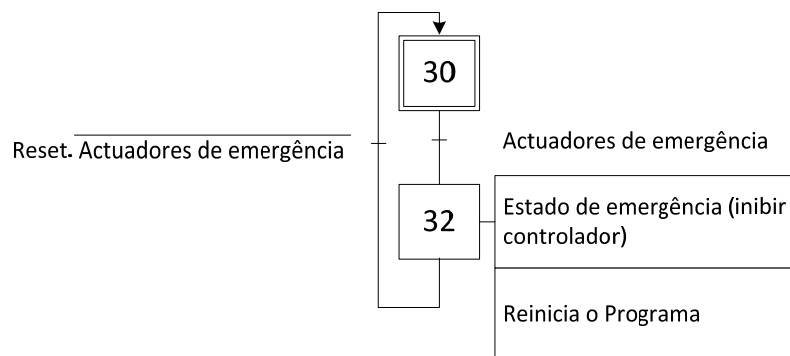


Figura 71 – Grafcet de definição do estado de emergência

A paragem do sistema será efectuada sempre que o operador pressionar as botoneiras de *Stop* e de *Entrada em espaço de trabalho*, não estando a emergência actuada. Este causará a habilitação e paragem do sistema manipulador ao mesmo tempo que vai paralisar o Grafcet “Pick and Place” e o Grafcet de operação de *Reset*.

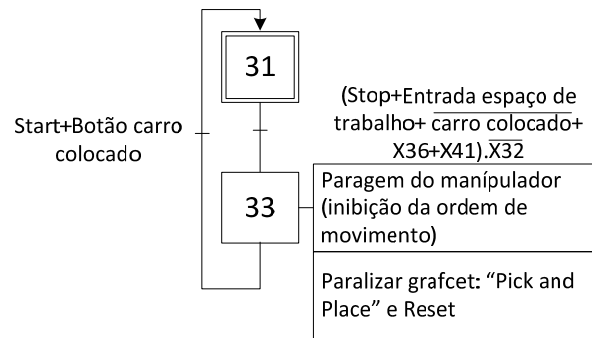


Figura 72 – Definição do estado de paragem

Verificar-se-á na mesma a paragem, sempre que houver um erro na resposta de abertura ou fecho da garra ou sempre que os sensores que detectam o carro posicionado, não estejam activos. Essa verificação de erro feita pelos detectores de fim de curso dos cilindro e pela programação do PLC cujo funcionamento se encontra ilustrado nos Grafkets da figura 73.

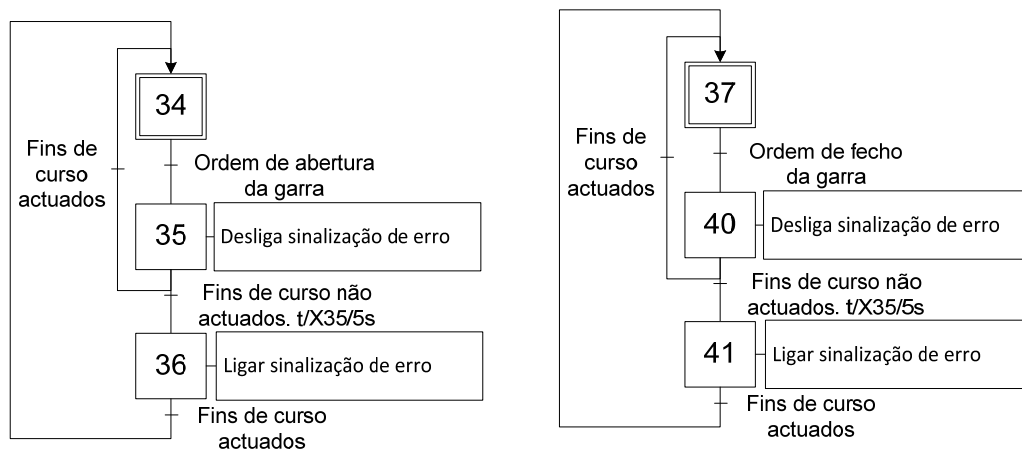


Figura 73 – Definição de rotina de resposta a situação de erro na abertura e fecho das garras

O Grafcet de funcionamento pormenorizado e sua descrição encontram-se no anexo C.

6.5.3 - Programação do PLC

O programa realizado está pronto a ser descarregado para o PLC foi realizado no programa STEP 7-Micro/WIN e encontra-se em anexo a este relatório (Anexo D). Para a sua implementação deve ainda passar por uma fase de testes.

7- Conclusão e trabalhos futuros

Este trabalho consistia no desenvolvimento de uma unidade automática de descarga de tabuleiros de suporte de moldes previamente processados na linha de enchimento. Os objectivos foram cumpridos, assim foi realizado:

- Uma estruturação da futura organização fabril;
- O projecto mecânico dos tabuleiros destinados à movimentação dos moldes dos elementos abrasivos “Velox”, bem como os seus desenhos de fabrico que se encontram finalizados sendo ainda necessário realizar uma verificação final. Acredita-se que a sua implementação com um sistema de descarga trará múltiplas vantagens;
- O projecto mecânico do manipulador encontra-se finalizado, no entanto, falta ainda a realização dos desenhos de fabrico dos componentes, que deverá ser realizado num trabalho futuro. A selecção dos elementos mecânicos como rolamentos lineares, casquilhos, acoplamentos de transmissão, etc, a implementar no sistema foi concluída e encontra-se referenciada neste relatório;
- Foram seleccionados os moto-redutores com freio e variadores de frequência para o accionamento de ambos os eixos, atendendo às restrições impostas. Sua implementação foi conferida com o fornecedor;
- Procedeu-se à selecção de um PLC para controlo do manipulador. Posteriormente, foi realizado um Grafcet de funcionamento do manipulador, e traduzido para a linguagem de programação *Ladder* utilizada no PLC;
- Foi delineada toda a sensorização do sistema para integração com o funcionamento do programa de controlo;
- Foram realizados os desenhos dos circuitos eléctricos.

Com vista a uma automatização global da fábrica, os trabalhos futuros são:

- Finalização dos desenhos de fabrico do manipulador;
- Realizar o projecto de tabuleiros para formatos de outros elementos abrasivos;
- Finalização do projecto dos carros de empilhamento dos tabuleiros, e dos invólucros de isolamento, que deve passar por um estudo térmico do processo de cura;
- Projecto de uma unidade automática de alimentação e extracção dos carros que permitem o empilhamento dos tabuleiros;
- Projecto de um sistema de alimentação de tabuleiros para o sistema de correntes, podendo eventualmente, recorrer-se à adaptação do sistema manipulador projectado, para esse efeito;
- Outros projectos que visam a automatização global da fábrica.

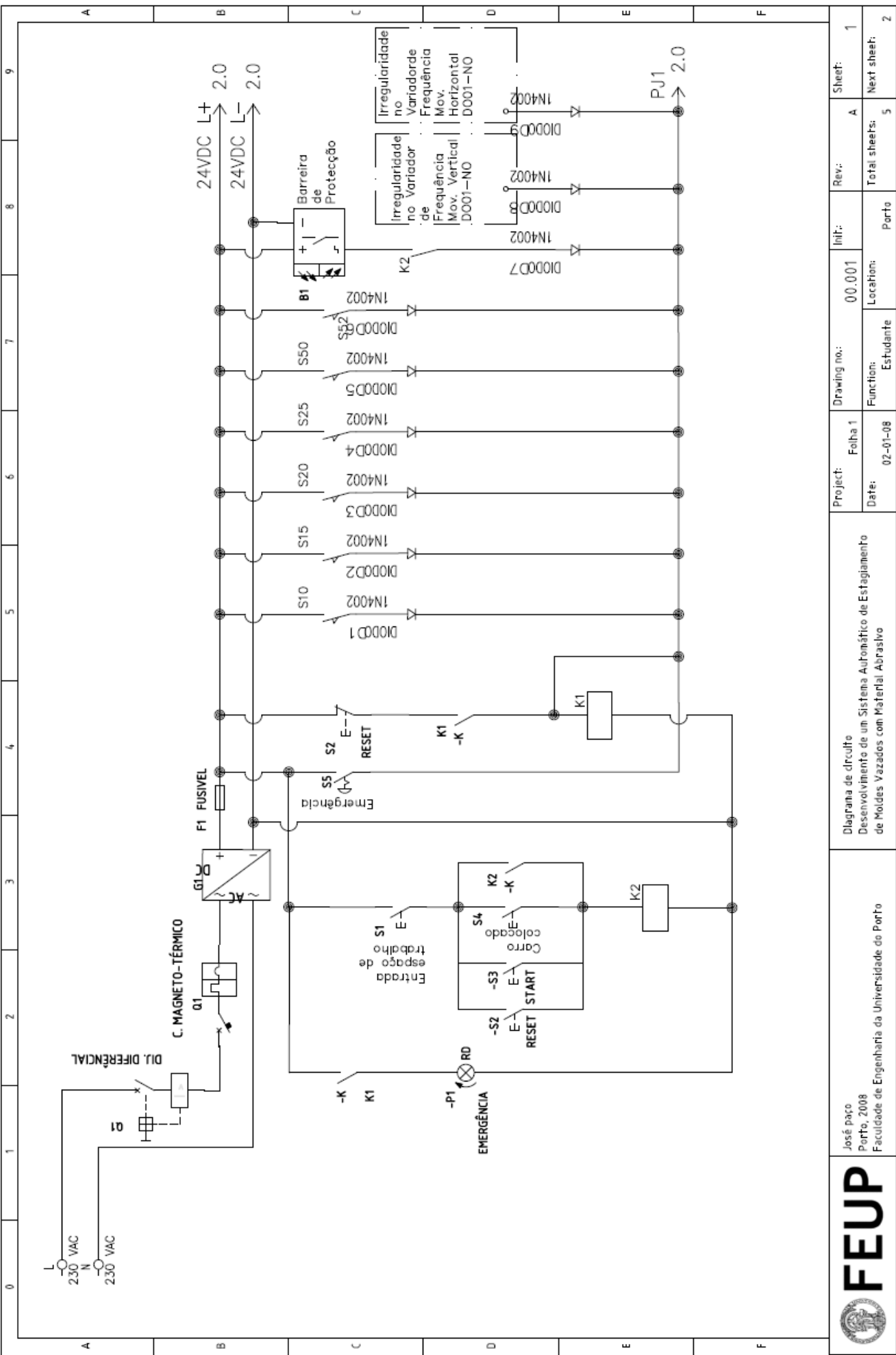
8-referências e bibliografia

- [1] 98/37/CE, Directiva máquina.
- [2] Simões Morais, *Desenho Técnico Básico -3ªEdição* , Porto Editora.
- [3] José Paço, Relatório do *Projecto de um sistema automático para vazamento de material abrasivo em moldes*, 2007.
- [3] Carlos Reis Gomes, Apontamentos de Mecânica das Estruturas.
- [4] Manuel Quintas e Paulo Abreu, Apontamentos de Tecnologia dos Accionamentos Industriais.
- [5] Catálogo INA FAG.
- [6] Catálogo Aços F. Ramada.
- [7] SEW. (2007). *Instruções de Operação - Movitrac B unidade base*.
- [8] Catálogo IGUS.
- [9] Omron. *Automação industrial*.
- [10] <http://Wikipédia.com>.
- [11] <http://www.smcetech.com>.
- [12] <http://www.RSPortugal.com>.
- [13] <http://luxury88.en.ec21.com/>.
- [14] <http://www.cairnsmarble.com>.
- [15] <http://www.hollistersmonument.com/process.htm>.
- [16] <http://www.marble-machines-manufacturer.com/>.
- [17] <http://yhystone01.en.ec21.com>.
- [18] www.pemo.com/PORT/hydro.
- [19] www.systraplan.com/.../area_storage/index.htm.

[20] www.worldstonex.com.

