

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica

Automatização de uma metalizadora a vácuo

Yvan Gutnik

São Carlos

2010

Yvan Gutnik

Automatização de uma metalizadora a vácuo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo.

Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em
Sistemas de Energia e Automação.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Heitor Cury Basso

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Gutnik, Yvan

BG983a Automatização de uma metalizadora a vácuo / Yvan
Gutnik ; orientador Heitor Cury Basso -- São Carlos,
2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
Ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2010.

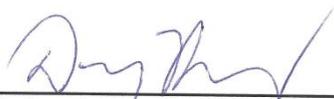
FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Yvan Gutnik

Título: "Automatização de uma Metalizadora a Vácuo"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 23 / 11 / 2010,

com NOTA 9,0 (nove, zero), pela comissão julgadora:



Prof. Dr. Dennis Brandão - EESC/USP



Prof. Dr. José Roberto Boffino de Almeida Monteiro - EESC/USP



Prof. Associado Homero Schiabel
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica
EESC/USP

À meus pais, Jorge e Vera

Agradecimentos

Ao SENHOR JESUS CRISTO: pela salvação que Ele me concedeu, e concede a todo que nele crê, e pelo fôlego de vida também; aos meus pais, por me ensinar o caminho da verdade e o caráter; à minha querida irmã, Yngrid, que sempre esteve presente em minha vida; aos irmãos em Cristo, da Assembleia de Deus – Ministério do Belém, pelo acolhimento, amparo e paciência; à meu orientador, professor Heitor, por ter acreditado na realização deste trabalho; à Pró-Reitora de Cultura e Extensão Universitária da USP, pela bolsa concedida e verba liberada para realização do projeto; ao LAT, laboratório de alta tensão, pela infraestrutura fornecida; aos professores e colegas de graduação, pela contribuição na minha formação profissional; ao pessoal da compra, Marcelo Xaraba e Daniel Manjini, pela ajuda na aquisição de materiais para o projeto; ao Rui Bertho, responsável pela oficina mecânica do Departamento de Engenharia Elétrica, pela ajuda na construção do projeto; e aos técnicos, Alessandro e César, pela ajuda fornecida.

Resumo

GUTNIK, Y. **Automatização de uma metalizadora a vácuo**. 2010. 168p. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O presente trabalho apresenta os procedimentos tomados para automatizar uma metalizadora a vácuo. Primeiramente descreve-se resumidamente o equipamento e suas partes constituintes; mais adiante se explica uma forma padrão para operar este equipamento. Tendo-se conhecimento das principais características desta metalizadora a vácuo, propõem-se soluções para que o CLP possa controlar este sistema. Estas soluções são referentes a três grandes problemas que são: aquisição dos sinais dos sensores de vácuo, acionamento dos componentes da metalizadora e a realização de três processos básicos: vácuo para realizar a metalização, recarregamento e desligamento do sistema. As soluções propostas foram implementadas e os testes, realizados. Pode-se constatar o efetivo controle do CLP sobre o sistema.

Palavras Chave: Automação. Controlador lógico programável (CLP). Metalizadora a vácuo.

Abstract

GUTNIK, Y. **Automation of a Vacuum Metalizer**. 2010. 168p. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

The purpose of this work is to present the procedures taken to automate a vacuum metalizer. First it is briefly described the equipment and its constituent parts, further it is shown the standard procedure to operate this equipment. Since the main characteristics are known, a solution to control this system based on programmable logic control (PLC) is then proposed. This solution concern in three major problems: acquisition of the signals from vacuum sensors, setting in motion components of the metalizer and implementation of three processes: vacuum to perform the metallization, recharging and system shutdown. This proposed solution was implemented and tests and as it can be seen from the results an effective control was achieved using the PLC system.

Key-words: Automation. Programmable logic control (PLC). Vacuum Metalizer.

Lista de Figuras

Figura 1: croqui mecânico da máquina.	17
Figura 2: vista externa da campânula.	19
Figura 3: vista interna à campânula.	19
Figura 4: esquemático interno da bomba mecânica de vácuo [5].	20
Figura 5: esquemático interno da bomba difusora de vácuo [5].	21
Figura 6: esquemático de uma válvula borboleta [5].	22
Figura 7: sensor de alto vácuo.	23
Figura 8: medidor de alto vácuo.	24
Figura 9: circuito simplificado do medidor mais o sensor [6].	24
Figura 10: curva característica da pressão medida e tensão analógica de saída [6].	25
Figura 11: sensor de médio vácuo.	26
Figura 12: medidor do sensor de médio vácuo.	26
Figura 13: (a): circuito utilizado para o medidor pirani; (b): cabeça do medidor; (1): filamento; (2): suporte do filamento; (3): capa ou envelope [5].	27
Figura 14: foto do painel elétrico atual.	28
Figura 15: painel elétrico provisório.	30
Figura 16: diagrama trajeto/passos para o processo de vácuo.	32
Figura 17: diagrama trajeto/passos para processo de recarregamento.	35
Figura 18: diagrama trajeto/passos para processo de desligamento.	37
Figura 19: comparação entre diversos medidores de pressão [5].	40
Figura 20: resposta da bomba difusora ao aquecimento.	48
Figura 21: tensão aplicada ao filamento.	49
Figura 22: corrente passando pelo filamento.	50
Figura 23: passo inicial do programa.	53
Figura 24: passo um do programa.	54
Figura 25: passo dois do programa.	55
Figura 26: passo três do programa.	56
Figura 27: passo quatro do programa.	57
Figura 28: passo cinco do programa.	57
Figura 29: passo seis do programa.	58
Figura 30: passo sete do programa.	59
Figura 31: passo oito do programa.	60
Figura 32: tela de saudação do programa.	60
Figura 33: tela de visualização das variáveis.	61
Figura 34: tela de erros: do erro 1 ao erro 7.	62

Figura 35: tela de erros: do erro 8 ao erro 14.....	63
Figura 36: tela de erros: do erro 15 ao erro 20.....	64
Figura 37: tela auxiliar de opções.	65
Figura 38: tela utilizada para realizar o desligamento do sistema.	65
Figura 39: tela utilizada para realizar o recarregamento do sistema.	66
Figura 40: tela de operação do glow.	66
Figura 41: painel elétrico principal.....	69
Figura 42: foto ilustrativa do CLP [7].	70
Figura 43: circuito simplificado envolvendo a entrada I07.	73
Figura 44: circuito simplificado envolvendo a entrada I08.	75
Figura 45: sistema elevador da campânula.....	78
Figura 46: painel de fusíveis do sistema.	79
Figura 47: primeiro estágio de amplificação.....	80
Figura 48: segundo estágio amplificador e correção de offset.	80

Lista de Tabelas

Tabela 1: legenda dos itens mostrados no croqui mecânico.....	18
Tabela 2: dados de saída do medidor de alto vácuo.....	25
Tabela 3: dados das pressões medidas pelos sensores de médio vácuo.	38
Tabela 4: pressões indicadas pelos medidores durante o surto de pressão.	39
Tabela 5: medição das pressões em alto vácuo.	39
Tabela 6: medição das pressões com sistema em médio vácuo.....	40
Tabela 7: pressões indicadas após 40 segundos.....	41
Tabela 8: pressões indicadas após 5 minutos.....	41
Tabela 9: pressões indicadas após 10 minutos.....	41
Tabela 10: pressões indicadas após 15 minutos.....	41
Tabela 11: pressão indicada após 1min de vácuo.	43
Tabela 12: pressão após 1min20s de vácuo.....	43
Tabela 13: pressão indicada após 2min de vácuo.	43
Tabela 14: pressão indicada pelos sensores do sistema após 1min de vácuo.....	43
Tabela 15: pressão indicada pelos sensores do sistema após 7min de vácuo.....	43
Tabela 16: pressão indicada pelos sensores do sistema após 15min de vácuo.....	44
Tabela 17: pressão após 1min de evacuação.....	44
Tabela 18: pressão após 1min15s de evacuação.....	44
Tabela 19: pressão após 2min30s de evacuação.....	45
Tabela 20: pressão após 15s de evacuação.....	45
Tabela 21: pressão após 27s de evacuação.....	45
Tabela 22: pressão após 1min de evacuação.....	45
Tabela 23: comportamento do aquecimento da bomba difusora.....	47
Tabela 24: função das entradas do CLP.....	72
Tabela 25: tensões para fusível intacto.....	73
Tabela 26: tensões para fusível queimado.....	74
Tabela 27: tensão para saída Q04 aberta.....	75
Tabela 28: função das saídas do CLP do grupo de isolamento zero.....	76
Tabela 29: função das saídas do CLP do grupo de isolamento um.....	77
Tabela 30: parametrização dos sensores de médio vácuo.	81
Tabela 31: tensão lida pelo CLP conforme a pressão de referência.	82
Tabela 32: parametrização do medidor de alto vácuo.....	83

Lista de Equações

Equação 1: determinação de R_f	27
Equação 2: equivalência entre unidades de pressão.	39
Equação 3: transformação de 10^{-5} Torricelli para mbar.....	39
Equação 4: tensão teórica entre X2 e C0 para fusível intacto.	73
Equação 5: tensão teórica entre X2 e C0 para fusível queimado.	74
Equação 6: tensão teórica entre X2 e C0 para a chave S7 aberta.....	75

Lista de Siglas e Abreviaturas

CLP	Controlador lógico programável
PLC	Programmable logic control
DDP	Diferença de potencial
V1	Válvula pneumática 1
V2	Válvula pneumática 2
V3	Válvula quebra de vácuo
Borb	Válvula borboleta
Mec	Bomba mecânica de vácuo
Dif	Bomba difusora de vácuo
SBM	Sensor de médio vácuo da bomba mecânica
SBD	Sensor de médio vácuo da bomba difusora
SC	Sensor de médio vácuo da campânula
SAV	Sensor de alto vácuo
Vdc	Tensão CC (corrente contínua) em volts
Vac	Tensão CA (corrente alternada) em volts
PTO	Power take – off
PWM	Pulse – width modulation
VFO	Variable – frequency oscillator
CI	Circuito integrado

Sumário

1	Introdução e objetivos.....	15
2	Breve apresentação do equipamento a ser automatizado	17
2.1	Campânula.....	18
2.2	Mesa de apoio da campânula	20
2.3	Bomba mecânica de vácuo	20
2.4	Bomba difusora de vácuo.....	20
2.5	Válvula borboleta	21
2.6	Válvulas pneumáticas 1 e 2.....	22
2.7	Válvula quebra de vácuo.....	23
2.8	Sensor de alto vácuo.....	23
2.9	Sensor de médio vácuo.....	25
2.10	Painel elétrico atual.....	28
2.11	Painel provisório para acionar alguns elementos da metalizadora	29
3	Forma de operação e levantamento dos parâmetros do sistema.....	31
3.1	Forma de operar o sistema	31
3.1.1	Rotina de vácuo.....	31
3.1.2	Rotina de recarregamento	34
3.1.3	Rotina de desligamento	36
3.2.1	Ensaio do dia 29/04/2010	38
3.2.1.1	Ensaio de médio vácuo	38
3.2.1.2	Ensaio de alto vácuo	38
3.2.1.3	Recarregamento e metalização.....	40
3.2.2	Ensaio do dia 30/04/2010	42
3.2.2.1	Vácuo na campânula.....	42
3.2.2.2	Vácuo no sistema.....	43
3.2.3	Ensaio do dia 20/05/2010	44
3.2.3.1	Vácuo na campânula.....	44
3.2.3.2	Vácuo na bomba difusora	45

3.2.4	Ensaio de aquecimento da bomba difusora	46
3.2.5	Ensaio de metalização.....	48
4	Identificação dos problemas e soluções adotadas	51
4.1	Solução do problema 1	51
4.2	Solução do problema 2	52
4.3	Solução do problema 3	52
5	Construção do painel elétrico entre outros itens	69
5.1	Painel elétrico principal	69
5.1.1	Função das entradas digitais do CLP	71
5.1.2	Função das saídas digitais a rele.....	76
5.2	Sistema elevador da campânula	77
5.3	Painel de fusíveis e algumas chaves.....	79
5.4	Placa amplificadora.....	79
6	Alguns comentários sobre os testes realizados	85
6.1	Problemas com a faixa de segurança estabelecida para os sensores de médio vácuo no programa do CLP.....	85
6.2	Problema com o tempo de espera para a evacuação da campânula	85
6.3	Problemas com a faixa de segurança do medidor de alto vácuo	86
6.4	Problema com ruído presente na placa amplificadora	86
7	Conclusões.....	87
	Referências	89
	Anexo Um – Programa fonte na íntegra.....	91
	Anexo Dois – Esquemáticos usados para construção da placa amplificadora	139
	Anexo três – Diagramas elétricos utilizados para a construção do painel elétrico principal.	143
	Anexo Quatro – Dados e rotinas utilizadas para construção dos gráficos (Matlab).	165

1 Introdução e objetivos

Tradicionalmente, o trabalho de investigação de cientistas e engenheiros se volta para o estudo de fenômenos naturais que podem ser modelados por leis naturais, tais como a lei da gravidade, leis da mecânica e da eletricidade clássicas, leis da química e da física. Nestes estudos, costumam-se encontrar quantidades ou medidas de deslocamento, temperatura, acelerações, cargas elétricas entre outras. Em todas estas medidas, o conceito do tempo está associado a uma grandeza contínua, ou seja, medidas podem ser tomadas em quaisquer valores reais de tempo, uma vez que este “evolui” contínua e constantemente em nosso ambiente [1].

Portanto, todo um conjunto de técnicas e ferramentas matemáticas foi desenvolvido para modelar, analisar e controlar tais fenômenos ou parâmetros naturais, baseadas principalmente em equações diferenciais ordinárias e parciais [1].

Entretanto, no cenário científico atual cada vez mais dependente de computadores e de sistemas computadorizados, pode-se notar que muitas das quantidades que utilizamos em engenharia não são mais contínuas, elas são “discretas”, ou seja, possuem valores inteiros. Por exemplo, pode-se citar a quantidade de peças em uma linha de montagem ou a quantidade de alarmes ativos em uma fábrica. Nota-se também que o início de muitos processos depende de eventos instantâneos, tais como o pressionar de um botão ou o ativar de um sensor. De fato, muitas das tecnologias em uso são orientadas a eventos, tais como as redes de comunicação, os programas de computadores ou unidades em fábricas [1].

Neste contexto tornou-se comum o uso do termo “automação”: esta palavra está diretamente ligada ao controle automático, ou seja, ações que não dependem da ação humana. É um conceito discutível, pois a intervenção humana será sempre necessária; do contrário não seria possível a construção e implementação dos processos automáticos [2].

No trabalho que foi desenvolvido fez-se o uso de um dispositivo conhecido como CLP: controlador lógico programável. O CLP é um dispositivo eletrônico dotado de um microprocessador capaz de controlar e gerenciar máquinas, sistemas e processos industriais. Utiliza em sua memória um programa capaz de executar tarefas específicas, operações lógicas, operações matemáticas, energização e desenergização de relés, temporização, contagem e manipulação de variáveis de oito ou dezesseis bits, entre outras tarefas [3].

O equipamento que se deseja automatizar é uma metalizadora a vácuo. Esta realiza metalização em alto vácuo. Metalização a vácuo é um processo simples e de baixo custo, na qual camadas de metal ou de não metal relativamente frias são depositadas, em alto vácuo, sobre superfícies preparadas de plástico, metais, vidros, papel, têxtil ou outros materiais. Pode-se colorir superfícies inteiras, como também pode ser usada uma máscara para selecionar a área a ser recoberta. Processo isento de emissão de efluentes tóxicos, com consumo de energia por área metalizada até 100 vezes menor que nos processos eletroquímicos de deposição e ecologicamente correto [4]. No presente caso utiliza-se alumínio para deposição e filmes plásticos de teflon como superfícies de deposição.

A automatização da metalizadora a vácuo, que caracteriza o objetivo principal deste trabalho, inclui os seguintes itens:

- Tornar o processo de vácuo automático
- Identificar erros que possam ocorrer durante o processo de vácuo
- Mostrar ao operador quando este pode realizar a metalização em si

Conforme o desenvolvimento do trabalho ficará mais claro o que realmente significa cada um dos três itens mencionados anteriormente.

No presente documento, o capítulo 2 tratará dos principais elementos que compõem a metalizadora a vácuo.

O capítulo 3 mostrará uma forma de se operar esta metalizadora a vácuo; também serão documentados alguns ensaios realizados que foram úteis no levantamento de parâmetros de operação do sistema.

O capítulo 4 tratará dos principais problemas a serem resolvidos de modo que a automatização da metalizadora se torne uma realidade.

O capítulo 5 mostrará os principais itens construídos de modo que o CLP pudesse controlar o sistema.

O capítulo 6 fará uma breve discussão dos principais problemas encontrados quando se realizou os testes com o sistema já automatizado.

Por fim o capítulo 7, a conclusão, trará as realizações e conhecimentos obtidos da realização deste trabalho e também citará alguns aprimoramentos que poderão ser implementados no futuro.

2 Breve apresentação do equipamento a ser automatizado

Neste capítulo tratar-se-á dos principais componentes da metalizadora a vácuo. Mas antes, mostrar-se-á um croqui mecânico da máquina para se ter uma melhor compreensão do sistema como um todo. A Figura 1 mostra o croqui mecânico desta máquina.

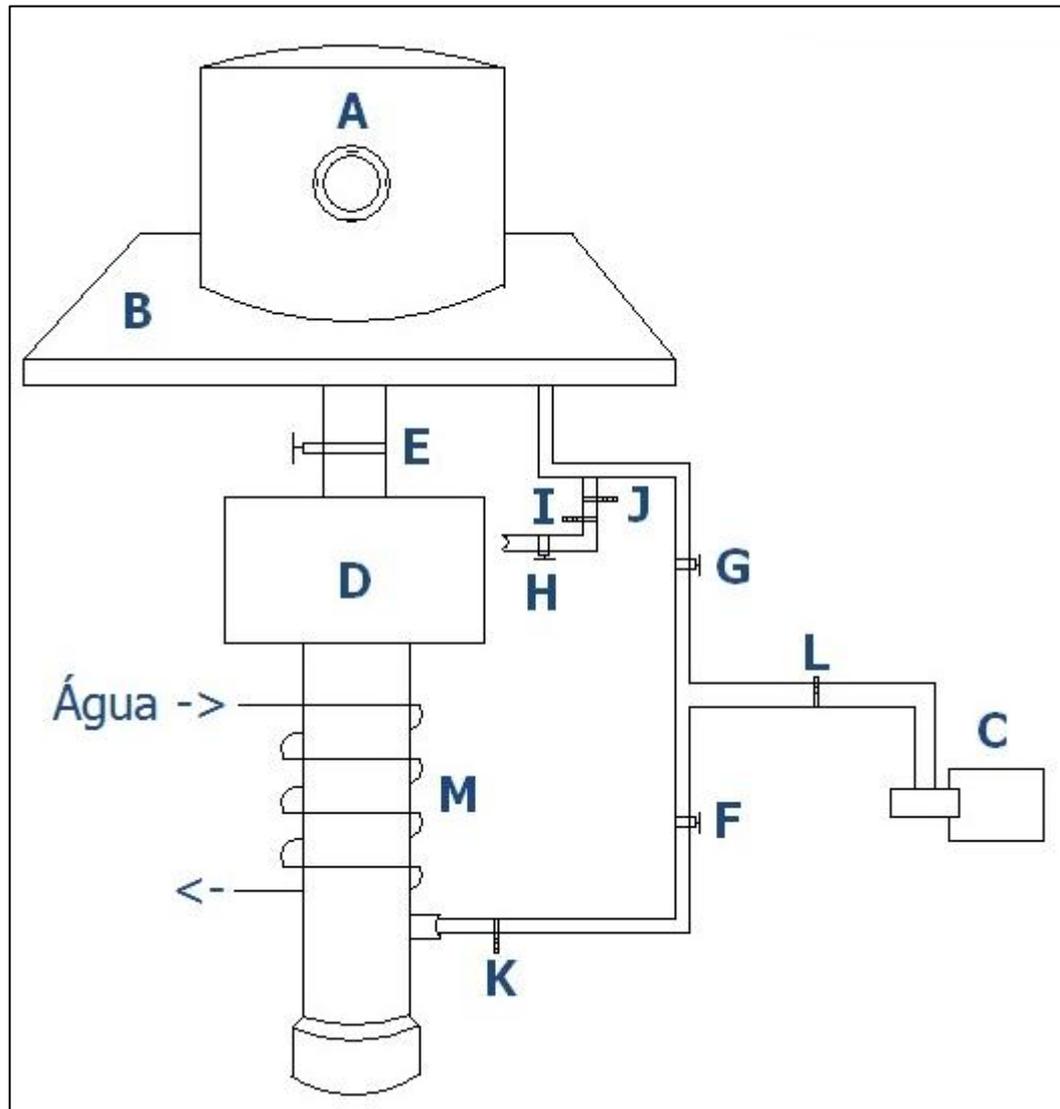


Figura 1: croqui mecânico da máquina.

A Tabela 1 lista os nomes dos componentes mostrados no croqui mecânico. Existem outros componentes que foram omitidos por questão de simplicidade. Quando for necessário, serão mencionados.

Tabela 1: legenda dos itens mostrados no croqui mecânico.

LEGENDA	EQUIPAMENTO
A	Campânula
B	Mesa de apoio da campânula
C	Bomba mecânica de vácuo
D	Bomba difusora de vácuo
E	Válvula borboleta
F	Válvula pneumática 2
G	Válvula pneumática 1
H	Válvula quebra de vácuo
I	Sensor de alto vácuo
J	Sensor de médio vácuo
K	Sensor de médio vácuo
L	Sensor de médio vácuo
M	Serpentina de refrigeração da difusora

Os próximos subitens explicarão os principais elementos mencionados na Tabela 1.

2.1 Campânula

É o local onde ocorre o processo de metalização. Interna à campânula, está o anteparo para as amostras, o filamento de tungstênio, que é usado para evaporar o metal, e o glow. Na verdade glow é o nome de um processo e não de uma peça. O que se tem é uma haste cilíndrica de aproximadamente 15 cm com ponta fina. Todo o sistema está aterrado e nesta ponta há uma tensão de 3 kV. Esta tensão é obtida através de um transformador 220V/3kV. Este tipo de processo é necessário, pois se trata de uma limpeza iônica da campânula. Dessa forma, a metalização produzida será de melhor qualidade. A Figura 2 mostra uma foto externa da campânula; a Figura 3, uma foto interna.



Figura 2: vista externa da campânula.

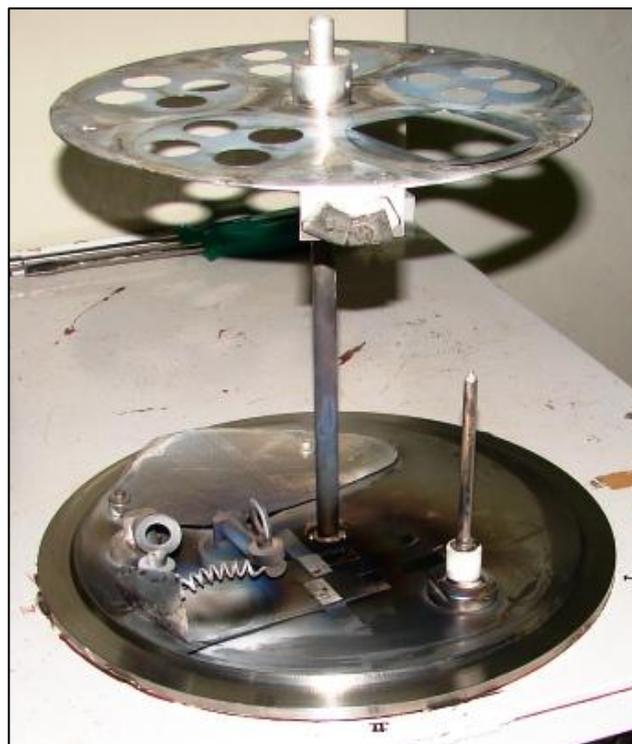


Figura 3: vista interna à campânula.

Como se vê na Figura 3, na parte superior há o anteparo para as amostras a serem metalizadas; na parte inferior à esquerda, o filamento de tungstênio; à direita, a haste com ponta fina utilizada para realizar o glow.

2.2 Mesa de apoio da campânula

Não somente de apoio da campânula, mas também da bomba difusora. Esta mesa dá sustentação a todo sistema, com exceção da bomba mecânica que fica no chão.

2.3 Bomba mecânica de vácuo

É uma bomba do tipo palhetas rotativa e é responsável pela maior parte do vácuo. Atinge a pressão de até 10^{-5} bar. Esta bomba torna possível a operação da bomba difusora, pois esta opera somente em baixas pressões, mais especificamente, abaixo de 10^{-4} bar. No processo de alto vácuo, que será explicado posteriormente, a bomba difusora e a bomba mecânica de vácuo operam em série. A Figura 4 mostra o esquemático interno desta bomba.

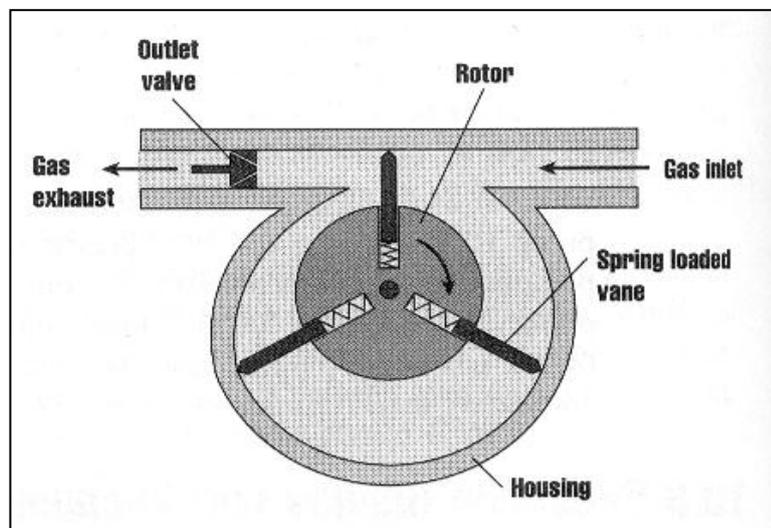


Figura 4: esquemático interno da bomba mecânica de vácuo [5].

2.4 Bomba difusora de vácuo

A bomba difusora também é uma bomba de vácuo. O que muda é o princípio de funcionamento. A Figura 5 mostra o esquemático interno desta bomba.

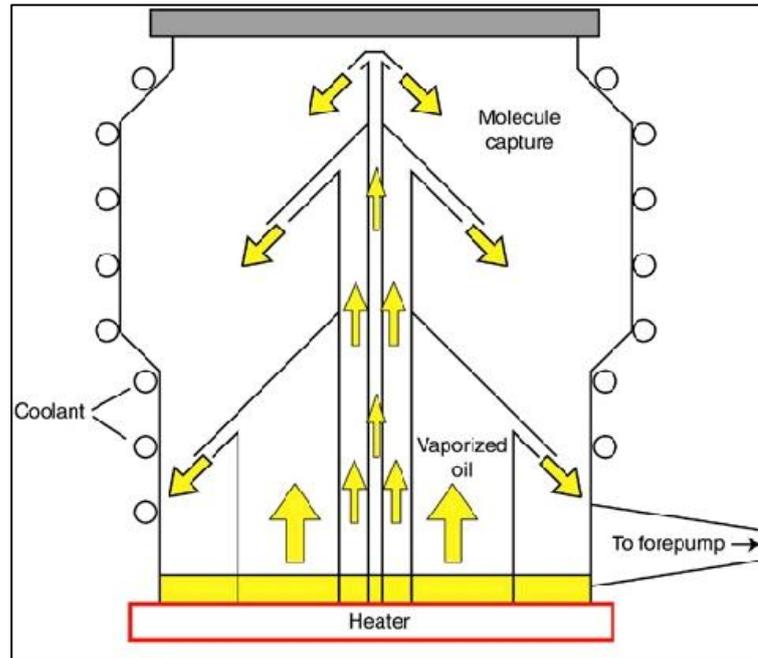


Figura 5: esquemático interno da bomba difusora de vácuo [5].

Como se vê na Figura 5, o óleo, que fica num reservatório na parte inferior da bomba, é aquecido até tornar-se vapor de óleo. Os jatos de vapor de óleo sobem e são injetados na direção da parede da bomba. Envolvendo externamente esta parede se encontra a serpentina de refrigeração desta bomba. Dessa forma, quando o óleo vaporizado entra em contato com a parede refrigerada da bomba, se condensa e escorre para o reservatório de aquecimento. O motivo de ser assim é este: quando alguma molécula de vapor de óleo colide com alguma molécula que compõem o ar, a molécula de ar é jogada “para baixo” no sentido de se expulsa da bomba difusora. Isto é possível, pois a molécula de óleo é, geralmente, muito maior que uma molécula que compõem o ar. Sendo assim, a colisão entre estas moléculas é comparada a colisão entre um ciclista (molécula de ar) e um caminhão (molécula de óleo). Pode-se dizer que o “caminhão” praticamente não “toma conhecimento” da colisão ocorrida.

2.5 Válvula borboleta

Como o próprio nome diz, é uma válvula do tipo borboleta que possibilita o contato físico entre a campânula e a bomba difusora. Esta válvula é acionada por um motor pneumático e existem dispositivos externos que limitam o giro deste motor em um quarto de volta.

A Figura 6 ilustra um esquemático desta válvula.

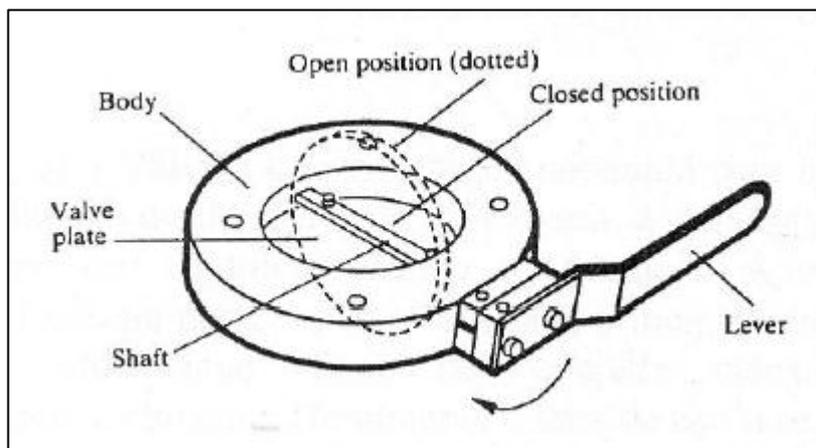


Figura 6: esquemático de uma válvula borboleta [5].

Note que há uma alavanca (Lever) que aciona a válvula; no nosso caso, entretanto, a metalizadora passou por uma reforma e foi colocado um motor pneumático para acionar esta válvula.

2.6 Válvulas pneumáticas 1 e 2

São válvulas, como o próprio nome diz, pneumáticas, e que são acionadas indiretamente por válvulas solenoides. Para maior esclarecimento consulte o diagrama pneumático do sistema no anexo três. A válvula pneumática 1 permite o contato físico entre a bomba mecânica de vácuo e a campânula; a válvula pneumática 2, por sua vez, permite o contato físico entre a bomba mecânica e a bomba difusora. Isto é particularmente interessante, pois permite que se faça vácuo no sistema por partes; ainda: é possível abrir a campânula com a bomba mecânica e a bomba difusora ligada. Pode parecer simplista ou desnecessário isto, todavia, uma vez ligada a bomba difusora, a pressão na saída desta bomba deve permanecer numa faixa; e, para isto, a bomba mecânica deve estar, obrigatoriamente, ligada. Isto justifica a presença da válvula pneumática 1: para a bomba mecânica permanecer ligada com a campânula aberta, a válvula pneumática 1 deve estar fechada. O uso da válvula pneumática 2 é justificada quando se deseja fazer vácuo na campânula estando a bomba difusora ligada e em vácuo médio. A válvula pneumática 2 é fechada, isolando a bomba difusora, e a válvula pneumática 1 é aberta.

Um detalhe construtivo interessante destas válvulas é que cada uma possui uma chave de fim de curso, ou seja, quando a válvula está totalmente aberta, a chave de fim de curso detecta isto e fecha. Isto serve como um sinal de realimentação para o CLP. Este emitiu o comando de abertura para a válvula e este mesmo recebeu a informação de que esta válvula foi completamente aberta.

Para simplificar, chamar-se-á válvula 1 e válvula 2 as válvulas pneumáticas 1 e 2 respectivamente.

2.7 Válvula quebra de vácuo

Serve apenas para quebrar o vácuo do sistema; na posição que se encontra, existe a possibilidade para se quebrar o vácuo apenas na campânula. Fazendo isto, pode-se preparar o sistema para uma nova metalização sem desligar a bomba mecânica e difusora. Dessa forma, economiza-se tempo no processo de preparação do sistema para uma nova metalização. Mais adiante, este processo de quebra de vácuo somente na campânula fará parte de um processo mais amplo, que será chamado de recarregamento do sistema.

2.8 Sensor de alto vácuo

Na realidade, este equipamento é composto de duas partes: o sensor propriamente dito, Figura 7, e medidor, Figura 8.



Figura 7: sensor de alto vácuo.



Figura 8: medidor de alto vácuo.

O princípio de funcionamento do sensor e medidor é baseado no circuito da Figura 9.

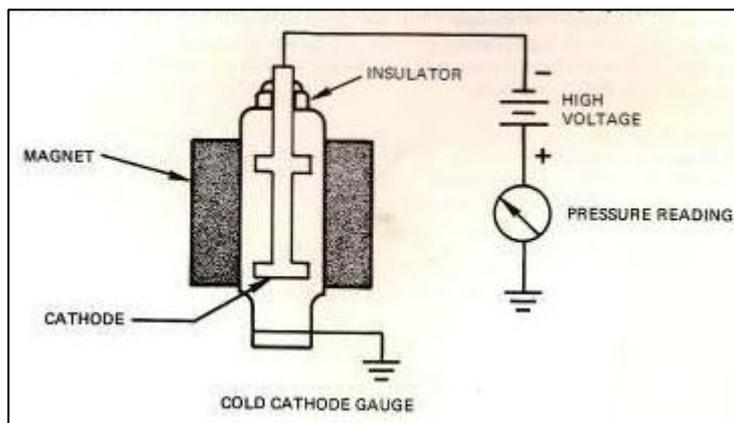


Figura 9: circuito simplificado do medidor mais o sensor [6].

Como se pode deduzir da Figura 9, o medidor é composto do galvanômetro (pressure reading) mais a fonte de alta tensão DC (high voltage). O restante compõe o sensor. A ideia é abrir um arco elétrico entre o catodo (cathode) e a referência de forma que a corrente elétrica permaneça constante. Esta ideia se baseia no seguinte princípio: para diferentes pressões tem-se que ajustar a fonte de tensão de modo que a corrente permaneça constante. Sendo assim, para cada pressão de vácuo, tem-se a tensão correspondente que se deve aplicar entre o catodo e a referência de modo a manter a corrente elétrica constante.

O medidor possui uma saída analógica com range de zero a dez milivolts. A Figura 10 mostra o comportamento da tensão em função da pressão.

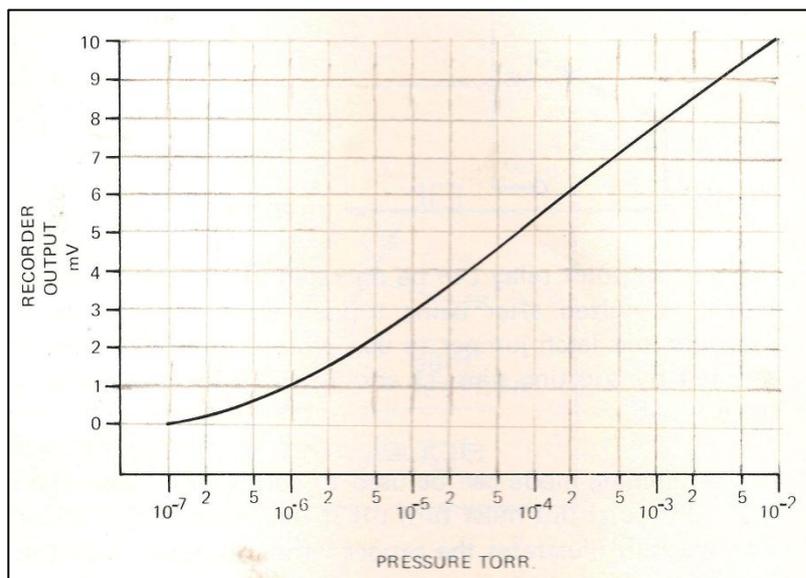


Figura 10: curva característica da pressão medida e tensão analógica de saída [6].

A Tabela 2 mostra alguns dados coletados quando o sensor e o medidor de alto vácuo estavam em operação.

Tabela 2: dados de saída do medidor de alto vácuo.

Tensão de Saída (mV)	Pressão indicada pelo medidor (TORR)
3,1	1×10^{-5}
3,6	2×10^{-5}
4,3	5×10^{-5}
5,0	1×10^{-4}
6,5	5×10^{-4}
7,4	1×10^{-3}
8,2	2×10^{-3}

Comparando-se os dados da Tabela 2 com o gráfico da Figura 10, percebe-se que as tensões de saída, mostrada na Tabela 2, estão condizentes com os valores mostrados no gráfico da Figura 10. Dessa forma, pode-se dizer que o sensor e o medidor de alto vácuo estão funcionando corretamente.

2.9 Sensor de médio vácuo

O sensor de médio vácuo é composto, também, de duas partes: o sensor em si e o medidor ou o relógio indicador. A Figura 11 ilustra este sensor e a Figura 12 ilustra o medidor deste sensor.



Figura 11: sensor de médio vácuo.

Diferentemente do sensor de alto vácuo, existem três sensores de médio vácuo e dois medidores para estes sensores. No presente caso, dois sensores, o sensor da bomba mecânica e o sensor da campânula, são para um medidor e outro sensor, da bomba difusora, é para outro medidor.

Segundo o croqui mecânico da metalizadora, apresentado na Figura 1, há um sensor de médio vácuo para a bomba mecânica, outro para bomba difusora e ainda outro para a campânula. Note que esta configuração é interessante, pois se pode medir o vácuo nos três principais elementos do sistema separadamente. Salienta-se que o medidor que é responsável pela medida dos dois sensores pode medir somente um sensor por vez.



Figura 12: medidor do sensor de médio vácuo.

O princípio de funcionamento de um medidor de vácuo tipo Pirani, que é o medidor da Figura 12, é o da condutividade térmica dos gases.

Um filamento é aquecido por uma corrente elétrica na atmosfera do gás cuja pressão se quer medir. Devido à presença do gás, o filamento irá dissipar energia térmica por condução. A dissipação será tanto maior quanto maior for a pressão. Conseqüentemente, a temperatura do filamento é uma função da pressão ($\Delta T \propto P$) decrescendo monotonicamente com a mesma. A Figura 13 ilustra um circuito simplificado para este fim [5].

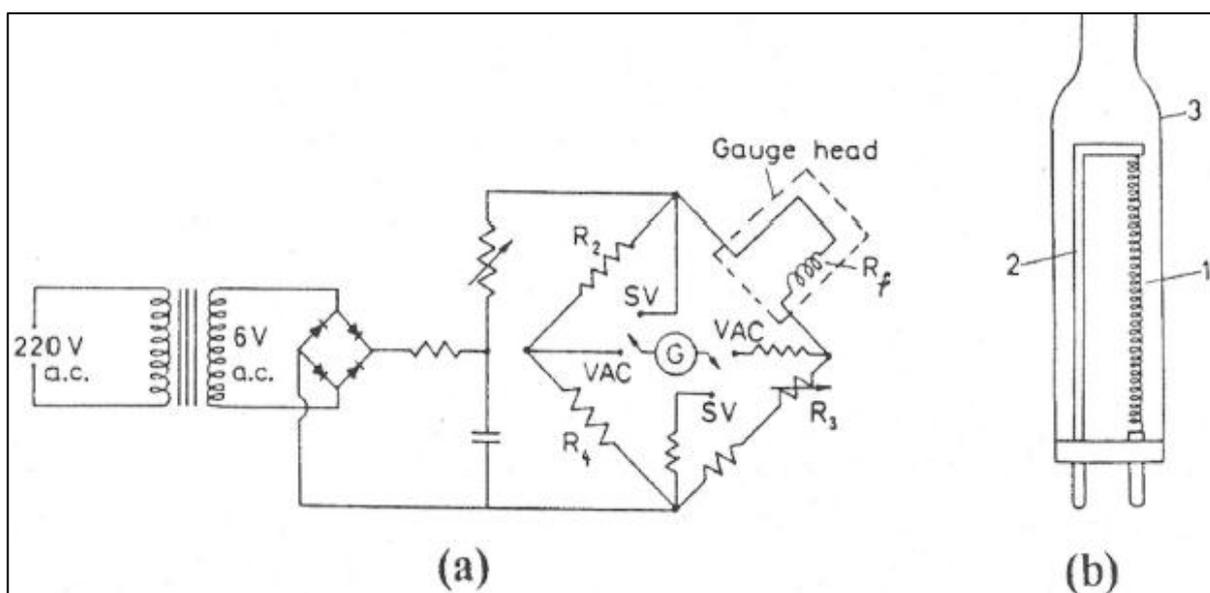


Figura 13: (a): circuito utilizado para o medidor pirani; (b): cabeça do medidor; (1): filamento; (2): suporte do filamento; (3): capa ou envelope [5].

O sensor de um medidor Pirani consiste de um tubo contendo o filamento e se acopla ao sistema de vácuo. No esquema do circuito elétrico de medição associado ao sensor, o filamento R_f constitui um dos braços da ponte de Wheatstone. Os outros braços são R_2 , R_3 e R_4 . R_2 é um resistor idêntico a R_f encapsulado a vácuo dentro de um tubo de vidro. Esse tubo é colocado em posição adjacente a R_f de modo a compensar flutuações de voltagem na ponte devida às variações de temperatura na região onde se instala o sensor. R_3 e R_4 são resistores variáveis. Uma maneira de se medir R_f (e conseqüentemente determinar P , quando se conhece a curva de calibração), é ajustar os valores de R_3 e R_4 de modo a zerar a corrente do galvanômetro G . Nesse caso [5]:

$$R_f = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

Equação 1: determinação de R_f

Como a condutividade térmica varia conforme o gás, isto implica em curvas de calibração distintas para diferentes gases. Quanto menor for a condutividade térmica de um gás, menor será a temperatura do filamento para um mesmo valor de P. De um modo geral a escala de um medidor Pirani é calibrada para nitrogênio. A curva de calibração de um medidor Pirani não é $P \times T$, mas P em função da resistência elétrica R do filamento. Esses dois gráficos são na realidade equivalentes, uma vez que a resistência elétrica de um condutor é uma função da sua temperatura [5].

2.10 Painel elétrico atual

Prosseguindo na apresentação da evaporadora, tem-se o painel elétrico atual. Este painel elétrico veio junto com a evaporadora quando esta foi adquirida, e é responsável por parte do controle do sistema. Diz-se “parte do controle”, pois as válvulas pneumáticas, borboleta e quebra de vácuo não são controladas por este painel. Como será mais bem explicitado posteriormente, este painel não será substituído, mas, usado para que o CLP possa acionar as bombas de vácuo e ligar o medidor pirani deste painel.

A Figura 14 mostra uma foto da parte principal deste painel elétrico.



Figura 14: foto do painel elétrico atual.

Os seguintes itens compõe este painel:

- Item de número 1: chave geral do painel
- Item de número 2: chave parada de emergência; usada para desligar as duas bombas de vácuo, desabilitar a metalização e desligar o medidor pirani.
- Item de número 3: Reostato multivoltas usado para ajustar a tensão aplicada ao filamento.
- Abaixo do Item de número 2: tem-se um comutador que aciona um contator; este contator habilita a passagem de corrente pelo filamento.
- Abaixo do comutador: tem-se o medidor pirani com seu sensor localizado na bomba difusora.
- À direita do medidor pirani: tem-se a chave que liga este medidor.
- À esquerda do medidor pirani: têm-se duas chaves; a chave superior liga a bomba difusora de vácuo; a chave inferior liga a bomba mecânica de vácuo.
- Abaixo do medidor pirani: tem-se o medidor da tensão que é aplicada ao filamento.
- Abaixo do medidor de tensão do filamento: tem-se o medidor da corrente que passa por este filamento.

2.11 Painel provisório para acionar alguns elementos da metalizadora

Da apresentação do subtópico anterior, nota-se que as válvulas pneumáticas, a válvula borboleta, a solenoide de quebra de vácuo e o glow não estão, a princípio, sendo acionados por qualquer chave ou equipamento. Na realidade, construiu-se um pequeno painel compostos somente de chaves e lâmpadas indicadoras para acionar os elementos referenciados acima. Este pequeno painel foi útil para se ensaiar o sistema e também, por consequência, auxiliou a realizar a metalização.

A Figura 15 mostra a foto deste painel elétrico. Para visualizar o esquema elétrico deste painel, consulte o anexo três.

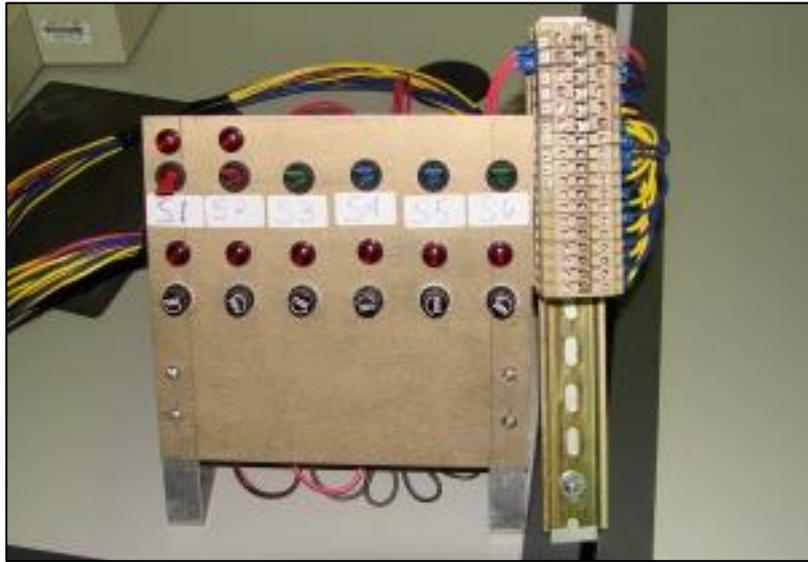


Figura 15: painel elétrico provisório.

3 Forma de operação e levantamento dos parâmetros do sistema

O capítulo 2 apresentou a metalizadora no que diz respeito aos seus principais componentes. No presente capítulo, apresentar-se-á alguns ensaios realizados com esta metalizadora de modo a levantar seus dados de operação. Mas antes de tudo, mostrar-se-á o modo padrão de operação da metalizadora. Isto é necessário para que se possa compreender os ensaios realizados e o programa fonte implementado no CLP. É o que segue no próximo tópico.

3.1 Forma de operar o sistema

Para facilitar a compreensão da operação da metalizadora, dividir-se-á a explicação em três subtópicos, a saber:

- Rotina de vácuo
- Rotina de recarregamento
- Rotina de desligamento

3.1.1 Rotina de vácuo

Trata-se basicamente do processo de se fazer vácuo no sistema de modo a habilitar o processo de metalização. Para facilitar a compreensão do processo de vácuo, a Figura 16 mostra o diagrama trajeto passo para a execução deste processo. Adianta-se que este diagrama está simplificado, pois não estão presentes, por exemplo, as chaves de fim de curso das válvulas pneumáticas. Entretanto isto não prejudica a explicação do processo de vácuo, pois a ideia principal é mostrar apenas os passos que devem ser seguidos para realizar este processo. Quanto a detalhes de que a válvula 1, por exemplo, abriu ou não, será discutido quando for apresentado o programa que foi implementado no CLP.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
V1													aberto
													fechado
V2													aberto
													fechado
V3													aberto
													fechado
Bor													aberto
													fechado
Mec													ligado
													desligado
Dif													ligado
													desligado
SBM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SBD	X	X	X	X	X	P2	X	X	X	X	X	X	
SC	X	X	P1	X	X	X	X	P3	X	X	X	X	
SAV	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	P4	

Figura 16: diagrama trajeto/passo para o processo de vácuo.

Este processo pode ser roteirizado nos seguintes passos:

- 1 Ligam-se os sensores de médio vácuo e liga-se a bomba mecânica de vácuo.
- 2 Abre-se a válvula 1. Dessa forma estar-se-á fazendo vácuo na campânula.
- 3 Espera-se o sensor de médio vácuo da campânula (SC) indicar a pressão P1.
- 4 Atingida uma pressão P1, fecha-se a válvula 1.
- 5 Abre-se a válvula 2.
- 6 Espera-se o sensor de médio vácuo da bomba difusora (SBD) indicar a pressão P2; a intenção é fazer com que a pressão P2 se aproxime da pressão P1.
- 7 Quando P2 for menor que a pressão P1, abre-se a válvula 1. Desse modo, passa-se a fazer vácuo em todo sistema.
- 8 Espera-se o sensor de médio vácuo da campânula indicar a pressão P3. Adianta-se que, embora se esteja fazendo vácuo em todo sistema, este sensor, da campânula, será tomado como referência para calibração dos outros dois sensores de médio vácuo.
- 9 Quando o sensor da campânula indicar uma pressão P3 liga-se a bomba difusora e abre-se o registro de água para refrigeração desta bomba.
- 10 Existe um tempo de aquecimento desta bomba, e este tempo é de aproximadamente 25 minutos.
- 11 Com a bomba difusora em operação plena, é o momento de se colocar a bomba mecânica e difusora para operarem em série. Para tanto, fecha-se a válvula 1 e abre-se a válvula borboleta.
- 12 Em seguida pode-se ligar o medidor de alto vácuo. Vale uma observação: segundo o manual técnico, o sensor, do medidor de alto vácuo, só opera seguramente abaixo de 10^{-3} TORR; acima disto, deve permanecer desligado. Prosseguindo, espera-se o sensor de alto vácuo (SAV) indicar uma pressão abaixo de P4. Daí, a metalização estará habilitada. Diz-se abaixo de P4, pois a metalização não é autorizada para uma pressão fixa, mas para uma faixa de pressão. E neste caso a pressão P4 é um limite superior de pressão.

Esta é, portanto, a rotina de vácuo para que se possa realizar uma única metalização. A próxima rotina explicará como fazer mais metalizações. Novamente, adianta-se que alguns detalhes foram omitidos por questão de simplicidade. Estes detalhes serão expostos quando for apresentado o programa que foi implementado no CLP.

3.1.2 Rotina de recarregamento

Esta rotina mostrará os procedimentos para se realizar uma nova metalização sem ter que desligar por completo o sistema. Neste ponto de operação do sistema, ambas as bombas estão ligadas, a válvula 2 aberta, a válvula 1 fechada, a válvula borboleta aberta e o sensor de alto vácuo ligado. Segue, primeiramente, o diagrama trajeto/passos para esta situação.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
V1														aberto
														fechado
V2														aberto
														fechado
V3														aberto
														fechado
Bor														aberto
														fechado
Mec														ligado
														desligado
Dif														ligado
														desligado
SBM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SBD	x	x	x	x	x	x	x	x	x	P2	x	x	x	x
SC	x	x	x	x	x	x	P1	x	x	x	x	P3	x	x
SAV	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	P4

Figura 17: diagrama trajeto/passo para processo de recarregamento.

Este processo pode ser roteirizado nos seguintes passos:

- 1 Fecha-se a válvula borboleta e desliga-se o medidor de alto vácuo.
- 2 Abre-se a válvula de quebra de vácuo; note que haverá quebra de vácuo somente na campânula.
- 3 Retira-se a campânula, colocam-se novas amostras e material para ser evaporado. Apenas para esclarecimento, chama-se amostra, neste trabalho, todo e qualquer material que será metalizado.
- 4 Volta-se a campânula ao seu lugar de origem. Neste ponto a válvula quebra de vácuo já deve estar fechada.
- 5 Fecha-se a válvula 2.
- 6 Abre-se a válvula 1.
- 7 Espera-se o sensor de médio vácuo da campânula (SC) indicar a pressão P1. É a mesma pressão mencionada no item 3 do subtópico anterior.
- 8 Neste caso, a bomba difusora estará em vácuo e aquecido; entretanto, opera-se da mesma forma, como se a bomba não estivesse em vácuo. Faz-se isto para simplificar o programa que será implementado no CLP. Portanto, fecha-se a válvula 1.
- 9 Abre-se a válvula 2.
- 10 Espera-se o sensor de médio vácuo da bomba difusora indicar a pressão P2.
- 11 Quando a pressão P2, indicada pelo sensor da bomba difusora, for menor que a pressão P1, indicada pelo sensor da campânula, abre-se a válvula 1.
- 12 Espera-se o sensor de médio vácuo da campânula indicar a pressão P3.
- 13 Como foi dito, a bomba difusora já esta aquecida, logo, quando o sensor da campânula indicar uma pressão P3 já se pode iniciar o processo de alto vácuo. Portanto, fecha-se a válvula 1, abre-se a válvula borboleta e liga-se o medidor de alto vácuo.
- 14 Quando o sensor de alto vácuo indicar uma pressão abaixo da pressão P4, pode-se realizar a metalização em si.

Nota-se que parte desta rotina é idêntica a uma parte da rotina de vácuo. Isto porque em ambas as rotinas visa-se a metalização das amostras.

3.1.3 Rotina de desligamento

Esta rotina diz basicamente como se deve desligar o sistema de forma segura. O desligamento será efetuado quando o processo de alto vácuo estiver habilitado. O porquê de o desligamento ser feito neste ponto de operação será explicado quando se apresentar o

programa que fora implementado no CLP. A seguir é mostrado, na Figura18, o diagrama trajeto passo para a operação de desligamento do sistema.

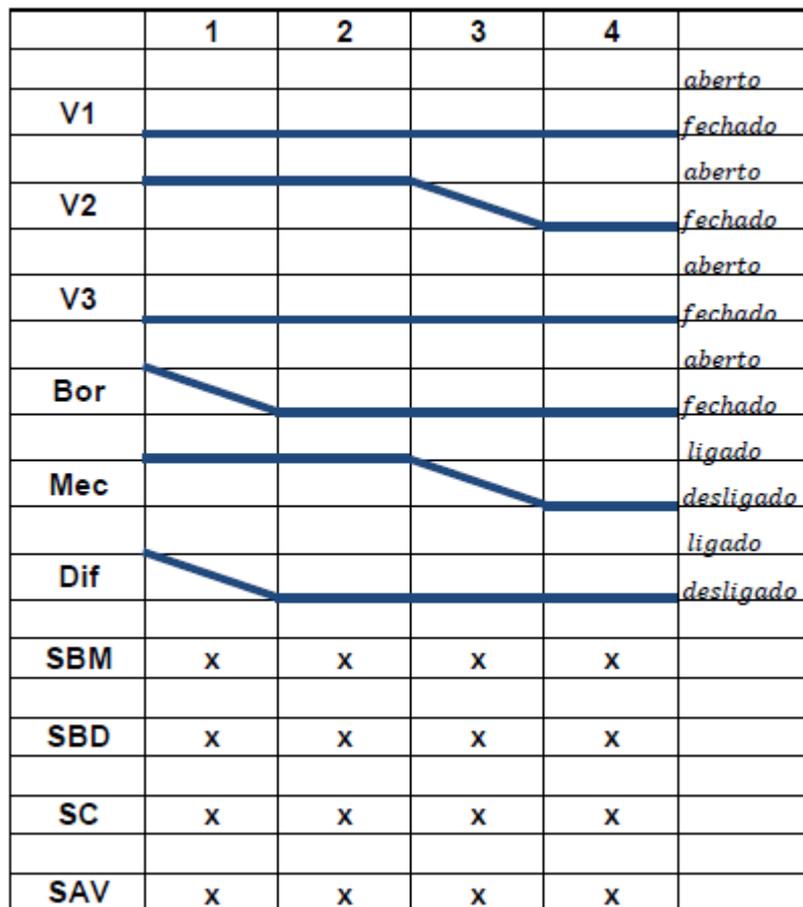


Figura 18: diagrama trajeto/passo para processo de desligamento.

Este processo pode ser roteirizado nos seguintes passos:

- 1 Desliga-se a bomba difusora, todos os sensores e fecha-se a válvula borboleta. Neste caso, a válvula 2 permanece aberta, a bomba mecânica permanece ligada e a refrigeração da bomba difusora.
- 2 Espera-se um tempo $\Delta T1$. Este é o tempo de refrigeração da bomba difusora.
- 3 Após um tempo $\Delta T1$, fecha-se a válvula 2, desliga-se a bomba mecânica e a refrigeração da bomba difusora.
- 4 Neste ponto o sistema poderá ser desenergizado, via chave geral do painel elétrico principal, com segurança. Note: o desligamento é referente à parada de operação do sistema como um todo; a desenergização do sistema é referente ao corte de energia para o sistema como um todo.

Com estes passos, o sistema é desligado seguramente. O próximo tópico tratará dos ensaios realizados de modo a levantar dados de operação do sistema. Antes, porém, faz-se

a observação de que o sensor de médio vácuo da bomba mecânica (SBM) não foi, aparentemente, utilizado. Na realidade este sensor é utilizado em algumas rotinas de segurança que foram implementadas no CLP. Isto se tornará mais claro no capítulo 4; neste capítulo é apresentado, de forma resumida, o programa que fora implementado no CLP.

Ter-se-á a seguir apenas a documentação de alguns ensaios realizados no corrente ano de 2010. A partir destes ensaios serão inferidos os parâmetros de comportamento do sistema.

3.2.1 Ensaio do dia 29/04/2010

Neste ensaio realizou-se uma metalização após o sistema ser recarregado. De início verificou-se o comportamento do sistema em médio vácuo e alto vácuo.

3.2.1.1 Ensaio de médio vácuo

Neste passo, o sistema estava com ambas as bombas ligadas, as válvulas 1 e 2 abertas e a refrigeração da bomba difusora ligada. O sistema ficou nesta configuração por cerca de 2 horas. As pressões lidas nos sensores estão amostradas na Tabela 3.

Tabela 3: dados das pressões medidas pelos sensores de médio vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	$10^{-2} - 10^{-3}$
Bomba Mecânica	2×10^{-2}
Bomba Difusora	10^{-3}

Nota-se que, pelas válvulas que estão abertas e pelo tempo que o sistema permaneceu na mesma configuração de operação, todos os sensores deveriam indicar a mesma pressão. Mas não indicam. Portanto, percebe-se a necessidade de calibrar estes sensores com referencial em um único sensor.

3.2.1.2 Ensaio de alto vácuo

Prosseguindo-se, fechou-se a válvula 1 e abriu-se a válvula borboleta. Instantes depois da abertura da válvula borboleta houve um surto de pressão indicado pelo sensor da bomba difusora. Ao mesmo tempo verificou-se uma queda de pressão indicado pelo sensor da campânula. Isto mostra a operação da bomba difusora: esta retirou ar da campânula e lançou-o na sua saída. A Tabela 4 mostra a configuração do sistema durante este

transitório. A medição foi feita da seguinte forma: no momento que o sensor da bomba difusora indicou a maior pressão, tomou-se a leitura do sensor da campânula. Outros ensaios foram realizados e verificou-se praticamente o mesmo comportamento.

Tabela 4: pressões indicadas pelos medidores durante o surto de pressão.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	$10^{-3} - 10^{-4}$
Bomba Difusora	2×10^{-1}

Passado o transitório, ligou-se o medidor de alto vácuo. A Tabela 5 mostra os dados da pressão lida nos sensores do sistema. Adianta-se que o medidor de alto vácuo indica a pressão em Torricelli.

Tabela 5: medição das pressões em alto vácuo.

Sensor	Pressão
Campânula	10^{-3} mbar
Bomba Mecânica	2×10^{-2} mbar
Bomba Difusora	10^{-3} mbar
Alto Vácuo	10^{-5} TORR

Façamos uma rápida análise de modo a obter alguma correspondência de uma mesma pressão lida por sensores distintos. No presente caso quer se comparar o sensor da campânula e o sensor de alto vácuo, pois medem a pressão no mesmo ponto do sistema.

Portanto, de modo aproximado, tem-se:

$$1\text{bar} \simeq 760\text{Torr}$$

Equação 2: equivalência entre unidades de pressão.

Assim:

$$10^{-5}\text{Torr} \simeq \frac{10^{-5}}{760}\text{bar} \simeq 1,3 * 10^{-8}\text{bar} \therefore$$

$$10^{-5}\text{Torr} \simeq 1,3 * 10^{-5}\text{mbar}$$

Equação 3: transformação de 10^{-5} Torricelli para mbar.

Nota-se que há um fator 100 entre a pressão indicada pelo sensor da campânula e o sensor de alto vácuo. Esta comparação é válida, pois ambos os sensores, como já foi mencionado, medem a pressão no mesmo ponto. Isto quer dizer que o sensor de médio vácuo não deve ser considerado quando o sensor de alto vácuo estiver habilitado a entrar em operação. É um tanto que óbvio, pois um é sensor de médio vácuo e outro é sensor de

alto vácuo. A Figura 16 mostra uma comparação entre os diversos sensores de vácuo no que tange a faixa de operação; nesta figura encontram-se medidores de vácuo em questão.

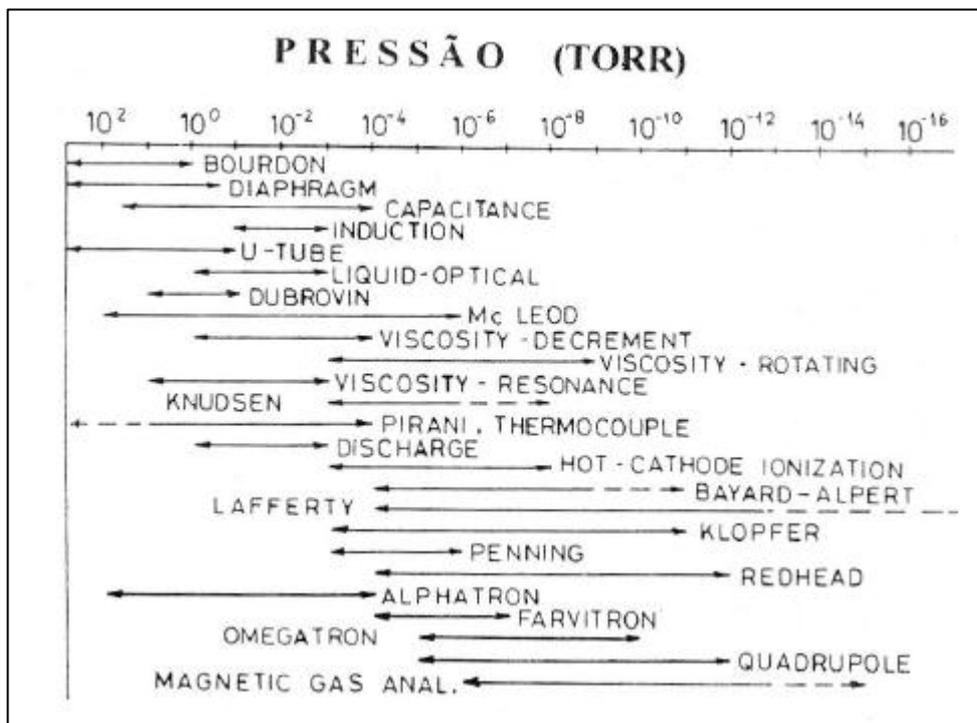


Figura 19: comparação entre diversos medidores de pressão [5].

O sensor de médio vácuo, como já foi dito, é do tipo pirani; na Figura 19 está indicado como: pirani, thermocouple; o sensor de alto vácuo está indicado na Figura 19 como: Penning. Vê-se claramente que as faixas de operação destes sensores são praticamente distintas. Isto prova a diferença encontrada na medição das pressões quando o sistema encontrava-se em processo de alto vácuo.

3.2.1.3 Recarregamento e metalização

O sistema estava em alto vácuo, mas sem amostra para metalizar e sem material para ser depositado nas amostras. Então, prosseguiu-se o processo de recarregamento do sistema. Depois de recarregado o sistema, fez-se vácuo. O ponto de operação deixado para se realizar a metalização foi o de médio vácuo: ambas as bombas ligadas, válvulas 1 e 2 abertas e refrigeração da bomba difusora ligada. As pressões são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6: medição das pressões com sistema em médio vácuo.

Sensor	Pressão
Campânula	2x10 ⁻² mbar
Bomba Difusora	2x10 ⁻² mbar

A ideia é, a partir deste ponto de operação, determinar o tempo que o sistema demora a atingir a região de alto vácuo. Para tanto, fechou-se a válvula 1, abriu-se a válvula borboleta e ligou-se o sensor de alto vácuo. As Tabelas a seguir mostram as pressões indicadas pelos sensores conforme passa o tempo.

- Depois de 40 segundos.

Tabela 7: pressões indicadas após 40 segundos.

Sensor	Pressão
Campânula	10^{-3} mbar
Bomba Difusora	10^{-2} mbar
Alto Vácuo	3×10^{-5} TORR

- Depois de 5 minutos.

Tabela 8: pressões indicadas após 5 minutos.

Sensor	Pressão
Campânula	$(10^{-3} - 10^{-4})$ mbar
Bomba Difusora	$(10^{-2} - 10^{-3})$ mbar
Alto Vácuo	2×10^{-5} TORR

- Depois de 10 minutos.

Tabela 9: pressões indicadas após 10 minutos.

Sensor	Pressão
Campânula	$(10^{-3} - 10^{-4})$ mbar
Bomba Difusora	$(10^{-2} - 10^{-3})$ mbar
Alto Vácuo	2×10^{-5} TORR

- Depois de 15 minutos.

Tabela 10: pressões indicadas após 15 minutos.

Sensor	Pressão
Campânula	$(10^{-3} - 10^{-4})$ mbar
Bomba Difusora	10^{-3} mbar
Alto Vácuo	10^{-5} TORR

Pode parecer contraditório, mas o fato de registrar as pressões indicadas pelos sensores de médio vácuo, sensor da campânula e bomba difusora, é para efeito de comparação com a medida do sensor de alto vácuo.

Inferem-se deste ensaio os seguintes pontos:

- 1 Há a necessidade de se calibrar os sensores de médio vácuo com referência num sensor do próprio sistema. Isto não quer dizer que os sensores apresentem defeitos, mas, para que o CLP possa tomar decisões com base numa pressão referencial.
- 2 O sensor de médio vácuo da campânula só tem sentido de ser considerado enquanto o sistema não entra no processo de alto vácuo, que é colocar a bomba difusora e a bomba mecânica de vácuo em série.
- 3 O sensor de alto vácuo só deve ser ligado se o processo de alto vácuo já foi iniciado
- 4 O tempo necessário, após iniciado o processo de alto vácuo, para a metalização ser habilitada é de, aproximadamente, 1 minuto. Isto é válido para o caso que a bomba difusora está a plena operação. Adiante-se que a pressão limite adotada para habilitar a metalização é de 5×10^{-5} TORR. Acima desta pressão não se poderá realizar a metalização.

Neste ensaio foi realizada uma metalização; entretanto, deixar-se-á para um próximo subtópico os comentários referentes a esta metalização e outras.

3.2.2 Ensaio do dia 30/04/2010

Neste ensaio serão determinadas as características de partida do sistema. Estas características de partidas são referentes ao tempo necessário para que o sistema atinja certo nível de vácuo. Para tanto, o procedimento será iniciado fazendo-se vácuo na campânula.

3.2.2.1 Vácuo na campânula

Inicialmente, certificou-se que a pressão interna à campânula estava na pressão atmosférica. Após, ligou-se a bomba mecânica de vácuo e abriu-se a válvula 1. As tabelas a seguir mostram como evoluiu o vácuo conforme passou o tempo. O tempo foi contado a partir da abertura da válvula 1 com a bomba mecânica já em funcionamento.

- Após 1min.

Tabela 11: pressão indicada após 1min de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^1

- Após 1min20 s.

Tabela 12: pressão após 1min20s de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^0

- Após 2min.

Tabela 13: pressão indicada após 2min de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	2×10^{-1}

Completado os dois minutos referidos, partiu-se imediatamente ao próximo passo, que consistiu em fazer vácuo no sistema.

3.2.2.2 Vácuo no sistema

Após estes dois minutos, abriu-se a válvula 2. A pressão na bomba difusora era de 6×10^0 mbar. As Tabelas a seguir mostram o comportamento da pressão no sistema conforme passa o tempo. Novamente, o tempo começa a ser contado a partir da abertura da válvula 2.

- Após 1min.

Tabela 14: pressão indicada pelos sensores do sistema após 1min de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^{-1}
Bomba Difusora	10^{-1}

- Após 7min.

Tabela 15: pressão indicada pelos sensores do sistema após 7min de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	2×10^{-2}
Bomba Difusora	2×10^{-2}

- Após 15min.

Tabela 16: pressão indicada pelos sensores do sistema após 15min de vácuo.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^{-2}
Bomba Difusora	10^{-2}

Pode parecer inválido esta parte do ensaio, pois a difusora estava em um ponto qualquer de operação. Entretanto, é de se considerar que o volume de ar armazenado pela bomba difusora é expressivamente menor que o volume de ar armazenado pela campânula. Outro detalhe é que a quebra de vácuo só ocorre na campânula, o que implica em dizer que a bomba difusora passa por todo o processo em pressões baixas. Sendo assim, o tempo de vácuo do sistema estará mais ligado à pressão inicial da campânula do que à pressão inicial da difusora. Em resumo, o tempo de evacuação do sistema neste particular pouco depende da pressão da difusora antes desta sofrer a evacuação. Para provar o que foi exposto, mostrar-se-á outro ensaio de evacuação do sistema quando todo este estava à pressão atmosférica.

3.2.3 Ensaio do dia 20/05/2010

Pode-se dizer que o sistema partiu do zero. Campânula e bomba difusora, ambas estavam na pressão atmosférica. Começou-se a fazer vácuo na campânula.

3.2.3.1 Vácuo na campânula

As tabelas a seguir mostram o comportamento da pressão indicado pelo sensor da campânula conforme passa o tempo. Como se começou a fazer vácuo na campânula abrindo-se somente a válvula 1.

- Após 1min.

Tabela 17: pressão após 1min de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^1

- Após 1min15s.

Tabela 18: pressão após 1min15s de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^0

- Após 2min30s.

Tabela 19: pressão após 2min30s de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Campânula	10^{-1}

Nota-se que os dados, tempo e pressão de vácuo atingido, se aproximam do ensaio do dia 30/04/2010. E realmente isto era esperado, pois em ambos os casos a campânula encontrava-se a pressão atmosférica.

3.2.3.2 Vácuo na bomba difusora

Fechou-se a válvula 1 e abriu-se a válvula 2. Novamente, as tabelas a seguir mostram o comportamento da pressão na bomba difusora conforme passa o tempo.

- Após 15s.

Tabela 20: pressão após 15s de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Bomba Difusora	10^1

- Após 27s.

Tabela 21: pressão após 27s de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Bomba Difusora	10^0

- Após 1min.

Tabela 22: pressão após 1min de evacuação.

Sensor	Pressão (10^{-3} bar)
Bomba Difusora	10^{-1}

Fica, então, demonstrado que a bomba difusora tem resposta mais rápida para evacuação do que a campânula.

Concluindo estes ensaios, inferem-se os seguintes pontos:

- 1 Na evacuação do sistema como um todo, a bomba difusora tem influência menor no tempo de total de evacuação.
- 2 Tempo para se evacuar a campânula até uma pressão de 10^{-1} mbar: 2min 30s.
- 3 Tempo para se evacuar a campânula até uma pressão de 10^{-1} mbar: 1min

O próximo ensaio tratará do tempo de aquecimento da bomba difusora. Isto é importante, pois, somente quando totalmente aquecida, a bomba estará em pleno funcionamento.

3.2.4 Ensaio de aquecimento da bomba difusora.

Basicamente, colocou-se um termopar na parte mais inferior da bomba difusora e monitorou-se a temperatura conforme passava o tempo. A Tabela 23 mostra a temperatura medida na parte externa da bomba difusora conforme passava o tempo.

Tabela 23: comportamento do aquecimento da bomba difusora.

Tempo Decorrido (minutos)	Temperatura (°C)
0	18,9
1	22,6
2	31,5
3	43,7
4	58
5	72,3
6	85,5
7	100
8	112
9	123,7
10	134
11	144
12	153,6
13	161,3
14	169,4
15	177
16	183,8
17	190,7
18	197,1
19	202
20	207
21	212
22	218
23	222
24	225
25	229
26	233
27	235
28	238
29	239
30	241
31	242
32	242
33	242
34	242
35	242

Por meio do software Matlab gerou-se o gráfico com os pontos dados da Tabela 23. A rotina que gerou este gráfico está no anexo quatro. O gráfico está mostrado na Figura 20.

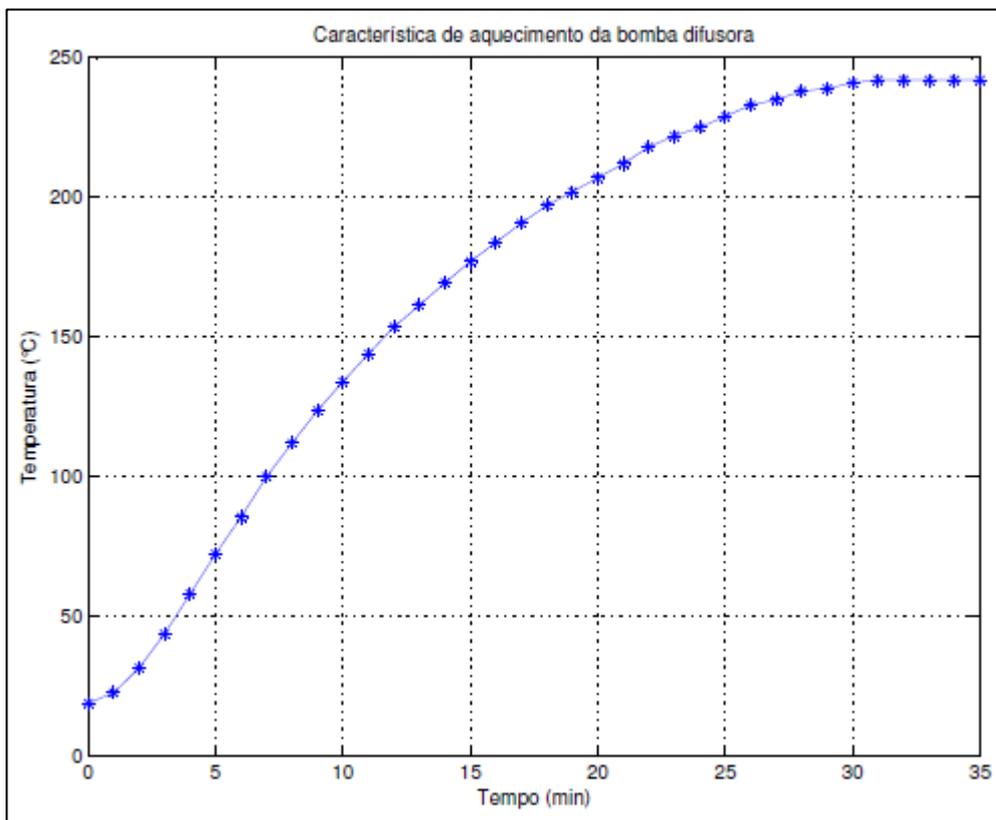


Figura 20: resposta da bomba difusora ao aquecimento.

Nota-se, da Figura 20, que um tempo e 25 minutos de aquecimento da bomba difusora é suficiente para que esta entre em operação. E este tempo foi adotado no programa fonte do CLP.

3.2.5 Ensaio de metalização

Neste subtópico mostrar-se-á a metalização no que diz respeito às variáveis elétricas que estão envolvidas neste processo, que é tensão e corrente elétricas aplicadas ao filamento.

Como já foi apresentado, no “painel elétrico atual” há dois dispositivos na parte mais inferior deste painel. Um mede a tensão elétrica em volts aplicada ao filamento; outro, a corrente elétrica em amperes. Para aquisição destas variáveis, prosseguiu-se uma metalização comum e filmaram-se estes dois dispositivos. Com o auxílio de um software de edição de vídeo, Movie Maker, tomou-se os valores da tensão e corrente elétricas a cada 0,5 segundos. Embora seja não técnico este procedimento, todavia, o foco deste experimento é levantar um resultado mais qualitativo do que quantitativo do comportamento

destas variáveis durante a metalização. A tabela de dados gerada é extensa; esta se encontra no anexo quatro; juntamente, há um trecho de programa feito no Matlab para a construção gráfica do resultados.

A Figura 21 mostra o comportamento da tensão aplicada ao filamento e a Figura 22 mostra o comportamento da corrente passando por este filamento. Adianta-se que a metalização foi iniciada no instante de 9 segundos.

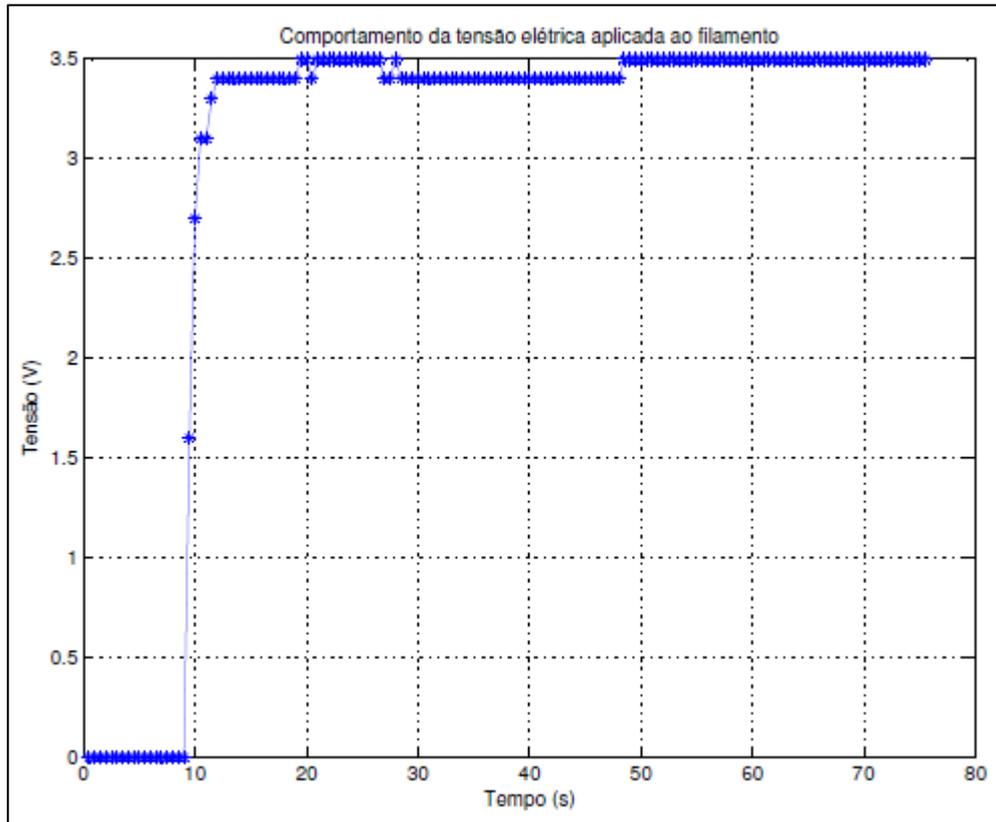


Figura 21: tensão aplicada ao filamento.

A tensão aplicada filamento praticamente não varia durante a metalização. Isto é evidente, pois há um reostato multivoltas, localizado no painel elétrico atual, que regula a tensão aplicada.

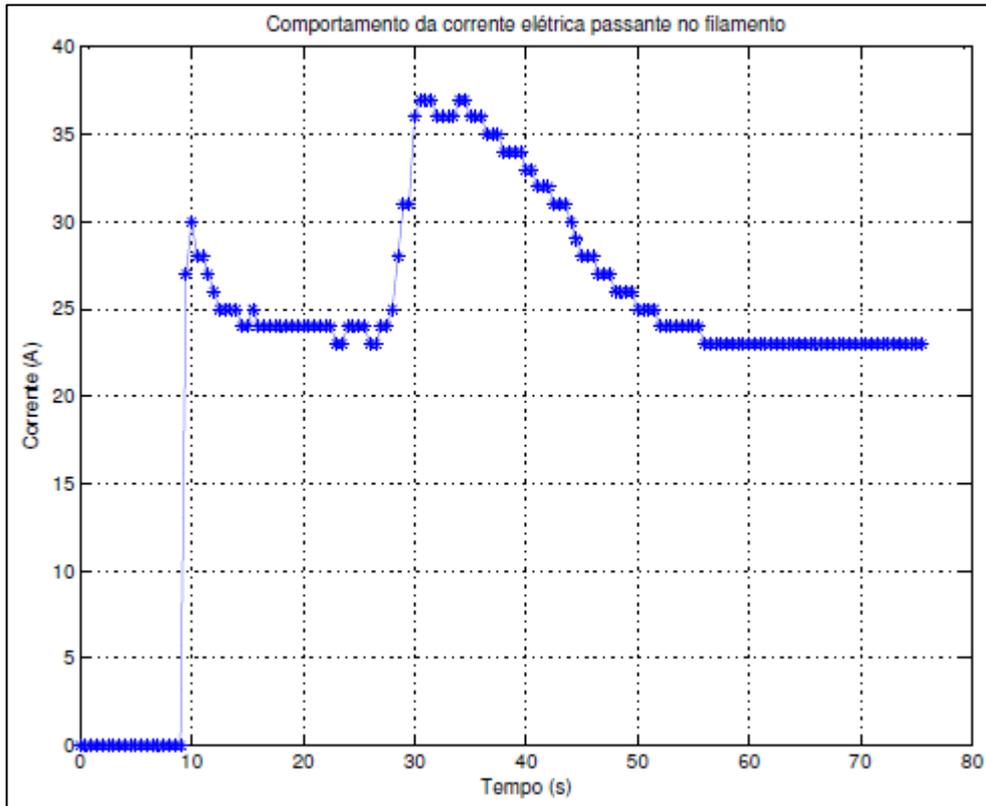


Figura 22: corrente passante pelo filamento.