ANEXO A – CIRCUITOS ELECTRICOS

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



FEUP

José Carlos
Porto, 2008
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Diagrama de circuito
Desenvolvimento de um Sistema Automático de Estagamento
de Moldes Vazados com Material Abrasivo

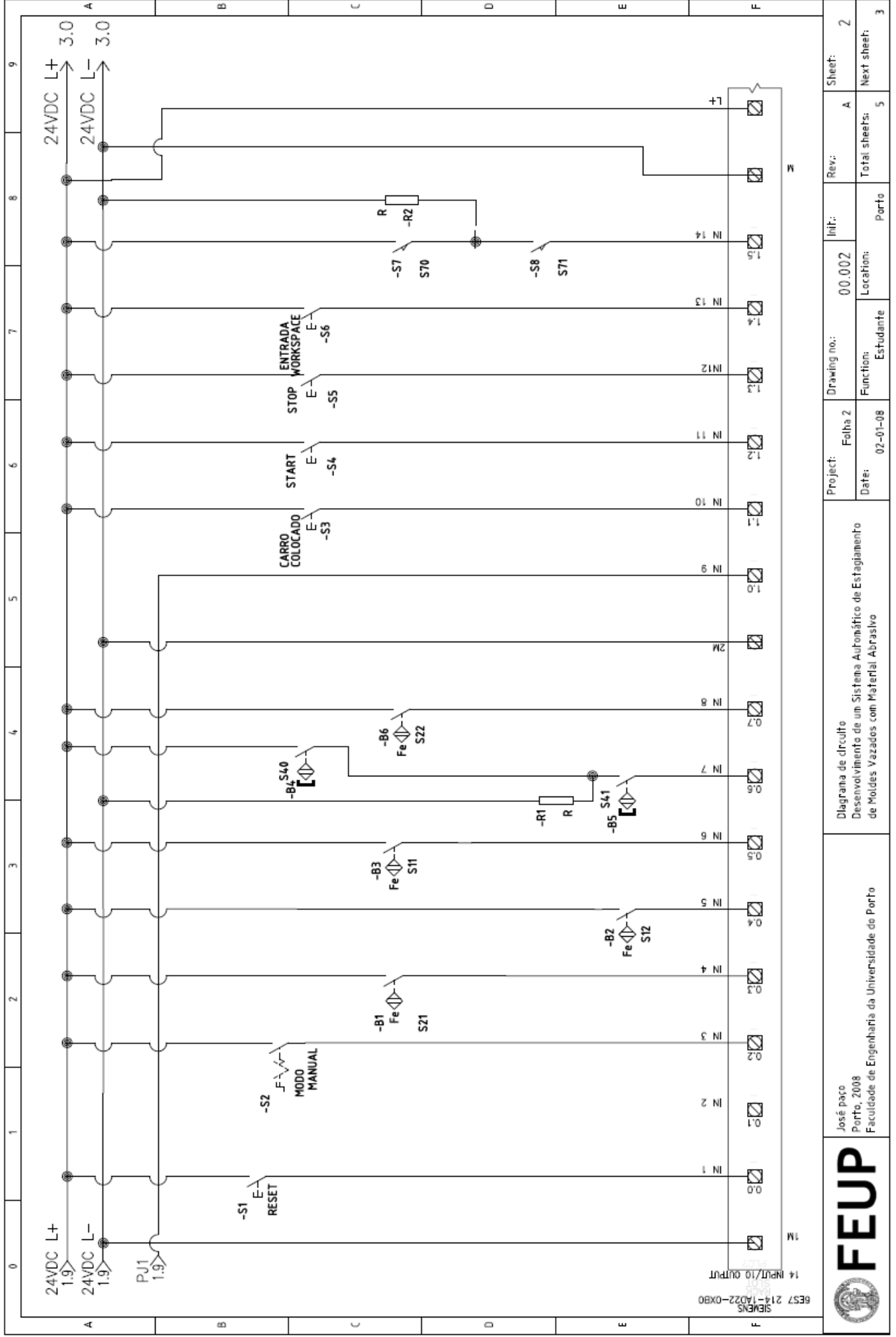
Project: Folha 1
Date: 02-01-08

Drawing no: 00.001
Function: Estudante

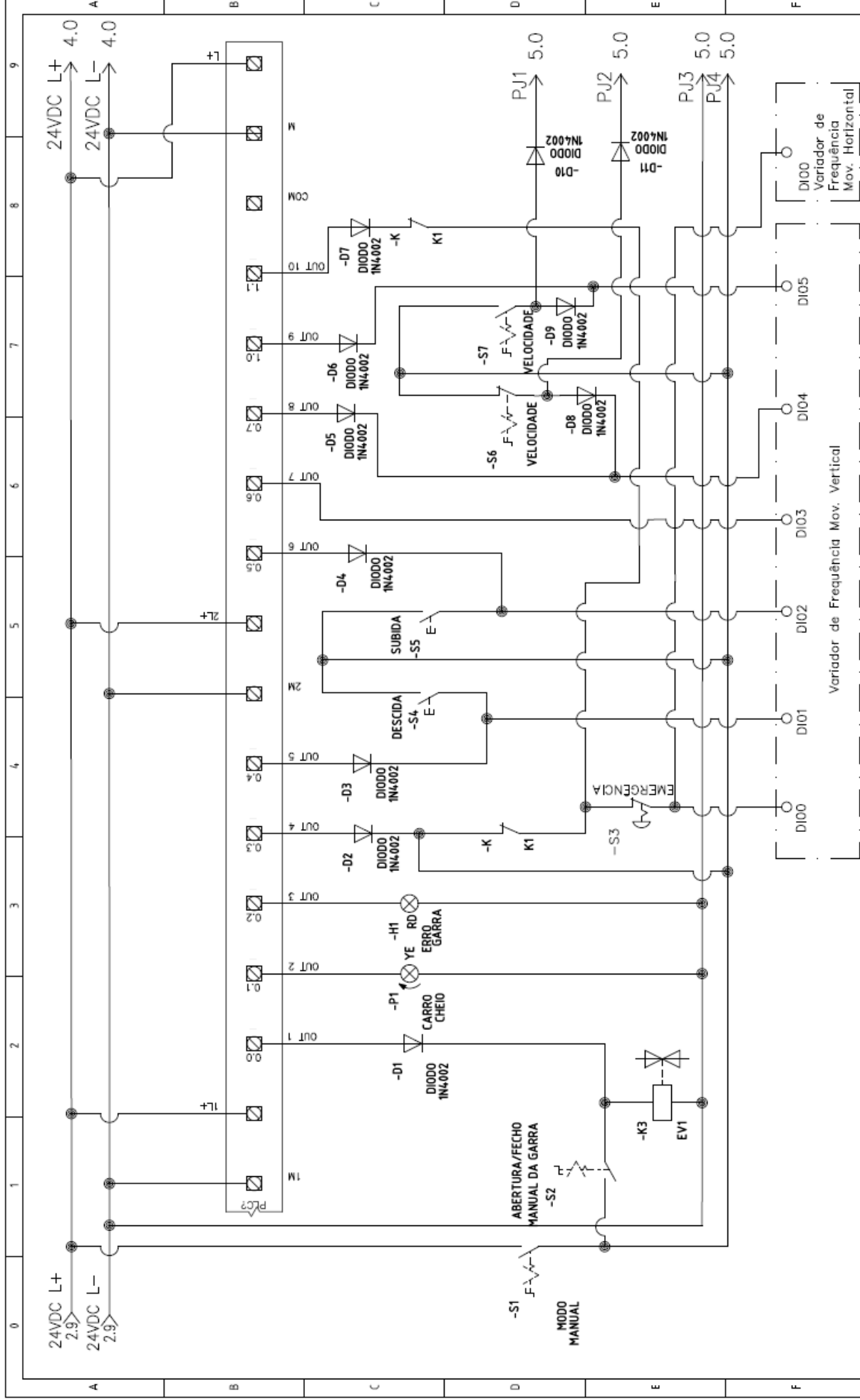
Init: 00.001
Location: Porto

Rev: A
Total sheets: 5
Sheet: 1
Next sheet: 2

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

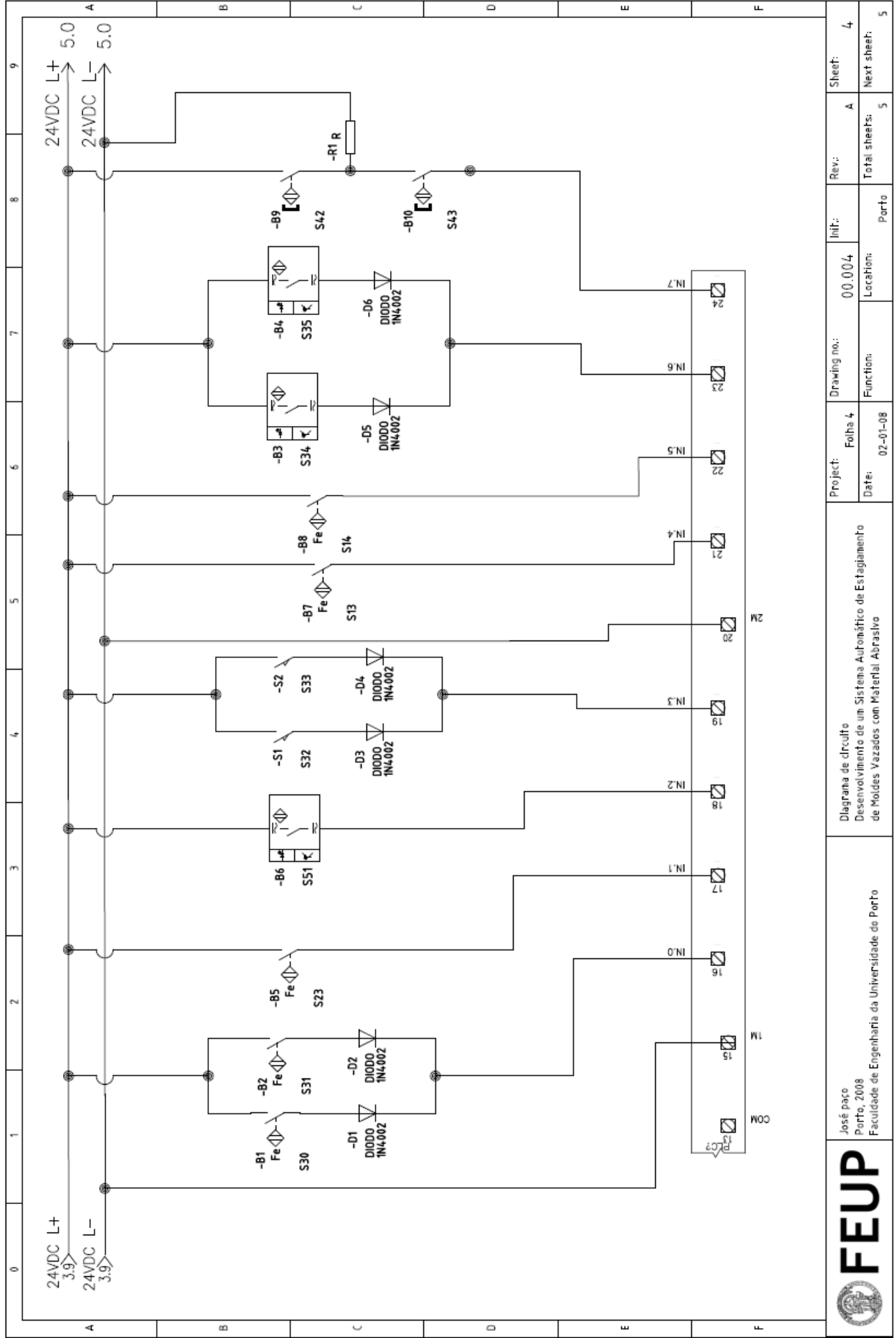


Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



FEUP Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Porto, 2008 José Paço	Diagrama de circuito Desenvolvimento de um Sistema Automático de Estágio de de Moldes Vazados com Material Abrasivo			Project:	Folha 3	Drawing no.:	00.003	Init:	Rev:	Sheet:
	Date: 02-01-08			Function:	Porto	Location:	Total sheets:	5	Next sheet:	4

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



FEUP

José Paço
Porto, 2008
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Diagrama de circuito
Desenvolvimento de um Sistema Automático de Estagamento
de Moldes Vazados com Material Abrasivo