Com a tensão aplicada constante, podem-se inferir algumas informações do gráfico da Figura 22. A primeira informação é logo no início da metalização: conforme o filamento aquece, sua resistência aumenta fazendo com que a corrente passante por este diminua. Este é o motivo do primeiro pico de corrente.

A segunda informação é referente ao segundo pico de corrente: é justamente neste momento que material usado para deposição se funde e envolve o filamento. Isto pode ser visto por meio de uma janela que há na campânula. Com o material envolvendo o filamento, a resistência filamento mais material fundido diminui e, por consequência, a corrente passante aumenta.

A terceira informação é com relação ao decaimento da corrente passante após o segundo pico de corrente. Evidente: o material está se evaporando e a resistência do filamento mais material fundido tende a aumentar. Chega o momento que não há mais material fundido e a situação torna-se como dantes.

Este resultado é interessante, pois se trata de uma situação que possui alto grau de reprodutibilidade. Dessa forma o operador saberá quando começou realmente a metalização e quando terminou.

O próximo capítulo tratará dos problemas a serem solucionados para que o CLP possa controlar o sistema.

4 Identificação dos problemas e soluções adotadas

Neste capítulo trataremos das principais soluções adotadas para automatizar a metalizadora a vácuo. Mas antes, faremos menção dos três grandes problemas a serem resolvidos. Estes são listados a seguir:

- 1) Aquisição do sinal de todos os medidores de vácuo: deve haver uma correspondência entre pressão indicada pelos medidores e tensão analógica lida pelo CLP.
- 2) Acionamento dos componentes da metalizadora: todas as válvulas, as duas bombas de vácuo e os medidores devem ser acionados, ou ligados, pelo CLP.
- 3) O programa a ser implementado no CLP deve fazer a rotina de vácuo, recarregamento e desligamento do sistema. Além disso: deve possuir rotinas de segurança de modo a detectar falhas no sistema durante a execução do programa. Para lembrar, a rotina de vácuo compreende todos os processos necessários para que o sistema esteja habilitado para realizar a metalização em si; a rotina de recarregamento compreende todos os processos necessários para que se possa realizar uma nova metalização sem ter que desligar o sistema por completo; a rotina de desligamento compreende todos os processos necessários para que o sistema desligue de forma segura.

Tendo-se conhecimento dos principais problemas para serem solucionados, tem-se a seguir as soluções adotadas.

4.1 Solução do problema 1

O problema da aquisição dos sinais dos sensores de médio e alto vácuo será solucionado da seguinte maneira: será retirado o sinal de entrada do galvanômetro de cada medidor de médio e alto vácuo. Adianta-se que o sinal proveniente dos medidores é da ordem de milivolts. Prosseguindo, este sinal servirá de entrada para uma placa amplificadora. Entretanto, esta placa foi construída em dois estágios. No primeiro estágio está um amplificador de instrumentação de alta precisão; este amplificador é responsável pela maior parte do ganho global; no segundo estágio há um amplificador operacional que, além de ter um pequeno ganho, corrige o offset do sinal. Esta correção de offset é necessária, pois o CLP mede tensões na faixa de 0 a 10Vdc.

4.2 Solução do problema 2

Para que o CLP possa acionar todas as válvulas, as duas bombas de vácuo e todos os medidores de vácuo primeiramente deve-se construir um painel elétrico de modo a fixar o CLP neste painel e também os medidores de médio e alto vácuo; este painel servirá de interface entre o sistema e o CLP. O acionamento das válvulas e dos medidores pode ser feitos diretamente pelo CLP. Este possui um cartão de saída para tensão de 220Vac. Quanto ao acionamento da bomba mecânica e difusora, será feito pelo contator de cada bomba. Estes contatores encontram-se instalados no painel elétrico atual.

Importante é salientar que este problema é mais amplo do que possa parecer. Um exemplo disto é o seguinte: a proposta de solução dá diretrizes para que o CLP possa ligar as bombas de vácuo automaticamente; entretanto, como garantir que estas bombas de fato ligaram? Para resolver isto, deve-se tomar um sinal de realimentação dos contatores das bombas. Tendo-se a garantia de que a bomba mecânica, por exemplo, ligou ou não, torna-se cabível a implementação de uma rotina de segurança para averiguar este tipo de situação. E a implementação de rotinas de segurança faz parte do próximo subtópico.

4.3 Solução do problema 3

Para melhor esclarecer a solução do problema 3, será apresentado o programa fonte do CLP que resolve suficientemente o problema em questão. Para consulta do código fonte completo do CLP vide anexo um.

O programa fonte do CLP está em linguagem SFC e Ladder. A linguagem SFC facilita o entendimento quanto a que parte do programa está em execução. Esta linguagem permite que sejam definidos os passos do programa quanto ao sequenciamento de execução e a estrutura organizacional dos passos. A linguagem Ladder, por sua vez, é de fácil compreensão quanto ao que é executado em determinada parte do programa. Comparativamente, se a linguagem SFC define como os passos serão executados, a linguagem Ladder definirá o que será executado em cada passo. Esta é a ideologia adotada para a construção do programa fonte do CLP.

No caso em questão serão apresentados somente os passos do programa, ou seja, os passos da linguagem SFC. Isto será interessante para adquirir uma visão global do programa.

- Passo Init: Figura 23.

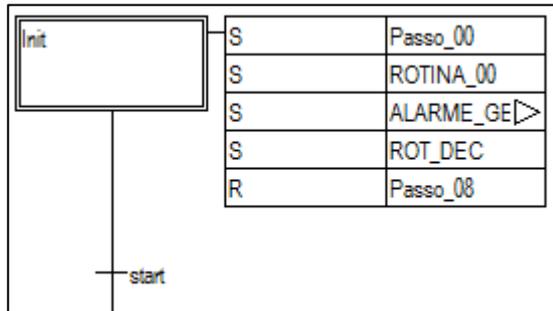


Figura 23: passo inicial do programa.

Antes, porém, é interessante esclarecer os dois únicos comandos que são utilizados neste programa. Quando se escreve:

S	Passo_00
---	----------

significa que o Passo_00 é ativado e o que houver de programa para ser executado em Passo_00, será executado uma única vez. Quando, porém, escreve-se:

R	Passo_00
---	----------

significa que o Passo_00 é desativado, ou seja, a execução de Passo_00 é interrompida.

Neste passo inicial, Passo_00, tem-se o reset de todas as variáveis de saída e transição de passo ou associadas a este. A ROTINA_00, que está sempre ativa, indica se o sistema está em funcionamento ou se apresenta algum problema. O ALARME_GERAL identifica os diversos erros que possam ocorrer durante o funcionamento do sistema. A rotina de decisão, ROT_DEC, é útil para habilitar a escolha de desligar ou recarregar o sistema quando for oportuno. A desativação do Passo_08 é referente ao seguinte: a metalizadora foi desativada com segurança e o programa retornou ao início. Portanto, deve-se desativar o Passo_08.

Depois de verificado e executado tudo, o programa aguarda o operador dar início ao processo. O início do processo se dá através da variável “start”: quando esta for “TRUE”, o processo inicia.

- Passo Step1. Figura 24.

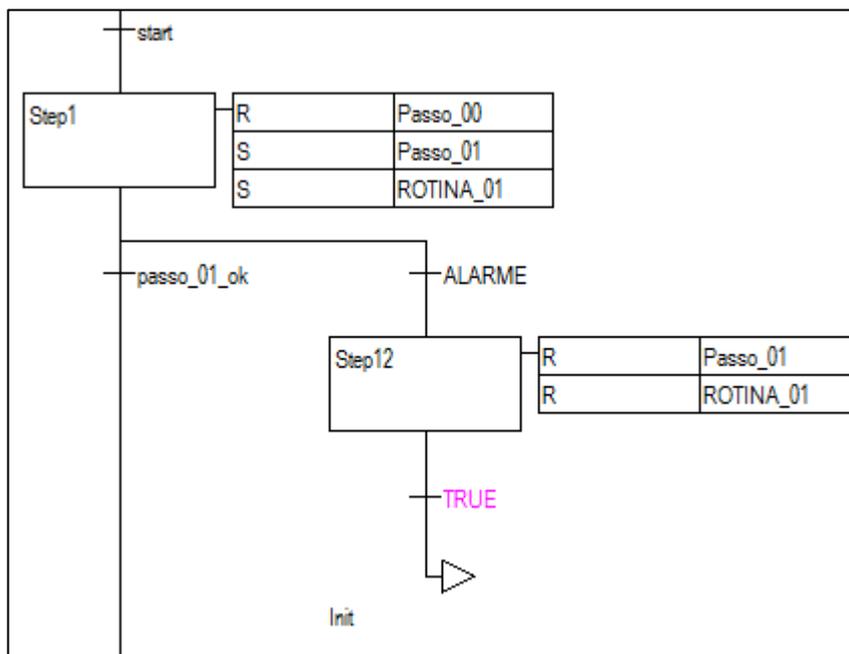


Figura 24: passo um do programa.

Iniciado o processo, desativa-se o passo anterior e ativa-se o passo atual. No Passo_01 ligam-se os medidores de médio vácuo e a bomba mecânica; ligada a bomba mecânica, compara-se a pressão lida do sensor desta bomba a um valor predefinido; havendo vácuo suficiente, passa-se para o próximo passo.

A ROTINA_01 verifica se as tensões lidas do medidor da bomba mecânica e do medidor da bomba difusora estão condizentes, ou seja, se aparentemente a placa amplificadora e o medidor não apresentam problemas. Outra verificação é o efetivo ligamento da bomba mecânica de vácuo. Como já foi mencionado, o sinal de realimentação provém do contator que aciona esta bomba.

Um detalhe importante é o passo “Step12”. Na realidade, caso o programa detecte algum problema referente a execução do passo Step1, o programa seguirá para o passo “Step12”. Note que a configuração adotada é do tipo “ou exclusivo”: ou o programa segue adiante para o passo “Step2” ou a execução é interrompida seguindo para o passo “Step12”, pois o alarme foi ativado. Este tipo de configuração é muito utilizado neste programa, pois permite que execução do programa pare em qualquer ponto do processo.

- Passo Step2: Figura 25.

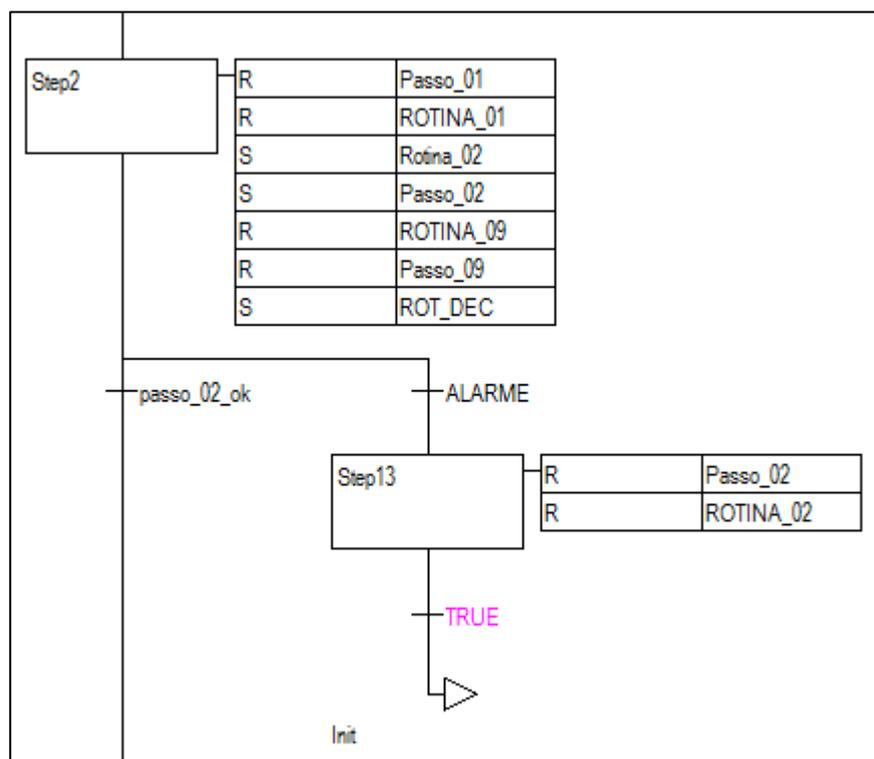


Figura 25: passo dois do programa.

Executado com sucesso o passo Step1 segue-se para o passo Step2. Neste passo basicamente muda-se a referência de medida do vácuo. Como já foi dito, o medidor do quadro do CLP pode medir somente um sensor por vez; portanto, se medidor estava com referência de medida na bomba mecânica, neste passo a referência passa a ser a campânula. Novamente, a ROTINA_02 averigua se a tensão lida está condizente. Caso haja algum problema, o alarme é ativado e o programa segue para o passo Step13.

Como se pode ver, desativa-se o Passo_09 e ROTINA_09: isto é necessário, pois o programa retorna a este ponto depois de executar o Passo_09: este passo executa os procedimentos de recarregamento do sistema. Também neste passo, a ROT_DEC é desativada; portanto, torna-se necessária sua ativação neste passo, Step2.

- Passo Step3: Figura 26.

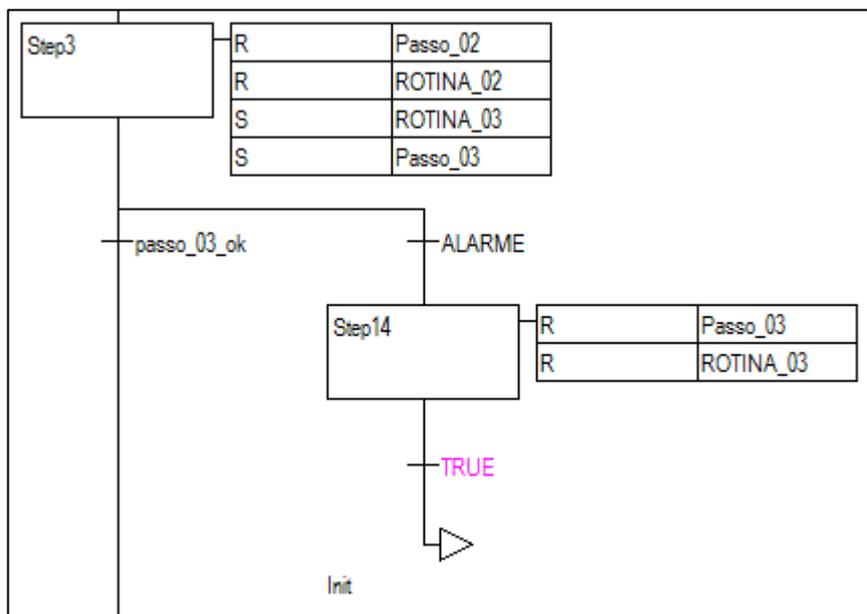


Figura 26: passo três do programa.

O Step3 realiza a abertura da válvula 1 e monitora a pressão da campânula via sensor de médio vácuo. Se a pressão chegar a um valor predefinido, prossegue-se para o próximo passo.

Neste caso, a ROTINA_03, averigua se válvula 1 abriu de fato após o comando de abertura e se o sistema atinge a pressão desejada num tempo determinado. Caso algumas dessas condições não sejam satisfeitas, o alarme é ativado e a execução do programa para.

- Passo Step4: Figura 27.

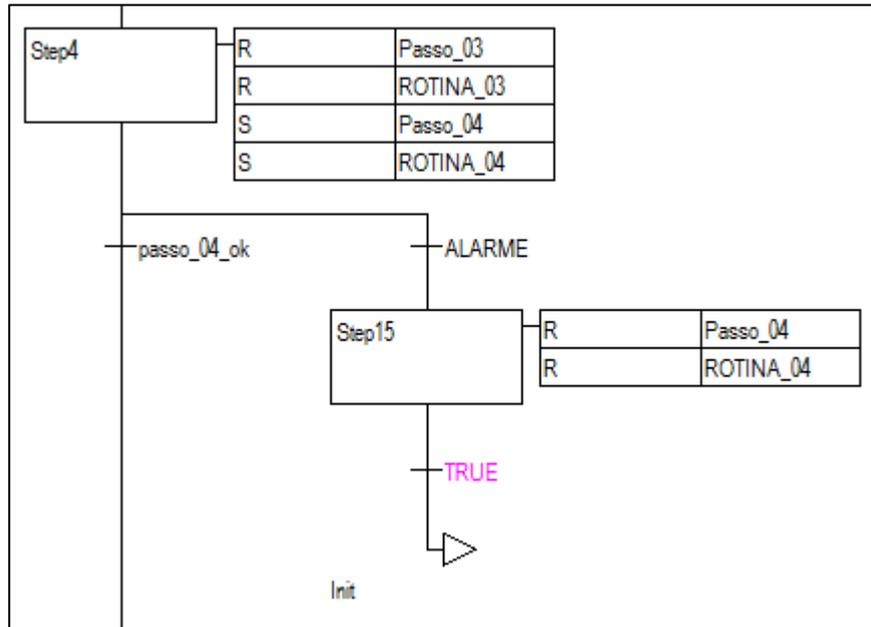


Figura 27: passo quatro do programa.

Com a campânula já pré-evacuada, passa-se agora a evacuar a bomba difusora. Para tanto, fecha-se a válvula 1, espera-se um tempo e abre-se a válvula 2. Quando a pressão medida na bomba difusora for menor que a pressão medida na campânula, então a execução deste passo está completa e segue-se para o próximo passo. O papel da ROTINA_04 é verificar se a válvula 2 abriu de fato após o comando de solicitação de abertura. Se esta válvula não abrir, o alarme é ativado e a execução do programa para.

- Passo Step5: Figura 28.

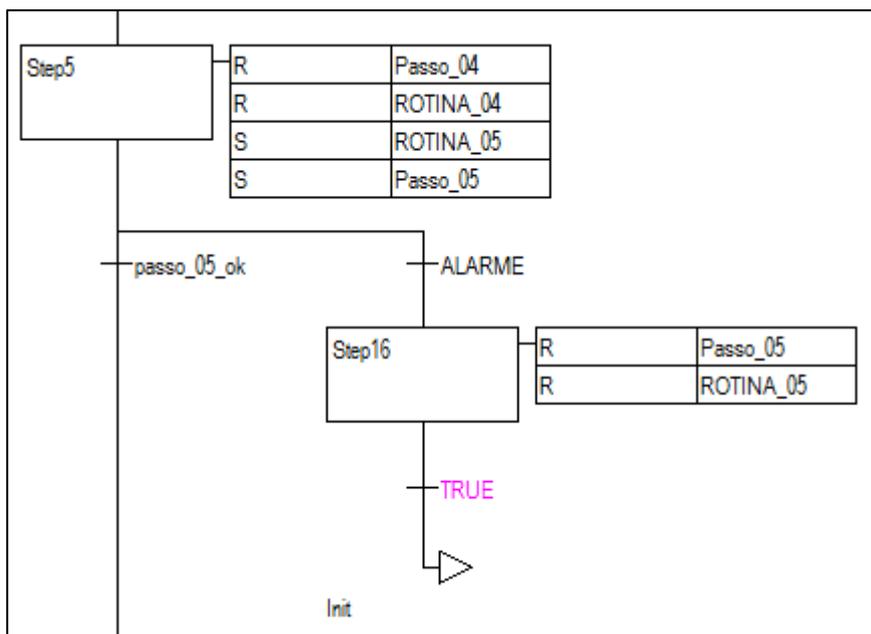


Figura 28: passo cinco do programa.

Com a pressão na bomba difusora menor que a pressão na campânula, abre-se a válvula 1. Dessa forma passa-se a evacuar todo o sistema. Quando a pressão medida pelo sensor da bomba difusora e campânula for menor que certo valor predefinido, então se passa para o próximo passo.

Havendo algum problema detectável pela ROTINA_05, o alarme é ativado e a execução do programa para. Neste caso o principal problema detectável é referente ao sistema não atingir a pressão desejada para se ligar a bomba difusora. Esta bomba é ligada no próximo passo.

- Passo Step6: Figura 29

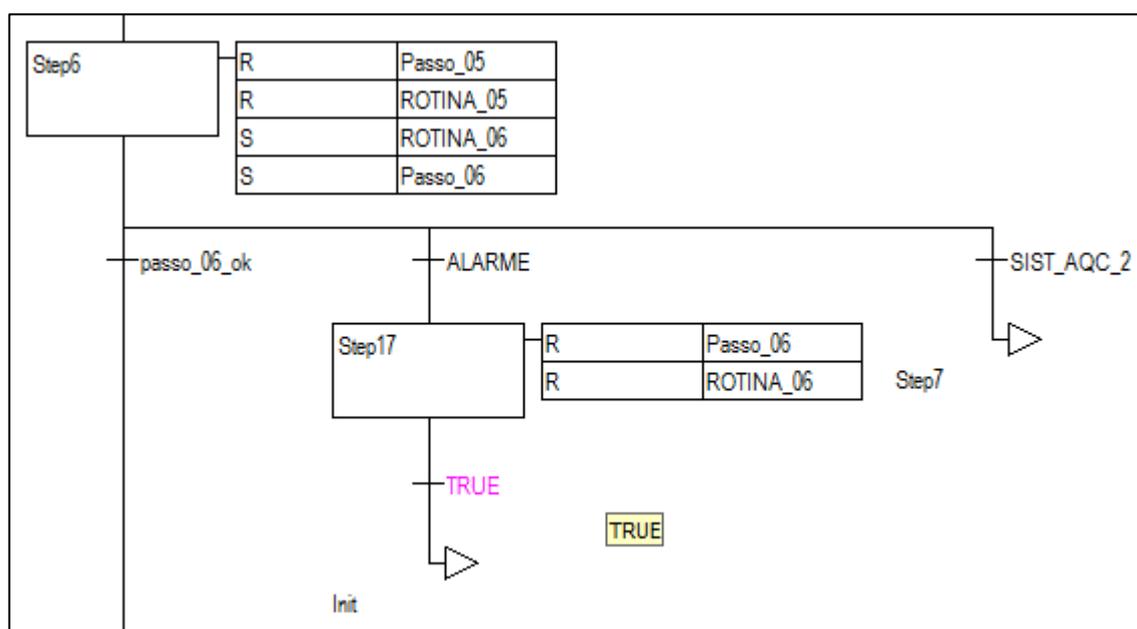


Figura 29: passo seis do programa.

Com o fim da execução do Passo_05, o sistema encontra-se num ponto de operação que é cabível para se ligar a bomba difusora. Disse “cabível”, pois esta bomba só opera em baixas pressões. E é justamente quando se liga a bomba difusora que se autoriza a execução do glow. Quando terminado de realizar o glow, o operador sinaliza para o CLP que o glow já foi realizado. Esta sinalização é feita por meio da interface gráfica do CLP.

Existe um tempo de espera para que esta bomba aqueça e esteja apta para fazer parte da execução do processo de alto vácuo. Entretanto, caso a bomba difusora já esteja aquecida, pode-se passar diretamente para o passo Step7 sem ter que esperar o tempo de aquecimento desta bomba. Através da variável “SIST_AQC_2” e de um comando do operador, dizendo que já realizou o glow, passa-se então ao próximo passo, Step7.

Novamente, quando algum problema é detectado, o alarme é ativado e a execução do programa para.

- Passo Step7: Figura 30.

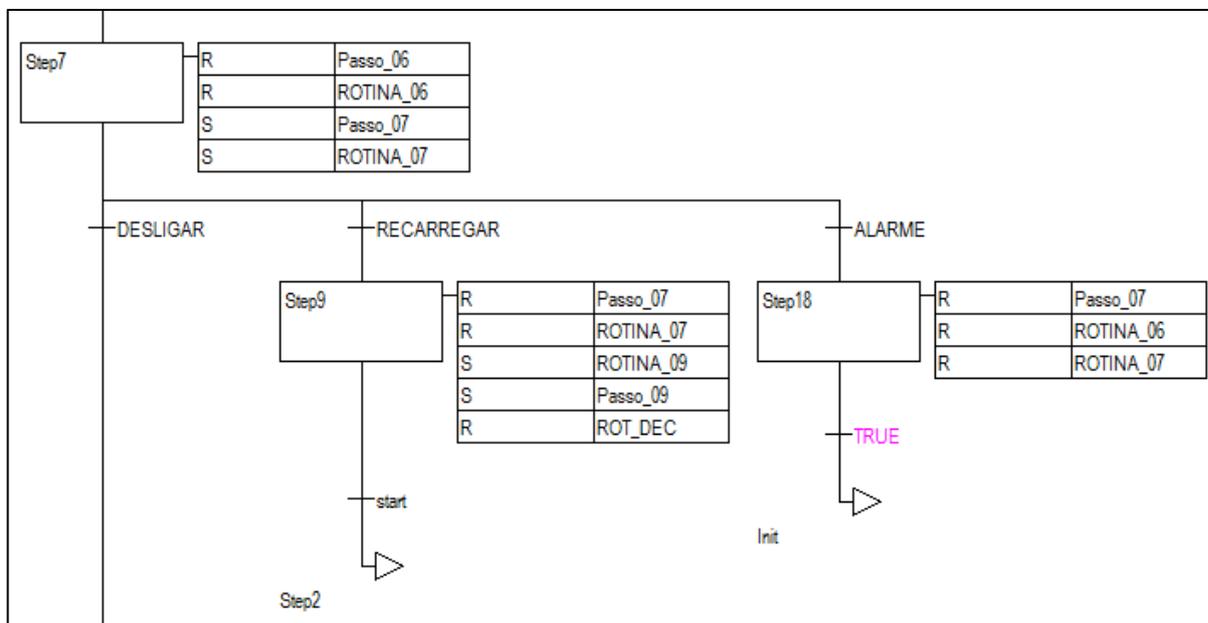


Figura 30: passo sete do programa.

O passo Step7 configura-se, basicamente, no processo de alto vácuo: fecha-se a válvula 1 e abre-se a válvula borboleta. Também se liga o medidor de alto vácuo para averiguação da pressão na campânula, pois, como já foi discutido anteriormente, não há possibilidade de usar o sensor de médio vácuo quando o processo em execução for o de alto vácuo. A ROTINA_07 verificará se o medidor de alto vácuo realmente está em operação e se a pressão medida na bomba difusora está numa faixa de segurança. Também é através desta rotina que o processo de metalização é autorizado quando a pressão indicada pelo medidor de alto vácuo alcançar certa faixa de pressão preestabelecida.

Após a execução do passo Step7 há duas possibilidades: ou desliga-se o sistema ou recarrega-se o sistema. O alarme é para o caso de erros que possam ocorrer durante a execução do passo Step7. O desligamento do sistema será abordado no próximo item.

O passo Step9, que é responsável pelo recarregamento, executa as seguintes ações: desliga-se o medidor de alto vácuo, muda-se a referência de mediação do sensor de médio vácuo passando da campânula para a bomba mecânica, fecha-se a válvula borboleta e espera-se um tempo. Passado este tempo, quebra-se o vácuo na campânula. Depois de recarregado, o operador deve iniciar o processo via CLP da mesma maneira que o fez anteriormente. Também neste no passo, Step9, tem-se uma rotina de verificação, a ROTINA_09, que consiste na constante leitura das pressões da bomba difusora e bomba

mecânica. E estas leituras das pressões devem estar numa faixa de segurança, senão é configurada uma situação anormal e o alarme é ativado.

- Passo Step8: Figura 31.

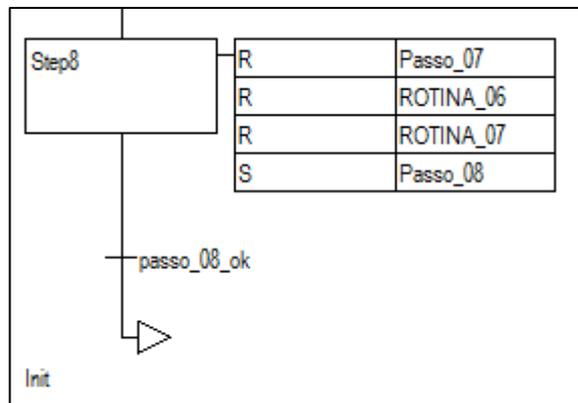


Figura 31: passo oito do programa.

Neste passo, desligam-se todos os medidores de vácuo, fecha-se a válvula borboleta e desliga-se a bomba difusora. Espera-se certo tempo até a bomba difusora esfriar e, aí sim, desliga-se a bomba mecânica, fecha-se a válvula 2 e cessa o fluxo de água usado para refrigeração da bomba difusora. Dessa forma, o programa retorna ao passo inicial, Init.

Apresentado o programa, ficará mais claro agora a compreensão de cada um dos 20 erros que possam ocorrer durante a execução do programa. Para facilitar a apresentação, mostrar-se-á todas as telas implementadas no CLP de modo que o usuário da metalizadora possa interagir com este equipamento. E em algumas destas telas estão indicados, entre outros itens, os erros ocorrido. Seguem as telas

- Tela inicial (MAIN): tela de saudação.

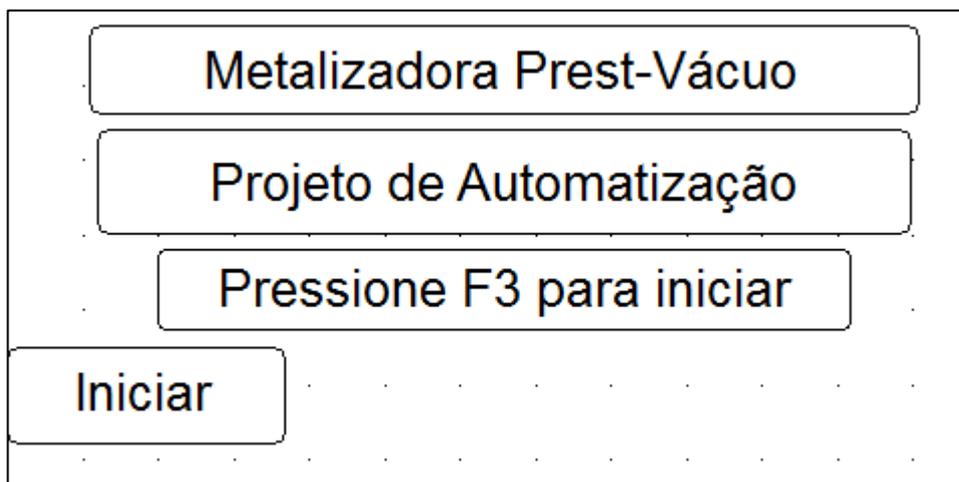


Figura 32: tela de saudação do programa.

Esta tela aparece somente quando se energiza o CLP. Tem a finalidade apenas de dar boas vindas ao usuário. E quando este usuário pressiona a tecla F3 do painel frontal do CLP, segue-se então para a tela principal do CLP, a “Tela Um”.

➤ Tela Um.

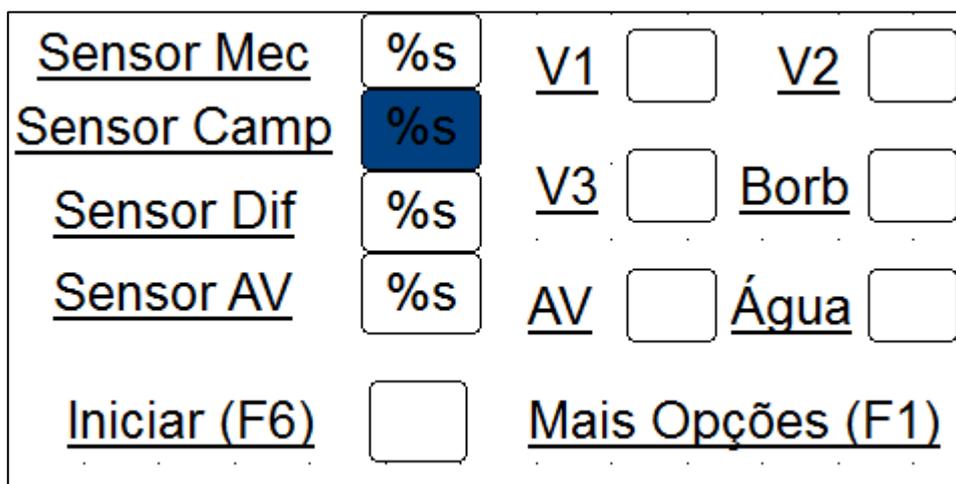


Figura 33: tela de visualização das variáveis.

Nesta tela tem-se a visualização das principais variáveis controladas pelo CLP. São estas:

- Sensor Mec: é o sinal analógico proveniente do medidor de médio vácuo com sensor na bomba mecânica; evidente que este sinal é amplificado e, após a amplificação, entra no CLP por AV1.
- Sensor Camp: sinal analógico proveniente do mesmo medidor do item anterior com a diferença que o sensor é outro e localiza-se na campânula. Da mesma forma o sinal é amplificado e entra no CLP por AV1. Note o ícone, onde aparece %s, está sombreado em azul escuro; isto indica que o medidor está tomando medida do sensor da bomba mecânica; conforme a execução do programa ocorre a mudança de local de medida.
- Sensor Dif: sinal analógico proveniente do medidor de médio vácuo com sensor na bomba difusora. Salienta-se que este medidor é distinto do anterior. O sinal, depois de amplificado, entra no CLP por AV0.
- Sensor AV: sinal analógico proveniente do medidor de alto vácuo. Este sinal, depois de amplificado, entra no CLP por AV2.
- Iniciar (F6): teclando F6 inicia-se o processo de vácuo no sistema.
- V1: indicação de estado da válvula 1: aberta ou fechada.
- V2: indicação de estado da válvula 2: aberta ou fechada.

- V3: indicação de estado da válvula 3: aberta ou fechada.
- Borb: indicação de estado da válvula borboleta: aberta ou fechada.
- AV: indicação de estado do medidor de alto vácuo: ligado ou desligado.
- Água: indicação de estado da refrigeração da bomba difusora: ligada ou desligada.
- Mais Opções (F1): ao pressionar a tecla F1 seguir-se-á para a tela quatro.

As próximas três telas mostrarão os erros que podem ocorrer durante a execução do programa. Estes erros não são relacionados ao software que fora implementado no CLP, mas ao sistema quando este não responde adequadamente a um comando.

Estas telas estão são acessíveis a partir da tela dois.

➤ Tela Dois.

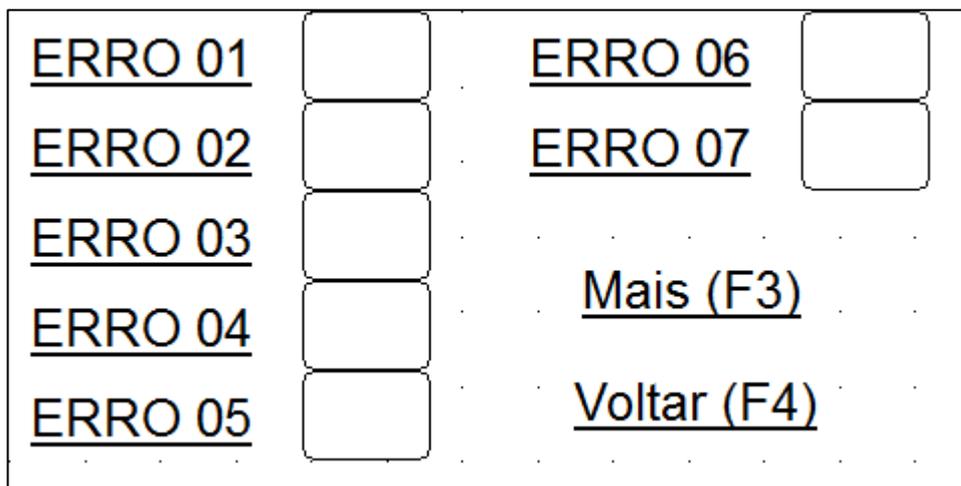


Figura 34: tela de erros: do erro 1 ao erro 7.

- ERRO 01: problema ao ligar os medidores de médio vácuo; a tensão lida não estava condizente com um valor preestabelecido. Os sensores em questão são da bomba mecânica e bomba difusora. Salienta-se que o problema pode ser no nos medidores, sensores ou na placa amplificadora.
- ERRO 02: problema ou com o medidor ou com o sensor da campânula ou com a placa amplificadora.
- ERRO 03: bomba mecânica não ligou após comando.
- ERRO 04: válvula 1 não abriu após comando.
- ERRO 05: válvula 2 não abriu após comando.
- ERRO 06: vazamento na campânula durante processo de pré-vácuo.
- ERRO 07: vazamento na bomba difusora durante processo de pré-vácuo.

Para ver mais erros, pressione a tecla F3; senão, volte à tela 4 pressionando F4.

➤ Tela Três.

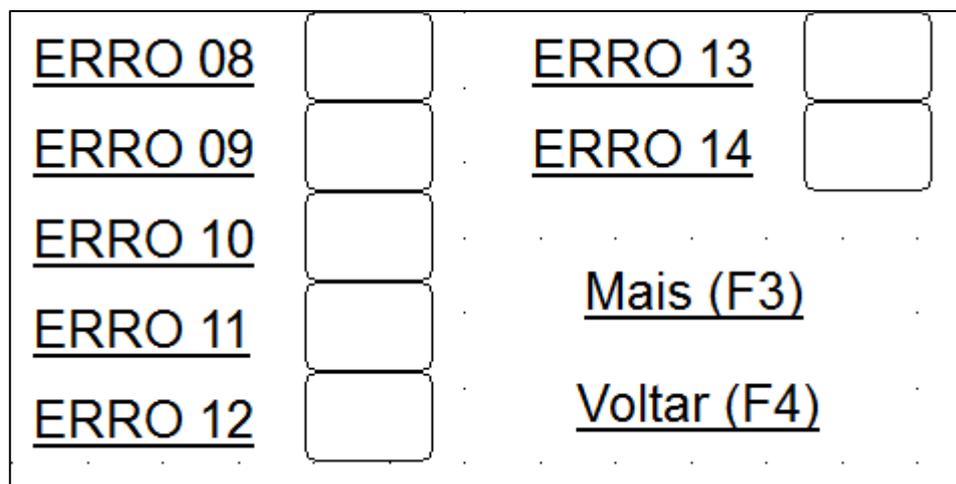


Figura 35: tela de erros: do erro 8 ao erro 14.

- ERRO 08: vazamento na bomba mecânica.
- ERRO 09: vazamento em alguma parte do sistema; nesta situação está se fazendo vácuo em todo o sistema e, onde quer que seja, o vazamento, os sensores perceberão isto. Entretanto, como dito, não se sabe onde possa ser este vazamento.
- ERRO 10: sinal analógico lido pelas entradas AV0 e AV1 estão incoerentes com a situação de pré-vácuo no sistema
- ERRO 11: sinal analógico lido pelas entradas AV0 e AV1 estão incoerentes, um deles ou ambos, com a situação de aquecimento da bomba difusora.
- ERRO 12: sinal analógico lido pela entrada AV0 não está na faixa de operação quando o processo de alto vácuo é iniciado.
- ERRO 13: sinal analógico lido pela entrada AV0 não está na faixa de operação quando o processo de recarregamento é realizado.
- ERRO 14: medidor de alto vácuo não ligou.

Para ver mais erros, pressione a tecla F3; senão, volte à tela três pressionando F4.

➤ Tela Oito.