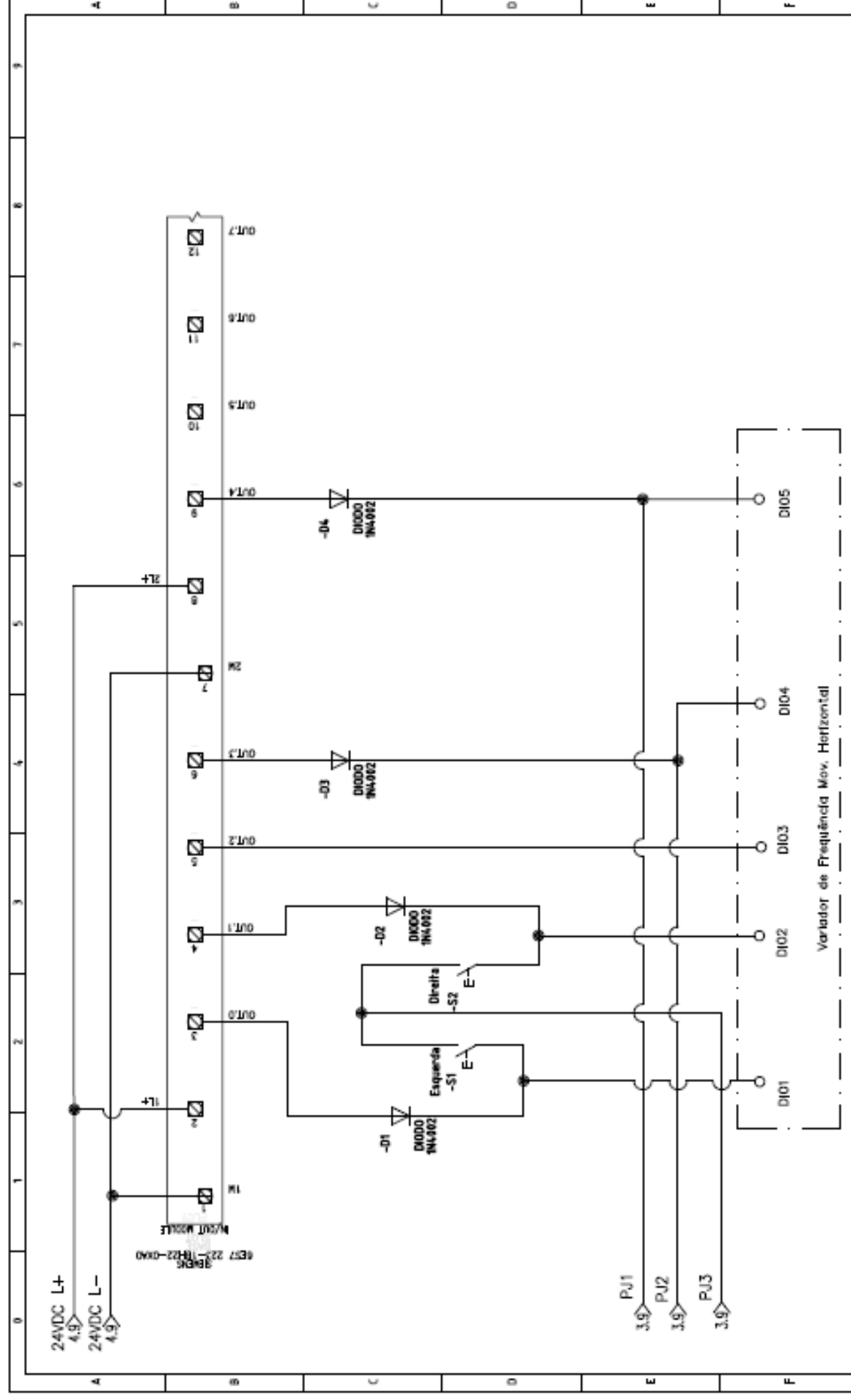
Project: Folha 4
Date: 02-01-08

Drawing no.: 00.004
Function: Location: Porto

Rev.: A
Init: Total sheets: 5

Sheet: 4
Next sheet: 5

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

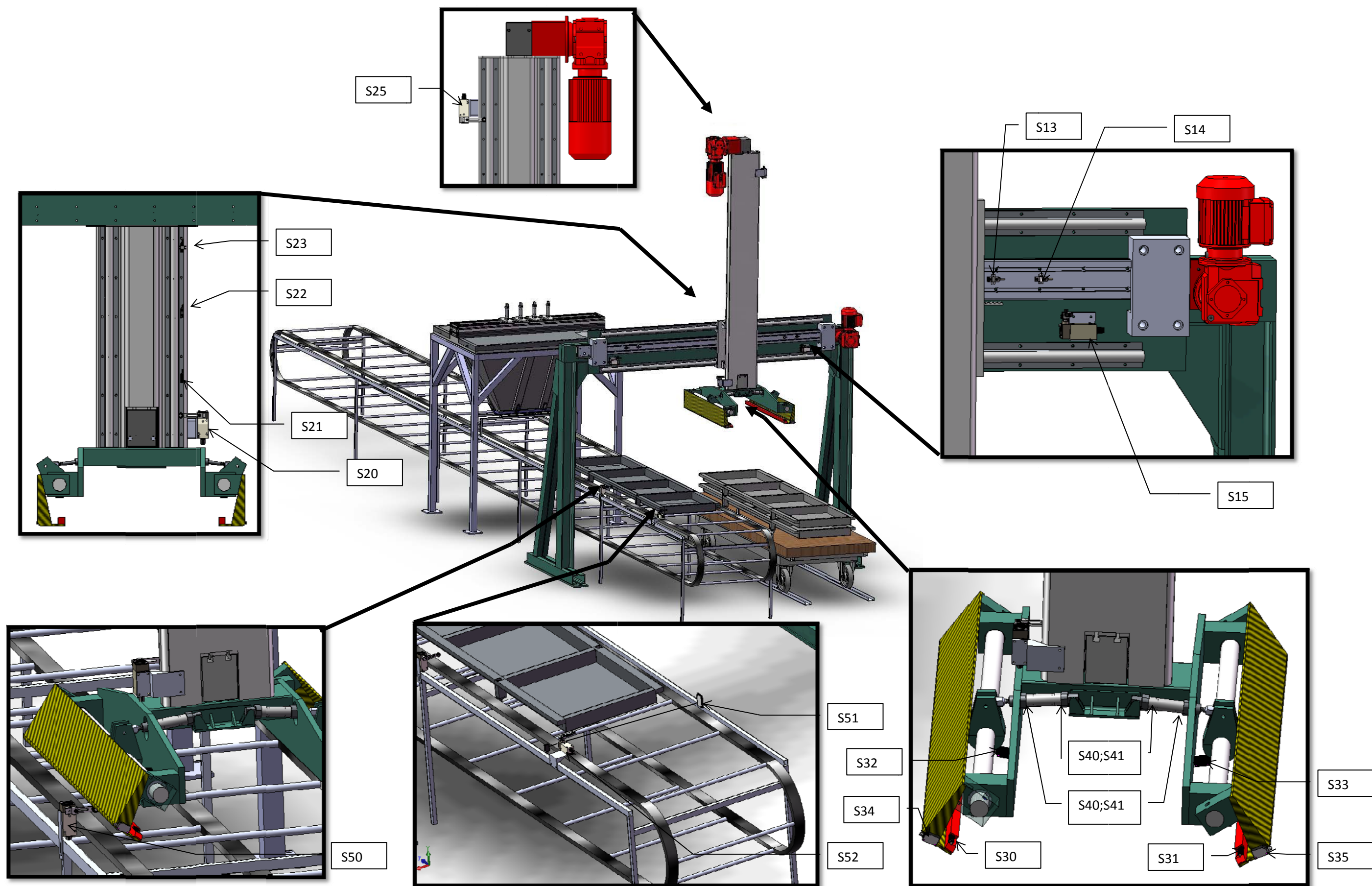


	José Paulo Porto, 2008 Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto		Diagrama de Circuito Desenvolvimento de um Sistema Automático de Estragamento de Moldes Vazados com Material Abrasivo		Project: Folha 5 Data: 02-01-08	Drawing no.: 00.005 Function: Location:	Int.: Parts:	Rev: A Total sheets: 5	Sheet: 5 Next sheet:

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

ANEXO B – ESQUEMA DA SENSORIZAÇÃO APLICADA AO SISTEMA

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

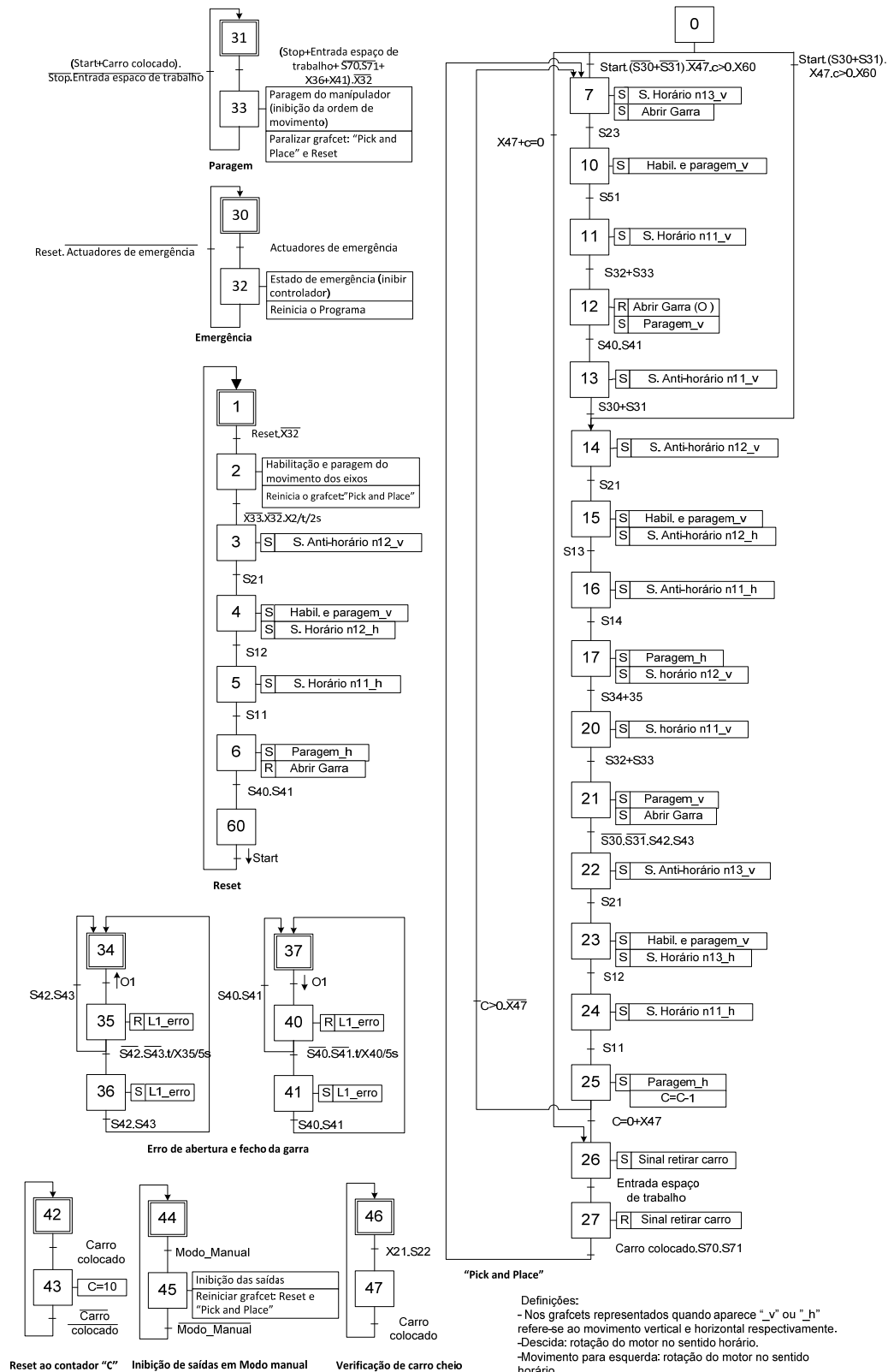


Sensorização

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

ANEXO C – GRAFCET

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



Gracnet de funcionamento

Descrição pormenorizada do Grafcet realizado

Ligar sistema

- Ao ligar o PLC são iniciadas as etapas iniciais 1, 30, 31, 34, 37, 42, 44 e 46.

Grafcet de definição de Reset:

- A etapa 1 é um estado inicial. Para iniciar o funcionamento do sistema manipulador é necessário premir a botoneira de “Reset”, ao mesmo tempo que é necessário garantir que não se encontra algum dos elementos de segurança em modo de bloqueio. Esta condição é válida também quando em caso de funcionamento normal seja realizado um reset ao sistema. Caso estas condições sejam satisfeitas vamos activar a etapa 2.

- A etapa 2 realizada a habilitação e paragem do movimento de ambos os eixos vertical e horizontal, e reinicia o Grafcet “Pick and Place”. A etapa 3 só passados 2 segundos da activação da etapa 2 e se nesse tempo não realizamos uma paragem ao sistema.

- A etapa 3 realiza a subida da garra (Sentido Anti-horário n12). A etapa 4 só é activada quando o sensor indutivo S21 detectar o carro do eixo horizontal.

- A etapa 4 realiza a habilitação e paragem do movimento vertical e inicia o movimento do carro do eixo horizontal para a esquerda (Sentido Horário n12). A etapa 5 é activada quando o detector indutivo S12 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 5 faz a redução de velocidade horizontal (Sentido Horário n11). A etapa 6 só é activada quando o detector indutivo S11 detecta o carro eixo horizontal.

- A etapa 6 realiza a paragem do movimento horizontal, ao mesmo tempo que realiza o fecho da garra. A etapa 60 só é activada quando os dois detectores magnéticos S40 e S41 dos cilindros detectam os êmbolos na posição de avançado (garra fechada).

- Etapa 60 serve para habilitar o início do ciclo de “Pick and Place”. A etapa 1 é activada quando é desinibida a botoneira de *Start*.

Grafcet de definição dos movimentos de “Pick and Place”

- A etapa 0 é o estado inicial do Grafcet “Pick and Place”. Para iniciar a extracção automática de tabuleiros é necessário estar a etapa 60 activa e premir “Start”. A etapa 7 é activada quando: os detectores indutivos S30 e S31 não estejam a detectar o tabuleiro na garra, o contador dos tabuleiros possua um valor superior a 0 e a etapa 47 esteja desligada. A etapa 14 é activada quando: detectores indutivos S30 ou S31 estejam a detectar o tabuleiro na garra, o contador dos tabuleiros possua um valor superior a 0 e a etapa 47 esteja desligada. A etapa 26 é activada caso o contador dos tabuleiros possua um valor igual a 0 ou a etapa 47 esteja activa.

- A etapa 7 realiza a descida da garra à velocidade máxima (Sentido Horário n13) uma vez que não tem tabuleiro a transportar, é também realizada em simultâneo a abertura da garra. A etapa 10 é activada quando o detector indutivo S23 na descida detecta o carro eixo horizontal.

- A etapa 10 realiza a habilitação e paragem do movimento vertical, esta etapa é necessária para esperar a chegada do tabuleiro à zona de extracção. A etapa 11 só é activada quando o detector fotoeléctrico de reflexão S51 detectar o tabuleiro na zona de extracção.

- A etapa 11 realiza a descida à velocidade mínima (Sentido Horário n11) até ao tabuleiro situado na zona de extracção. O tabuleiro é detectado pelos detectores fotoeléctricos S32 ou S33, sendo activada a etapa 12.

- A etapa 12 realiza a paragem do movimento vertical e em simultâneo o fecho da garra. A etapa 13 é activada quando os detectores de fim de curso S40 e S41 estiverem activos (garra fecha).

- A etapa 13 inicia o movimento de subida a velocidade lenta (Sentido Anti-horário n11). A etapa 14 é activada quando os detectores indutivos S30 ou S31 detectam o tabuleiro.

- A etapa 14 aumenta a velocidade de subida (Sentido Anti-horário n12). A etapa 15 é activada quando o detector indutivo S21 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 15 realiza a paragem do movimento vertical ao mesmo tempo que inicia o movimento horizontal para a direita (Sentido Anti-horário n12). A etapa 16 é activada quando o detector indutivo S13 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 16 reduz a velocidade horizontal (Sentido Anti-horário n11). A etapa 17 é activada quando o detector indutivo S14 detecta o carro eixo horizontal.

- A etapa 17 realiza a paragem do movimento horizontal e ao mesmo tempo que inicia o movimento de descida (Sentido Horário n12). A etapa 20 é activada quando os detectores fotoeléctricos S34 ou S35 detectarem os tabuleiros acumulados no carro receptor ou no caso de estar vazio detecta o próprio carro.

- A etapa 20 reduz a velocidade de descida (Sentido Horário n11) de modo a permitir pousar o tabuleiro em cima do carro com suavidade. A etapa 21 é activada quando os detectores fotoeléctricos S32 ou S33 forem actuados pelo tabuleiro que pousa encima dos outros já colocados no carro ou quando pousa encima do próprio carro quando vazio.

- A etapa 21 realiza a paragem do movimento vertical ao mesmo tempo que abre a garra. A etapa 22 é activada quando os detectores de fim de curso S42 e S43 dos cilindros são actuados e os detectores indutivos S30 e S31 desligados.

- A etapa 22 realiza a subida da garra à velocidade máxima (Sentido Anti-horário n13). A etapa 23 é activada quando o detector indutivo S21 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 23 realiza a habilitação e paragem do carro do eixo vertical, ao mesmo tempo que inicia o movimento horizontal para a esquerda a velocidade máxima (Sentido Horário n13). A etapa 24 é activada quando o detector indutivo S12 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 24 reduz a velocidade do carro do eixo horizontal para a velocidade mínima (Sentido Horário n11). A etapa 25 é activada quando o detector indutivo S11 detecta o carro do eixo horizontal.

- A etapa 25 realiza a paragem do movimento horizontal, subtraindo uma unidade ao contador dos tabuleiros. A etapa 26 é activada se o contador atingir o valor 0 (carro cheio com 10 tabuleiros) ou caso a etapa 47 esteja activa. A etapa 7 é activa se o contador tiver um valor maior que 0 e a etapa 47 tiver desactivada.

- A etapa 26 liga a sinalização para retirar carro cheio. A etapa 27 é activada quando é premida a botoneira de *Entrada no espaço de trabalho*. Esta etapa pode ser substituída

futuramente por outra, caso se venha a verificar a automação da entrada e saída de carros receptores.

- A etapa 27 desliga a sinalização de retirar carro cheio. A etapa 7 é activada quando for premido a botoneira de *carro colocado* e os sensores indutivos S70 e S71 tiverem ambos actuados (necessários para confirmação de carro bem posicionado).

Definição do Grafcet de paragem

- A etapa 31 é a etapa inicial do Grafcet que permite a paragem do manipulador. A etapa 33 é activada ao premir a botoneira de *Stop* ou a botoneira de *Entrada no espaço de trabalho* ou se ligarem as etapas 36 ou 37 ou ainda caso os detectores indutivos S70 ou S71 estejam desactivados, estando sempre a etapa 32 desactivada.

- A etapa 33 força a habilitação e paragem do sistema e paralisa o Grafcet “Pick and Place”. Para reactivar a etapa 30 é necessária a desatuação da botoneira de *Stop* e de *Entrada em espaço de trabalho*, e premir a botoneira *Start* ou premir a botoneira de *Carro colocado em espaço de trabalho*.

Definição do Grafcet de paragem de emergência

- Etapa 30 o estado inicial do Grafcet que permite a paragem de emergência. A etapa 32 é activada sempre que houver um sinal de emergência.

- A etapa 32 realiza a paragem de emergência de todo o sistema, sendo esta função completada a nível de *hardware* desligando a desinibição dos controladores dos dois variadores de frequência. A etapa 2 é activada estando o sinal de emergência desligado e premindo a botoneira *Reset*.

Definição de rotina de resposta a situação de erro na abertura e fecho das garras

- Erro na abertura

- A etapa 34 o estado inicial do Grafcet que permite a verificação da ordem de abertura da garra. A etapa 35 é activada quando é ligada a saída 0 do PLC e o selector está em modo automático (modo manual desligado).

- A etapa 35 desliga a sinalização de erro na abertura ou fecho da garra. A etapa 36 é activada caso os detectores S42 e S43 não detectarem os êmbolos na posição final de curso e tiver passado 5 segundos no estado 35, caso contrário é activada a etapa 34.

- A etapa 36 liga a sinalização de erro na abertura ou fecho da garra. A etapa 34 é ligada quando os detectores S42 e S43 tiverem a detectar os êmbolos dos cilindros na posição de avançados.

- Erro no fecho

- A etapa 37 é o estado inicial do Grafcet que permite a verificação da ordem de fecho da garra. A etapa 40 é activada quando é desligada a saída 0 e o selector está em modo automático (modo manual desligado).

- A etapa 40 desliga a sinalização de erro na abertura ou fecho da garra. A etapa 41 é activada caso os detectores S40 e S41 não detectarem os êmbolos na posição recuada e tiver passado 5 segundos no estado 40, caso contrário é activada a etapa 37.

- A etapa 41 liga a sinalização de erro na abertura ou fecho da garra. A etapa 37 é ligada quando os detectores S40 e S41 tiverem a detectar os êmbolos dos cilindros na posição de recuados.

Definição do reset ao contador quando colocado um carro vazio

- A etapa 42 é o estado inicial do Grafcet que permite fazer o reset ao contador de tabuleiros colocados no carro receptor. A etapa 43 é activada ao premir a botoneira de *Carro colocado*.

- A etapa 43 faz o reset ao contador. A etapa 42 é activada quando a botoneira de *Carro colocado* é desinibida.

Inibição de saídas no Modo Manual

- A etapa 44 é o estado inicial do Grafcet que permite a inibição das saídas quando é actuado o *modo manual*. A etapa 45 é activada quando o *Modo Manual* é actuado num selector.

- A etapa 45 inibe as saídas de comando do PLC. A etapa 44 é activada quando é comutado o selector para modo automático.

Verificação de carro cheio

- A etapa 46 é o estado inicial do Grafcet que permite a verificação redundante de carro receptor cheio (atendendo que o contador também serve para o mesmo efeito). A etapa 47 é iniciada quando a etapa 21 está activada e o detector indutivo S22 está a detectar o carro do eixo horizontal.

- A etapa 47 quando activada significa que o carro se encontra cheio com os 10 tabuleiros. O estado 46 é activado quando a botoneira *Carro colocado* é premida.

ANEXO D – PROGRAMAÇÃO DO PLC EM LADDER

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

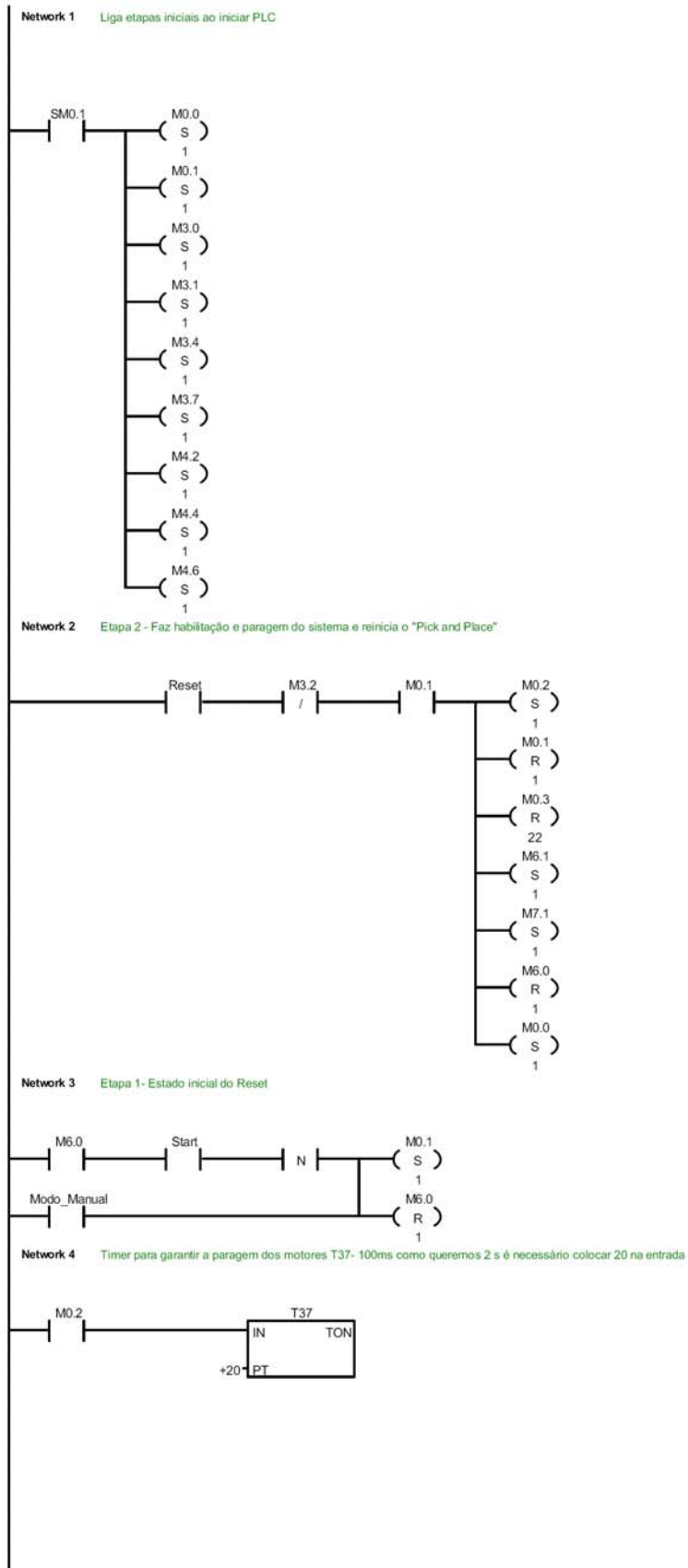
Definição das entradas	
DI	Atribuição
I0.0	Reset
I0.1	
I0.2	Modo Manual
I0.3	S21
I0.4	S12
I0.5	S11
I0.6	S40.S41
I0.7	S22
I1.0	Emergência/S10/S15/S20/S25/S50/S52/Irregularidade nos variadores (DO01)/ Barreira de Protecção
I1.1	Botoneira de <i>carro colocado</i>
I1.2	<i>Start</i>
I1.3	<i>Stop</i>
I1.4	Botoneira de <i>Entrada em espaço de trabalho</i>
I1.5	S70.S71
I2.0	S30+S31
I2.1	S23
I2.2	S51
I2.3	S32+S33
I2.4	S13
I2.5	S14
I2.6	S34
I2.7	S42.S43

Definição das saídas	
DO	Atribuição
Q0.0	Abertura da garra
Q0.1	Sinalização retirar carro cheio
Q0.2	Sinalização de erro na abertura/fecho de garra
Q0.3	Controlador Inibido - Vertical (descida)
Q0.4	Sentido Horário/Paragem - Vertical
Q0.5	Sentido Anti-horário/ Paragem - Vertical (subida)
Q0.6	Habilitação/Paragem - Vertical
Q0.7	n11/n21 - Vertical
Q1.0	n12/n22 - Vertical
Q1.1	Controlador Inibido - Horizontal
Q2.0	Sentido Horário/Paragem - Horizontal (esquerda)
Q2.1	Sentido Anti-horário/ Paragem - Horizontal (direita)
Q2.2	Habilitação/Paragem - Horizontal
Q2.3	n11/n21 - Horizontal
Q2.4	n12/n22 - Horizontal
Q2.5	
Q2.6	
Q2.7	

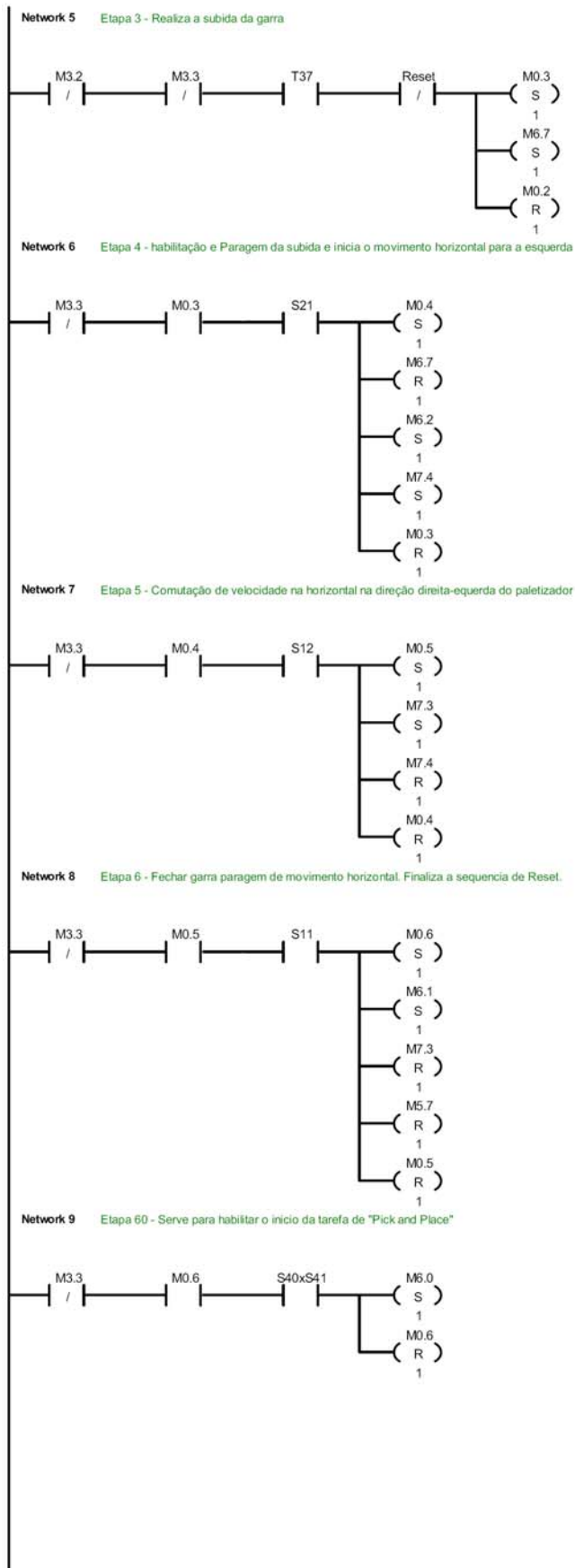
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Função atribuída a algumas memórias			
Mem.	Função	Mem.	Função
M61	Paragem - Vertical	M71	Paragem - Horizontal
M62	Habilitação e paragem - Vertical	M72	Habilitação e paragem - Horizontal
M63	Sentido Horário n11 - Vertical	M73	Sentido Horário n11 - Horizontal
M64	Sentido Horário n12 - Vertical	M74	Sentido Horário n12 - Horizontal
M65	Sentido Horário n13 - Vertical	M75	Sentido Horário n13 - Horizontal
M66	Sentido Anti-horário n11 - Vertical	M76	Sentido Anti-horário n11 - Horizontal
M67	Sentido Anti-horário n12 - Vertical	M77	Sentido Anti-horário n12 - Horizontal
M80	Sentido Anti-horário n13 - Vertical	M81	Sentido Anti-horário n13 - Horizontal