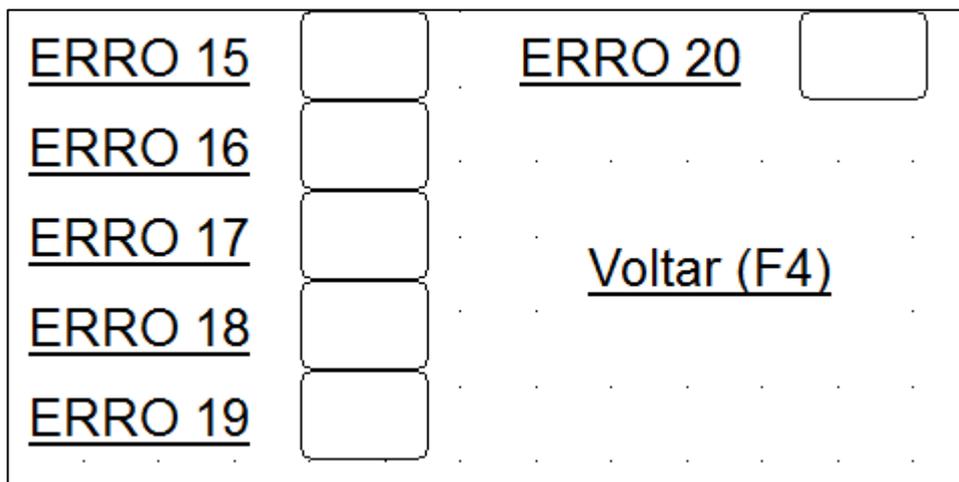


Figura 36: tela de erros: do erro 15 ao erro 20.

- ERRO 15: sinal analógico lido pela entrada AV2 e não está na faixa de operação quando se ligou o medidor de alto vácuo.
- ERRO 16: sinal analógico lido pela entrada AV2 acusa que o sistema não chegou ao vácuo necessário para se realizar a metalização.
- ERRO 17: bomba difusora não ligou.
- ERRO 18: erro durante o processo de recarregamento; pode ser causado pelo não fechamento da válvula borboleta, não desligamento do medidor de alto vácuo entre outros itens.
- ERRO 19: placa amplificadora está desligada; possivelmente o fusível de proteção queimou.
- ERRO 20: ocorrência de WATCHDOG: refere-se a algum erro de hardware que possa ter ocorrido no CLP.

Pressionando a tecla F4 retorna-se à tela três.

- Tela Quatro.

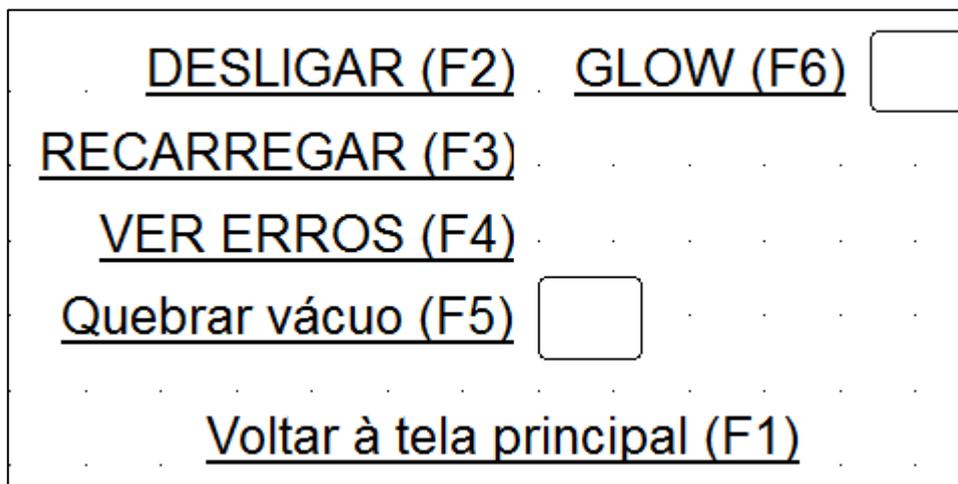


Figura 37: tela auxiliar de opções.

As opções desta tela são explicadas a seguir.

- DESLIGAR (F2): prossegue para a tela cinco; refere-se ao desligamento do sistema com segurança.
- RECARREGAR (F3): prossegue para a tela seis; refere-se ao processo de recarregamento do sistema.
- VER ERROS (F4): prossegue para a tela inicial de apresentação dos erros, que é a tela dois.
- Quebrar Vácuo (F5): pode-se quebrar o vácuo manualmente; entretanto o programa habilita que isto seja feito somente nos passos Init e Step8.
- GLOW (F6): quando o programa habilitar o glow, haverá a indicação com o preenchimento do retângulo; pressionando-se a tecla F6, segue-se para a tela sete.
- Voltar à tela principal (F1):

Caso deseje-se voltar à tela principal (tela dois) basta pressionar F1.

➤ Tela Cinco.

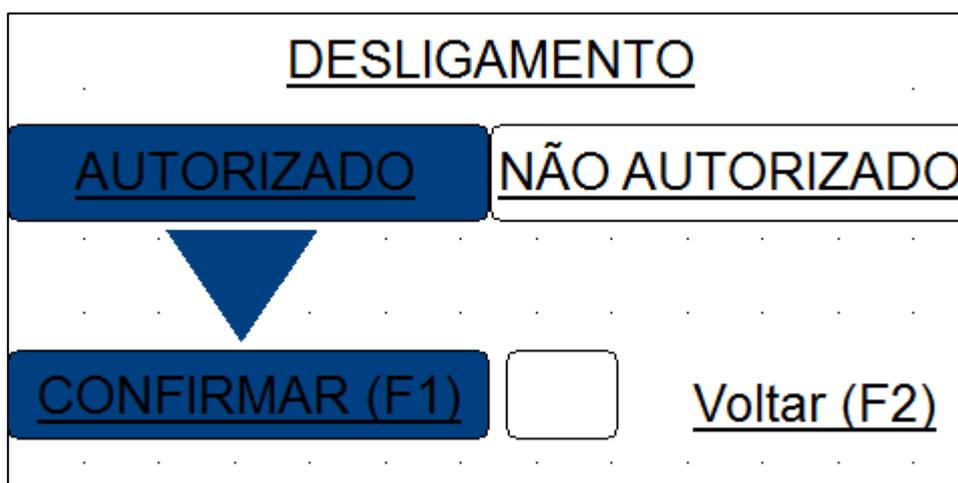


Figura 38: tela utilizada para realizar o desligamento do sistema.

Como se pode ver, o desligamento do sistema está não autorizado. Quando o programa chega ao passo Step7, o desligamento é autorizado. Para efetuar o desligamento então, deve-se pressionar a tecla F1 para confirmar. Definiu-se assim para simplificar o programa como um todo.

Para voltar à tela quatro basta pressionar a tecla F2.

➤ Tela Seis.

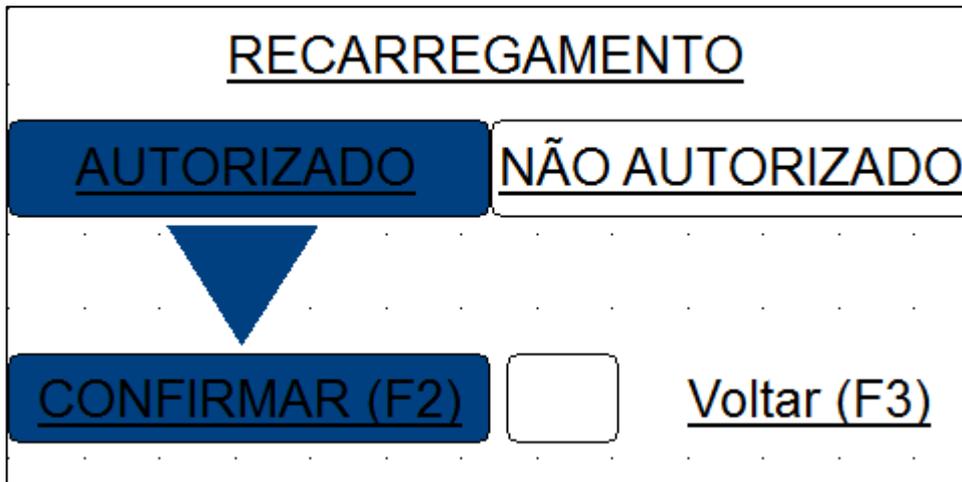


Figura 39: tela utilizada para realizar o recarregamento do sistema.

Novamente, somente no passo Step7 torna-se possível o recarregamento do sistema. Quando autorizado o recarregamento deve-se pressionar a tecla F2.

Para voltar à tela quatro basta pressionar a tecla F3.

➤ Tela Sete

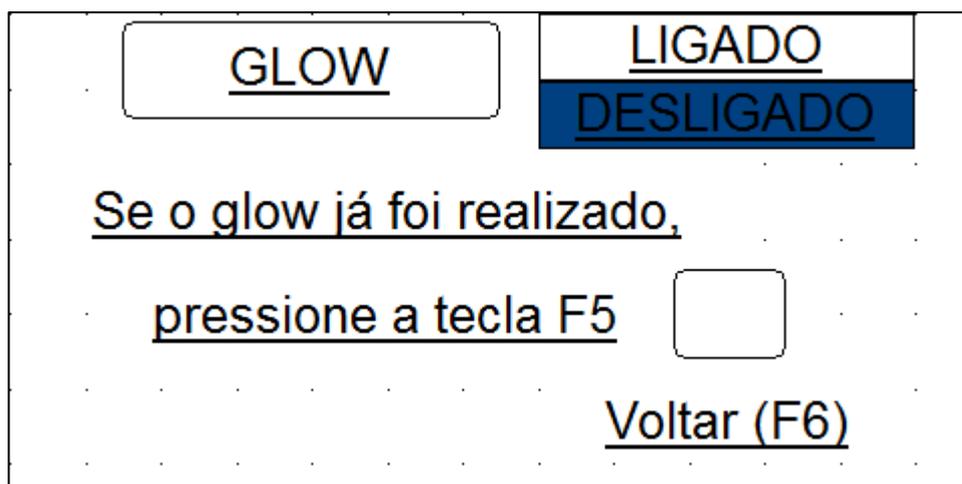


Figura 40: tela de operação do glow.

Nesta tela, Figura 40, tem-se a indicação de que o glow está ligado ou desligado. Também há a indicação que deve ser feita pelo operador quando este já realizou o glow.

Dessa maneira o programa prosseguirá para o processo de alto vácuo. Isto é necessário, pois se verificou experimentalmente que o glow não opera durante o processo de alto vácuo.

Para retornar à tela quatro, basta pressionar F6.

Encerra-se, portanto, a apresentação resumida do programa fonte do CLP. Para melhor esclarecimento, como já foi dito, basta consultar o programa fonte na íntegra. Este se encontra no anexo um deste trabalho.

5 Construção do painel elétrico entre outros itens

Este capítulo tratará dos principais componentes que foram construídos para que a automatização da metalizadora a vácuo concretizasse. Para melhor compreensão apresentar-se-á os seguintes itens separadamente:

- 1 Painel elétrico principal.
- 2 Sistema elevador para campânula.
- 3 Painel de fusíveis.

5.1 Painel elétrico principal

Este painel elétrico é o principal componente do sistema, pois neste painel encontra-se o CLP. A Figura 41 mostra uma foto deste painel já instalado na metalizadora.



Figura 41: painel elétrico principal.

Os componentes externos que estão fixados na tampa do quadro de comando são:

- ✓ CLP da Altus, série DUO 351.
- ✓ Três lâmpadas de 24Vdc, localizadas à esquerda do CLP.

- ✓ Medidor de médio vácuo, já apresentado anteriormente.
- ✓ Medidor de alto vácuo, já apresentado anteriormente.
- ✓ Abaixo do medidor de médio vácuo: uma led que sinaliza se o medidor está ligado ou desligado; um porta-fusível de painel: o fusível contido no porta-fusível serve de proteção para a placa amplificadora.

Antes de prosseguir, será apresentado o CLP em questão de características técnicas e a função das três lâmpadas.

➤ CLP Altus Série DUO 351

A Figura 42 mostra o CLP em questão.



Figura 42: foto ilustrativa do CLP [7].

A seguir, têm-se as principais características técnicas do CLP. Estas características foram encontradas no site da empresa, [7], que fabrica este CLP.

- Programador MasterTool IEC com as 5 linguagens da norma IEC 61131-3.
- 20 entradas digitais, sendo 6 pontos rápidos configuráveis para 2 contadores bidirecionais ou 4 contadores unidirecionais.
- 14 saídas digitais (Relé para o Duo 351 ou Transistor para o Duo 350).
- 2 saídas digitais a transistor configuráveis como 2 pontos de saídas rápidas – PTO, PWM/VFO.
- 4 entradas analógicas – configuráveis para 0 a 10v, 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA.
- 2 saídas analógicas – configuráveis para 0 a 10v ou 0 a 20 mA.
- Visor gráfico 128 x 64 – Configurável pelo programador MasterTool IEC.

- Teclado membrana com 25 teclas.
 - Relógio de Tempo Real.
 - 1 porta serial RS-232 para programação e protocolo MODBUS mestre e escravo.
 - 1 porta serial RS-485 protocolo MODBUS mestre e escravo.
 - Fonte 24Vdc isolada.
 - Retentividade em memória não volátil com capacidade de até 510 bytes
- Função das lâmpadas

As lâmpadas possuem as seguintes funções:

- Lâmpada verde: quando acesa sinaliza ao operador que o sistema, como um todo, está em funcionamento; não que esteja em processo de vácuo ou algo similar, mas que está habilitado a realizar as tarefas para as quais foi designado fazer.
- Lâmpada azul escuro: quando acesa sinaliza ao operador que o processo de metalização em si está autorizado.
- Lâmpada Vermelha: sinaliza ao operador que o sistema não está em funcionamento nem habilitado a funcionar. Isto pode ser causado por dois motivos. O primeiro motivo é o tempo de espera para estabilização da placa amplificadora depois de energizado o sistema. Esta estabilização refere-se tempo necessário para que a tensão de offset na entrada do CI INA101HP se anule. Isto pode ser verificado em no datasheet deste componente. Passado o tempo de espera, automaticamente comuta-se da luz vermelha para a luz verde. O segundo motivo para luz vermelha acender é a ocorrência de algum problema detectado pelo CLP. Neste caso, tanto faz o sistema estar em funcionamento ou em estado de espera: ocorreu algum problema, a luz vermelha acende.

Prosseguindo, serão apresentadas as principais conexões internas a este quadro de comando. O Objetivo é ter uma noção de como os dispositivos estão conectados. Para uma visão mais detalhada, consulte o anexo três deste trabalho.

5.1.1 Função das entradas digitais do CLP

A Tabela 24 mostra a função de cada entrada digital do CLP do grupo de isolamento zero. Este grupo suporta até 30Vdc de DDP entre uma entrada qualquer e o comum de ligação a estas entradas.

Tabela 24: função das entradas do CLP.

Entrada	Função
I03	Sinal de realimentação proveniente da chave de fim de curso da válvula 1
I04	Sinal de realimentação proveniente da chave de fim de curso da válvula 2
I05	Sinal de realimentação proveniente do contator da bomba mecânica
I06	Sinal de realimentação proveniente do contator da bomba difusora
I07	Sinal de realimentação proveniente da alimentação da placa amplificadora
I08	Sinal de realimentação proveniente do relé que liga o transformador do glow

As entradas de I03 a I06 são facilmente compreendidas alisando-se os diagramas elétricos do anexo três. Entretanto, não é compreendido o porquê dos resistores para as entradas I07 e I08. Analisemos, primeiramente, I07. O circuito envolvido neste sinal de realimentação é mostrado na Figura 43.

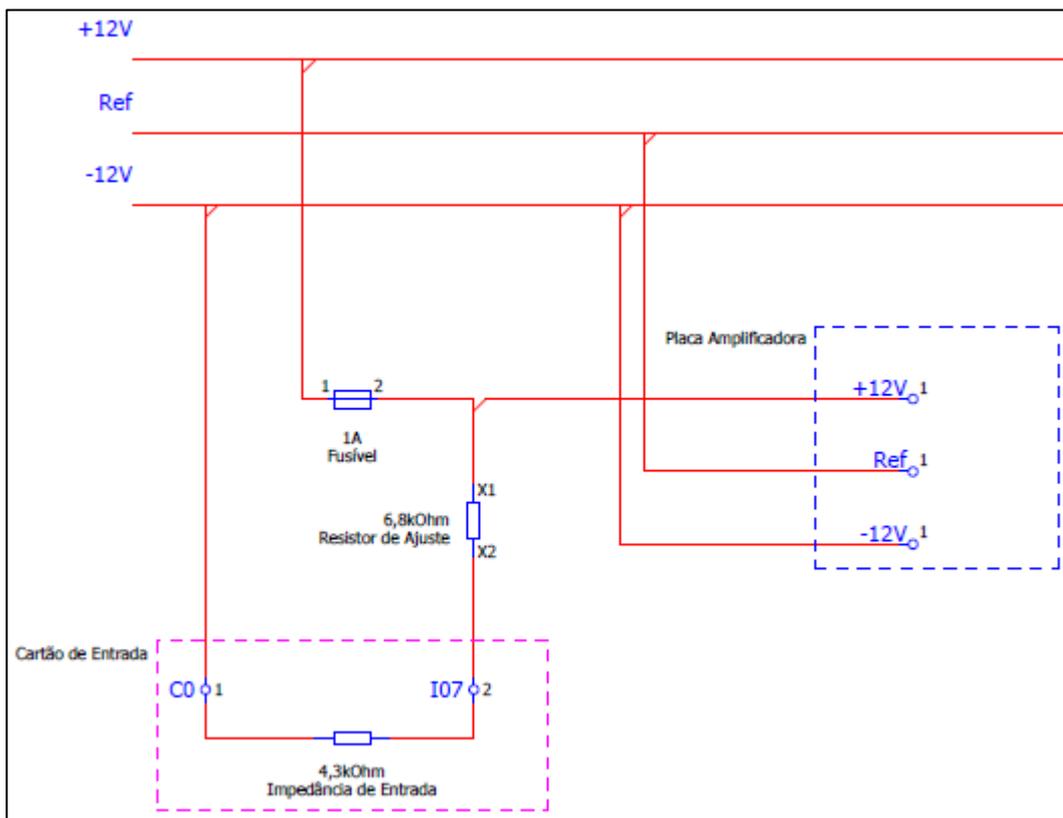


Figura 43: circuito simplificado envolvendo a entrada I07.

Pelo manual técnico do CLP, a impedância de entrada, para qualquer entrada comum, é de 4,3kΩ. Ainda: é identificado como nível lógico zero tensões abaixo de 5Vdc entre uma entrada e o comum de ligação (C0) destas entradas; e é identificado como nível lógico um tensões acima de 11Vdc entre uma entrada e o comum de ligação (C0) destas entradas.

Fez-se o seguinte experimento: mediu-se a diferença de potencial (DDP), com um multímetro, entre os pontos X1 e C0, e X2 e C0, com o fusível intacto e no seu devido lugar. A Tabela 25 mostra os resultados obtidos.

Tabela 25: tensões para fusível intacto.

DDP entre X1 e C0 (volts)	DDP entre X2 C0 (volts)
24,0	11,4

Num cálculo teórico:

$$V_{X2-C0} = \frac{4,3k\Omega}{4,3k\Omega + 6,8k\Omega} * 24,0Vdc \therefore$$

$$V_{X2-C0} \approx 9,3 \text{ volts}$$

Equação 4: tensão teórica entre X2 e C0 para fusível intacto.

A diferença pode residir na inexatidão da impedância de entrada do CLP. Todavia, é válida a tensão de entrada entre I07 e C0, ou seja, 11,4 volts.

O segundo experimento consistiu na retirada do fusível do porta-fusível. Nesta configuração é como se o fusível estivesse queimado. A Tabela 26 mostra os resultados obtidos.

Tabela 26: tensões para fusível queimado.

DDP entre X1 e C0 (volts)	DDP entre X2 e C0 (volts)
11,1	5,7

Teoricamente:

$$V_{X2-C0} = \frac{4,3k\Omega}{4,3k\Omega + 6,8k\Omega} 11,1V_{dc} \therefore$$

$$V_{X2-C0} = 4,3 \text{ volts}$$

Equação 5: tensão teórica entre X2 e C0 para fusível queimado.

Verificou-se experimentalmente que o CLP detectou como nível lógico um a situação do primeiro experimento, ou seja, com o fusível intacto; e o CLP detectou como nível lógico zero a situação do segundo experimento, ou seja, com o fusível queimado. Embora não seja consistente o suficiente este artifício para identificar quando a placa amplificadora está desligada, é particularmente interessante, pois o objetivo deste artifício é apenas para identificação de que a placa está, de fato, energizada. Quando a placa não é devidamente alimentada, os amplificadores simplesmente não funcionam e a tensão lida pelo CLP é superior a 10,2V, para todas as entradas analógicas. E o limite estabelecido para as rotinas de segurança é 10,2V para as tensões lidas da placa amplificadora. Isto quer dizer que estas rotinas de segurança, que verificam se as medidas provenientes da placa estão na faixa de segurança, detectam esta anormalidade e ativam o alarme. Note: o interesse é saber se a placa está, de fato, alimentada. Não estando alimentada, ou o programa não inicia a execução ou a execução do programa é interrompida, não necessariamente pela entrada I07 ativando o alarme, mas pela anormalidade detectada pelas rotinas de segurança.

Para o caso da entrada I08, a situação é mais simples. A Figura 44 mostra os circuitos envolvidos para este caso.

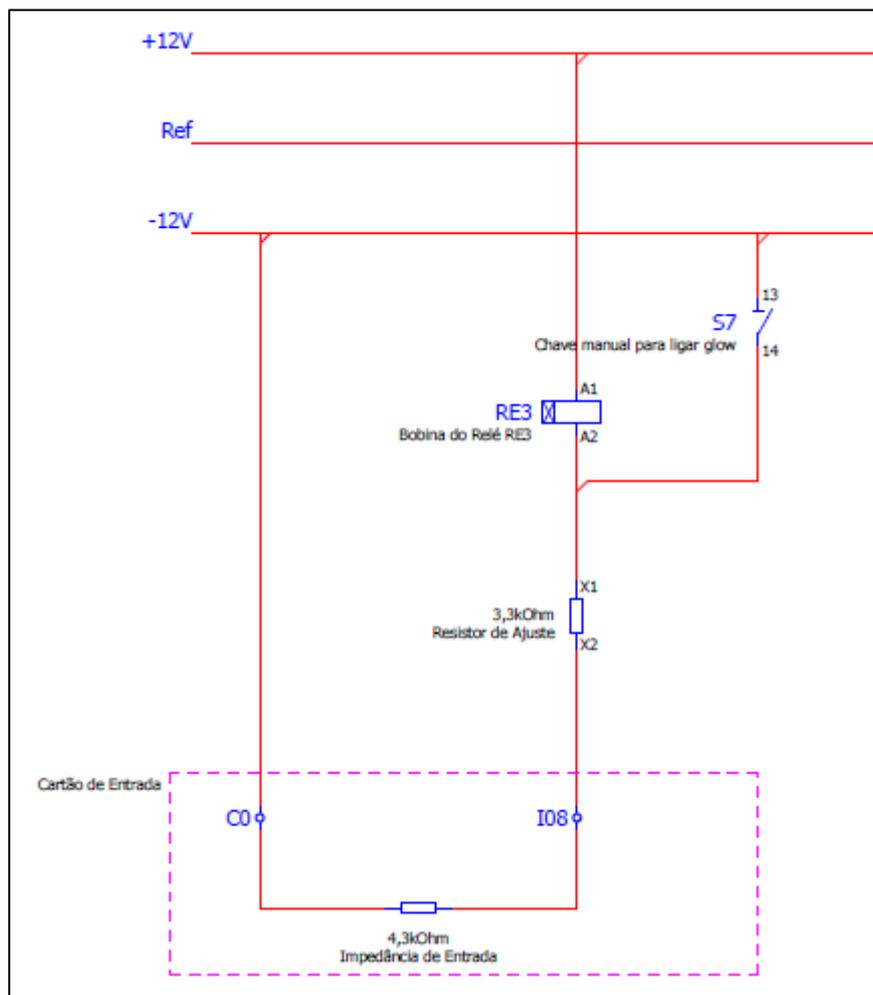


Figura 44: circuito simplificado envolvendo a entrada I08.

Numa primeiro ensaio mediu-se a DDP entre os pontos X1 e C0, e X2 e C0, para a chave S7 aberta. A Tabela 27 mostra os dados obtidos através da medida.

Tabela 27: tensão para saída Q04 aberta.

DDP entre X1 e C0 (volts)	DDP entre X2 e C0 (volts)
20,8	13,4

A tensão teórica entre X2 e C0 seria:

$$V_{X2-C0} = \frac{4,3k\Omega}{4,3k\Omega + 3,3k\Omega} 20,8V_{dc} \therefore$$

$$V_{X2-C0} \approx 11,8 \text{ volts}$$

Equação 6: tensão teórica entre X2 e C0 para a chave S7 aberta.

Embora haja diferenças, pode-se dizer que calculo teórico e medida prática estão condizentes. Relembrando: é a tensão de entrada medida entre I08 e C0 que vale, ou seja, 13,4 volts.

O outro ensaio seria com a chave fechada. Evidente que a DDP entre os pontos X1 e C0, e X2 e C0, seriam nulas. Este tipo de verificação é importante, pois o glow é ativado pelo CLP e por uma chave manual, ambos operando em paralelo. Assim, o programa do CLP, por exemplo, não prossegue para o processo de alto vácuo se glow estiver ligado. Entretanto, para maior segurança, uma saída do CLP, Q05, habilita o funcionamento da chave manual somente no passo que antecede o processo de alto vácuo. Dessa maneira o operador, de todas, é obrigado a desligar a chave manual para o programa seguir para o processo de alto vácuo. Ainda: fora do passo que antecede o processo de alto vácuo a chave manual do glow estará desabilitada pela saída Q05 do CLP.

Para maiores esclarecimentos no que tange a diagramas elétricos, pneumáticos e outros itens, consulte o anexo três deste trabalho.

5.1.2 Função das saídas digitais a rele

A Tabela 28 mostra a função de cada saída digital do grupo de isolamento zero. A Tabela 29, por sua vez, mostrará a função de cada saída digital do grupo de isolamento 1.

Tabela 28: função das saídas do CLP do grupo de isolamento zero.

Saída	Função
Q02	Liga/Desliga a solenoide de água
Q03	Liga/Desliga rele que realiza a comutação dos sensores de vácuo
Q04	Liga/Desliga o relé que liga/desliga o transformador utilizado para realizar o Glow
Q05	Habilita/Desabilita a chave manual que liga o glow
Q06	Liga/Desliga luz de sinalização da cor azul.
Q07	Liga/Desliga o rele que comuta as luzes de sinalização das cores verde e vermelha

Não se usou as saídas Q00 e Q01, pois a alimentação deste cartão é do tipo “sink”, ou seja, 0Vdc no ponto comum, C6.

Tabela 29: função das saídas do CLP do grupo de isolamento um.

Saída	Função
Q10	Abre/Fecha a válvula pneumática 1 indiretamente
Q11	Abre/Fecha a válvula pneumática 2 indiretamente
Q12	Abre/Fecha a válvula 3
Q13	Abre/Fecha a válvula borboleta indiretamente
Q14	Liga/Desliga o contator da bomba mecânica
Q15	Liga/Desliga o contator da bomba difusora
Q16	Liga/Desliga transformador 220V/127V utilizado para alimentar o medidor de alto vácuo
Q17	Liga/Desliga os dois medidores de médio vácuo

O fato das saídas Q10, Q11 e Q13 abrirem as válvulas indiretamente reside no seguinte fato: uma válvula elétrica, acionada diretamente por alguma dessas saídas, libera ar, ou para as válvulas pneumáticas 1 e 2 ou para o motor pneumático. Sendo assim, liberando ar para as válvulas pneumáticas ou para o motor pneumático, faz com que estas válvulas pneumáticas ou o motor pneumático sejam acionados. Neste caso é o motor pneumático que abre/fecha a válvula borboleta.

Para maiores esclarecimentos no que tange a diagramas elétricos, pneumáticos e outros itens, consulte o anexo três deste trabalho.

5.2 Sistema elevador da campânula

Foi construído um elevador para a campânula de modo a facilitar o operação do sistema. A Figura 45 mostra uma foto deste sistema.



Figura 45: sistema elevador da campânula.

Este sistema é composto basicamente dos seguintes itens

- Duas abraçadeiras para fixação da campânula;
- Um carro que possui as duas abraçadeiras fixas a si;
- Um trilho posto na posição vertical para que o carro possa correr por este;
- Um contrapeso utilizado para anular o peso da campânula;
- Um cabo de aço para ligar o contrapeso ao carro;
- Sistema de roldanas para guiar o cabo de aço.

Este sistema foi construído junto a oficina do departamento. Embora seja funcional, não houve projeto para a idealização deste sistema elevador. Apenas algumas ideias do que se pretendia e muito trabalho para a construção deste sistema.

5.3 Painel de fusíveis e algumas chaves

A Figura 46 mostrará o painel de fusíveis utilizados para proteção dos elementos que o CLP aciona. Para maior esclarecimento de quais são estes elementos, consulte o anexo três deste trabalho.

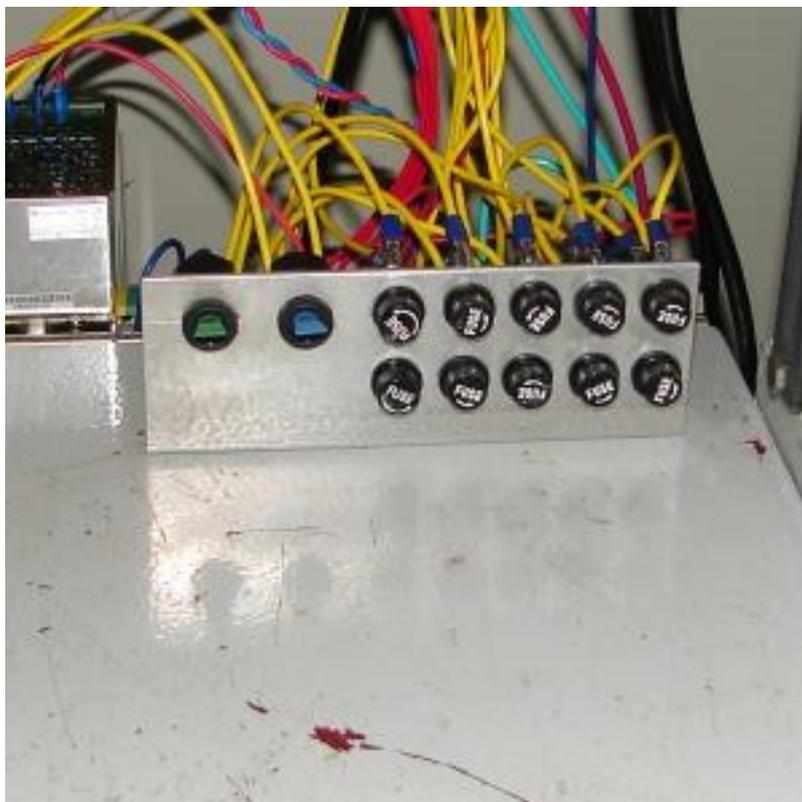


Figura 46: painel de fusíveis do sistema.

A chave de cor azul é utilizada para ativar o glow; com já foi mencionado, esta chave e a saída Q04 operam em paralelo. A chave de cor verde é para a quebra de vácuo na campânula sem ter que energizar o quadro de comando do CLP. Mas para isto é necessário que se conecte um fio a um conector desta chave. Este fio encontra-se atrás deste pequeno painel de fusíveis. Está enrolado e com fita isolante enrolada na extremidade deste fio. Procedeu-se assim, pois, esta quebra de vácuo deve ser feita quando não há possibilidades de se ligar o CLP, ou seja, precisa-se retirar a campânula do seu devido lugar sem utilizar o CLP.

5.4 Placa amplificadora

Um dos elementos mais importantes do painel elétrico, pois serve de interface entre o CLP e os medidores de vácuo. Para que se possam visualizar os esquemáticos de amplificadores, consulte o anexo dois deste trabalho.

A Figura 47 mostra uma foto do primeiro estágio de amplificação do sinal dos medidores. Esta primeiro estágio refere-se aos amplificadores INA101HP. A Figura 48, por sua vez, mostrará o segundo estágio de amplificação e correção de offset.



Figura 47: primeiro estágio de amplificação.

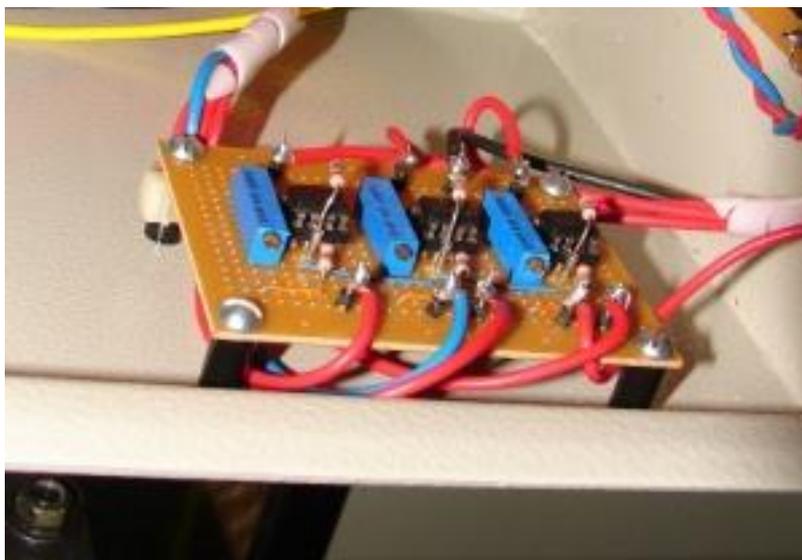


Figura 48: segundo estágio amplificador e correção de offset.

Como foi comentado anteriormente, havia a necessidade de calibração dos sensores de médio vácuo com referência num único sensor. Para isto tomou-se o seguinte procedimento: fez-se vácuo em todo sistema somente com a bomba mecânica até que o sensor da campânula indicasse a pressão de 10^{-2} mbar. Após isto, desligou-se a bomba mecânica e esperou-se que a pressão do sistema subisse lentamente. Isto foi possível, pois, embora a bomba mecânica tenha válvula de retenção, esta válvula ainda assim deixa passar ar. Logo, quando a bomba mecânica está desligada, esta funciona como um

pequeno vazamento. A Tabela 30 mostra os dados colhidos para todos os medidores de médio vácuo com a referência de medida tomada no sensor da campânula. Na Tabela 31 encontra-se a leitura feita pelo CLP da placa amplificadora.

Tabela 30: parametrização dos sensores de médio vácuo.

Pressão de referência (10⁻³bar): campânula	Vin (mV): sensor da campânula	Vin (mV): sensor da bomba mecânica	Vin (mV):sensor da bomba Difusora
10⁻²	1,7	2,7	1,3
2x10⁻²	2,4	3,6	2,0
4x10⁻²	2,8	4,0	2,50
6x10⁻²	3,6	4,5	3,1
8x10⁻²	3,8	5,2	3,7
10⁻¹	4,5	6,1	4,5
2x10⁻¹	6,3	8,1	6,6
4x10⁻¹	10,0	12,6	10,6
6x10⁻¹	13,0	15,3	13,4
10⁰	16,0	17,4	15,9
2x10⁰	18,4	19,3	17,8
4x10⁰	20,2	20,6	19,4
6x10⁰	21,3	21,3	20,3
10¹	22,0	21,9	20,9
10²	22,5	22,2	21,4
10³	23,2	22,8	22,0

Tabela 31: tensão lida pelo CLP conforme a pressão de referência.

Pressão (10^{-3} bar) de referência: campânula	10xVout (V): sensor da campânula	10xVout (V): sensor da bomba mecânica	10xVout (V): sensor da bomba difusora
10^{-2}	96	92	97
2×10^{-2}	94	89	93
4×10^{-2}	92	87	91
6×10^{-2}	90	85	89
8×10^{-2}	88	82	87
10^{-1}	85	79	83
2×10^{-1}	78	70	74
4×10^{-1}	63	52	58
6×10^{-1}	50	41	46
10^0	38	32	36
2×10^0	28	24	28
4×10^0	21	19	22
6×10^0	16	16	18
10^1	15	15	16
10^2	14	14	15
10^3	14	14	14

A notação “Vin”, da Tabela 30, significa a tensão analógica proveniente do medidor de médio vácuo e que entra na placa amplificadora. Entre parêntese está indicado o sensor a que este medidor está conectado. A notação “10xVout”, da Tabela 31, significa a tensão lida pelo CLP. O detalhe é que o fundo de escala de leitura das tensões analógicas é 100. Sendo assim, a tensão real é multiplicada por 10, pois a faixa de leitura do CLP é de 0 a 10 volts.

Nota-se, da Tabela 30, que os sensores da campânula e da bomba difusora estão próximos quanto as suas medidas; o que mais difere destes dois sensores é o sensor de médio vácuo da bomba mecânica. Como já mencionado, a Tabela 30 servirá para calibração dos sensores de médio vácuo. Estas informações foram utilizadas no programa fonte do CLP.

A Tabela 31 lista as tensões lida pelo CLP conforme a pressão de referência. Salienta-se que o ensaio realizado é um só: ao mesmo tempo mediu-se a tensão dos medidores de vácuo, Tabela 30, e anotou-se a tensão lida pelo CLP, Tabela 31, da placa amplificadora.

Prosseguindo, a Tabela 32 mostrará o levantamento dos parâmetros do medidor de alto vácuo. O procedimento tomado foi o mesmo para o tabelamento dos outros sensores.

Tabela 32: parametrização do medidor de alto vácuo.

Pressão (TORR)	Tensão de saída em volts (placa amplificadora)
4×10^{-6}	94
5×10^{-6}	90
6×10^{-6}	88
7×10^{-6}	86
8×10^{-6}	84
9×10^{-6}	82
10^{-5}	80
2×10^{-5}	75
3×10^{-5}	69
4×10^{-5}	66
5×10^{-5}	64
6×10^{-5}	61
7×10^{-5}	59
8×10^{-5}	57
9×10^{-5}	55
10^{-4}	53
2×10^{-4}	47
3×10^{-4}	40
4×10^{-4}	37
5×10^{-4}	34
6×10^{-4}	31
7×10^{-5}	29
8×10^{-4}	27
9×10^{-4}	24
10^{-3}	23

Os dados da Tabela 32 também foram utilizados no programa fonte do CLP, principalmente para se autorizar a metalização em si. Neste caso, devido à construção da placa amplificadora, ficou-se impossibilitado a aquisição do sinal de saída do medidor de alto vácuo. O ensaio realizado anteriormente onde se construiu a Tabela 2, o medidor não

estava ligado à placa amplificadora. Naquela situação houve a possibilidade de adquirir o sinal de saída do medidor de alto vácuo.

No presente caso, tomou-se a pressão de 5×10^{-5} TORR de pressão como limite superior para autorização da metalização.

6 Alguns comentários sobre os testes realizados

Depois de montado todo o sistema, prosseguiu-se os testes. Entende-se como teste, neste trabalho, executar o programa fonte colocado no CLP e analisar como o sistema responde durante a evolução deste programa. Os tópicos a seguir mostrarão alguns dos problemas encontrados durante os testes e como foram contornados.

6.1 Problemas com a faixa de segurança estabelecida para os sensores de médio vácuo no programa do CLP

Conforme o estado de funcionamento do sistema, por vezes o alarme era ativado, pois a faixa de segurança estabelecida para alguns sensores de médio vácuo era, por demais, estreita. Um exemplo disto é a situação que se liga a bomba difusora durante o processo de vácuo. A princípio, a tendência é a pressão cair ainda mais. Entretanto, verificou-se experimentalmente que a pressão subia um pouco quando se realizava o glow. Um parêntese: aparentemente não há conexão entre ligar a bomba difusora e realizar o glow; entretanto é justamente quando se liga a bomba difusora, no passo 06 do programa, que se autoriza a realização do glow. E a realização do glow é um processo necessário para que a metalização seja de melhor qualidade. Prosseguindo, para solucionar este problema, deixou-se uma faixa de segurança mais larga para as pressões medidas dos sensores. Dessa forma o alarme não era ativado desnecessariamente e a segurança do sistema foi mantida.

6.2 Problema com o tempo de espera para a evacuação da campânula

Esta foi uma situação particularmente interessante. Verificou-se que o tempo vácuo da campânula mudava quando se trocava as amostras no processo de recarregamento. Como as amostras eram lavadas em acetona, possivelmente que algum resquício de acetona na amostra era o suficiente para atrasar um pouco o processo de vácuo na campânula. E isto, por vezes, foi o suficiente para ativar o alarme e parar a execução do programa desnecessariamente. Sendo assim, aumentou-se o tempo de vácuo da campânula de modo que a pressão atingisse o patamar adequado para esta situação; também se diminuiu o patamar de pressão necessário para que o programa do CLP seguisse para o processo de vácuo na bomba difusora.