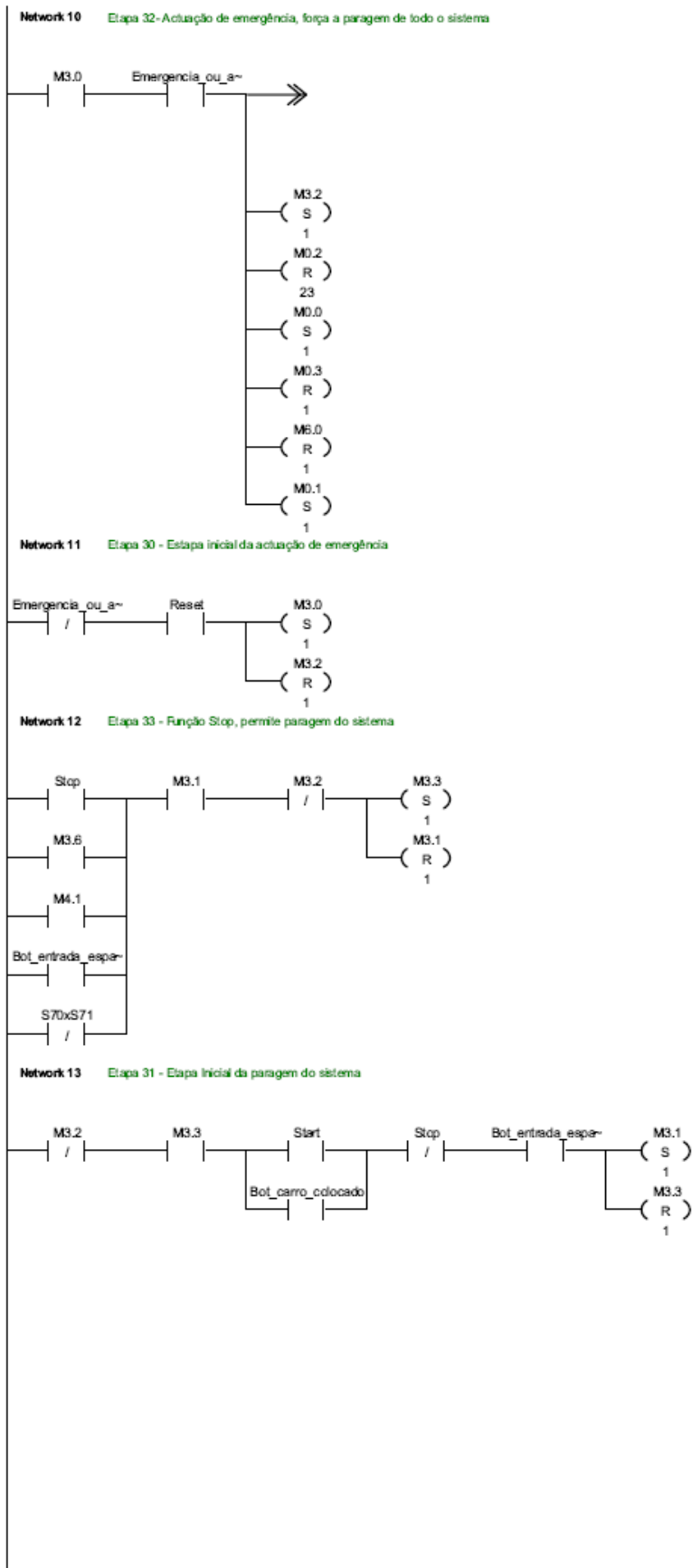
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



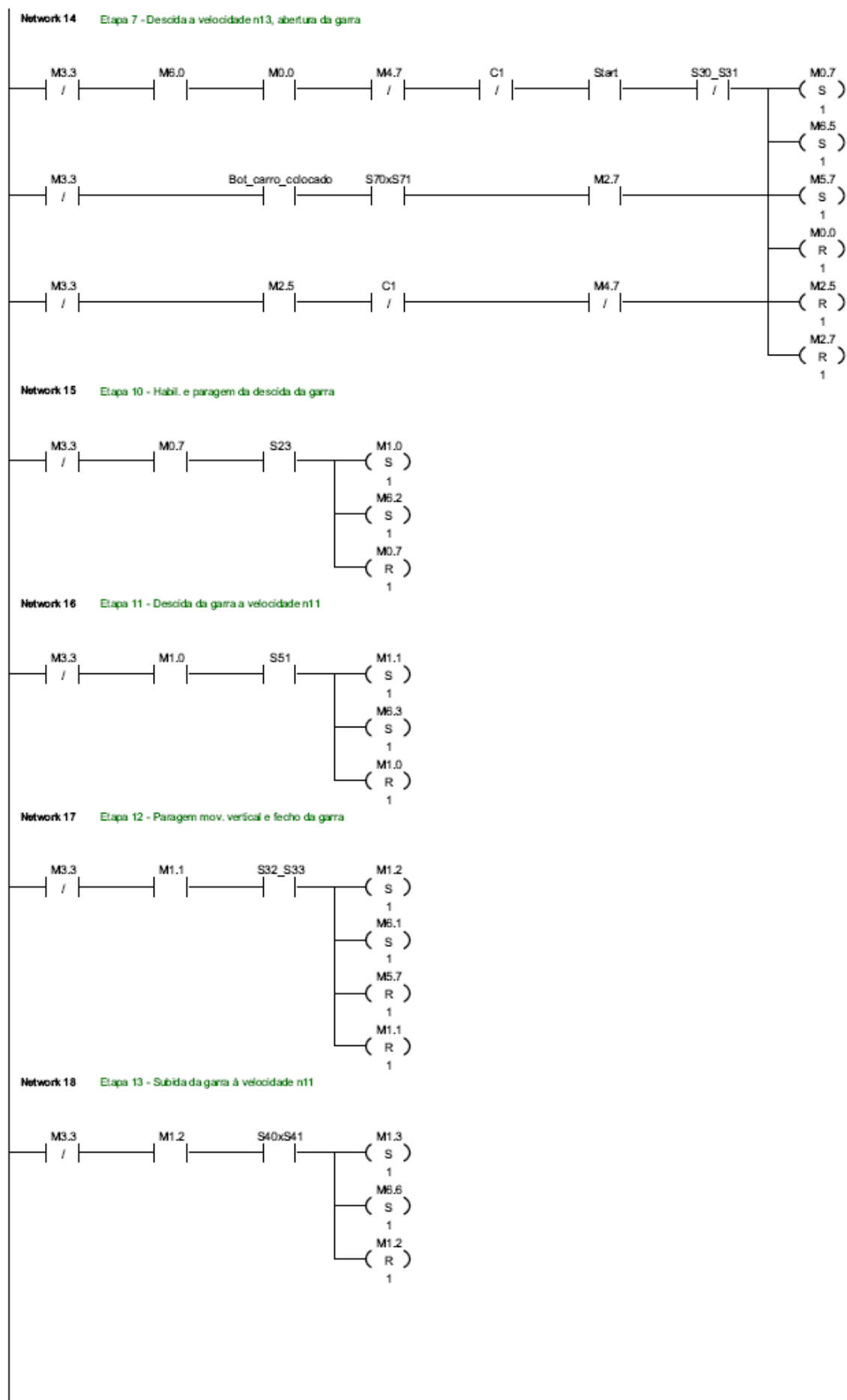
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



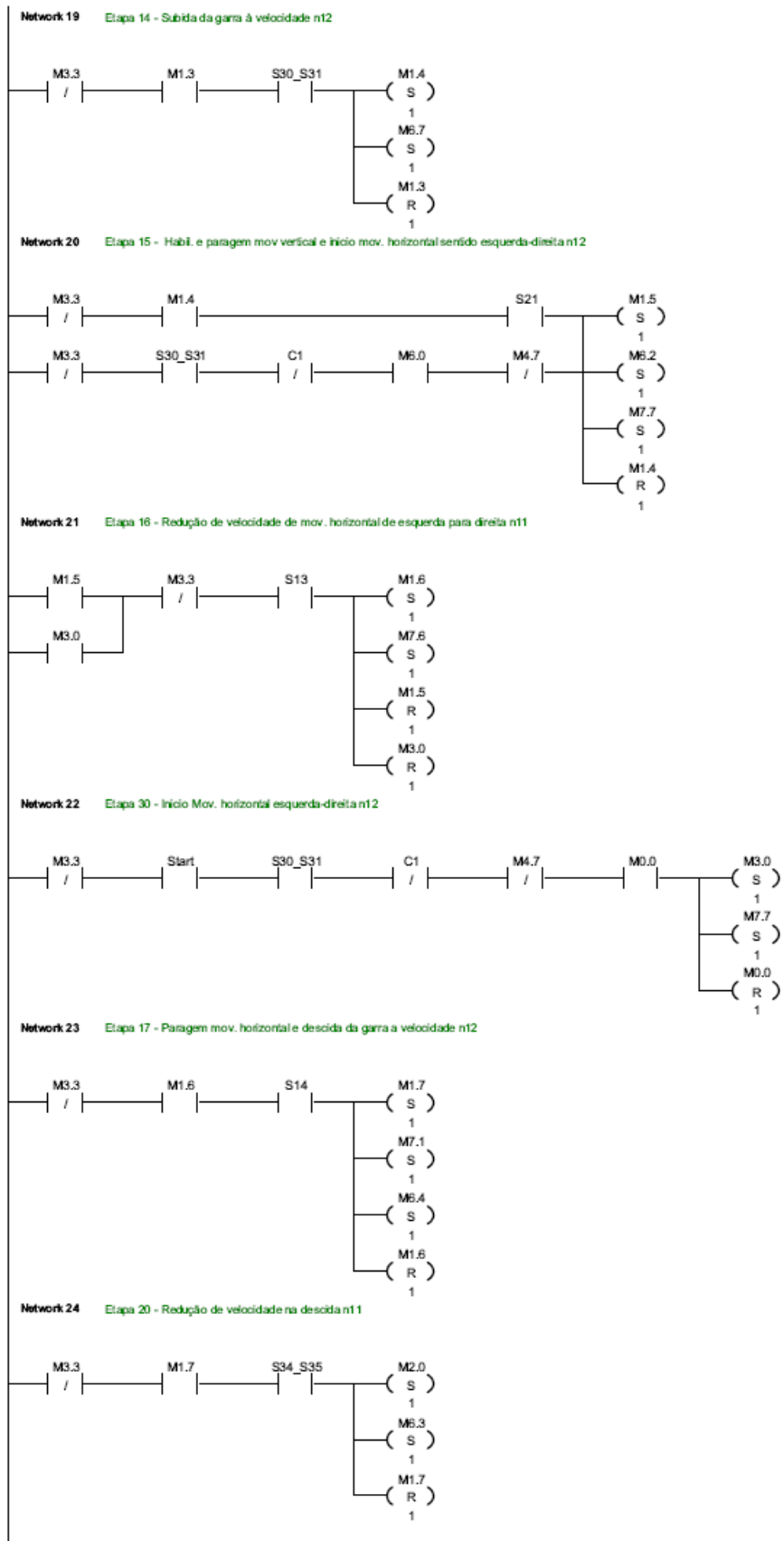
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



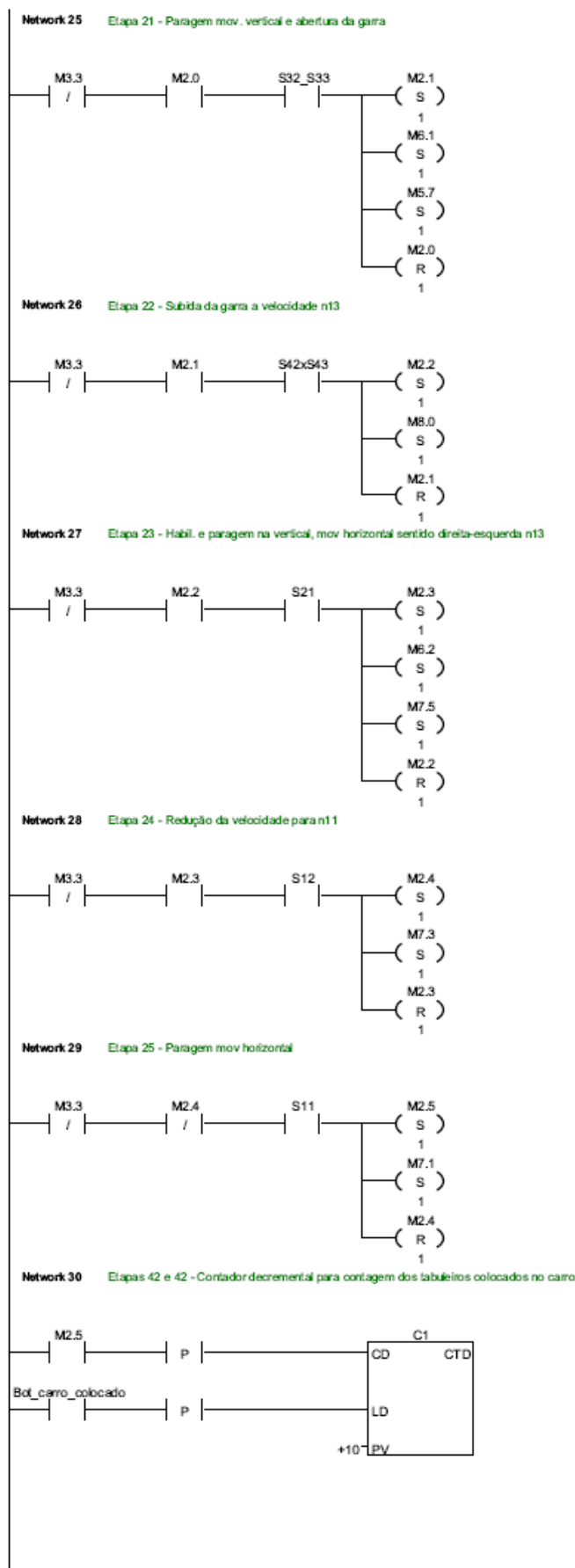
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



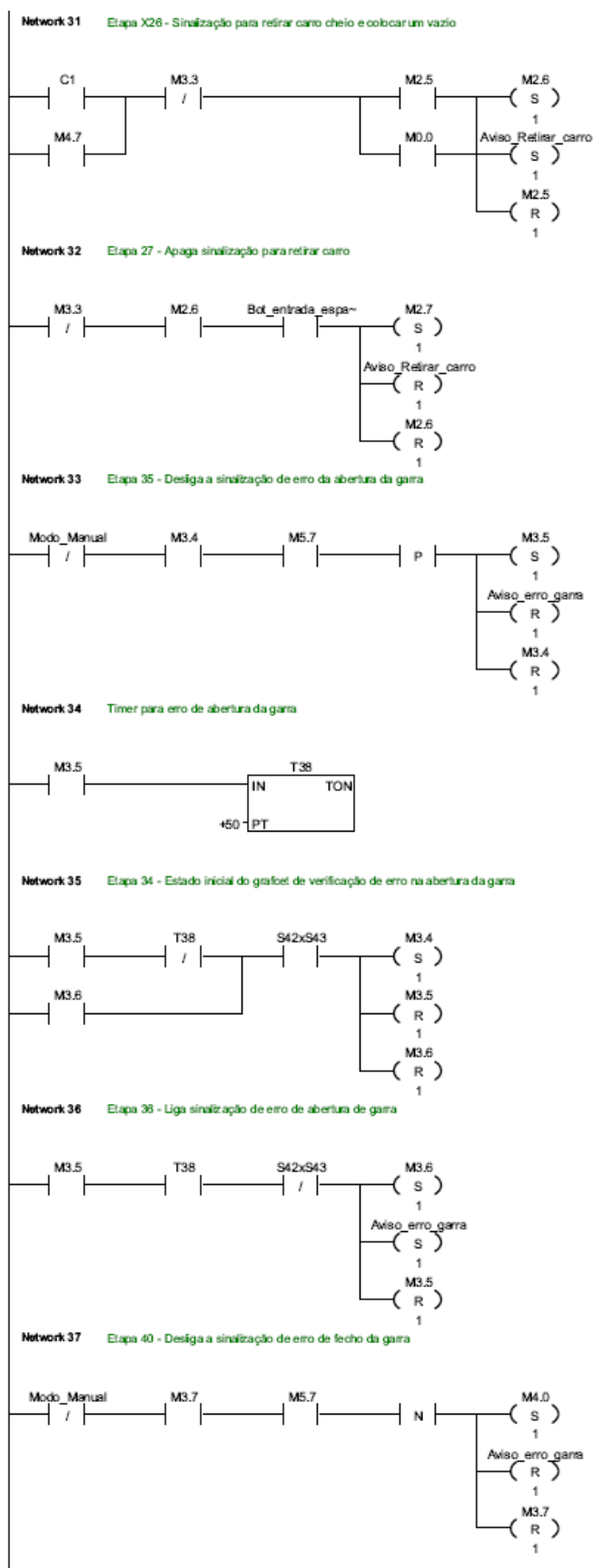
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



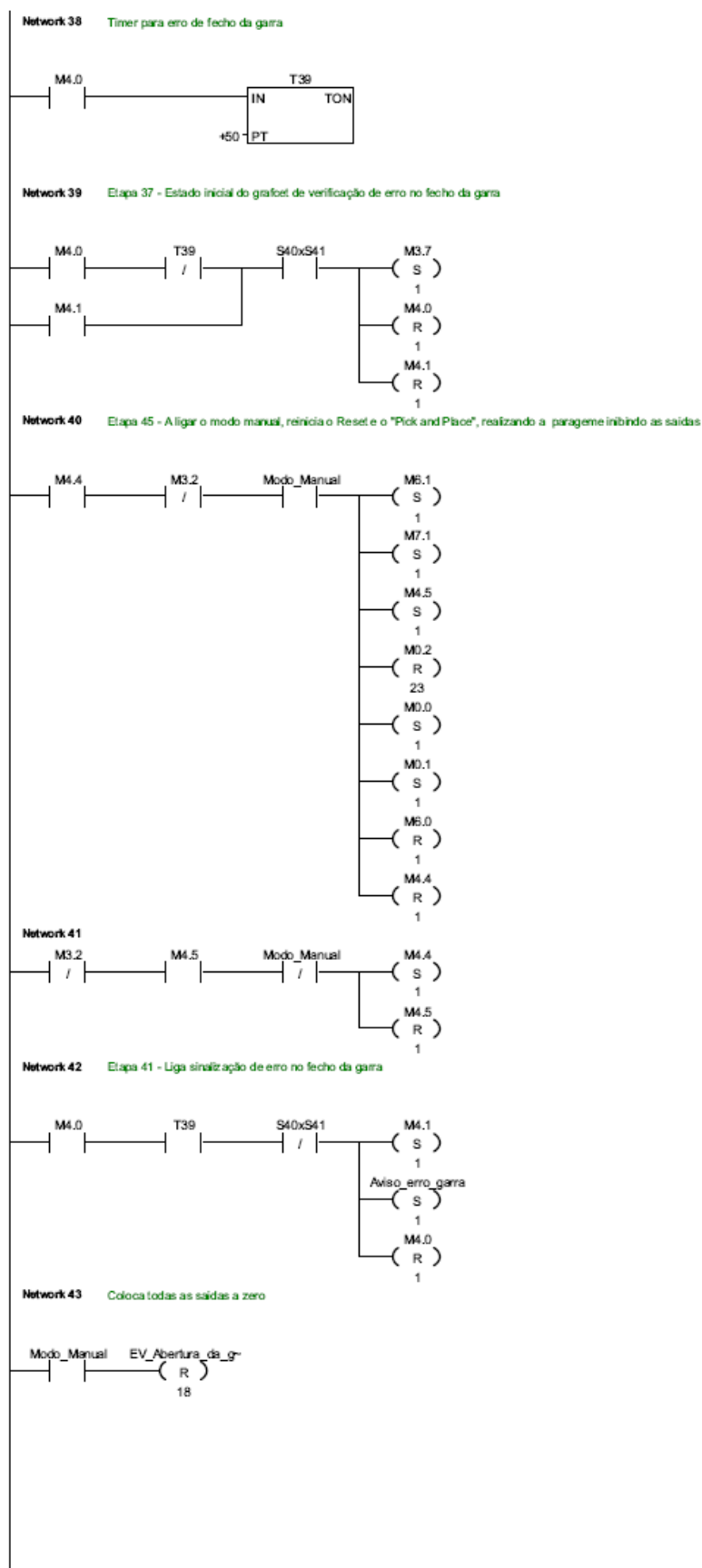
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



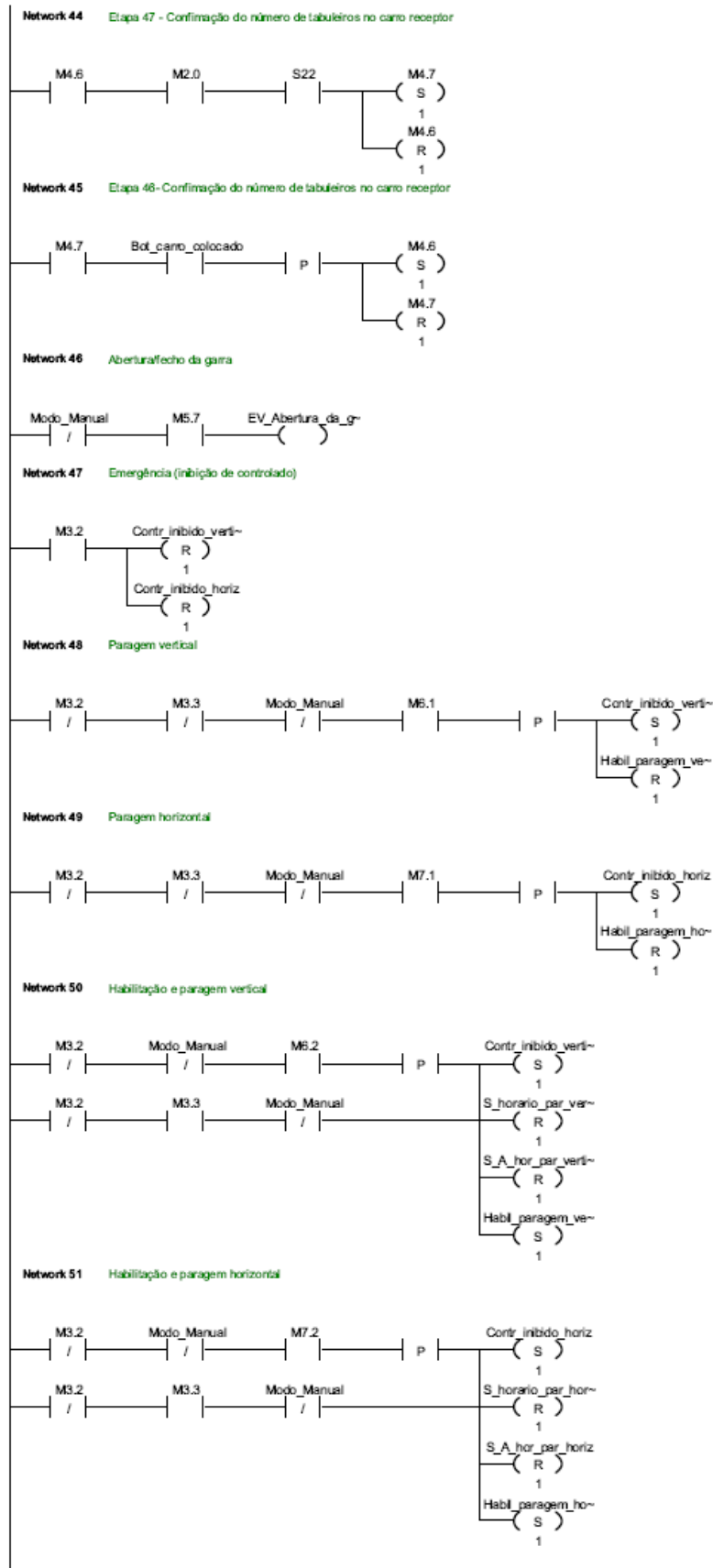
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



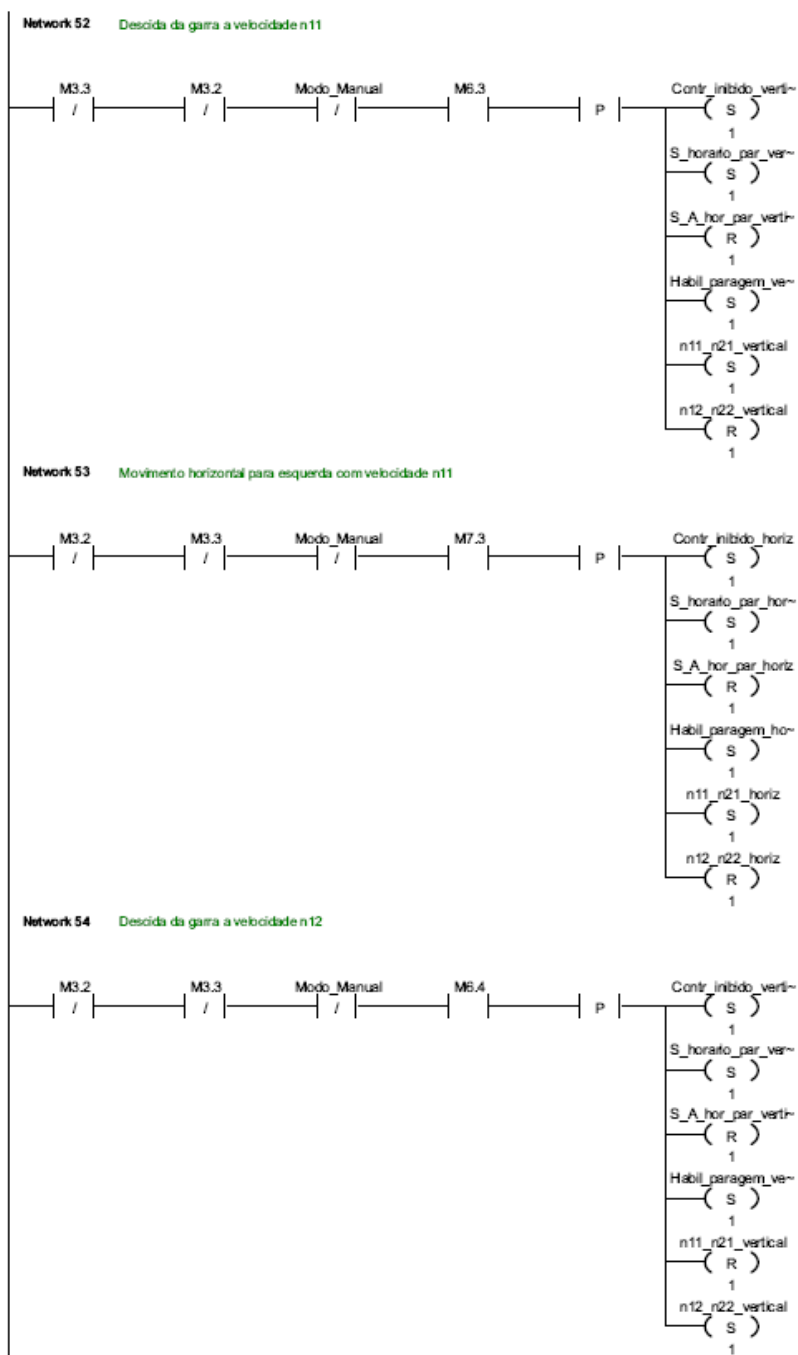
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