6.3 Problemas com a faixa de segurança do medidor de alto vácuo

A princípio estabeleceu-se que o sistema deveria operar na faixa de 5×10^{-5} TORR a 10^{-5} TORR para a situação de metalização autorizada. Entretanto, a pressão, por raras vezes, ocorreu de ser menor que 10^{-5} TORR. Sendo assim, o alarme era ativado sem necessidade alguma. O que se fez foi o aumento da faixa de segurança para menores e pressões. O aumento da faixa de segurança para altas pressões não deve ser feito, pois a qualidade da metalização está fortemente ligada à pressão interna da campânula: quanto menor a pressão, melhor será a metalização obtida.

6.4 Problema com ruído presente na placa amplificadora

Percebeu-se que a tensão de entrada (analógica) do CLP variava em até dois volts, aproximadamente, quando se ligava a válvula 2 ou a bomba mecânica. Note: o problema foi verificado, inicialmente, na saída da placa amplificadora, que serve de entrada para o CLP. Depois de algumas análises, constatou-se que o ruído estava presente, principalmente, na entrada dos amplificadores de instrumentação. A solução para este problema foi a colocação de filtros passivos na entrada da placa amplificadora. Para os medidores de médio vácuo utilizaram-se dois filtros RC; para o medidor de alto vácuo, colocou-se apenas um capacitor na entrada. Para melhor entender a instalação destes filtros, consulte o anexo dois deste trabalho.

7 Conclusões

De modo geral, o trabalho realizado, a automatização de uma metalizadora a vácuo, foi de grande enriquecimento acadêmico e profissional. Acadêmico, pois se deu a oportunidade de desenvolver e documentar o trabalho de modo conciso e sistemático. Profissional, pois permitiu a construção, por exemplo, de todo o sistema de controle da metalizadora. Ainda neste sentido, de enriquecimento profissional, os conhecimentos adquiridos incluem as áreas de: automação, instrumentação, construção de painéis elétricos e noções de construção de sistemas mecânicos, que é o caso do elevador da campânula. De fato, pode-se dizer que várias áreas do curso de engenharia elétrica foram abordadas neste projeto.

Com relação à metalizadora notaram-se duas dificuldades iniciais: a primeira era referente ao acionamento das válvulas e a segunda a forma de se operar esta metalizadora. Para contornar a primeira dificuldade, construiu-se um painel elétrico provisório. Dessa maneira pode-se ensaiar o sistema de modo a levantar os parâmetros deste. A segunda dificuldade, quanto à operação da metalizadora, foi superada com o auxílio de pessoas experientes em metalizadoras a vácuo. Em especial, um antigo técnico do IFSC, Gilberto, foi quem nos deu os primeiros passos de como utilizar esta metalizadora.

No que diz respeito ao desenvolvimento do trabalho, houve muitas dificuldades. Uma dessas foi com relação às dimensões do quadro de comando e onde fixa-lo, pois se pretendia que o novo painel elétrico (principal) fosse de fácil visualização e acesso para o operador. Outra dificuldade foi com relação a como dispor os elementos do painel elétrico principal de modo que a manutenção deste painel fosse facilitada. Ainda outra dificuldade diz respeito à construção do sistema elevador da campânula, pois se desejava que este sistema elevador ocupa-se o menor espaço possível na mesa de apoio da campânula.

Depois de implementado e testado o sistema de controle como um todo, pode-se ver que o CLP, de fato, controlava a metalizadora no que diz respeito aos processos para os quais foi designado realizar: vácuo, recarregamento e desligamento. Há ainda possibilidades de trabalhos futuros como, por exemplo: implementação de um sistema de controle da corrente de metalização. Viu-se que a corrente passante pelo filamento variava conforme a metalização prosseguia. Idealiza-se um sistema que controle esta corrente de modo que metalização possa ser controlada; pode-se ainda colocar um sensor de espessura da camada de metalização. Quando se atinge a espessura desejada, bloqueia-se a metalização. Este tipo de sensor já existe em metalizadoras mais sofisticadas.

Referências

- [1] BRANDÃO, D. **SEL 0406** – Automação. São Carlos: EESC; Departamento de Engenharia Elétrica, 2009. p.3 Notas de aula.
- [2] SILVA, M.E. Curso de automação industrial. Piracicaba: FUMEP; EEP: COTIP, 2007. Apostila. Disponível em:<<http://www.scribd.com/doc/3020515/Apostila-Automacao-Industrial>>. Acesso em: 17 ago. 2010.
- [3] ENGELOGIC ENGENHARIA E CONTROLE INDUSTRIAL. Histórico dos CLPS. Rolândia, 2010. Disponível em:<<http://www.engelogic.com.br/?p=166>>. Acesso em: 17 ago. 2010.
- [4] PV PREST VÁCUO. Cotia, 2004. Disponível em:<<http://www.prestvacuo.com.br/metalizadoras.asp>>. Acesso em: 20 mar. 2010
- [5] SWART, J.M. (Coord.). Oficina de microfabricação: projeto e construção de CI's MOS. Campinas: CCS; FEEC; UNICAMP, 2006. Cap.12. Disponível em:<<http://www.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/cap12.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2010.
- [6] COLD cathode ionization gauge control: operating instructions. Massachusetts: Varian, [1980?].
- [7] ALTUS – Evolução em automação. Rio de Janeiro: AUTUS, 2010. Disponível em:< http://www.altus.com.br/site_ptbr/>. Acesso em: 10 mai. 2010.

Anexo Um – Programa fonte na íntegra

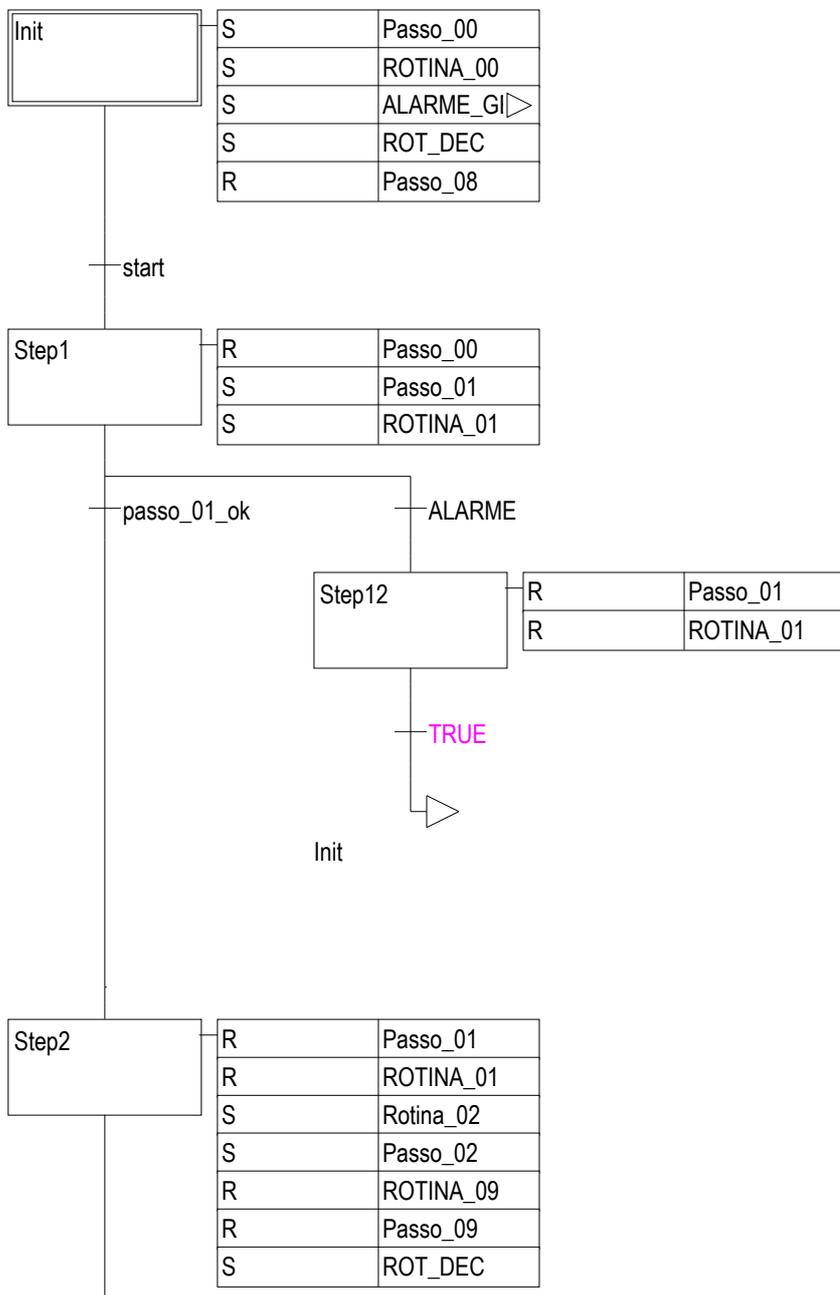
Tem-se a seguir o programa fonte usado no CLP. Este documento foi gerado pelo software MasterTool IEC, software programador do CLP utilizado para se automatizar a metalizadora a vácuo em questão.

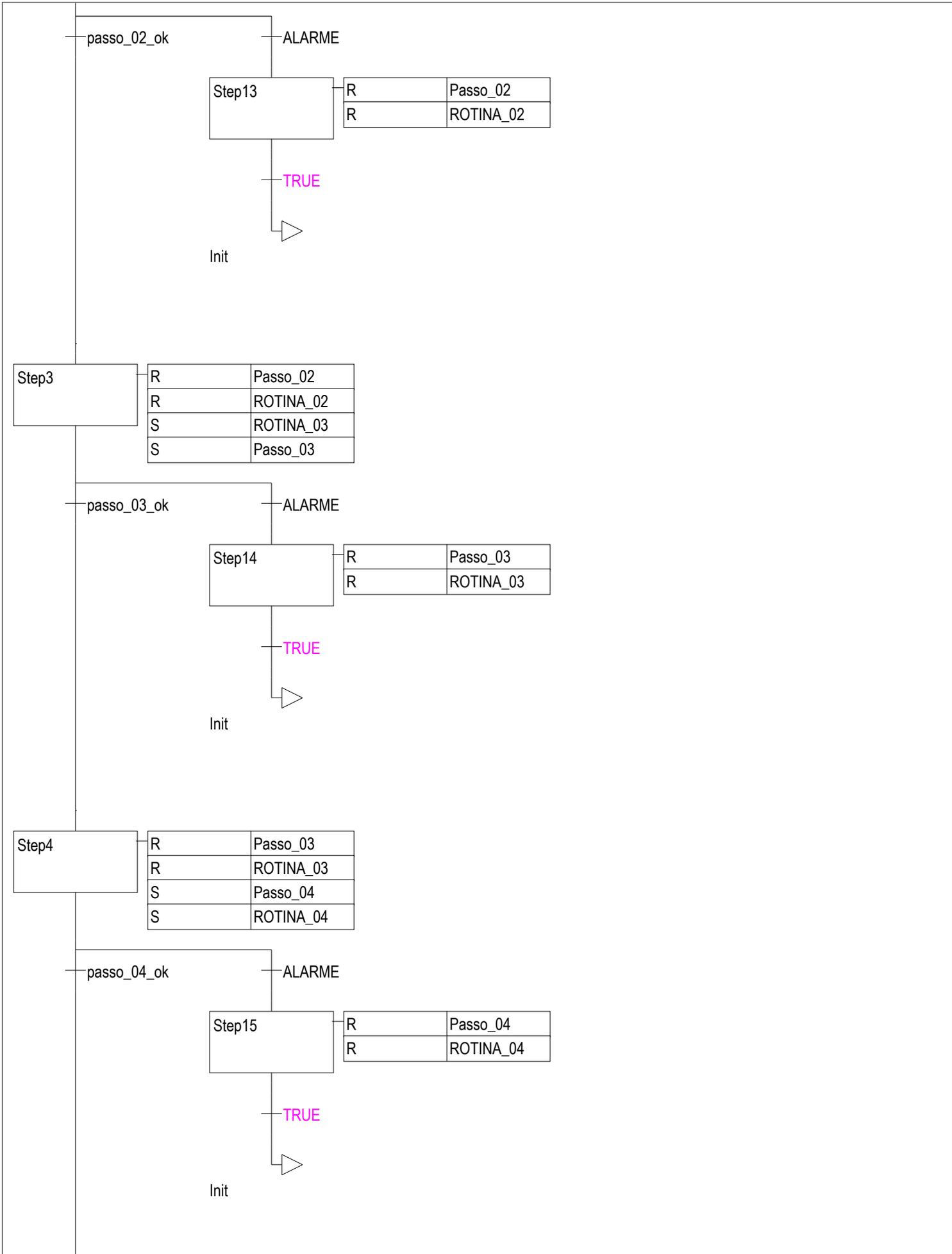
Nome do arquivo:	Programa Metalizadora.pro
Diretório:	C:\Users\Yvan\Desktop\TCC Entrega\Programa fonte do CLP
Data alter.:	1.12.10 14:46:38 / V2.3
Título:	Automatização de uma Metalizadora
Autor:	Yvan Gutnik
Versão:	1.00
Descrição:	O presente projeto tem por objetivo a automatização de uma metalizadora a vácuo. Será automatizado as principais atividades no que tange ao processo de vácuo para se habilitar a metalização, processo de recarregamento do sistema e desligamento. Este programa, além de realizar estas tarefas, possui rotinas de segurança que identificam problemas na operação do sistema como um todo.

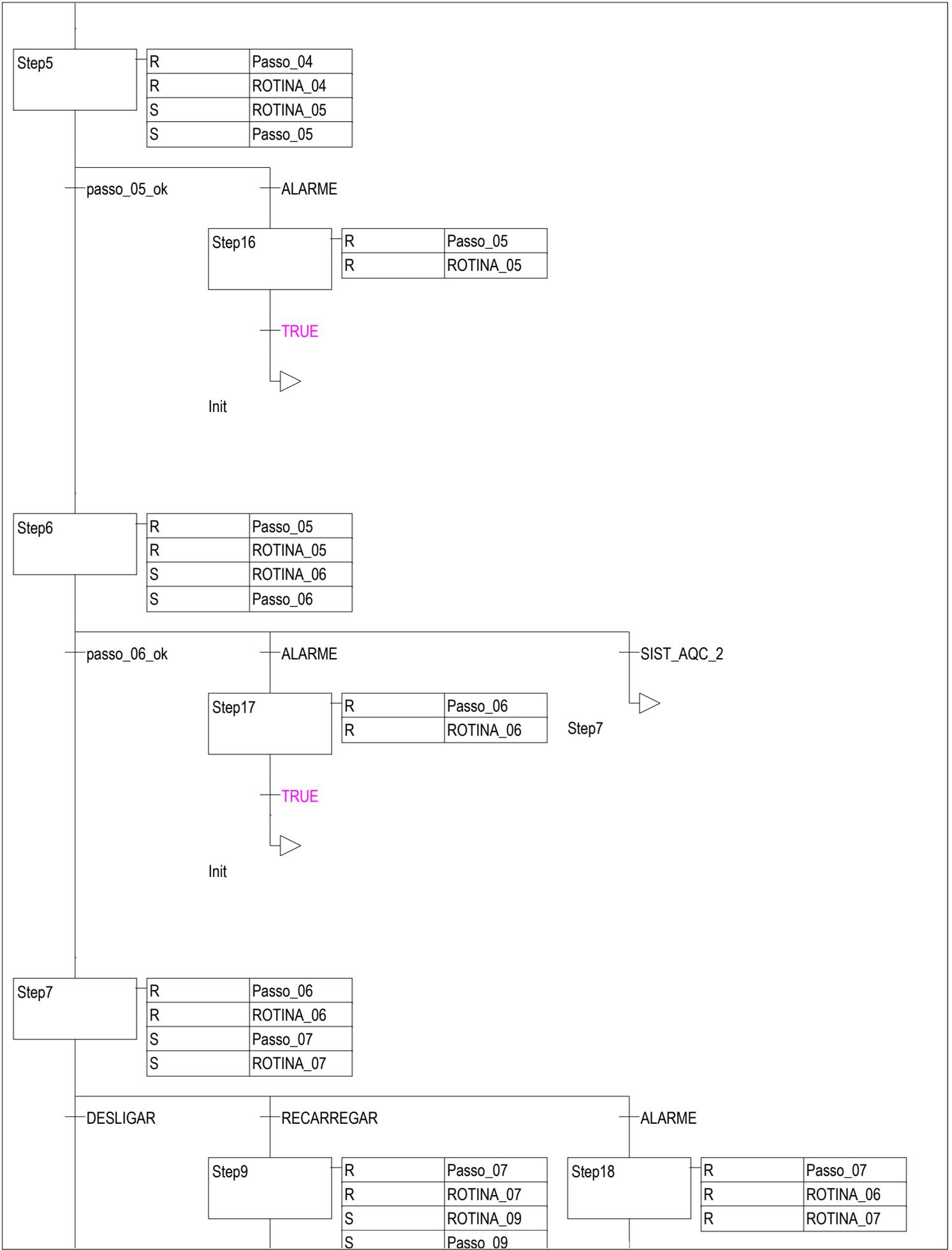
0001	PROGRAM NAVEGA
0002	VAR
0003	ControleTelas : NAVIGATION;
0004	ListaTelas : ARRAY [0..30] OF STRING(10);
0005	CONTRASTE AT %MB6468 : BYTE; (* Percentagem do contraste *)
0006	BACKLIGHT AT %MB6469 : BYTE; (* Configuração do backlight *)
0007	AUX: BOOL;
0008	END_VAR
0001	(* Contraste do display em 40% *)
0002	CONTRASTE := 40;
0003	
0004	(* Mantém o backlight sempre ligado *)
0005	BACKLIGHT:= 100;
0006	
0007	(* Adiciona a tela MAIN como tela principal *)
0008	ListaTelas[0] := 'MAIN';
0009	
0010	(* Ativa o controle automático de navegação somente pelo teclado *)
0011	ControleTelas(ENABLE_UPDW := FALSE, VISU_LIST := ListaTelas, UP := FALSE , DOWN := FALSE);

0001	PROGRAM PLC_PRG	
0002	VAR	
0003	start	BOOL; (* variável de início do processo ativada pelo operador *)
0004	INICIO	BOOL; (* indicação de que o processo foi iniciado *)
0005	ALARME	BOOL; (* variável de alarme: qualquer problema que venha ocorrer esta variável é setada *)
0006	ERRO_S_M_D	BOOL; (* indicação de erro na leitura da tensão do sensor da bomba mecânica ou no sensor da difusora *)
0007	ERRO_S_C	BOOL; (* indicação de erro na leitura da tensão DO sensor da campânula *)
0008	V1_N_ABRIU	BOOL; (* indicação de que a válvula V1 não abriu no tempo previsto *)
0009	V2_N_ABRIU	BOOL; (* indicação de que a válvula V2 não abriu no tempo previsto *)
0010	MEC_N_LIGOU	BOOL; (* indicação de que a bomba mecânica não ligou no tempo previsto *)
0011	VAZ_MEC	BOOL; (* indicação de vazamento na bomba mecânica de vácuo *)
0012	VAZ_CAMP	BOOL; (* indicação de vazamento na campânula *)
0013	VAZ_DIF	BOOL; (* indicação de vazamento na bomba difusora de vácuo *)
0014	DIF_N_LIGOU	BOOL; (* indicação que a difusora não ligou no tempo esperado *)
0015	r5_erro1	BOOL; (* erro na parte 01 da rotina 05 *)
0016	r5_erro2	BOOL; (* erro na parte 02 da rotina 05 *)
0017	r5_erro3	BOOL; (* erro na parte 03 da rotina 05 *)
0018	r5_erro4	BOOL; (* erro na parte 04 da rotina 05 *)
0019	VAZ_SIST	BOOL; (* indicação de vazamento em alguma parte do sistema *)
0020	r6_erro1	BOOL; (* erro na parte 01 da rotina 06 *)
0021	r6_erro2	BOOL; (* erro na parte 02 da rotina 06 *)
0022	r6_erro3	BOOL; (* erro na parte 03 da rotina 06 *)
0023	r6_erro4	BOOL; (* erro na parte 04 da rotina 06 *)
0024	r7_erro1	BOOL; (* erro na parte 01 da rotina 07 *)
0025	r7_erro2	BOOL; (* erro na parte 02 da rotina 07 *)
0026	ERRO_SENSOR	BOOL; (* indicação de erro na leitura dos sensores de vácuo *)
0027	AV_N_LIGOU	BOOL; (* indicação de que o sensor de alto vácuo não ligou *)
0028	ERRO_SENSOR_1_1	BOOL; (* indicação de a tensão lida do sensor da campânula ou difusora está anormal *)
0029	ERRO_SENSOR_1_2	BOOL; (* indicação de a tensão lida do sensor da campânula ou difusora está anormal *)
0030	ERRO_SENSOR_1_3	BOOL; (* indicação de a tensão lida do sensor da bomba difusora está anormal *)
0031	ERRO_SENSOR_1_4	BOOL; (* indicação de a tensão lida do sensor da campânula ou difusora está anormal *)
0032	ERRO_SENSOR_2_1	BOOL; (* indicação de que o sensor de alto vácuo não está na faixa de operação segura *)
0033	ERRO_SENSOR_2_2	BOOL; (* indicação de que o sistema não chegou ao vácuo, indicado pelo sensor de alto *)
0034	r9_erro1	BOOL; (* erro na parte 01 da rotina 09 *)
0035	r9_erro2	BOOL; (* erro na parte 02 da rotina 09 *)
0036	r9_erro3	BOOL; (* erro na parte 03 da rotina 09 *)
0037	r9_erro4	BOOL; (* erro na parte 04 da rotina 09 *)
0038	ERRO_REC	BOOL; (* indicação de que o sistema não está adequado para o recarregamento *)
0039	PLACA_DESL	BOOL; (* indicação de que a placa amplificadora está desligada *)
0040	PLACA_EST	BOOL; (* indicação de que a placa amplificadora está estabilizada *)
0041	passo_01_ok	BOOL; (* passo 01 executado corretamente *)
0042	passo_02_ok	BOOL; (* passo 02 executado corretamente *)
0043	passo_03_ok	BOOL; (* passo 03 executado corretamente *)
0044	passo_04_ok	BOOL; (* passo 04 executado corretamente *)
0045	p5_ok1	BOOL; (* parte do passo 05 executado corretamente *)
0046	p5_ok2	BOOL; (* parte do passo 05 executado corretamente *)
0047	passo_05_ok	BOOL; (* passo 05 executado corretamente *)
0048	passo_06_ok	BOOL; (* passo 06 executado corretamente *)
0049	passo_07_ok	BOOL; (* passo 07 executado corretamente *)
0050	passo_08_ok	BOOL; (* passo 08 executado corretamente *)
0051	ok1	BOOL; (* estado de funcionalidade do sensor da bomba mecânica *)
0052	ok2	BOOL; (* estado de funcionalidade do sensor da bomba difusora *)
0053	ok3	BOOL; (* estado de funcionalidade do sensor da campânula *)
0054	ok4	BOOL; (* estado de funcionalidade da válvula V1 *)
0055	ok5	BOOL; (* estado de funcionalidade da válvula V2 *)
0056	ok6	BOOL; (* estado de funcionalidade da válvula V1 na segunda abertura *)
0057	r7_ok1	BOOL; (* parte 1 da rotina 07 executado com sucesso *)
0058	r7_ok2	BOOL; (* parte 2 da rotina 07 executado com sucesso *)
0059	r7_ok3	BOOL; (* parte 3 da rotina 07 executada com sucesso *)
0060	r7_ok4	BOOL; (* parte 4 da rotina 07 executada com sucesso *)
0061	ok7	BOOL; (* estado de funcionalidade do sensor de alto vácuo *)

0062	ok8: BOOL;	(* quebra de vácuo efetuada *)
0063	TEMP_P1: TON;	(* temporizador 1 para ser usado na execução de passos *)
0064	TEMP_P2: TON;	(* temporizador 2 para ser usado na execução de passos *)
0065	TEMP_R1: TON;	(* temporizador 1 para ser usado na execução de rotinas *)
0066	TEMP_R2: TON;	(* temporizador 2 para ser usado na execução de rotinas *)
0067	TEMP_R3: TON;	(* temporizador 3 para ser usado na execução de rotinas *)
0068	TEMP_R4: TON;	(* temporizador 4 para ser usado na execução de rotinas *)
0069	TEMP_R5: TON;	(* temporizador 5 para ser usado na execução de rotinas *)
0070	TEMP_ALARM: TON;	(* temporizador usado na rotina de alarme geral *)
0071	RECARREGAR: BOOL;	(* autorizar recarregamento de nova amostra para metalização *)
0072	DESLIGAR: BOOL;	(* autorizar desligamento do sistema *)
0073	GLOW_OK: BOOL;	(* indicação feita pelo usuário de que o glow já foi realizado *)
0074	REC: BOOL;	(* variável auxiliar para autorizar o recarregamento do sistema *)
0075	DESL: BOOL;	(* variável auxiliar usada para autorizar o desligamento so sistema *)
0076	GLOW_DESL: BOOL;	(* indicação de que o glow está desligado *)
0077	GLOW_AUT: BOOL;	(* indicação de que o glow foi autorizado a ser realizado *)
0078	Q_V: BOOL;	(* variável auxiliar usada para quebra de vácuo *)
0079	SIST_AQC: BOOL;	(* indicação de a bomba difusora ja está aquecida *)
0080	SIST_AQC_2: BOOL;	(* variável transição usada para o caso da bomba difusora de vácuo estar *)
0081	END_VAR	







	Passo_08
R	ROT_DEC

TRUE

start

Init

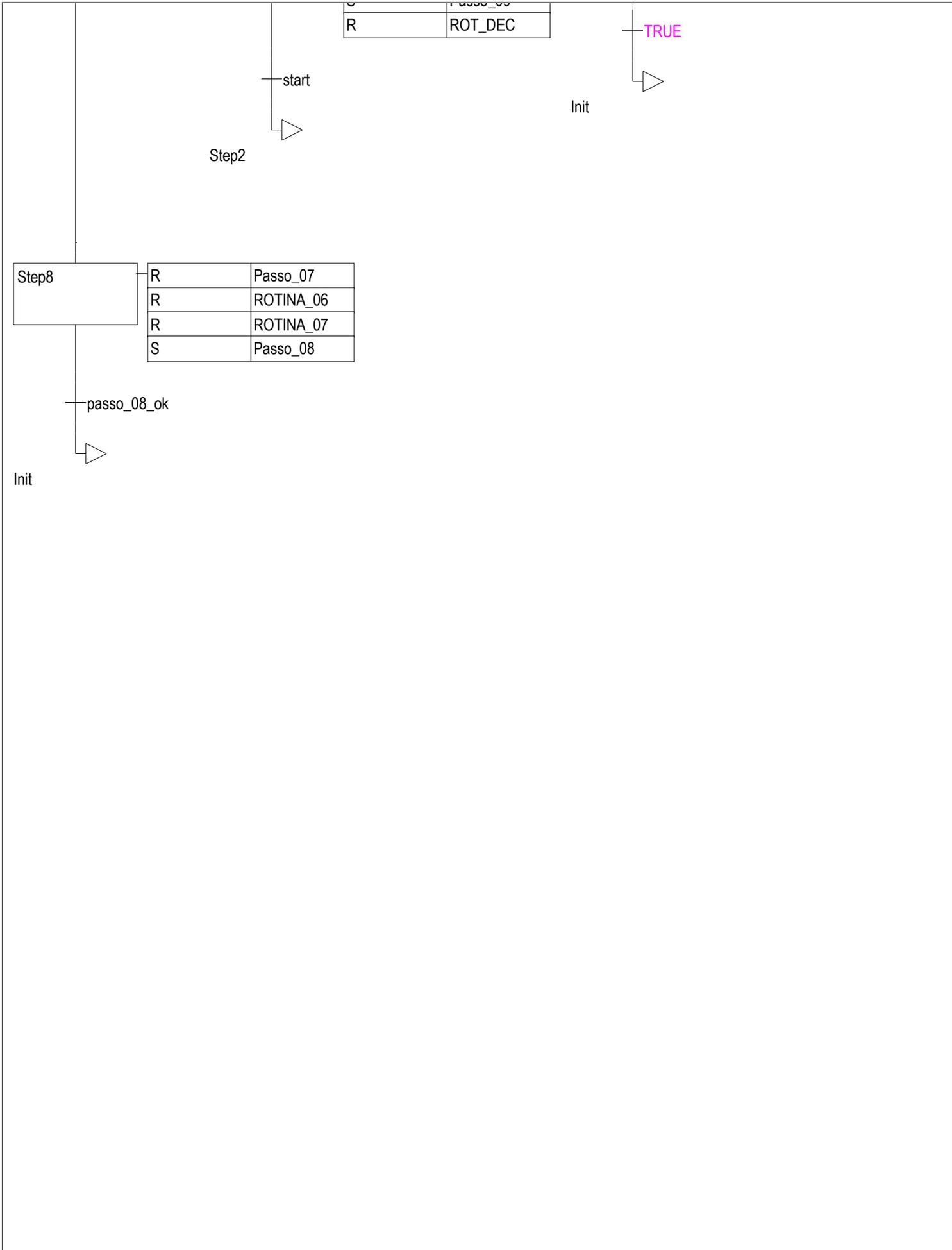
Step2

Step8

R	Passo_07
R	ROTINA_06
R	ROTINA_07
S	Passo_08

passo_08_ok

Init

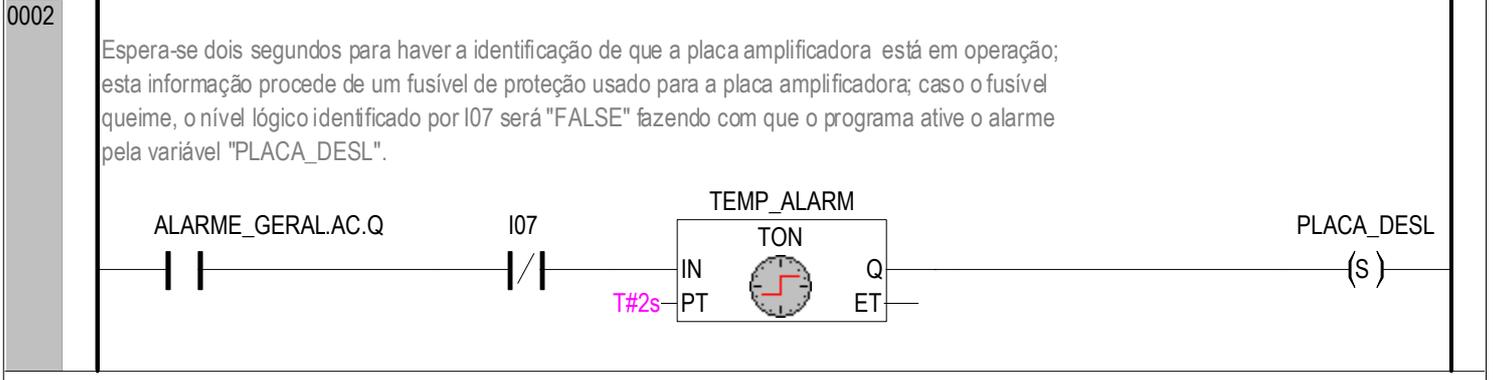
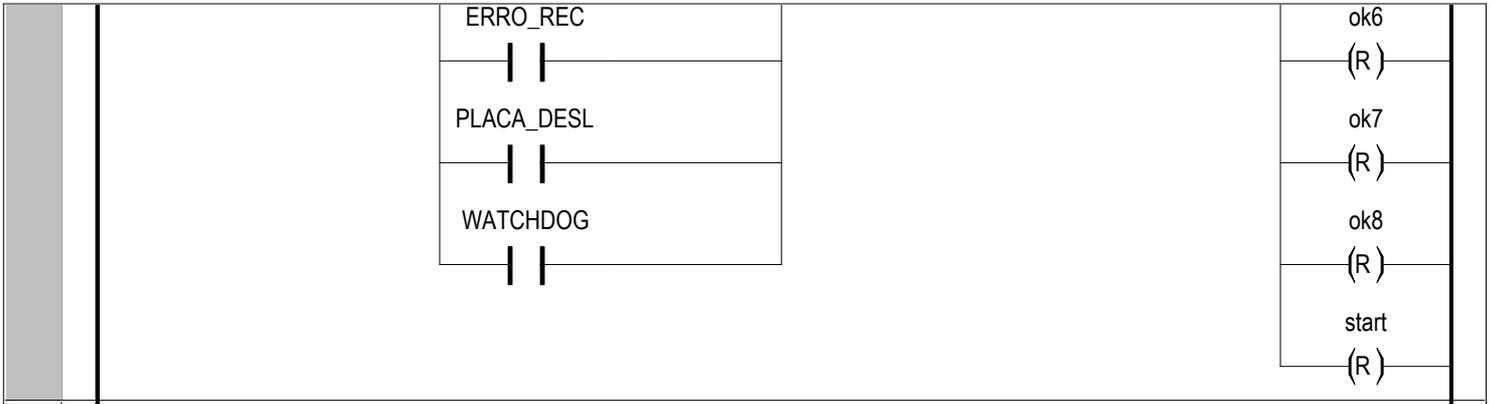


0001

ALARME_GERAL

Ativamento do alarme: qualquer erro que o CLP possa detectar faz a execução do programa parar; de modo a assegurar que o sistema realmente pare de funcionar, todas as variáveis de transição de passo e referentes à transição de passo são resetadas. Também a variável que dá início ao processo, "start", é mantida em reset.

ALARME_GERAL.AC.Q	ERRO_S_M_D	ALARME
		(S)
	ERRO_S_C 	passo_01_ok (R)
	MEC_N_LIGOU 	passo_02_ok (R)
	V1_N_ABRIU 	passo_03_ok (R)
	V2_N_ABRIU 	passo_04_ok (R)
	VAZ_CAMP 	passo_05_ok (R)
	VAZ_DIF 	passo_06_ok (R)
	VAZ_MEC 	passo_07_ok (R)
	VAZ_SIST 	passo_08_ok (R)
	ERRO_SENSOR_1_1 	DESLIGAR (R)
	ERRO_SENSOR_1_2 	RECARREGAR (R)
	ERRO_SENSOR_1_3 	SIST_AQC (R)
	ERRO_SENSOR_1_4 	ok1 (R)
	AV_N_LIGOU 	ok2 (R)
	ERRO_SENSOR_2_1 	ok3 (R)
	ERRO_SENSOR_2_2 	ok4 (R)
	DIF_N_LIGOU 	ok5 (R)



0001

Passo_00

Garantindo que os contatos do cartão de saída Q0X e Q1X estejam abertos na inicialização do processo.
Há uma exceção é para a variável Q02. Para esclarecimento, vide alinha 0004 de programação deste passo. Este passo também desativa todas as variáveis de sinalização de passo ou de rotina de segurança.

Q00

(R)

Q01

(R)

Q03

(R)

Q04

(R)

Q05

(R)

Q06

(R)

Q07

(R)

Q10

(R)

Q11

(R)

Q12

(R)

Q13

(R)

Q14

(R)

Q15

(R)

Q16

(R)

Q17

(R)

ok1

(R)

ok2

(R)

ok3

(R)

ok4

(R)

ok5

(R)

ok6

(R)

r7_ok1

(R)

r7_ok2

(R)

r7_ok3

(R)

r7_ok4

(R)

ok7

(R)

ok8

(R)

passo_01_ok

(R)

passo_02_ok

(R)

passo_03_ok

(R)

passo_04_ok

(R)

passo_05_ok

(R)

passo_06_ok

(R)

passo_07_ok

(R)

passo_08_ok

(R)

p5_ok1

(R)

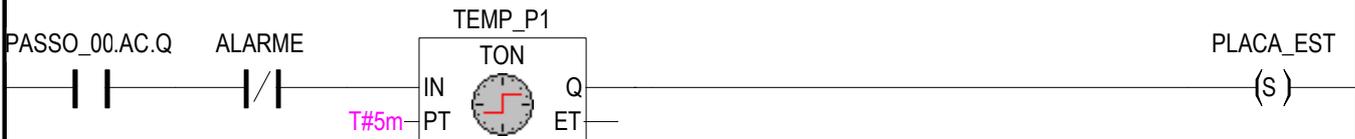
p5_ok2

(R)

(R)
SIST_AQC
(R)
DESLIGAR
(R)
RECARREGAR
(R)

0002

O datasheet do amplificador de instrumentação INA101HP indica um tempo de 5 minutos para que este esteja estabilizado. Portanto, espera-se 5 minutos na primeira vez que se liga o sistema para que a leitura dos relógios de vácuo sejam mais próximas possíveis com valores reais.



0003

Para impedir que o usuário inicie o processo sem esperar os 5 minutos, a variável "start" é feita em reset o tempo todo em que o sistema estiver se estabilizando.



0004

A variável Q02 é responsável pela abertura da válvula de água que refrigera a difusora. Num primeiromomento, com a variável ALARME desativada, este passo pode e deve resetar esta variável. O problema surge quando a difusora já está aquecida e ocorre um problema de modo que a variável ALARME ative. Como se sabe, o programa pára sua execução e retoma ao passo "Init". Neste passo, InIt, o passo atual, Passo_00, é executado. Entretanto a variável Q02, neste caso, não é resetada e, portanto, não falta refrigeração à bomba difusora



0001

Passo_01

Liga-se ambos os medidores de vácuo (por meio de Q17): um medidor possui dois sensores com localização na bombamecânica e na campânula e outro medidor, um sensor apenas localizado na bomba difusora. Como um medidor possui dois sensores, deve-se escolher um para aferição. O escolhido é referente a bomba mecânica (Q03 em reset). Um detalhe é o reset em start e set em INICIO: o primeiro é necessário para que o processo possa ser iniciado novamente; o segundo é um marcador de início do processo.

PASSO_01.AC.Q



Q17

(S)

Q03

(R)

start

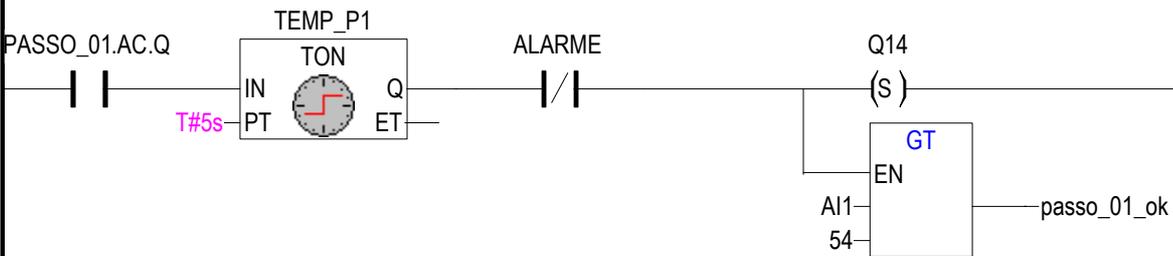
(R)

INICIO

(S)

0002

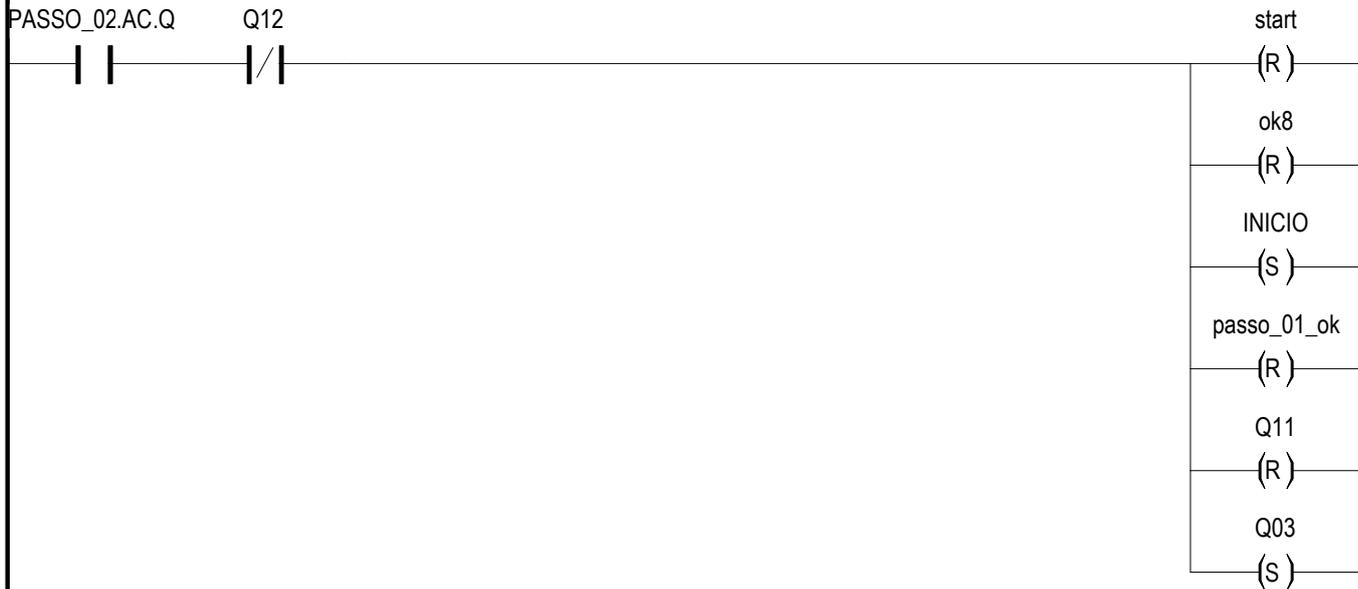
Neste trecho, há uma espera de 5 segundos para que os sensores se estabilizem; após este tempo liga-se a bomba mecânica espera-se que a pressão chegue a 4×10^{-1} mbar aproximadamente: em tensão analógica equivale a 5,4 V. Adianta-se que o fundo de escala de leitura do clp para os canais analógicos é o valor 100. Este é o motivo de aparecer o valor 54 na operação GT (maior que). Sendo assim, AI1 maior que 54, seguir-se-á ao próximo passo.



0001

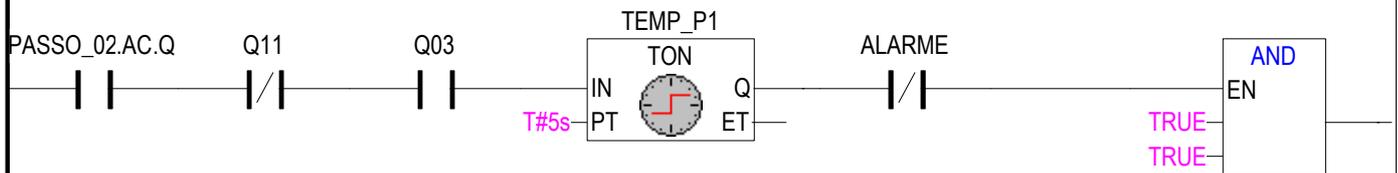
Passo_02

Temos aqui a mudança no local da medição dos sensores de vácuo: deixa-se de medir na bomba mecânica e passa-se a medir na campânula (Q03 em set). O contato Q12 NO serve para garantir de que se fará vácuo na campânula com a válvula de exaustão fechada. Ainda: quando há recarregamento deve-se fechar a válvula V2 (Q11), pois esta permaneceu aberta durante a execução do passo 09.



0002

Novamente, tem-se que esperar 5 segundos para o sensor estabilizar; depois disto poder-se-á executar o próximo passo. Note que a variável ALARME está presente em quase todas as linhas de programação onde há a variável de transição de passo. Isto é para assegurar que a variável de transição de passo não será ativada quando a ALARME for ativada.

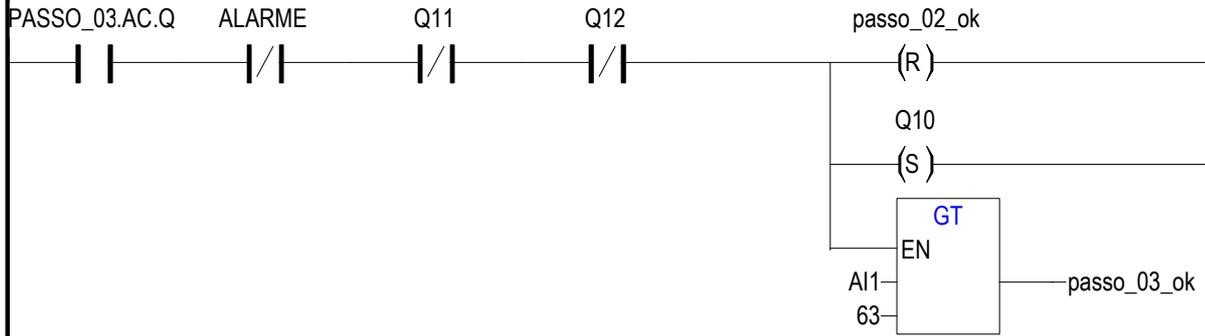


passo_02_ok

0001

Passo_03

Abre-se a válvula V1 (Q10) para que se faça vácuo na campânula. Quando a pressão indicada pelo sensor da campânula atingir a 4×10^{-1} mbar (valor 63) será executado o próximo passo. Os contatos NF, Q11 e Q12, servem para garantir que a válvula V1 (Q10) será aberta com a válvula V2 (Q11) fechada e que válvula de exaustão (V3) esteja fechada (Q12) também.



0001

Passo_04

Fecha-se a válvula V1 (Q10). É o primeiro passo para que se possa abrir a válvula V2 com segurança. Um ponto importante é o reset em "passo_03_ok". Na realidade isto ocorre na maioria dos passos. A necessidade desta operação é a seguinte: o processo de metalização é cíclico quando há recarregamento do sistema. Sendo assim, na próxima vez que o programa passar pelo Passo_03, a variável de transição de passo, passo_03_ok, estará em reset e a verificação que deve ser feita naquele passo será feita.



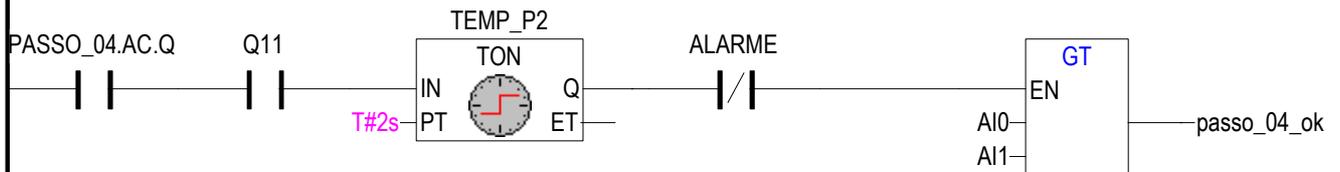
0002

Depois de 2 segundos, de iniciado o fechamento da válvula V1, abre-se a válvula V2.

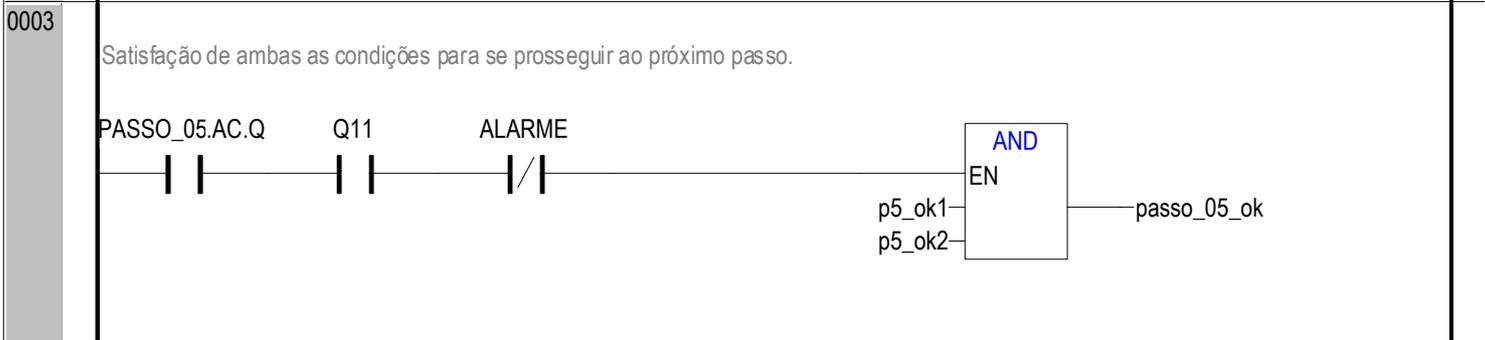
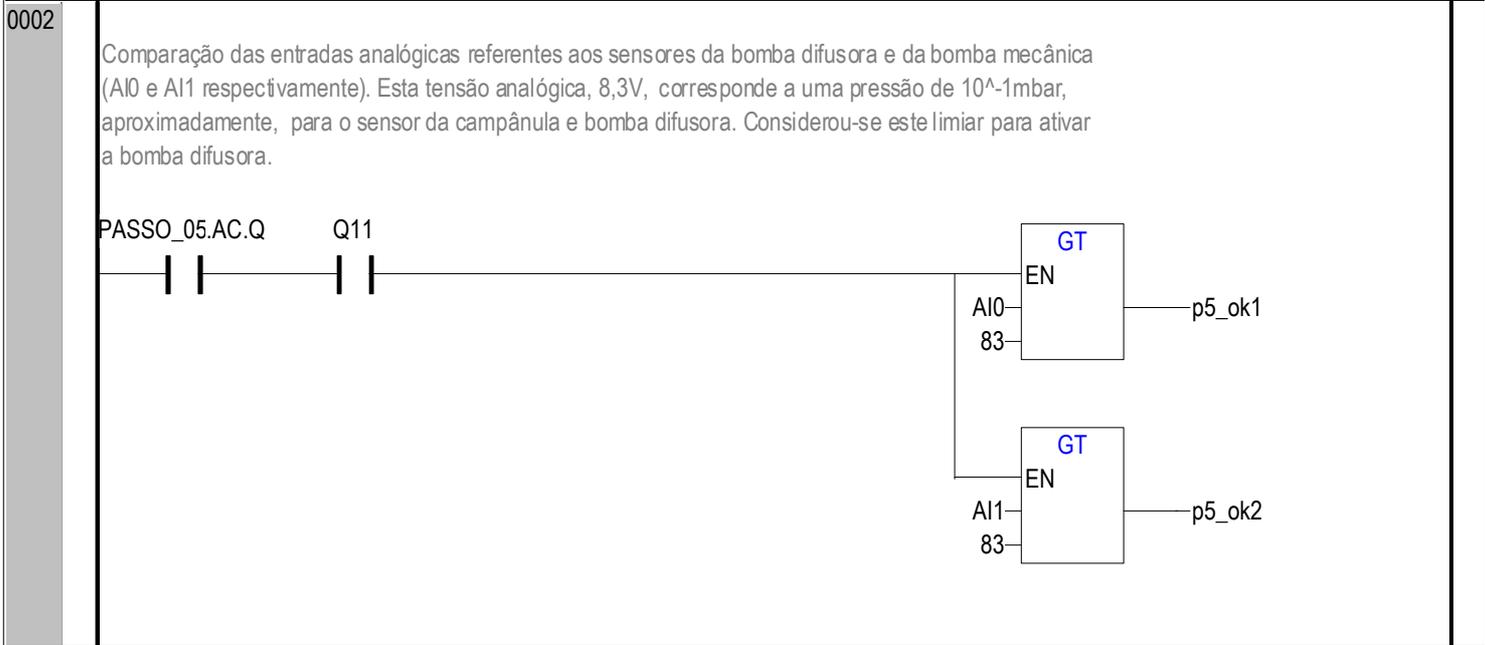
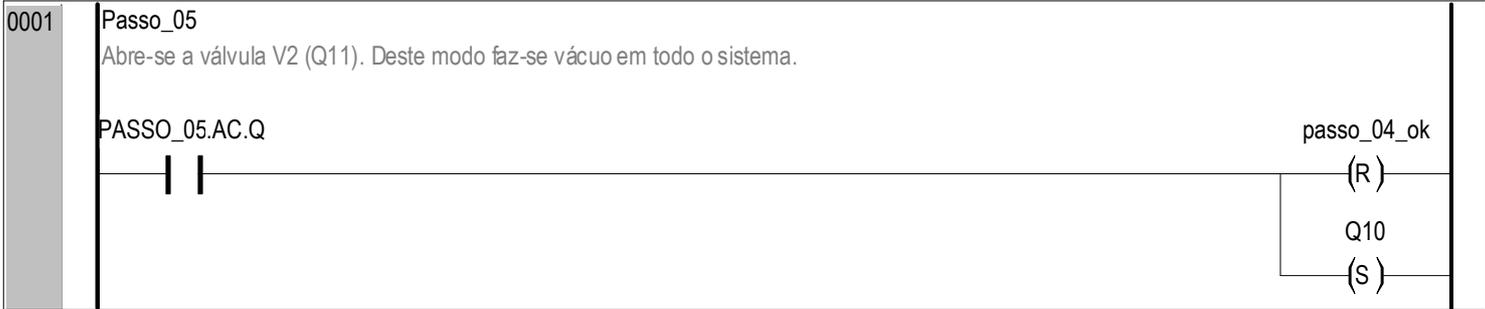


0003

Espera-se mais 2 segundos para a abertura por completo da válvula V2; depois compara-se as tensões analógicas vindas dos sensores da bomba difusora e mecânica; quando a pressão na difusora for menor que a pressão na campânula (em termos de tensão $A10 > A11$), poder-se-á prosseguir para o próximo passo, que a abertura novamente da válvula 1.



--	--



0001

Passo_06

Neste momento liga-se a bomba difusora e abre-se a valvula de água: a água serve para refrigerar a bomba difusora. Também se autoriza a realizar o glow no sistema através da variável "GLOW_AUT". Esta autorização pode ser visualizada na TELA_04. Há um detalhe interessante: é a saída Q05 que habilita o funcionamento de uma chave manual que liga o glow. Isto é necessário por questões de segurança, para que, por exemplo, o operador não ligue o glow com a campânula fora de seu lugar.

PASSO_06.AC.Q

passo_05_ok



(R)

Q02

(S)

Q15

(S)

GLOW_AUT

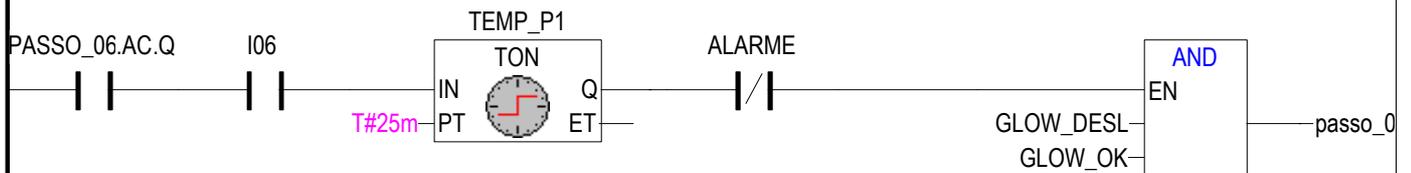
()

Q05

()

0002

O tempo necessário para que a bomba difusora entre em operação é de 25 minutos aproximadamente. Portanto, quando a bomba difusora já estiver aquecida e o glow já foi realizado, poder-se-á prosseguir ao próximo passo. O contato NO I06 é o sinal de realimentação, proveniente do contator da bomba difusora, que garante que o este contator foi acionado. A variável "GLOW_OK" é setada pelo operador através do CLP: indica que o glow já foi realizado.



0003

Esta linha de programação garante que não se prosseguirá ao próximo passo enquanto o glow não estiver desligado, pois este é acionado pelo tanto pelo CLP quanto pelo operador.

PASSO_06.AC.Q

I08

GLOW_DESL



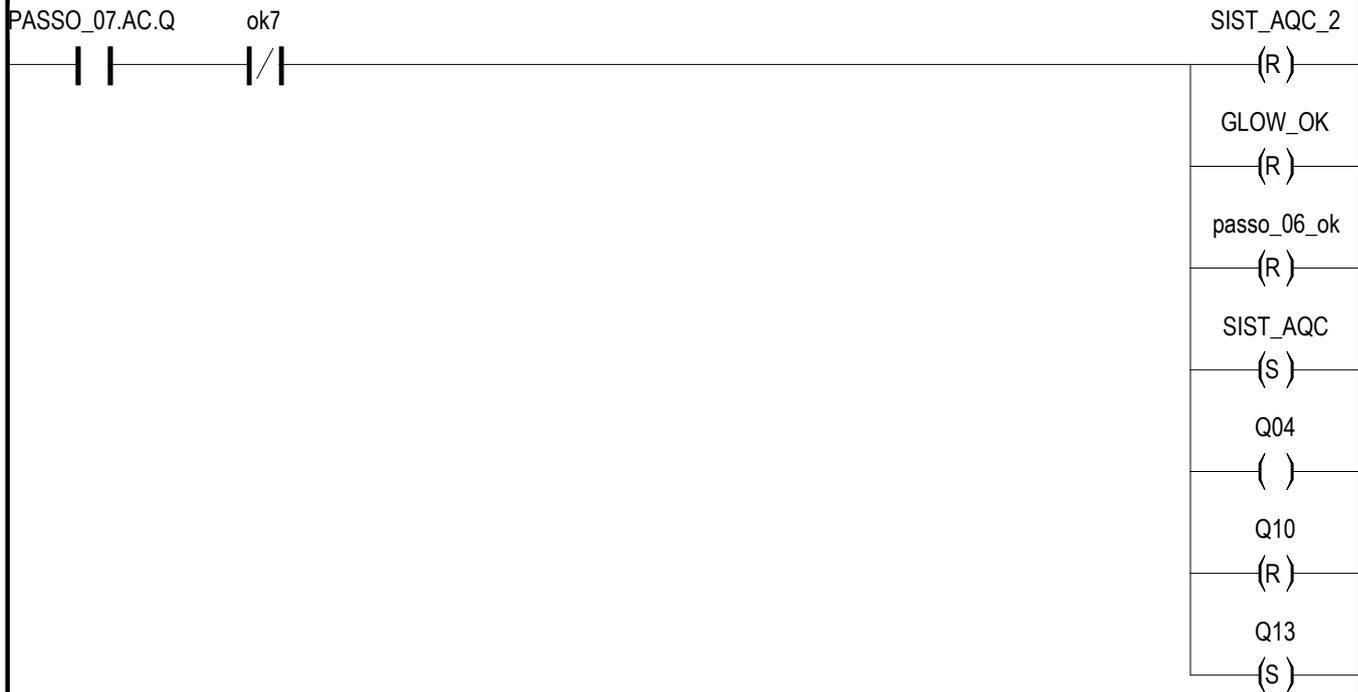
()

6_ok

0001

Passo_07

Liga-se o glow (Q04), fecha-se a válvula V1 (Q10) e abre-se a válvula borboleta: esta faz conexão entre a bomba difusora e a campânula. Também ativa a variável indicadora de que a bomba difusora já está aquecida.



0002

Depois de 4 segundos liga-se o relógio de alto-vácuo (Q16); o glow é ligado antes pois percebeu-se que o relógio de alto vácuo liga imediatamente com o glow ligado; não que o medidor de alto vácuo funcione somente com o glow, mas, sem esta operação, o medidor demora a entrar em operação.



0001

Passo_08

No processo de desligamento do sistema, desliga-se todos os sensores de vácuo, fecha-se a válvula borboleta e desliga-se a bomba difusora.

PASSO_08.AC.Q



start

(R)

INICIO

(R)

passo_07_ok

(R)

Q16

(R)

Q17

(R)

Q13

(R)

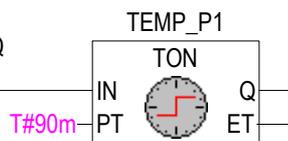
Q15

(R)

0002

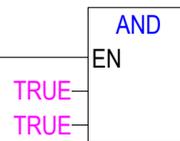
Depois de 90 minutos, o programa volta ao início fazendo cessar, por fim, o fluxo de água para refrigeração da bomba difusora.

PASSO_08.AC.Q



Q02

(R)



passo_08_ok

0001

Passo_09

Para se recarregar o sistema, deve-se, primeiramente, garantir que a válvula V1 (Q10) esteja fechada, fechar a válvula borboleta, desligar o sensor de alto vácuo e mudar o local de medida do sensor de médio vácuo: da campânula para a bomba mecânica. Outro detalhe é o reset nos marcadores das rotinas de segurança (okX): como o processo será reiniciado, deverá haver nova averiguação da operação do equipamento.

PASSO_09.AC.Q

passo_07_ok



(R)

INICIO

(R)

Q10

(R)

Q13

(R)

Q16

(R)

Q03

(R)

ok1

(R)

ok2

(R)

ok3

(R)

ok4

(R)

ok5

(R)

ok6

(R)

ok7

(R)

ok8

(R)

RECARREGAR

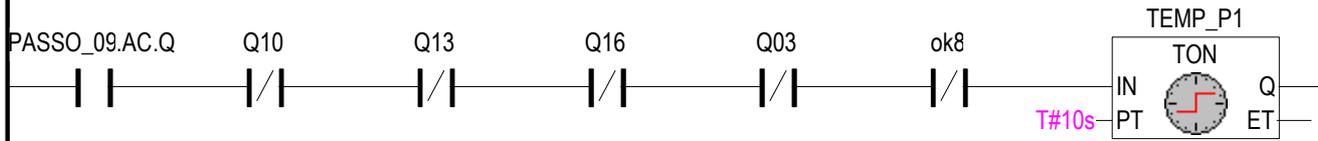
(R)

DESLIGAR

(R)

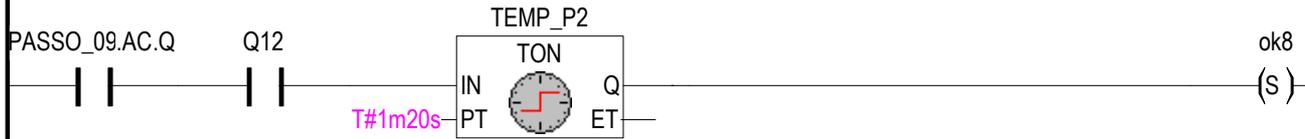
0002

Considerando que a linha 0001 foi executada com sucesso, somente depois de 10 segundos é que se quebrará o vácuo na campânula.



0003

Experimentalmente verificou-se que um tempo de 40 segundos é suficiente para a completa quebra de vácuo na campânula; deixou-se, porém, o tempo de 1 minuto e 20 segundos para este fim.



Q12
()

0001	<p>ROT_DEC</p> <p>Esta rotina de decisão serve para se decidir qual rumo o programa irá tomar a partir do passo 07. Nesta primeira linha de programação temos a autenticação do recarregamento do sistema com a garantia de que este não será desligado</p>
0002	<p>Nesta segunda linha, garante-se que o sistema será desligado de modo seguro. Note que, na forma que estão programadas as linhas 0001 e 0002, ou a variável RECARREGAR é setada ou a variável DESLIGAR é setada.</p>
0003	<p>Para garantir que que o que o operador não autorize o recarregamento do sistema ou seu desligamento em momentos não convenientes, as variáveis "REC" e "DESL" são mantidas em reset o tempo todo até se chegar no passo 07, onde ocorre o processo de decisão.</p>
0004	<p>Outro detalhe desta rotina de decisão é que só poderá haver quebra de vácuo pelo operador nos passos 00 e 08, ou seja, antes de se iniciar o processo ou com este já em encerramentb.</p>

0005

Fora dos passos 00 e 08, não poderá haver quebra de vácuo pelo operador. Outro detalhe: para evitar que o operador dê início ao processo fora dos passos 00 e 09, a variável start é mantida em constante reset.

PASSO_01.AC.Q



PASSO_02.AC.Q



PASSO_03.AC.Q



PASSO_04.AC.Q



PASSO_05.AC.Q



PASSO_06.AC.Q



PASSO_07.AC.Q

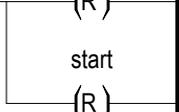


Q_V

(R)

start

(R)



0001

ROTINA_00

De um forma simplificada, este é o "watchdog" do sistema juntamente com o alarme de erro de execução do programa: este alarme de erro refere-se a uma resposta indesejada que o sistema possa emitir durante sua operação. Portanto, havendo isto, a execução do programa será interrompida. Há outro detalhe que é a variável "SIST_EST": esta indica quando a placa amplificadora estará estabilizada. Daí pode-se iniciar o processo normalmente. A indicação visual será dada pela luz verde quando esta acender.

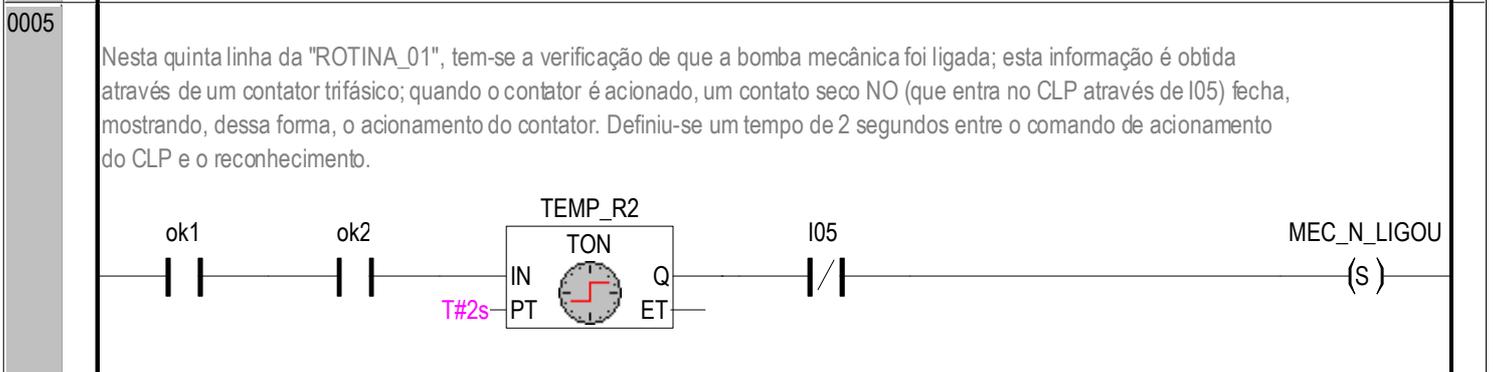
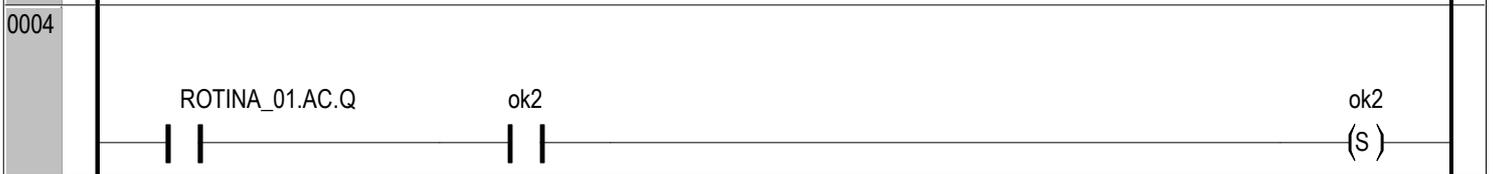
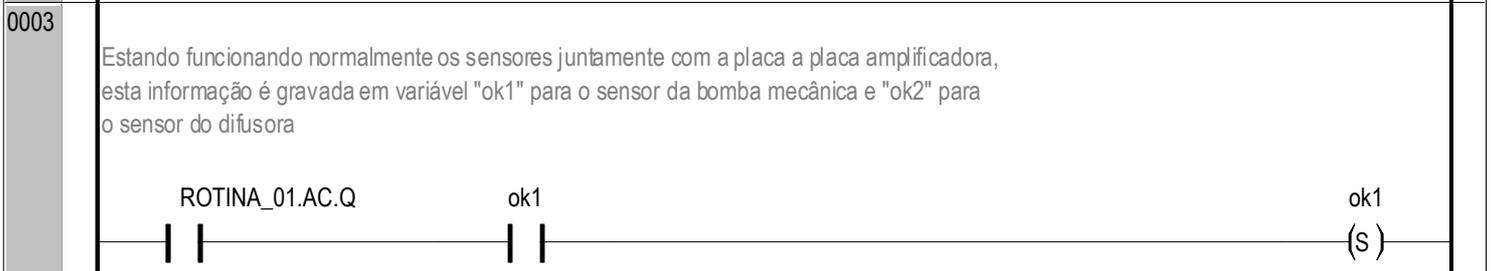
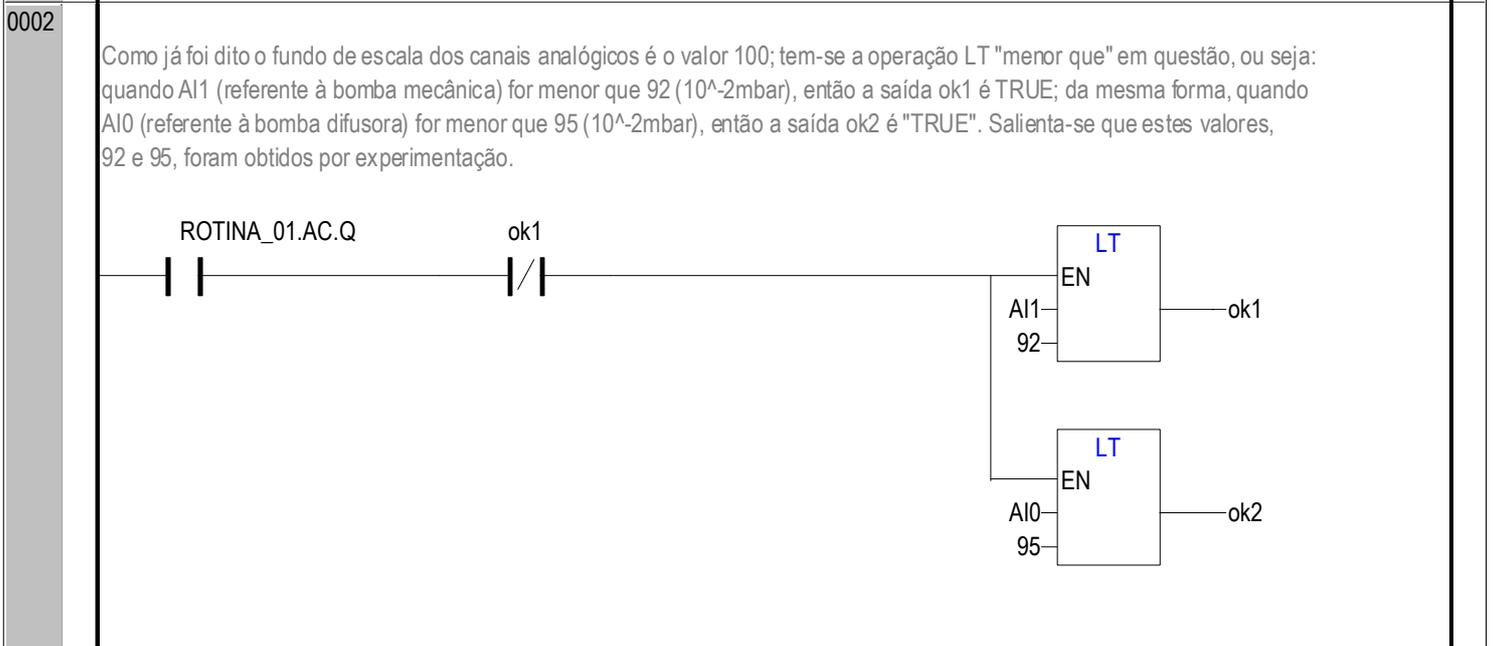
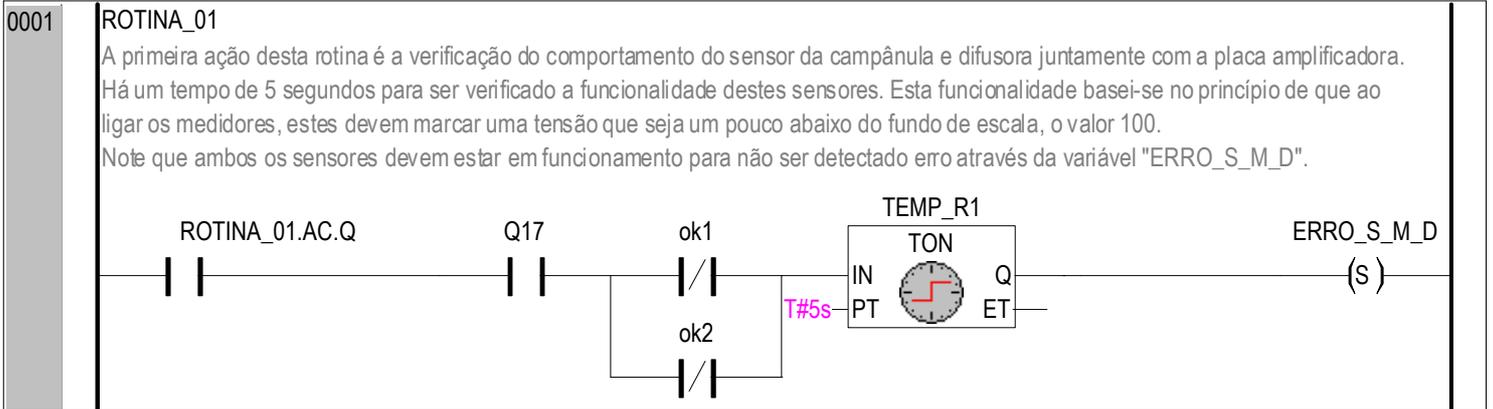
WATCHDOG

ALARME

PLACA_EST

Q07





0006

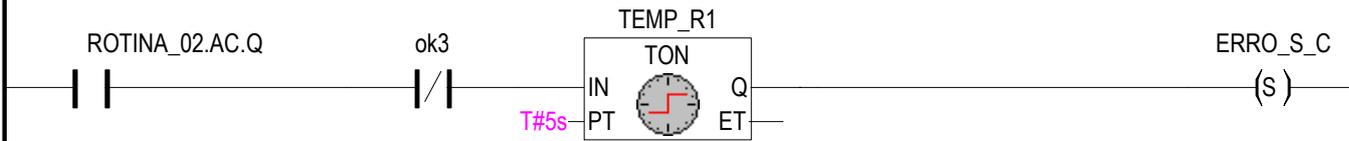
Após ligada a bomba mecânica, há um tempo de 45 segundos para que a pressão nas tubulações caia até a 4×10^{-1} mbar. Caso contrário, será constatado vazamento no trecho em evacuação.



0001

ROTINA_02

Da mesma forma como foi procedido na ROTINA_01, deve-se verificar se o sensor da campânula juntamente com a placa amplificadora. Não havendo verificação, é detectado este erro pela variável ERRO_S_C



0002

O valor de 95 refere-se à pressão de 10^{-2} mbar para o sensor da campânula.



0003

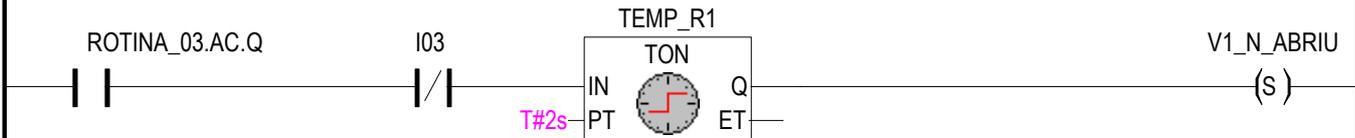
Estando funcionando corretamente, esta informação é gravada na variável "ok3".



0001

ROTINA_03

Neste trecho, dá-se um tempo de 2 segundos para a abertura por completo da válvula V1; o sinal de realimentação vem de uma chave de fim de curso desta válvula e entra no CLP em I03;



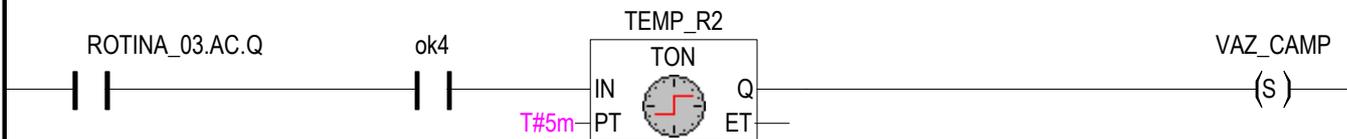
0002

A informação de que a válvula V1 abriu no tempo previsto é gravada na variável ok4.



0003

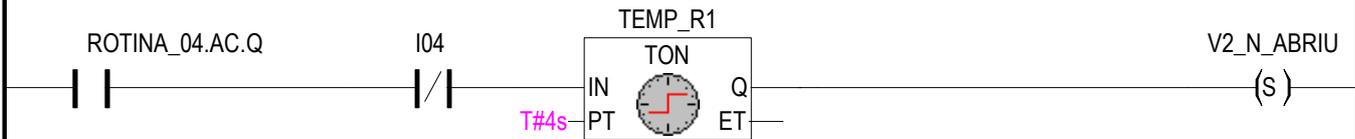
Há um tempo de 5 minutos para que a pressão chegue a um valor adequado para que se possa ir ao próximo passo. Isto é um modo de verificar possíveis vazamentos na campânula; evidente que pode ocorrer vazamentos em outros locais, todavia, a campânula é o local mais vulnerável para isto.



0001

ROTINA_04

Novamente, dá-se um tempo de 4 segundos para a abertura por completo da válvula V2; o sinal de realimentação vem de uma chave de fim de curso desta válvula e entra no CLP em I04; este tempo de 4 segundos é o tempo de 2 segundos para fechamento da válvula V1 e mais 2 segundos para a abertura da válvula V2.



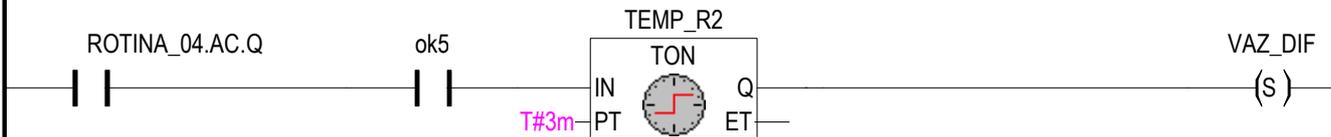
0002

A informação de que a válvula V2 abriu no tempo previsto é gravada na variável ok5.



0003

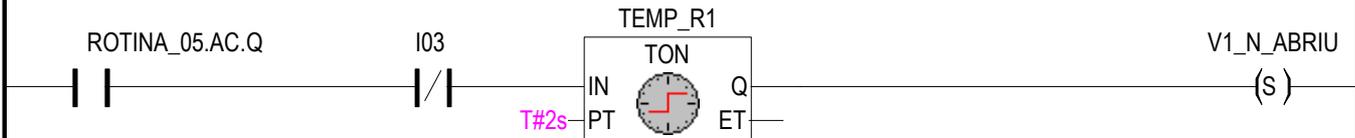
O tempo de espera de 3 minutos é para que a pressão interna à difusora se aproxime da pressão interna à campânula. Este tempo começa a ser contado a partir do momento que a válvula V2 abriu, ou seja, a partir do contato NO ok5.



0001

ROTINA_05

Tem-se novamente a verificação da abertura da válvula V1: um tempo de 2 segundos para que a válvula abra por completo.



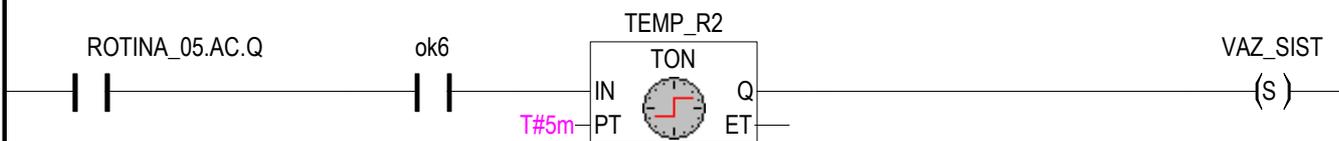
0002

A informação de que a válvula abriu corretamente é gravada na variável "ok6".



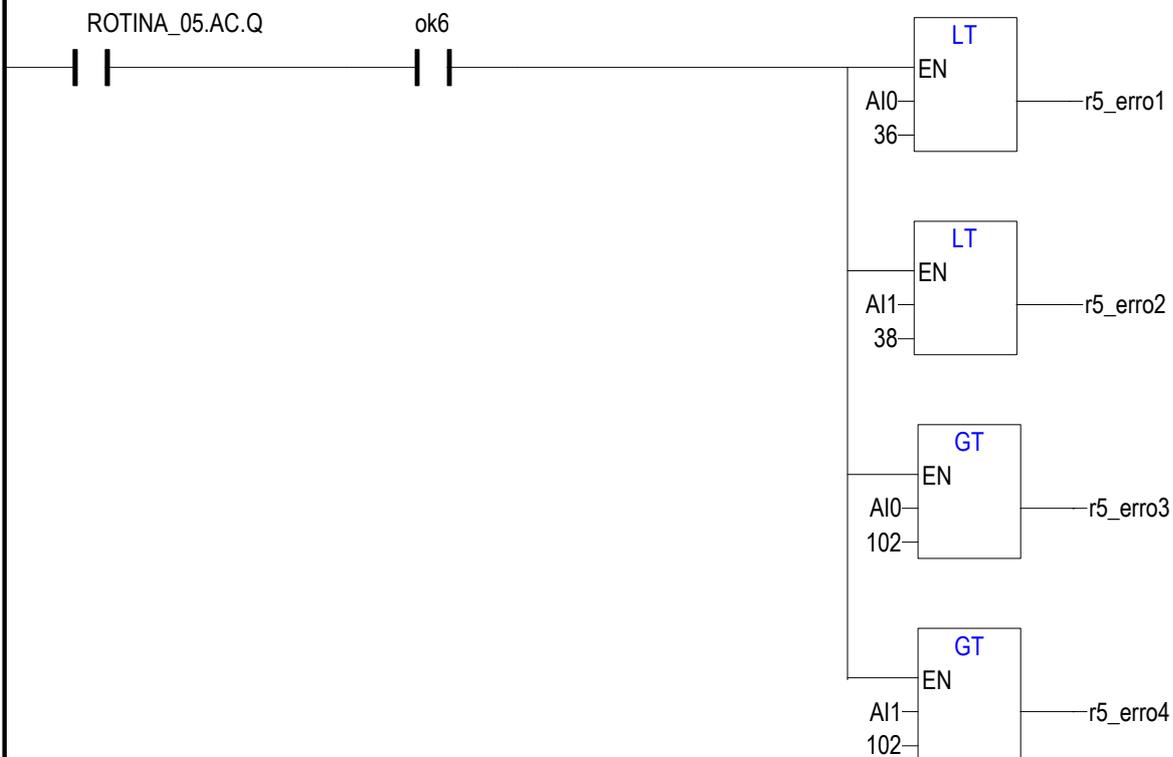
0003

Espera-se 5 minutos para que a pressão caia no valor referido do "Passo_05" e então prossegue-se ao próximo passo.