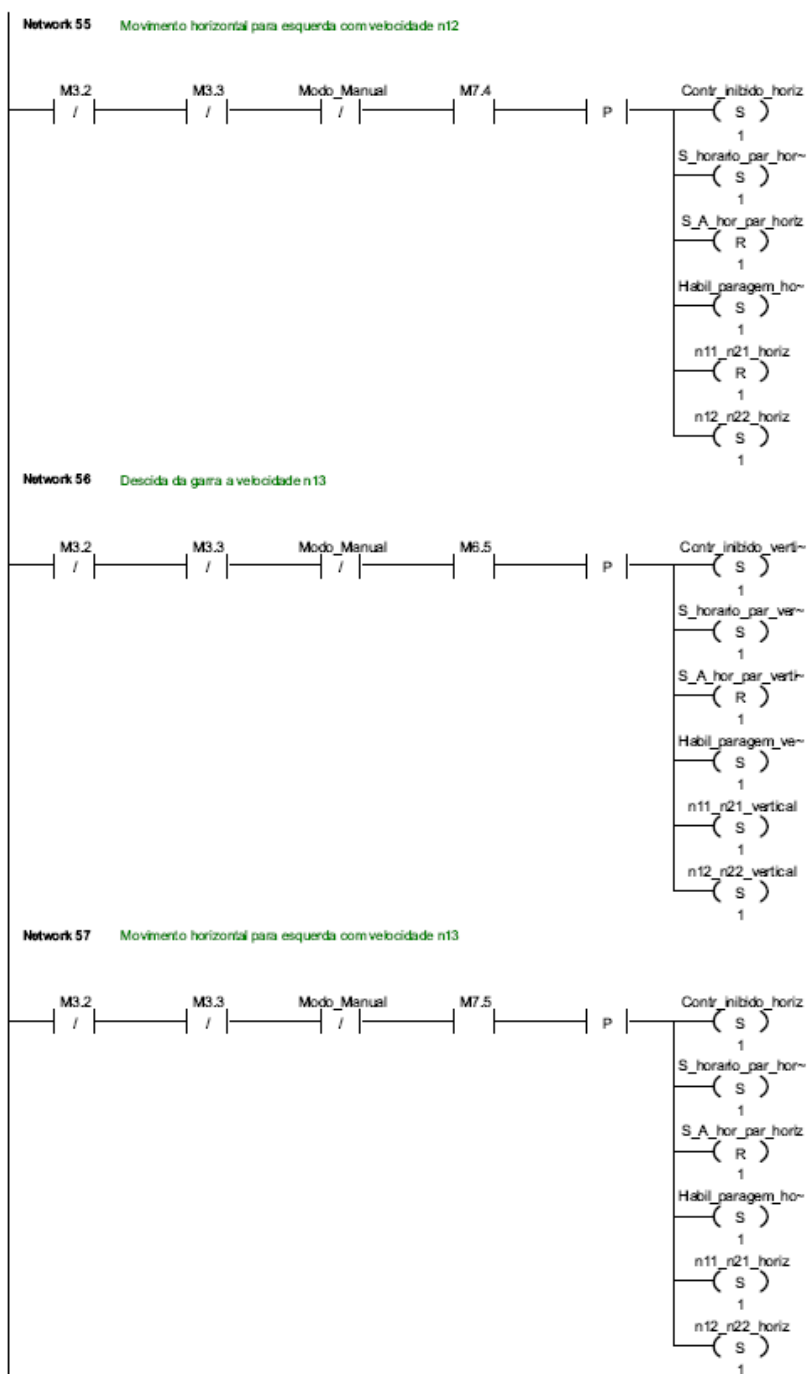
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



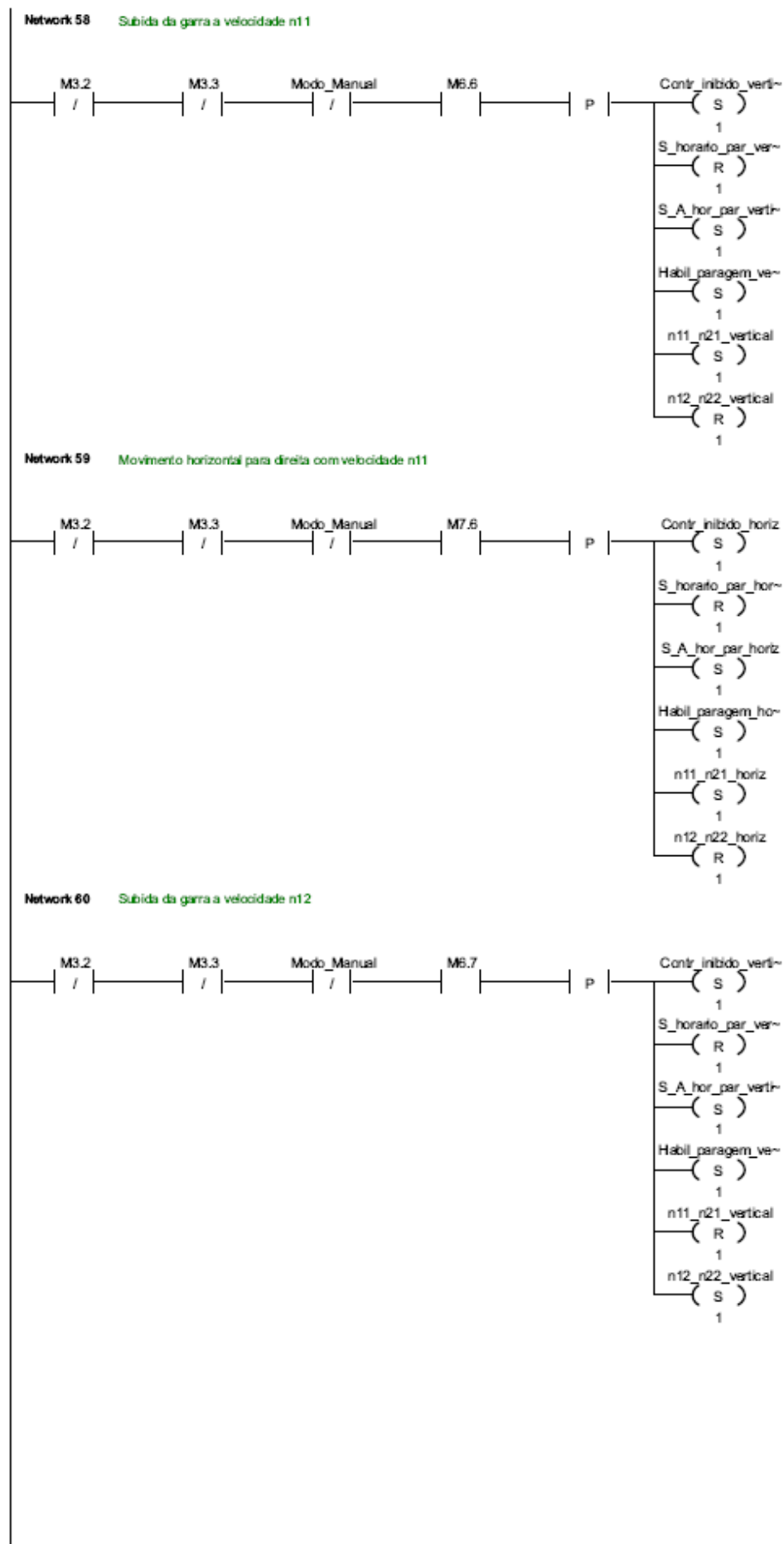
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



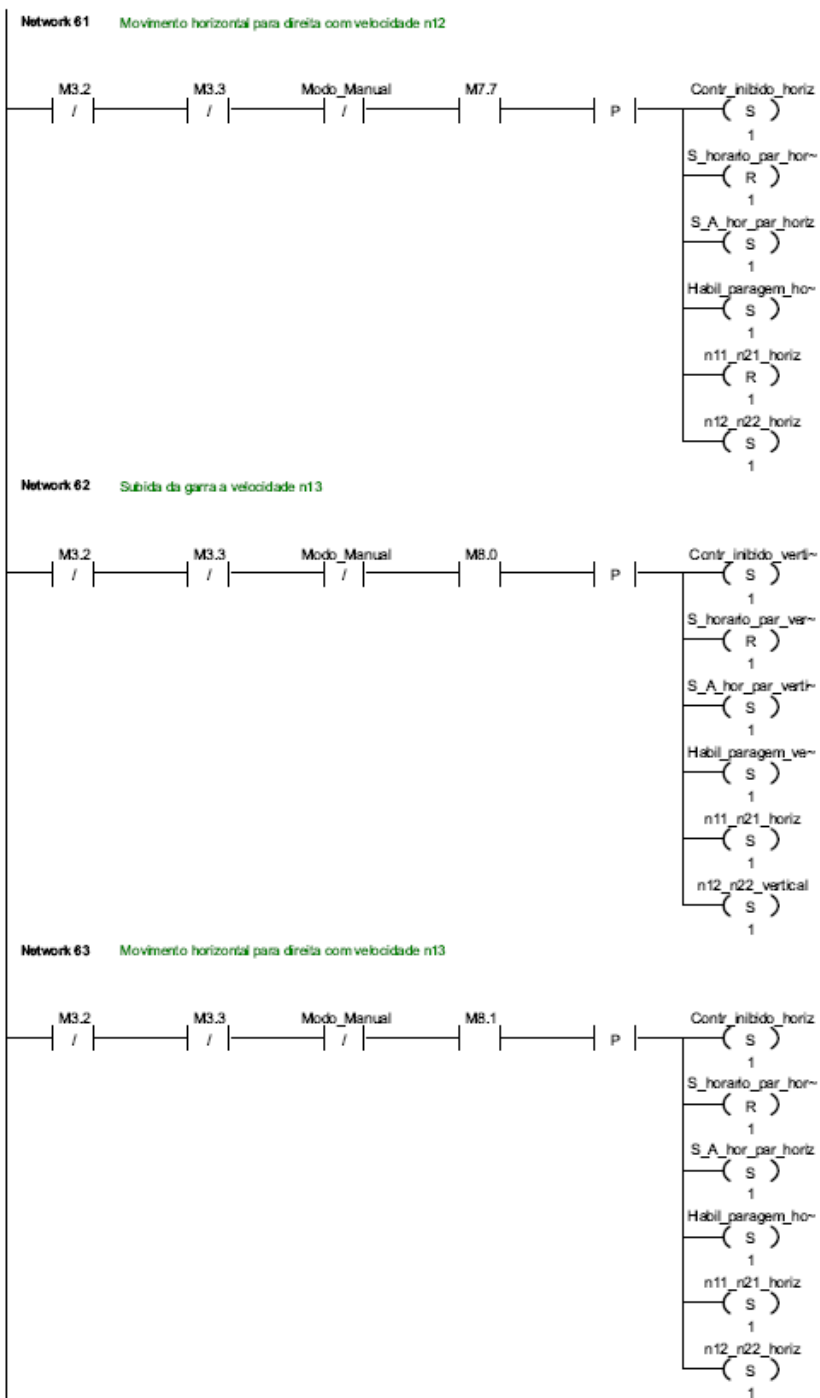
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo



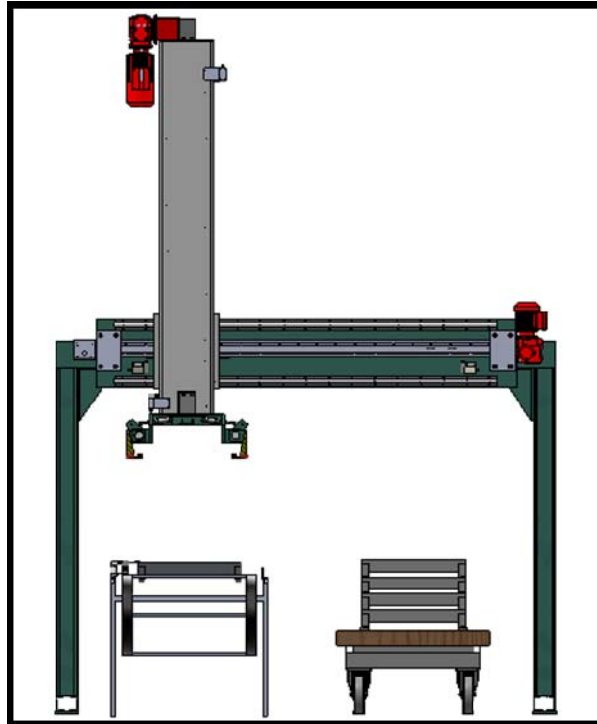
Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Name	Address	Comment
Reset	I0.0	
Modo_Manual	I0.2	
S21	I0.3	
S12	I0.4	
S11	I0.5	
S40xS41	I0.6	
S22	I0.7	
Emergencia_ou_anomalia	I1.0	
Bot_carro_colocado	I1.1	
Start	I1.2	
Stop	I1.3	
Bot_entrada_espaco_trab	I1.4	
S70xS71	I1.5	
S30_S31	I2.0	
S23	I2.1	
S51	I2.2	
S32_S33	I2.3	
S13	I2.4	
S14	I2.5	
S34_S35	I2.6	
S42xS43	I2.7	
EV_Abertura_da_garra	Q0.0	
Aviso_Retirar_carro	Q0.1	
Aviso_erro_garra	Q0.2	
Contr_inibido_vertical	Q0.3	
S_horario_par_vertical	Q0.4	
S_A_hor_par_vertical	Q0.5	
Habil_paragem_vertical	Q0.6	
n11_n21_vertical	Q0.7	
n12_n22_vertical	Q1.0	
Contr_inibido_horiz	Q1.1	
S_horario_par_horiz	Q2.0	
S_A_hor_par_horiz	Q2.1	
Habil_paragem_horiz	Q2.2	
n11_n21_horiz	Q2.3	
n12_n22_horiz	Q2.4	