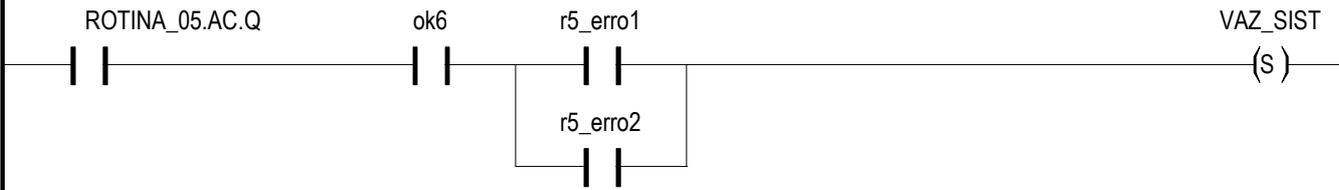
0004

Neste trecho da rotina de verificação, temos o monitoramento da pressão na campânula (AI1) e na bomba difusora (AI0). Caso a pressão suba acima de certo valor (no caso: 1mbar), constata-se vazamento em algum lugar do sistema. Lembrando que é de se esperar que a pressão caia, e não suba. No caso da pressão subir, caracteriza-se um quadro anormal de operação.



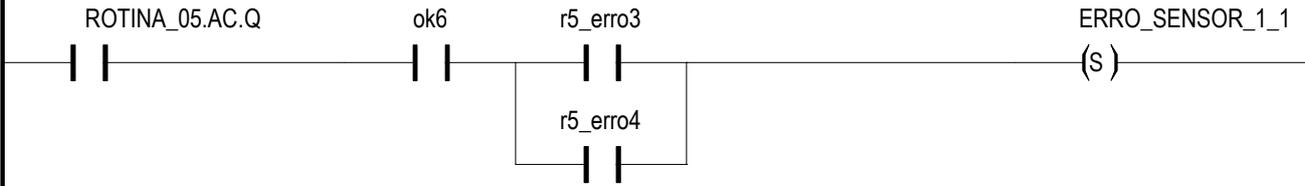
0005

O funcionamento anormal para esta situação é gravado na variável "VAZ_SIST" quando a tensão lida da placa amplificadora cai..



0006

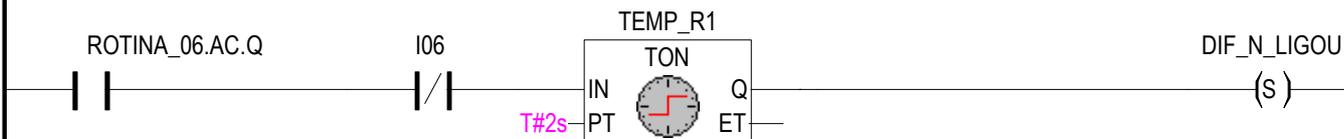
Porém, quando a tensão de saída da placa amplificadora é superior a 10,2 V, alguma anomalia está ocorrendo. Este erro é gravado na variável "ERRO_SENSOR_1_1".



0001

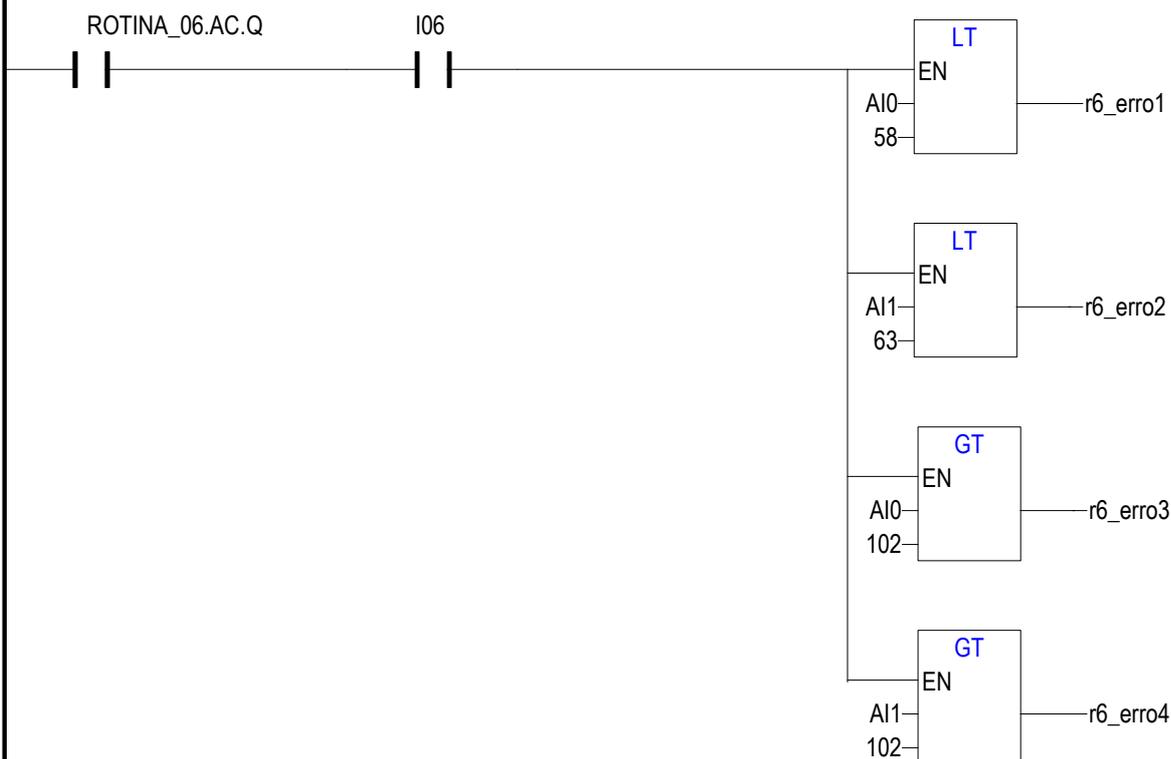
ROTINA_06

Há um tempo de 2 segundos de espera para que o contator da bomba difusora ligue; não acionando, é detectado o problema e o programa cessa sua execução. Obs.: o sinal de realimentação provém de um contato NO do contator desta bomba; e este sinal entra em I06 no CLP.



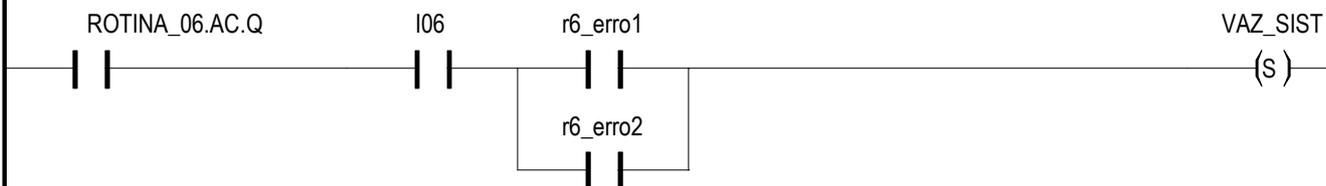
0002

Nesta situação, a pressão do sistema não varia muito; logo, deve permanecer numa faixa; e é isto que fazemos: limita-se a tensão lida numa faixa de segurança. O valor 58 refere-se a pressão de 4×10^{-1} mbar para o sensor da bomba difusora; o valor 63 representa a mesma pressão para o sensor da campânula.



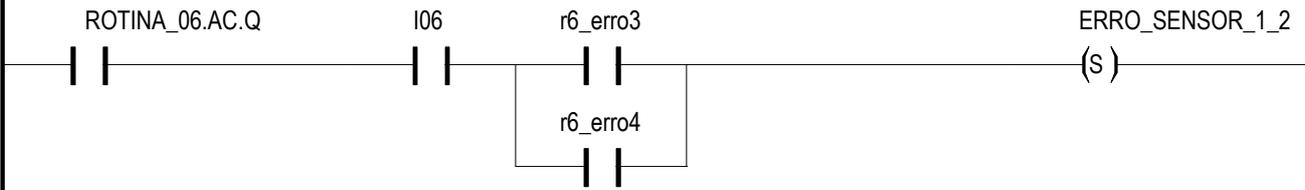
0003

Caso a tensão lida da placa amplificadoradora seja menor que o referido, é detectado este erro pela variável "VAZ_SIST", ou seja: o mais provável é que há algum vazamento no sistema.



0004

Caso a tensão lida seja superior a 10,2 V, fica caracterizado um erro e este é gravado na variável "ERRO_SENSOR_1_2".



0005

Caso a bomba difusora já esteja aquecida, não há necessidade de se esperar os 25 minutos para que esta entre em operação. Nesta situação, após realizado o glow, já pode-se prosseguir ao próximo passo. Note: a variável "SIST_AQC" indica que a bomba difusora já está aquecida; a variável "GLOW OK" indica que o glow já foi realizado e isto ocorre quando o operador assim sinaliza para o CLP



0001

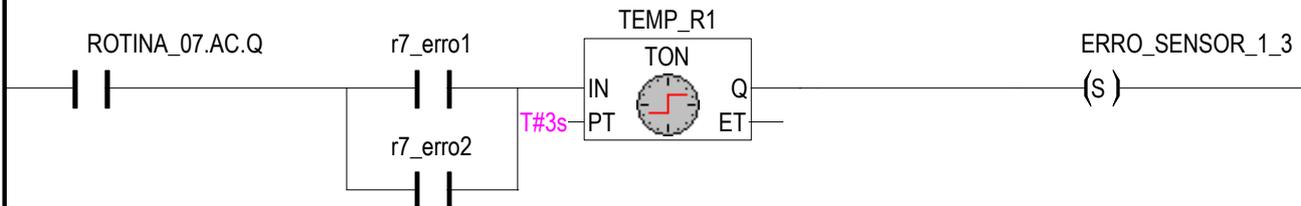
ROTINA_07

Como se fosse uma continuação da rotina 06, tem-se a contínua verificação da pressão indicada pelo sensor da difusora; esta pressão deve permanecer numa faixa de segurança para operação do sistema. O sensor da campânula não é mais observado pois o sensor de alto vácuo entrará em operação. Observa-se que esta faixa é ampla, pois considera-se o sufo de pressão que ocorre na saída da bomba difusora quando a válvula borboleta é aberta. Neste caso, o valor 36 corresponde pressão de 1mbar.



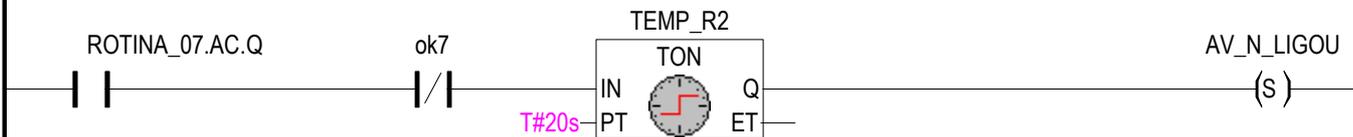
0002

Caso a indicação do sensor da difusora esteja fora da faixa de segurança, será detectado esta anomalia pela variável "ERRO_SENSOR_1_3" e o alarme será ativado.



0003

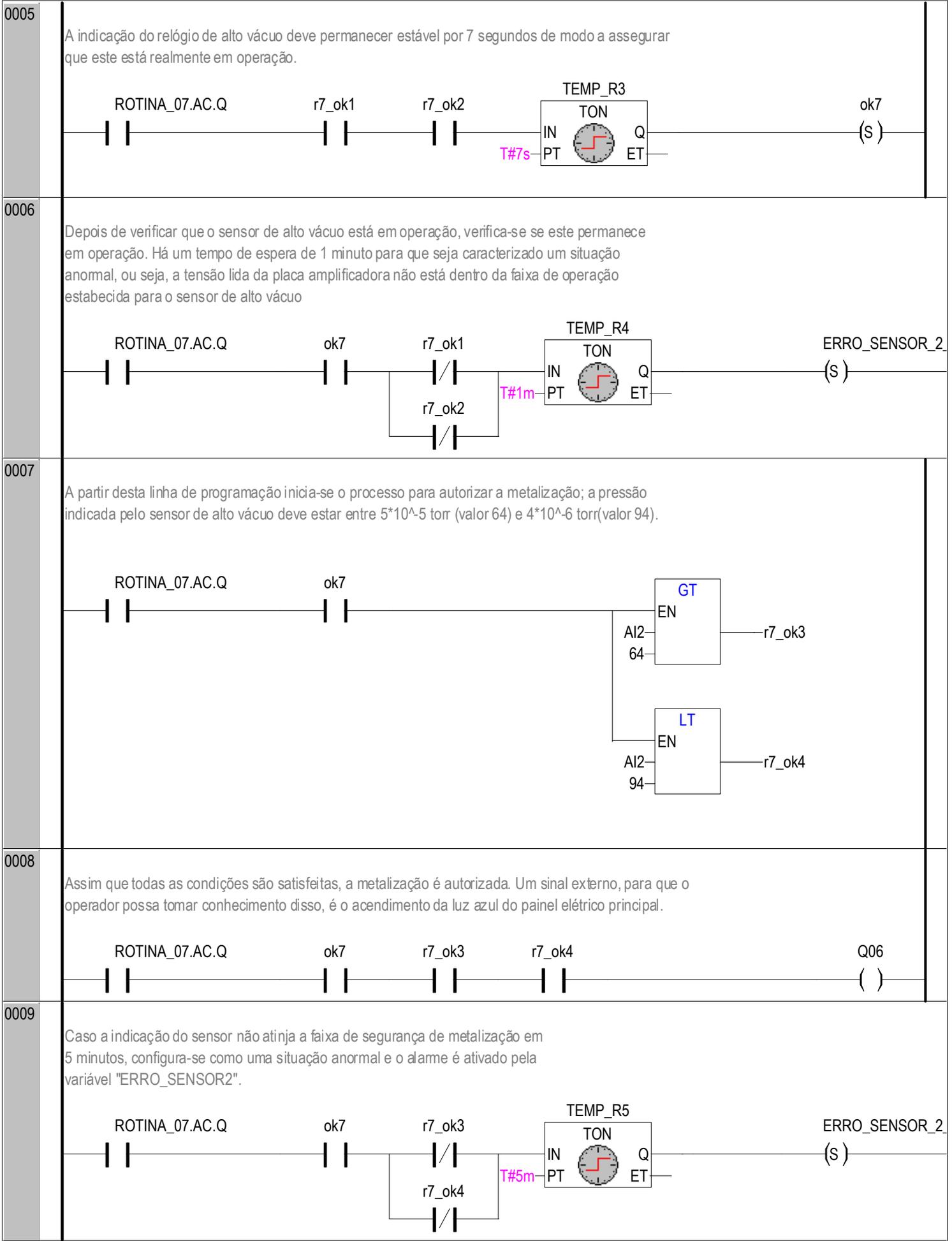
Espera-se 20 segundos para que o sensor de alto vácuo entre em operação; não entrando em operação o alarme será ativado pela variável "AV_N_LIGOU"



0004

Com o relógio de alto vácuo desligado, a tensão que entra via AI2 é superior a 10,5 V. Portanto é considerável estimar que a tensão esteja numa faixa de acordo com a pressão indicada por outros sensores de vácuo. Neste caso, 23 representa 10^{-3} TORR; 96 representa $4 \cdot 10^{-6}$ TORR.





1

2

0001

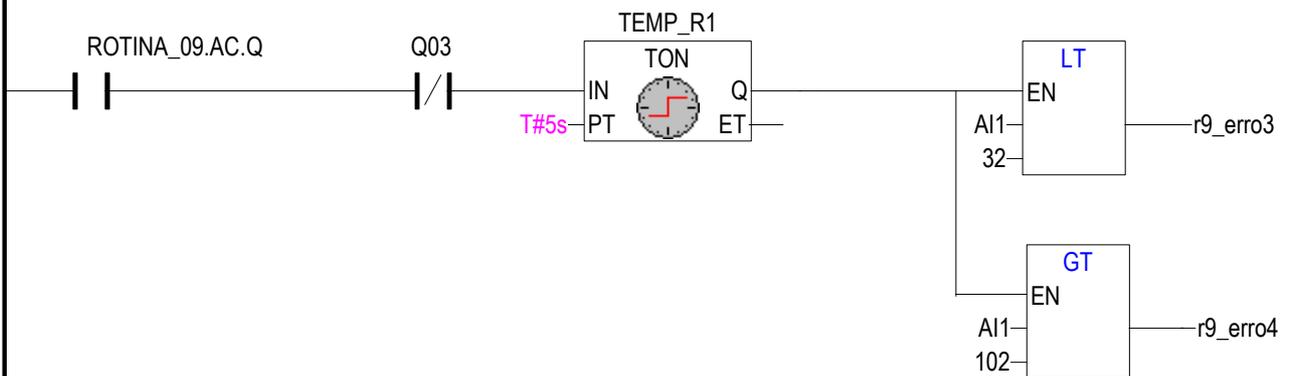
ROTINA_09

Averiguação da pressão na bomba difusora: como ocorreu na rotina 06 e 07, a pressão indicada pelo sensor da bomba difusora deve estar numa faixa de segurança. Novamente, o valor 36 indica a pressão de 1mbar.



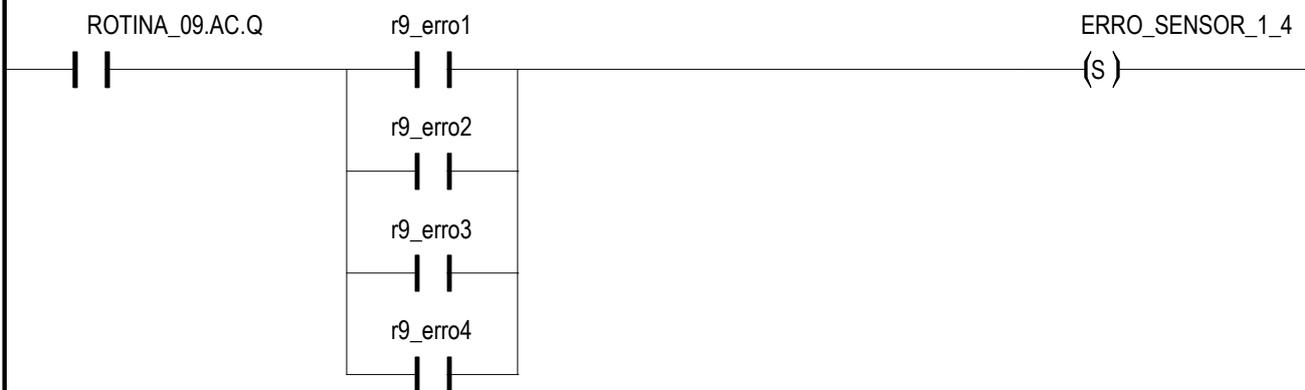
0002

Por questão de redundância, também é monitorada a pressão no sensor da bomba mecânica; isto serve para verificar o funcionamento deste sensor enquanto se recarrega o sistema. Como necessário, há um tempo de 5 segundos para que este sensor se estabilize, pois houve mudança no local de medida: da campânula, que está em processo de quebra de vácuo, para a bomba difusora.



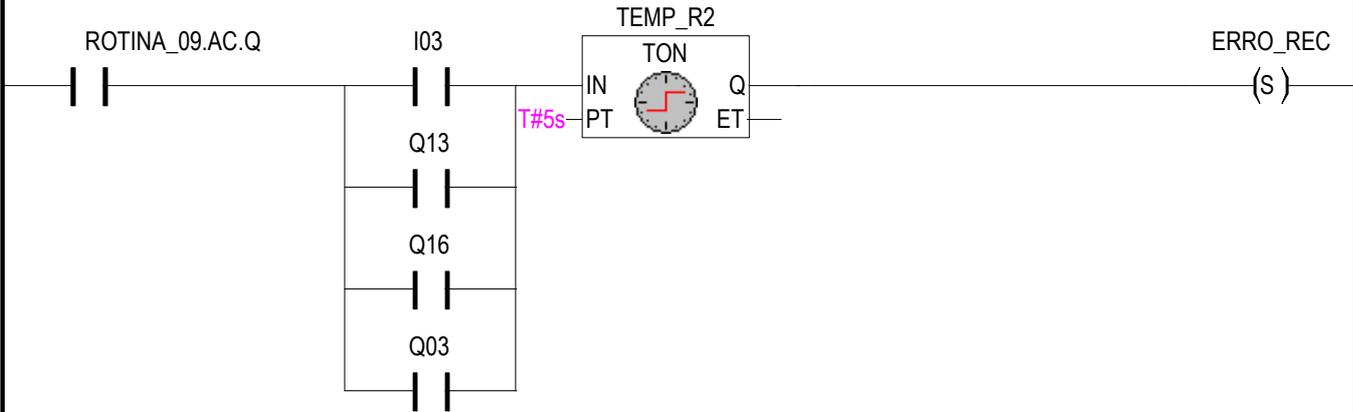
0003

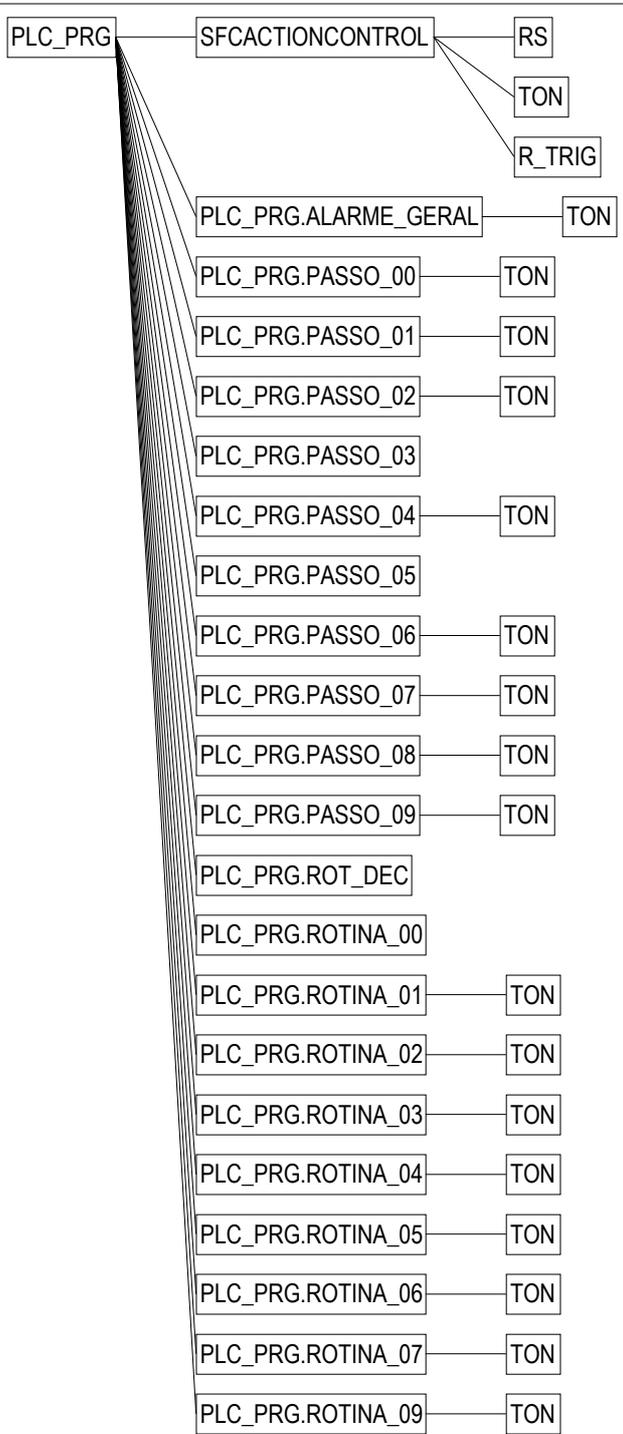
Caso ocorra alguma anormalidade referente à pressão na bomba difusora ou mecânica, o alarme é ativado pela variável "ERRO_SENSOR_1_4".



0004

Há um tempo de 5 segundos para que o sistema esteja preparado para se quebrar o vácuo na campânula E esta preparação implica em válvula V1 fechada (I03: FALSE), válvula borboleta fechada (Q13: FALSE), sensor de alto vácuo desligado (Q16: FALSE) e novo local de medida de médio vácuo (Q03: FALSE); caso ocorra algum problema, será detectado como erro de recarregamento do sistema pela variável "ERRO_REC" e o alarme será ativado.

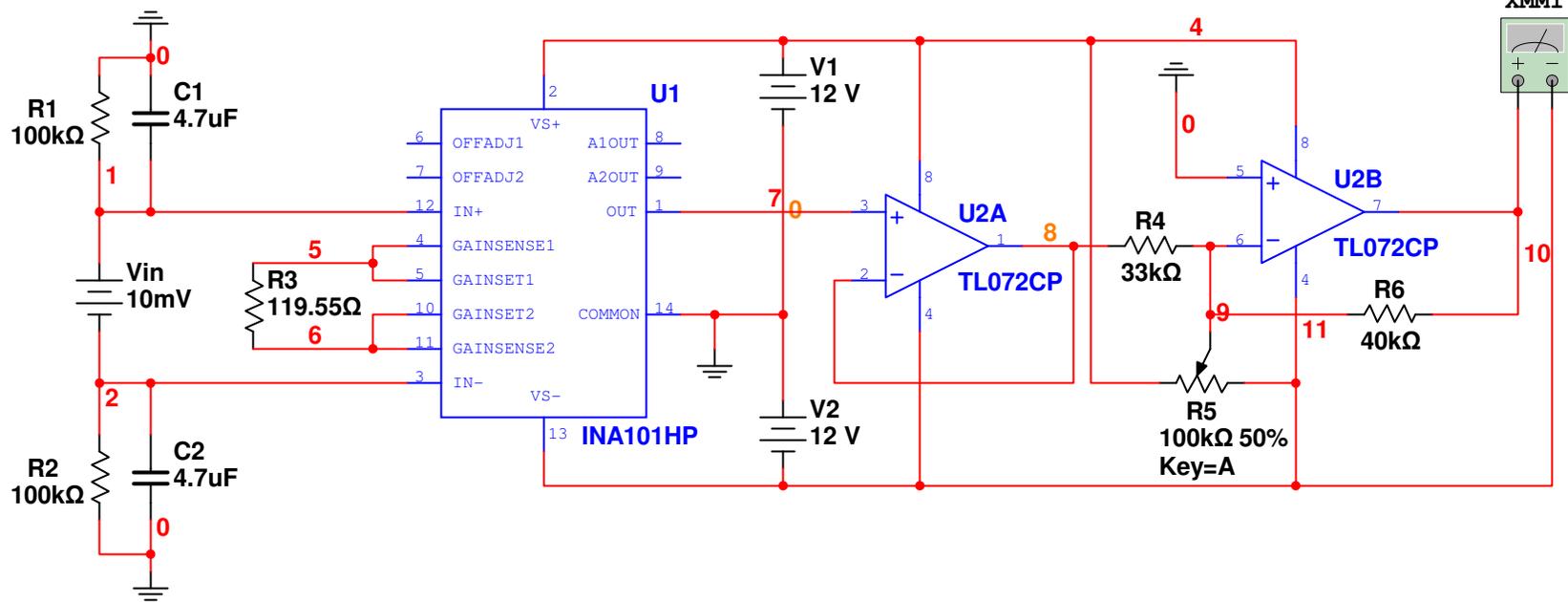




	Página
Informações do projeto	A
NAVEGA (PRG-ST)	2-1
PLC_PRG (PRG-SFC)	3-1
ALARME_GERAL (LD)	4-1
Passo_00 (LD)	5-1
Passo_01 (LD)	6-1
Passo_02 (LD)	7-1
Passo_03 (LD)	8-1
Passo_04 (LD)	9-1
Passo_05 (LD)	10-1
Passo_06 (LD)	11-1
Passo_07 (LD)	12-1
Passo_08 (LD)	13-1
Passo_09 (LD)	14-1
ROT_DEC (LD)	15-1
ROTINA_00 (LD)	16-1
ROTINA_01 (LD)	17-1
ROTINA_02 (LD)	18-1
ROTINA_03 (LD)	19-1
ROTINA_04 (LD)	20-1
ROTINA_05 (LD)	21-1
ROTINA_06 (LD)	22-1
ROTINA_07 (LD)	23-1
ROTINA_09 (LD)	24-1
Árvore de chamadas de PLC_PRG (PRG-SFC)	25-1

Anexo Dois – Esquemáticos usados para construção da placa amplificadora

Estes esquemáticos foram gerados no software MULTSIM 10. Não correspondem ao layout da placa amplificadora, pois o circuito foi montado numa placa genérica. Assim procedeu, pois o circuito amplificador, como um todo, era de simples montagem.



Projeto: placa amplificadora para sensores de vácuo	
Circuito: amplificador para sensor da campânula e bomba mecânica	
Autor: Yvan Gutnik	Data: 19/10/2010

0 1 2 3 4 5 6 7 8

A

A

B

B

C

C

D

D

E

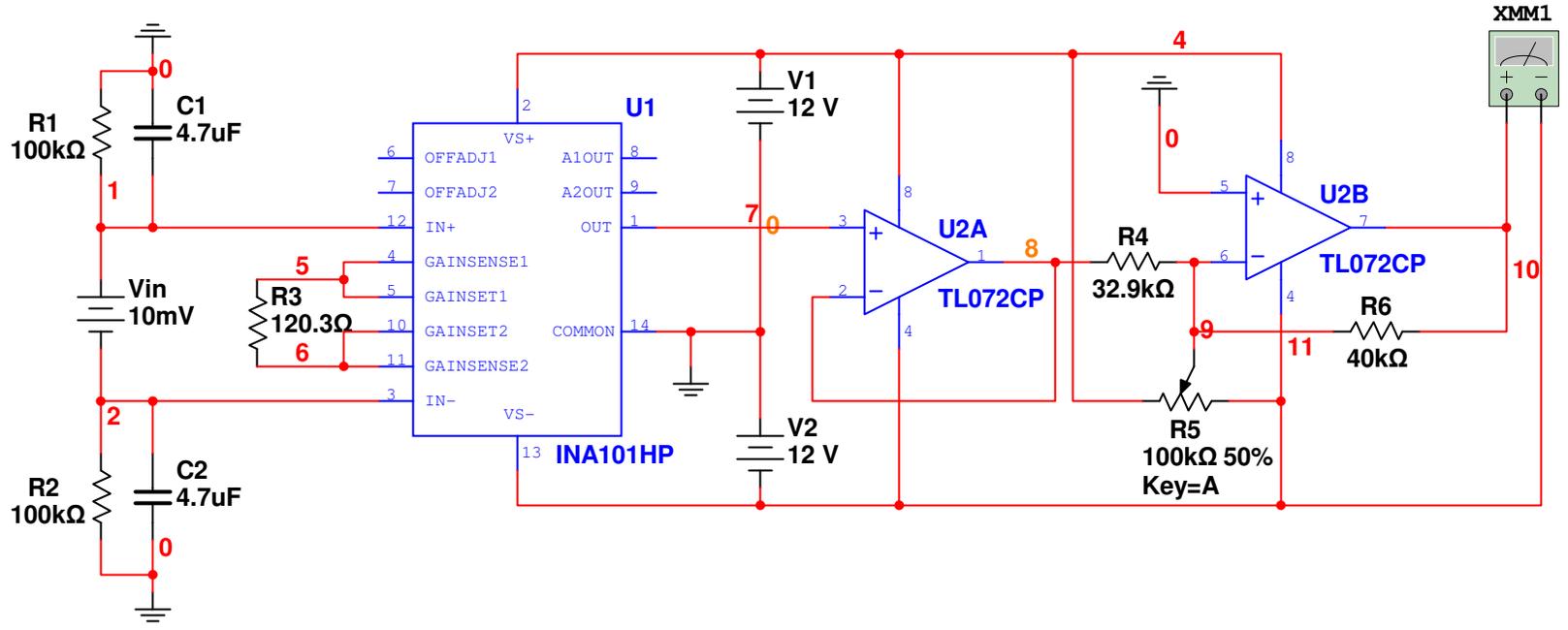
E

F

F

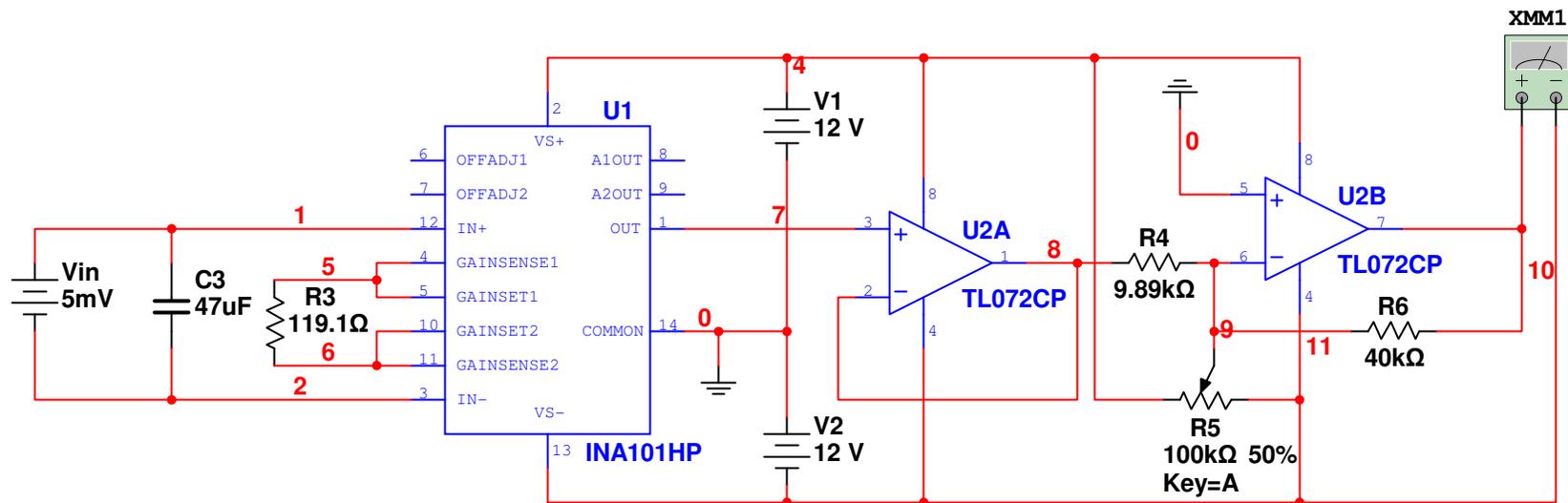
G

G



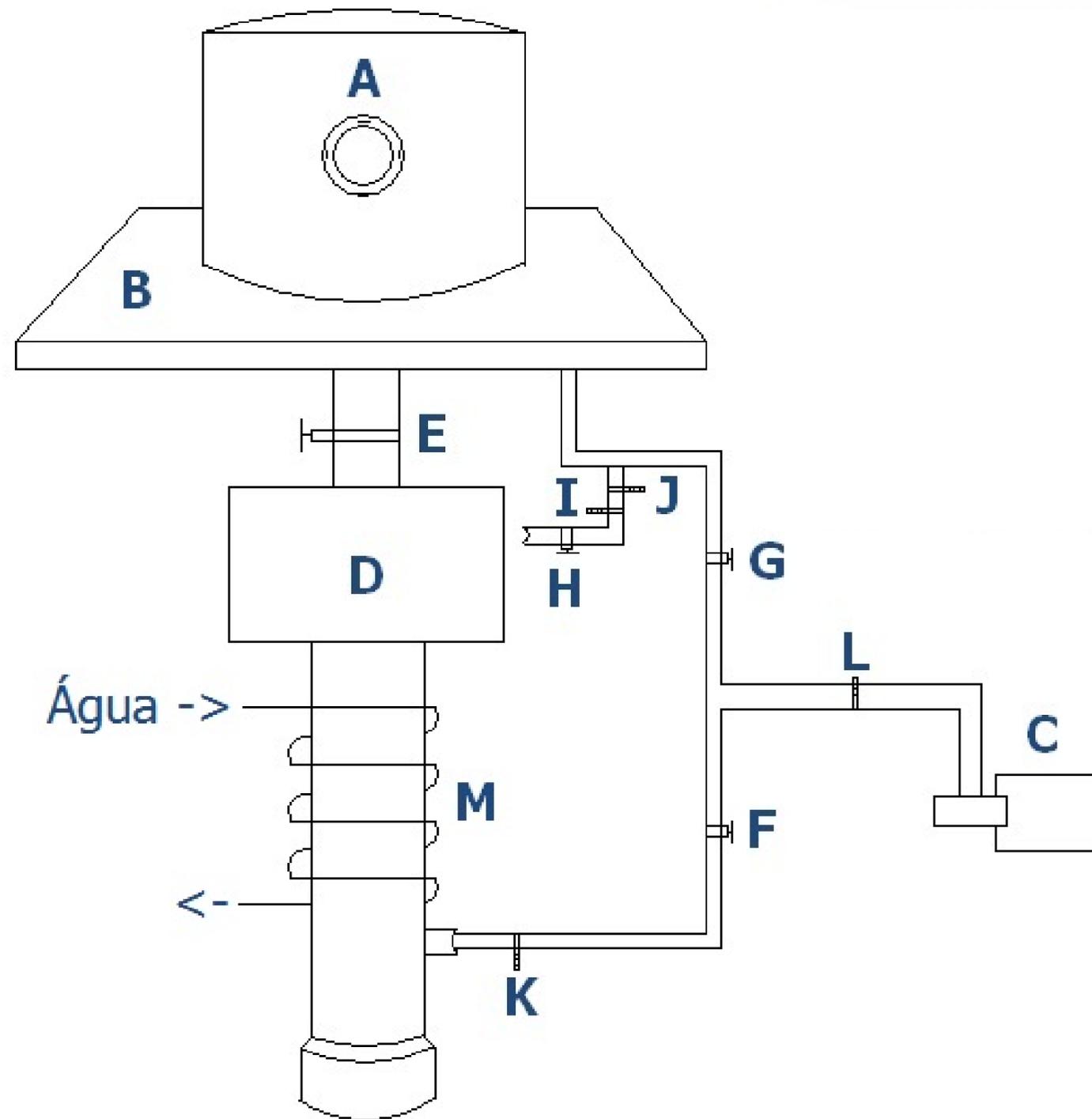
Projeto: placa amplificadora para sensores de vácuo	
Circuito: amplificador para sensor da bomba difusora	
Autor: Yvan Gutnik	Data: 19/10/2010