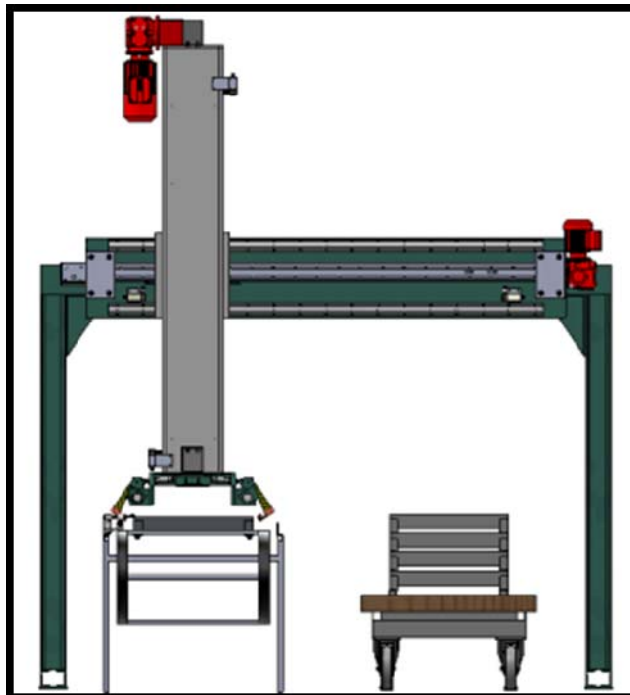
ANEXO E – DEFINIÇÃO DE ALGUMAS POSIÇÕES DO MANIPULADOR

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

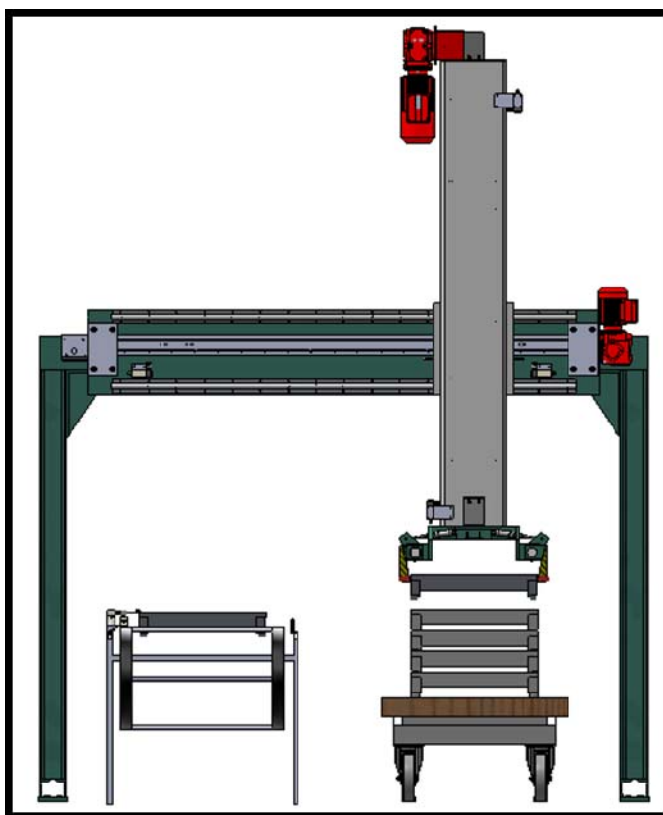
Manipulador na Posição “0”



Manipulador na Posição de Carga



Manipulador na Posição de descarga



ANEXO F – ORÇAMENTO DE ALGUNS COMPONENTES

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

N. º	Descrição	Forneced or	Ref.	Qt.	Preço unitário c/ Iva	Preço total c/ IVA
1	ROTEX 28 St Large hub Ø17H7 keyway	KTR Kupplung stechnik / Cudell	DIN 020285101700	2	34,00 €	68,00 €
2	ROTEX 28, Spider 92 Shore A YELLOW	KTR Kupplung stechnik / Cudell	20281000001	2	6,23 €	12,46 €
3	ROTEX 28 St, Large hub Ø25H7 keyway	KTR Kupplung stechnik / Cudell	DIN 20285101700	2	48,40 €	96,80 €
4	Chumaceira c/ rolamento linear	INA/FAG	KGSNO25-PP- AS	8	135,52 €	1.084,16 €
5	Guia c/ apoio /metro	INA/FAG	TSN25	7,4	337,59 €	2.498,17 €
6	Timing belt pulley T 90 Z	Minitec	28.0082/1	1	212,96 €	212,96 €
	Profile 45x90F/metro	Minitec	20.1032/0	2,2	24,60 €	54,12 €
7	Timing belt pulley T 90	Minitec	28.0082/0	1	181,50 €	181,50 €
8	Power-lock fastener	Minitec	21.1018/0	8	3,15 €	25,17 €
9	Thread (A) M8x20	Minitec	25.1087/0	8	1,21 €	9,68 €
10	Timing belt pulley T45Z	Minitec	28.0083/1	1	164,56 €	164,56 €
11	Timing belt pulley T45	Minitec	28.0083/0	1	125,84 €	125,84 €
12	Timing belt tensioner	Minitec	28.0090/0	4	40,11 €	160,45 €
13	Timing belt AT10/metro	Minitec	28.0093/0	9,7	23,17 €	225,69 €
14	Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim S47DT80K4/BMG, P=0,55kW, ED=S1,nM=1360rpm, i=44,22, nA=31rpm	SEW	S47DT80K4/BM G	1	526,72 €	526,72 €
15	Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim S37DR63L4, P=0,25kW,	SEW	S37DR63L4	1	310,09 €	310,09 €

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

	ED=S1, nM=1300rpm, i=43,68, nA=30rpm					
16	Conversor de frequência MOVITRAC 07 B	SEW	MC07B0005- 5A3-4-00	1	287,00 €	287,00 €
17	Resistência de frenagem BW072-003	SEW	8260583	2	28,70 €	57,40 €
18	Teclado FBG11B	SEW	18206352	2	25,20 €	50,40 €
19	Conversor de frequência MOVITRAC 07 B	SEW	MC07B0003- 5A3-4-00	1	269,50 €	269,50 €
20	Base	SMC	SX5000-50-1A- C6-Q	2	13,27 €	26,55 €
21	Electroválvula 24V DC	SMC	SY5140-5LOU- Q	1	50,24 €	50,24 €
22	Cabo de alimentação 1m	SMC	SY100-68-A-10	2	6,12 €	12,25 €
23	Estrangulador	SMC	AS2201F-01-06	4	9,51 €	38,04 €
24	Sensores fim de curso do cilindro	SMC	D-C73L	4	21,19 €	84,75 €
25	Abraçadeiras dos sensores	SMC	BM2-025	4	2,99 €	11,95 €
26	Cilindros Pneumáticos	SMC	C85N25-40	2	33,17 €	66,33 €
Total						6.420,67 €

ANEXO G – CARACTERISTICAS DOS MOTO-REDUTORES

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Lista de produtos

Pos.(Ref)	Quantidade	Designação / Referência	Líquido	Preço por unidade	Preço total
01 (01)	1	Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim S47DT80K4/BMG, P=0,55kW, ED=S1, nM=1360rpm, i=44,22, nA=31rpm		526,72	526,72
02 (02)	1	Moto-redutor trifásico com parafuso sem-fim S37DR63L4, P=0,25kW, ED=S1, nM=1300rpm, i=43,68, nA=30rpm		310,09	310,09
03 (03)	1	Conversor de frequência MOVITRAC 07 B MC07B0005-5A3-4-00		287,00	287,00
04 (04)	1	Resistência de frenagem BW072-003, REF=08260583		28,70	28,70
05 (05)	1	Teclado FBG11B, REF=18206352		25,20	25,20
06 (06)	1	Conversor de frequência MOVITRAC 07 B MC07B0003-5A3-4-00		269,50	269,50
07 (07)	1	Teclado FBG11B, REF=18206352		25,20	25,20
08 (08)	1	Resistência de frenagem BW072-003, REF=08260583		28,70	28,70

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Pos.: 01 (Layout da referência: 01)

Moto-reductor trifásico com parafuso sem-fim S47DT80K4/BMG

Velocidade nominal do motor	[1/min] : 1360
Velocidade de saída	[1/min] : 31
Relação de transmissão total	: 44,22
Factor de serviço SEW FB	: 1,15
Posição de montagem / IM	: M1A
Veio de saída	[mm] : 25x50
Carga radial máx. permitida no lado de saída com n=1400	[N] : 4950
Potência do motor	[kW] : 0,55
Factor de duração do ciclo	: S1
Tensão do motor	[V] : 230/400
Esquema de ligações	: DT13
Frequência	[Hz] : 50
Corrente máx. permitida	[A] : 5,95
Corrente nominal	[A] : 3,05 / 1,75
Cos Phi	: 0,72
Classe de temperatura	: F
Tipo de protecção do motor	: IP 55
Tensão do freio	[V] : 400
Binário de frenagem	[Nm] : 10
Rectificador do freio	: BG
Peso líquido	[kg] : 19,8

Preço básico sem IVA [EUR] 357,90

Versões adicionais e opções:

- BMG/BM/BR- Disco de freio SEW	Preço acrescentado sem IVA	[EUR]	102,16
- Protecção IP 55 - motor com freio		[EUR]	31,16
- Classificação térmica F		[EUR]	35,50

Preço por unidade sem IVA [EUR] 526,72
mais IVA

Pos.: 02 (Layout da referência: 02)

Moto-reductor trifásico com parafuso sem-fim S37DR63L4

Velocidade nominal do motor	[1/min] : 1300
Velocidade de saída	[1/min] : 30
Relação de transmissão total	: 43,68
Factor de serviço SEW FB	: 1,3
Posição de montagem / IM	: M1A
Veio de saída	[mm] : 20x40
Carga radial máx. permitida no lado de saída com n=1400	[N] : 3000
Potência do motor	[kW] : 0,25
Factor de duração do ciclo	: S1
Tensão do motor	[V] : 230/400
Esquema de ligações	: DT13
Frequência	[Hz] : 50

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Corrente máx. permitida	[A] : 1,904
Corrente nominal	[A] : 1,18 / 0,68
Cos Phi	: 0,81
Classe de temperatura	: F
Tipo de protecção do motor	: IP 55

Peso líquido [kg] : 11

Preço básico sem IVA	[EUR]	273,86
-----------------------------	--------------	---------------

Versões adicionais e opções:

- Protecção IP 55 - motor padrão
- Classificação térmica F

Preço acrescentado sem IVA

	[EUR]	8,69
	[EUR]	27,53

Preço por unidade sem IVA mais IVA	[EUR]	310,09
---	--------------	---------------

Pos.: 03 (Layout da referência: 03)

**Conversor de frequência MOVITRAC 07 B
MC07B0005-5A3-4-00**

Tamanho	: 0S
Potência do conversor	[kW] : 0,55
Tensão	[V] : 3X380-500
Corrente de entrada nominal	[A] : 1
Corrente de saída nominal	[A] : 2

Preço por unidade sem IVA mais IVA	[EUR]	287,00
---	--------------	---------------

Versões adicionais e opções:

- Resistência de frenagem: BW072-003, REF=08260583
- Tedado: FBG11B, REF=18206352

	[EUR]	28,70
	[EUR]	25,20

Pos.: 04 (Layout da referência: 04)

**Resistência de frenagem
BW072-003**

Referência	: 08260583
Resistência = 72 Ohm	
Índice de protecção: IP 54	
Potência nominal a 100% ED = 0,25 kW	
a 50% ED = 0,3 kW, a 25% ED = 0,4 kW	
a 12% ED = 0,6 kW, a 6% ED = 1,0 kW	

Preço por unidade sem IVA mais IVA	[EUR]	28,70
---	--------------	--------------

Pos.: 05 (Layout da referência: 05)

**Teclado
FBG11B**

Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo

Referência : 18206352
consola

**Preço por unidade sem IVA [EUR] 25,20
mais IVA**

Pos.: 06 (Layout da referência: 06)

**Conversor de frequência MOVITRAC 07 B
MC07B0003-5A3-4-00**

Tamanho : 0XS
Potência do conversor [kW] : 0,25
Tensão [V] : 3X380-500
Corrente de saída nominal [A] : 1

**Preço por unidade sem IVA [EUR] 269,50
mais IVA**

Versões adicionais e opções:

- Tedado: FBG11B, REF=18206352	[EUR]	25,20
- Resistência de frenagem: BW072-003, REF=08260583	[EUR]	28,70

Pos.: 07 (Layout da referência: 07)

**Teclado
FBG11B**

Referência : 18206352
consola

**Preço por unidade sem IVA [EUR] 25,20
mais IVA**

Pos.: 08 (Layout da referência: 08)

**Resistência de frenagem
BW072-003**

Referência : 08260583
Resistência = 72 Ohm
Índice de protecção: IP 54
Potência nominal a 100% ED = 0,25 kW
a 50% ED = 0,3 kW, a 25% ED = 0,4 kW
a 12% ED = 0,6 kW, a 6% ED = 1,0 kW

**Preço por unidade sem IVA [EUR] 28,70
mais IVA**