0 1 2 3 4 5 6 7 8

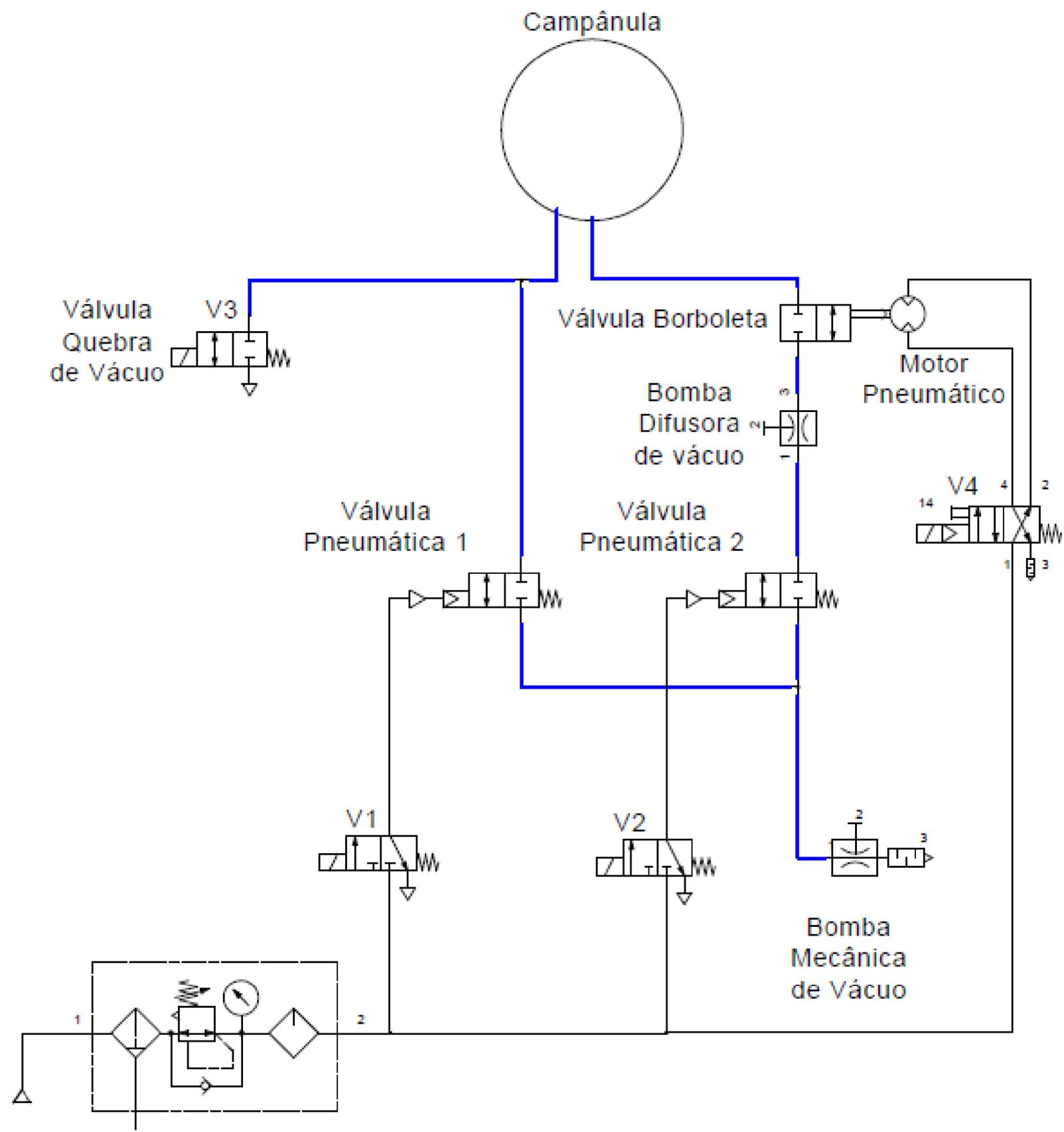


Projeto: placa amplificadora para sensores de vácuo	
Circuito: amplificador para sensor de alto vácuo	
Autor: Yvan Gutnik	Data: 19/10/2010

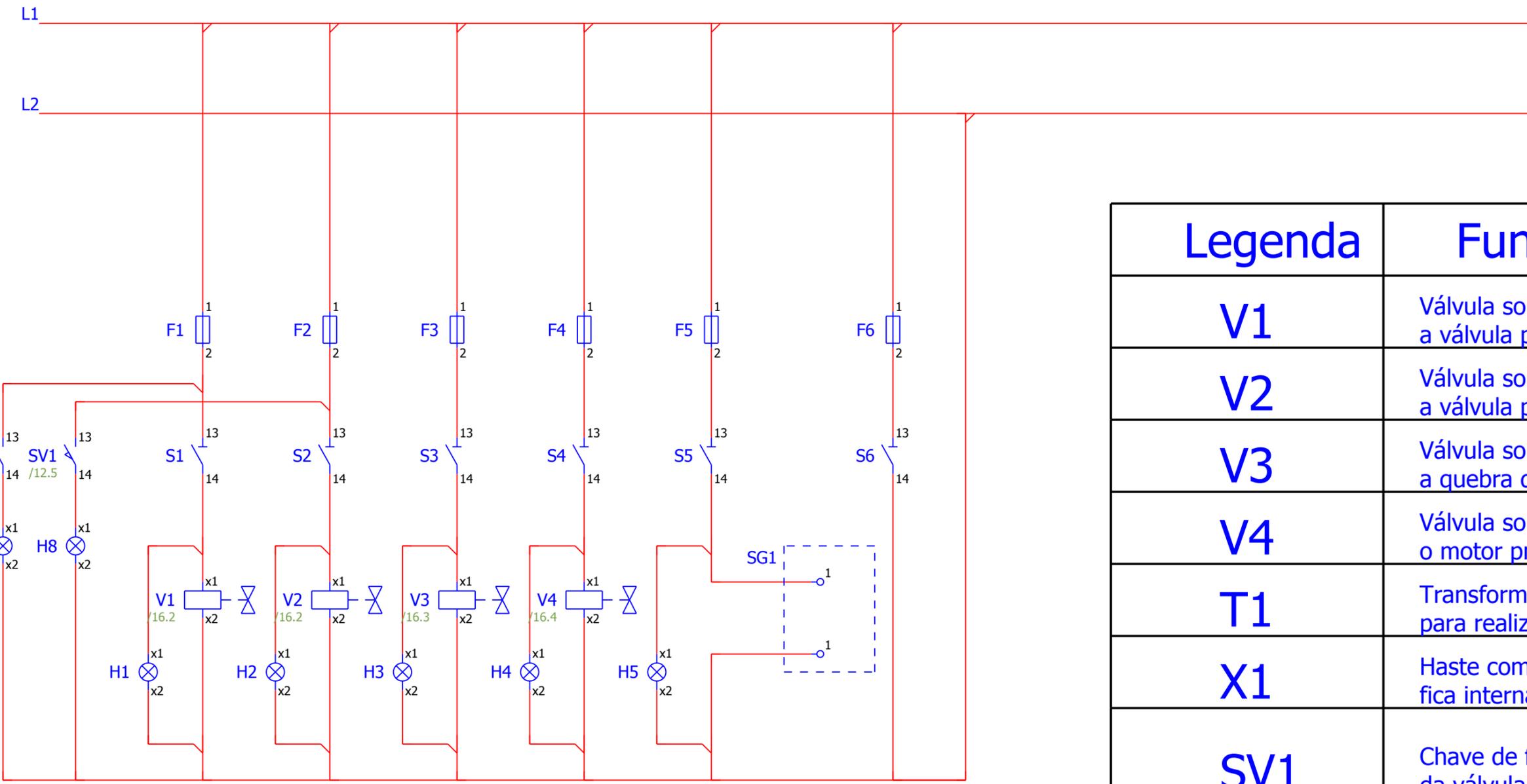
Anexo três – Diagramas elétricos utilizados para a construção do painel elétrico principal.



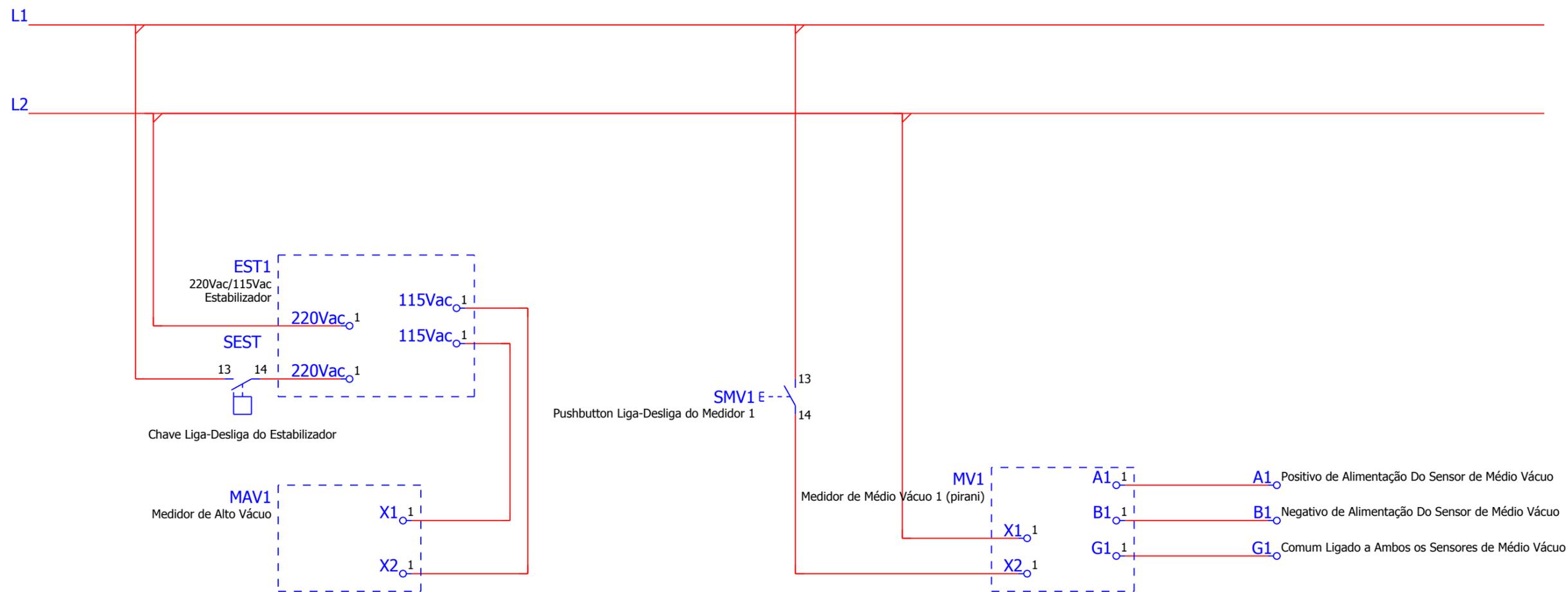
LEGENDA	EQUIPAMENTO
A	Campânula
B	Mesa de apoio da campânula
C	Bomba mecânica de vácuo
D	Bomba difusora de vácuo
E	Válvula borboleta
F	Válvula pneumática 2
G	Válvula pneumática 1
H	Válvula quebra de vácuo
I	Sensor de alto vácuo
J	Sensor de vácuo
K	Sensor de vácuo
L	Sensor de vácuo
M	Serpentina de refrigeração da difusora



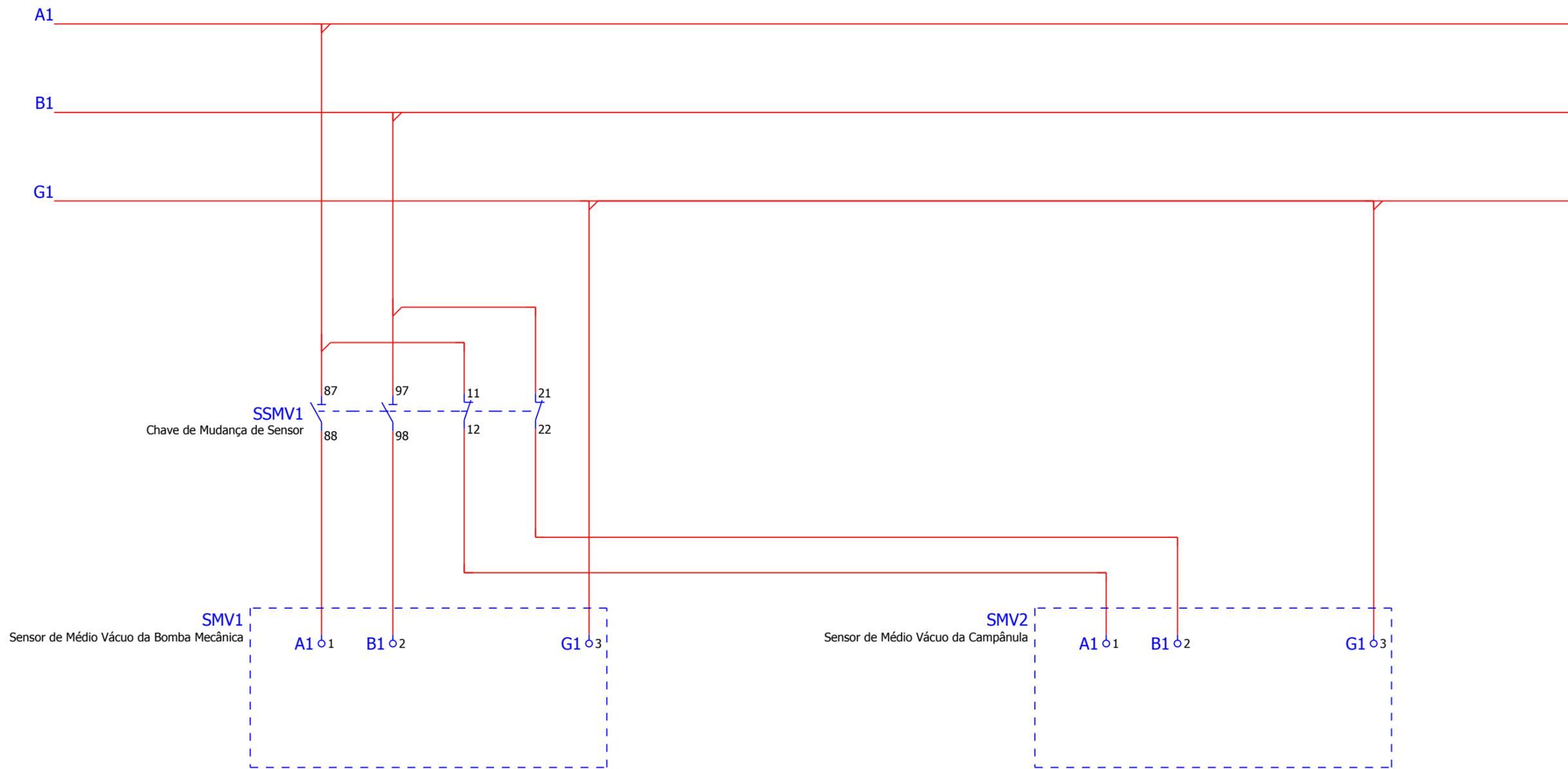
		Date	30-Oct-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Diagrama Pneumático		= CA1 + EAA	
		Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure				IEC_bas001		Page 3
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	Replaced by					Page 22



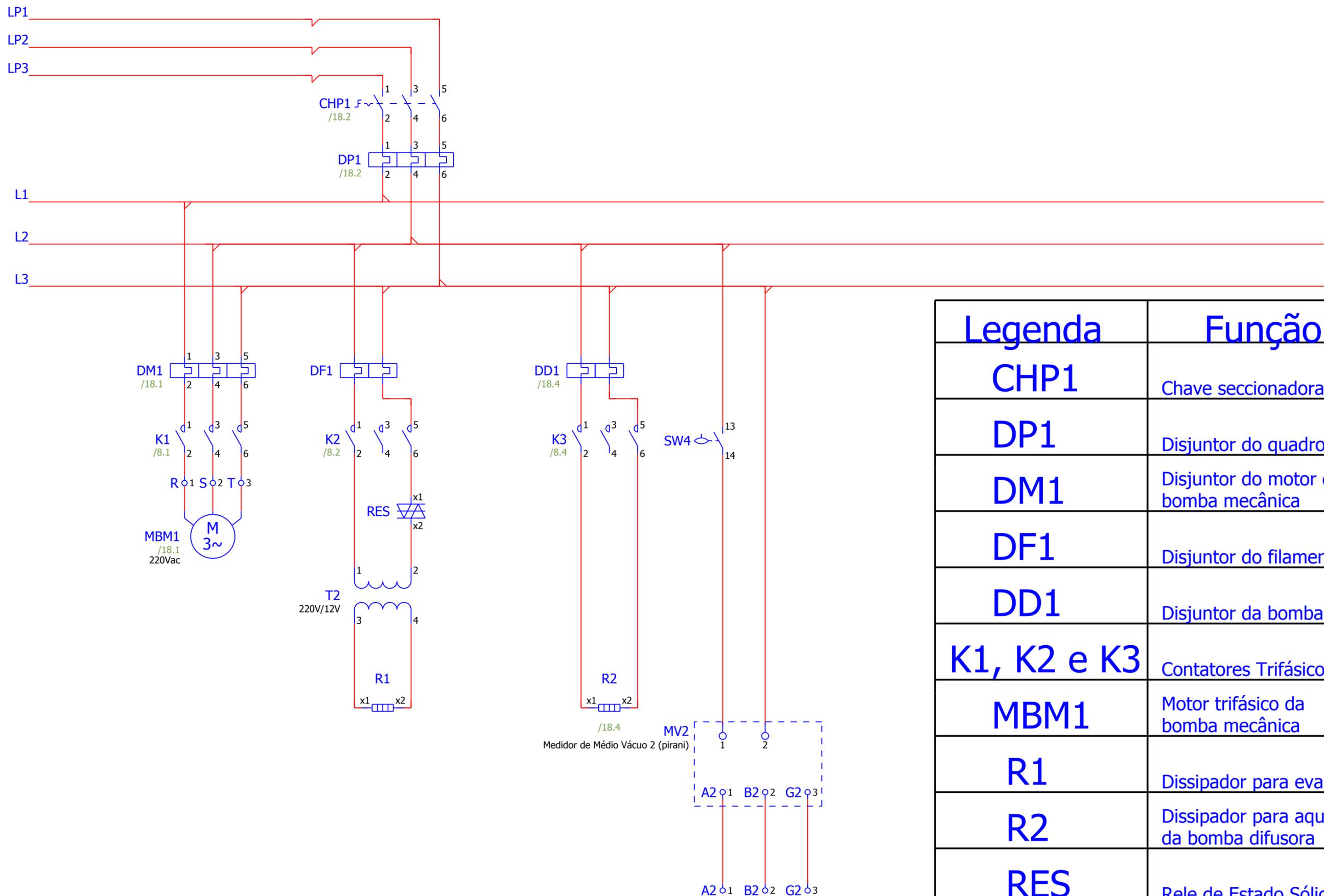
Legenda	Função
V1	Válvula solenóide que aciona a válvula pneumática 1
V2	Válvula solenóide que aciona a válvula pneumática 2
V3	Válvula solenóide que realiza a quebra de vácuo
V4	Válvula solenóide que aciona o motor pneumático
T1	Transformador usado para realizar o glow
X1	Haste com ponta; esta fica interna à campânula
SV1	Chave de fim de curso da válvula pneumática 1
SV2	Chave de fim de curso da válvula pneumática 2
SG1	Sistema de Glow Vide Folha 21



Date	01-Dec-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Alimentação Dos Medidores de Vácuo (MV1 e Alto Vácuo) (Improvizado)	= CA1 + EAA
Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure			
Appr		Replaced by	Replaced by		
Modification	Date	Name	Original		IEC_bas001
					Page 5
					Page 22

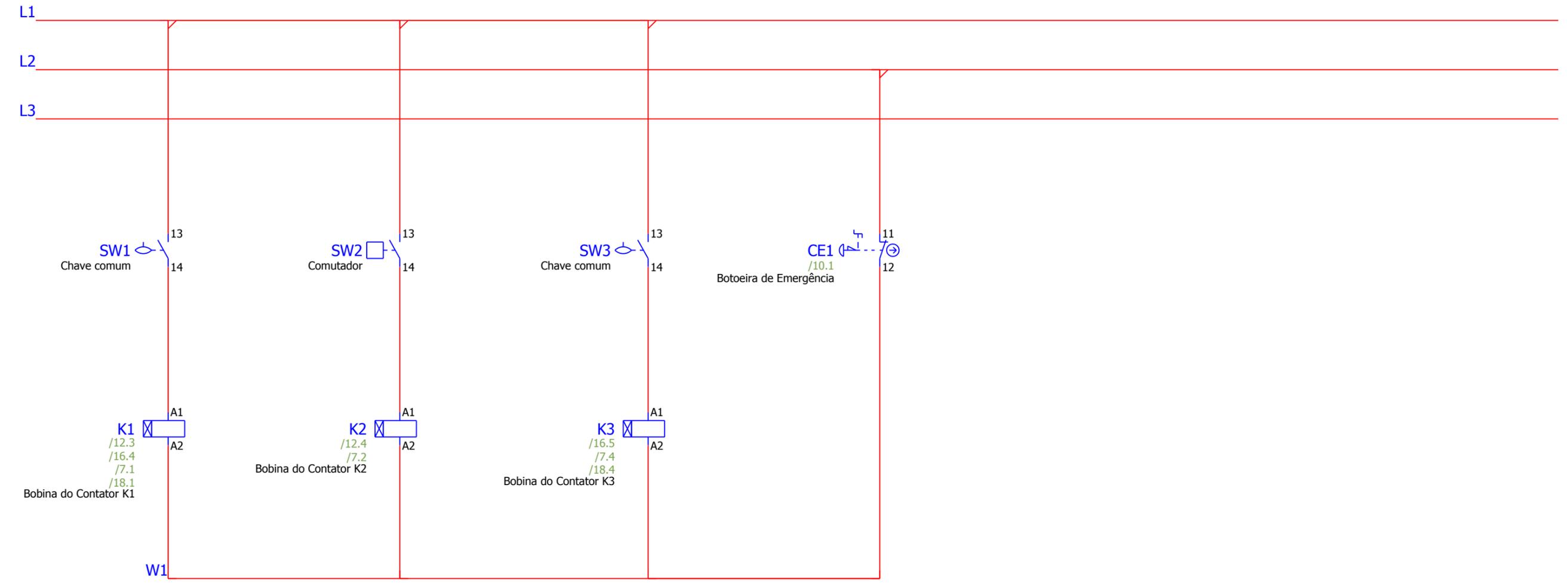


			Date	30-Oct-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Ligação dos Sensores de Médio Vácuo (Improvisado)	= CA1 + EAA
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure			Page 6
			Appr					Page 22
Modification	Date	Name	Original		Replaced by	Replaced by		IEC_bas001



Legenda	Função
CHP1	Chave seccionadora do quadro
DP1	Disjuntor do quadro
DM1	Disjuntor do motor da bomba mecânica
DF1	Disjuntor do filamento
DD1	Disjuntor da bomba difusora
K1, K2 e K3	Contatores Trifásicos
MBM1	Motor trifásico da bomba mecânica
R1	Dissipador para evaporação
R2	Dissipador para aquecimento da bomba difusora
RES	Rele de Estado Sólido

			Date	30-Nov-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Diagrama Simplificado do Painel Elétrico Atual	= CA1 + EAA
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure			Page 7
			Appr		Replaced by	Replaced by		Page 22
Modification	Date	Name	Original				IEC_bas001	



			Date	30-Nov-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Acionamento do Painel Elétrico Atual		= CA1 + EAA	
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 8	
			Appr		Replaced by		Replaced by		IEC_bas001		Page 22	
Modification	Date	Name	Original									

A2

B2

G2

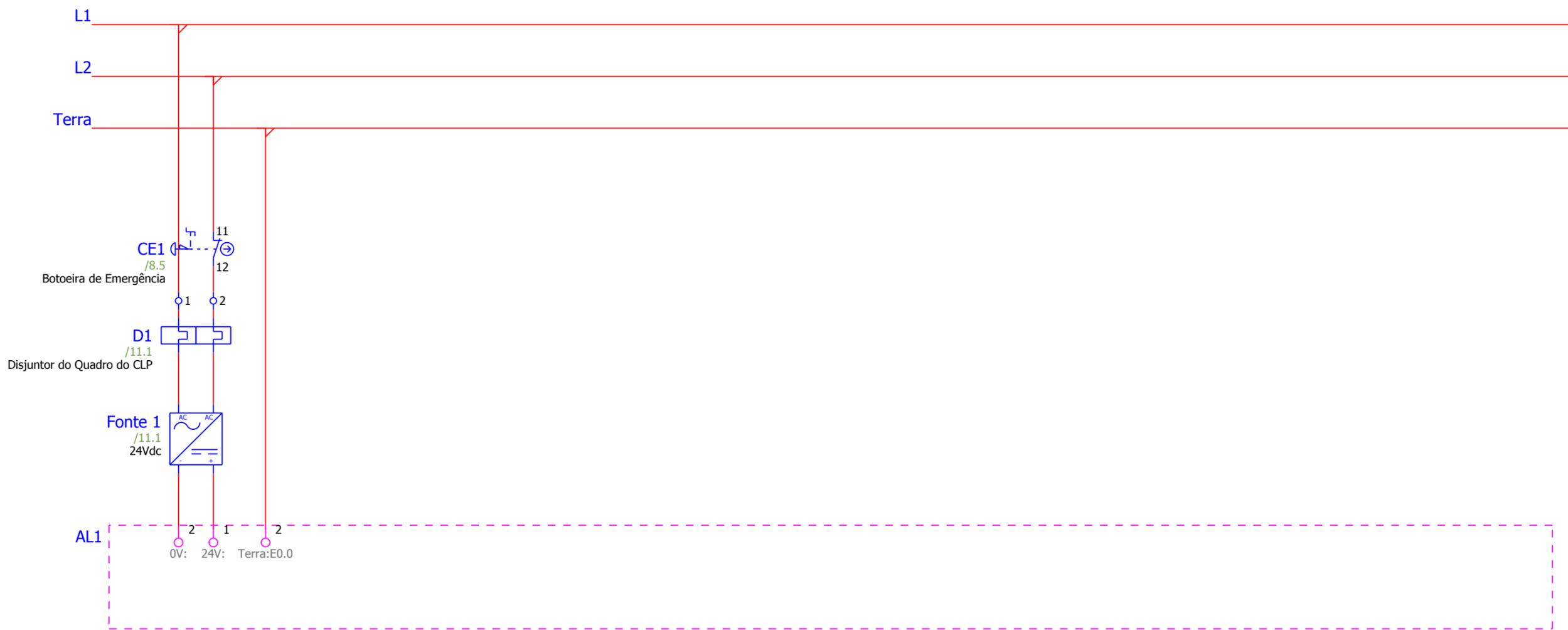
SMV2
Sensor de Médio Vácuo da Bomba Difusora

A2 01

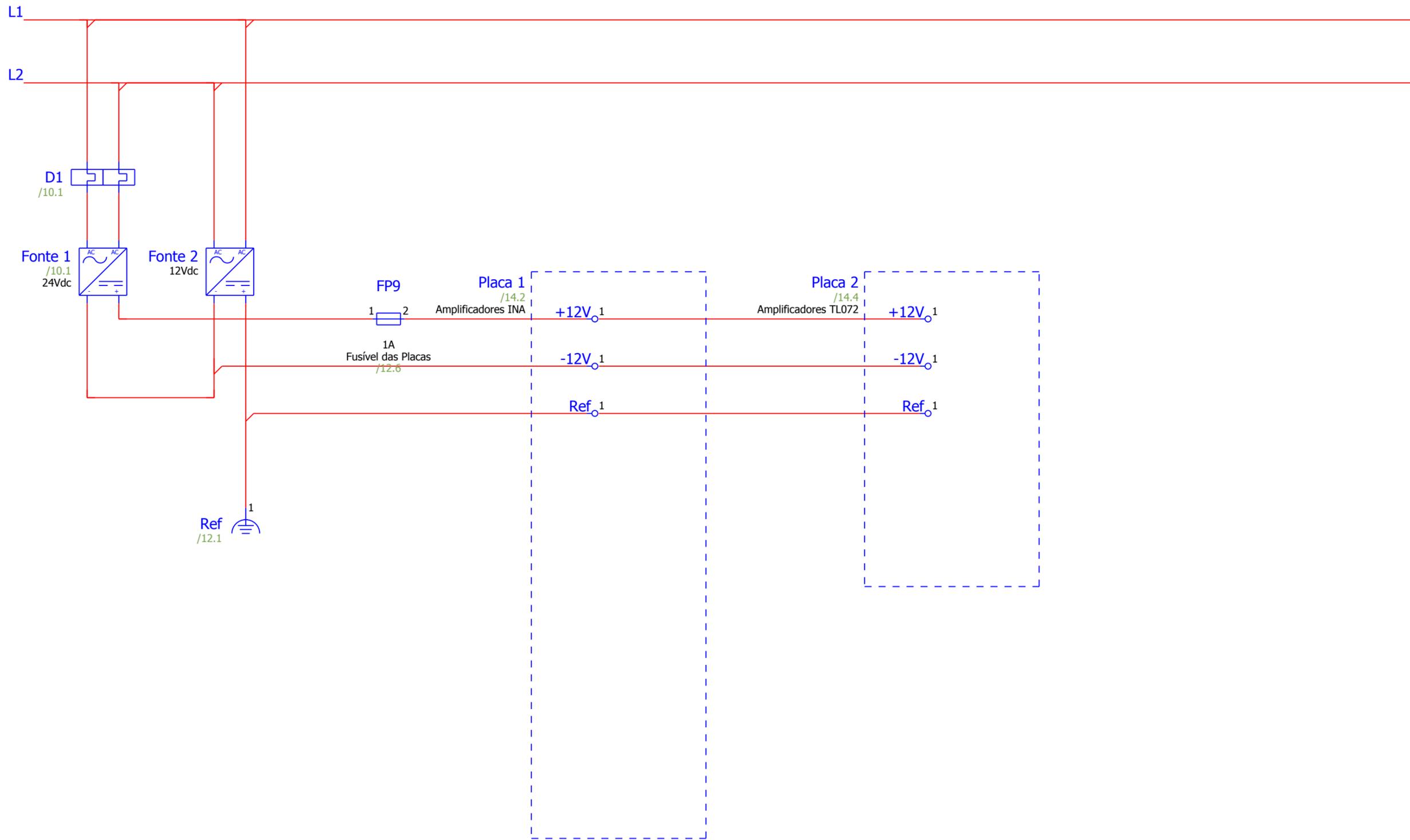
B2 02

G2 03

			Date	30-Oct-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Ligação do Sensor de Médio Vácuo 2	= CA1	
			Ed.	Yvan				+ EAA	
			Appr		Basic project with IEC identifier structure				Page 9
Modification	Date	Name	Original		Replaced by	Replaced by		IEC_bas001	Page 22



			Date	01-Nov-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Alimentação do CLP	= CA1	
			Ed.	Yvan				+ EAA	
			Appr		Basic project with IEC identifier structure				Page 10
Modification	Date	Name	Original		Replaced by	Replaced by		IEC_bas001	Page 22

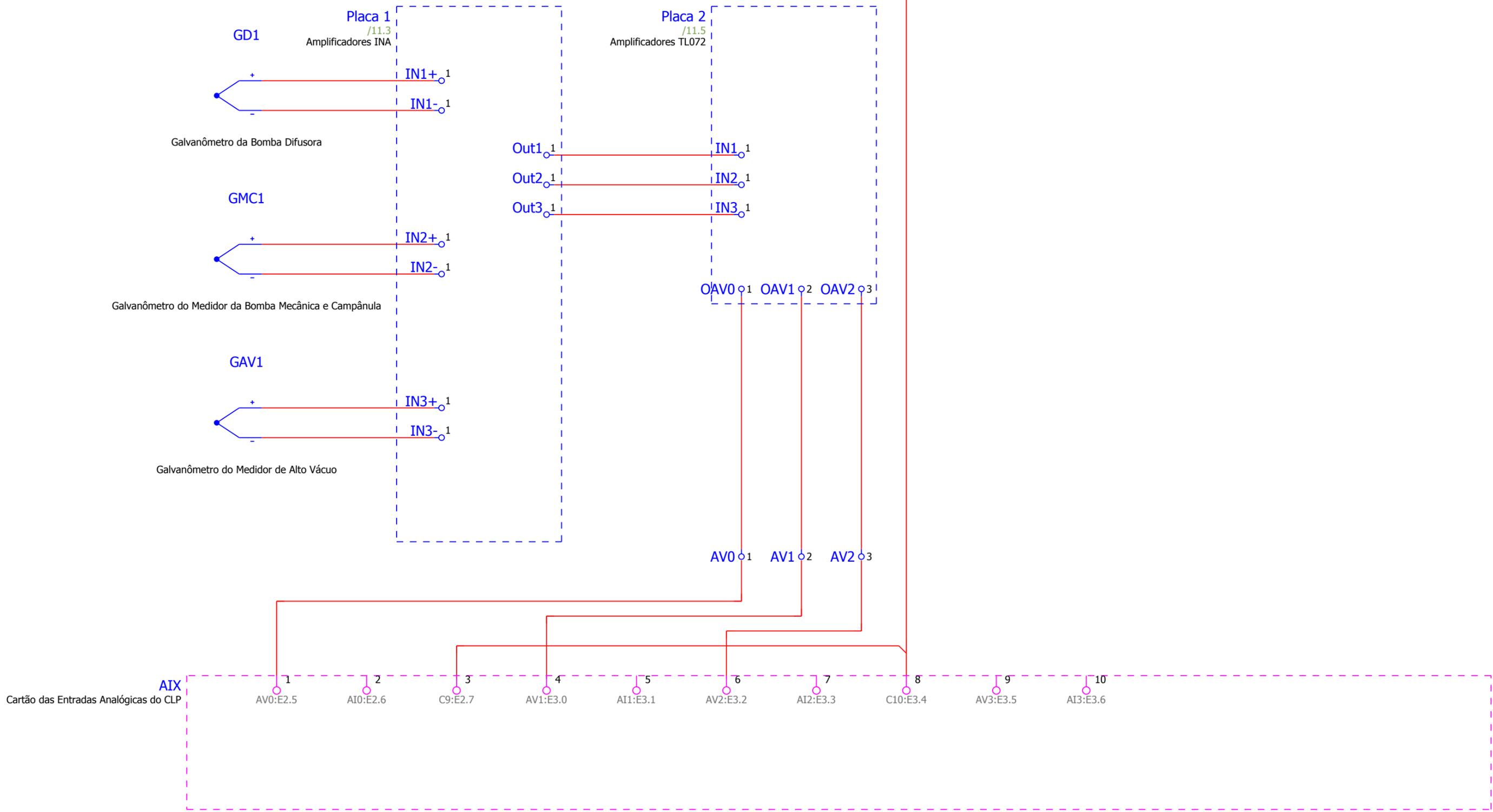


			Date	30-Nov-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Alimentação da Placa Amplificadora		= CA1 + EAA	
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 11	
			Appr		Replaced by		Replaced by				Page 22	
Modification	Date	Name	Original							IEC_bas001		

+12V

Ref

-12V

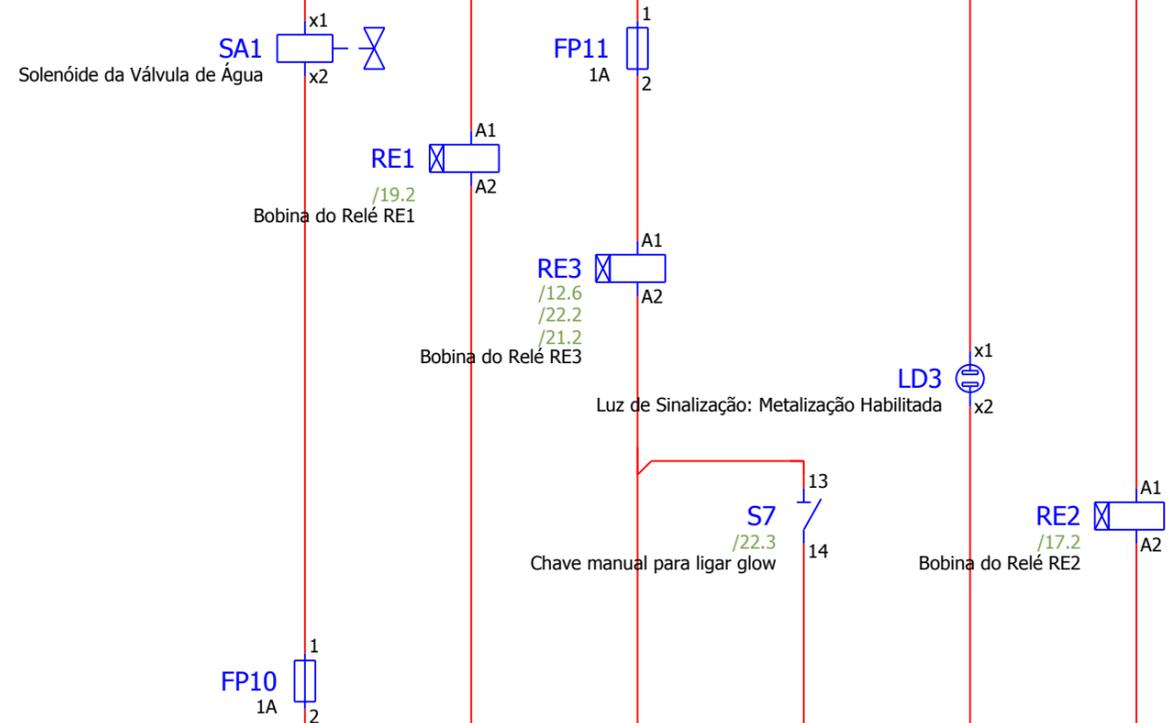


			Date	29-Nov-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Cartão das Entradas Analógicas		= CA1 + EAA	
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 14	
			Appr		Replaced by		Replaced by				Page 22	
Modification	Date	Name	Original							IEC_bas001		

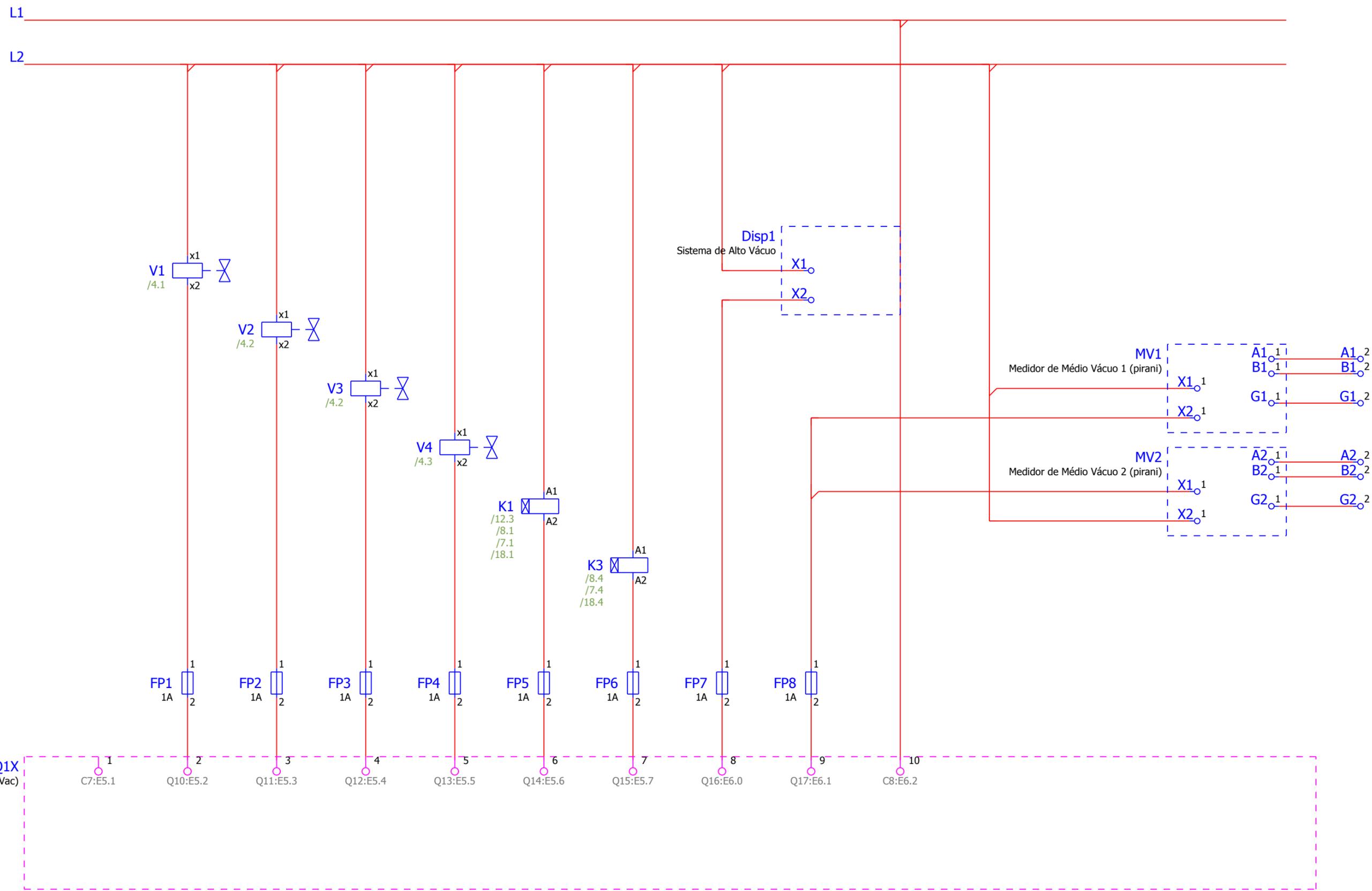
+12V

Ref

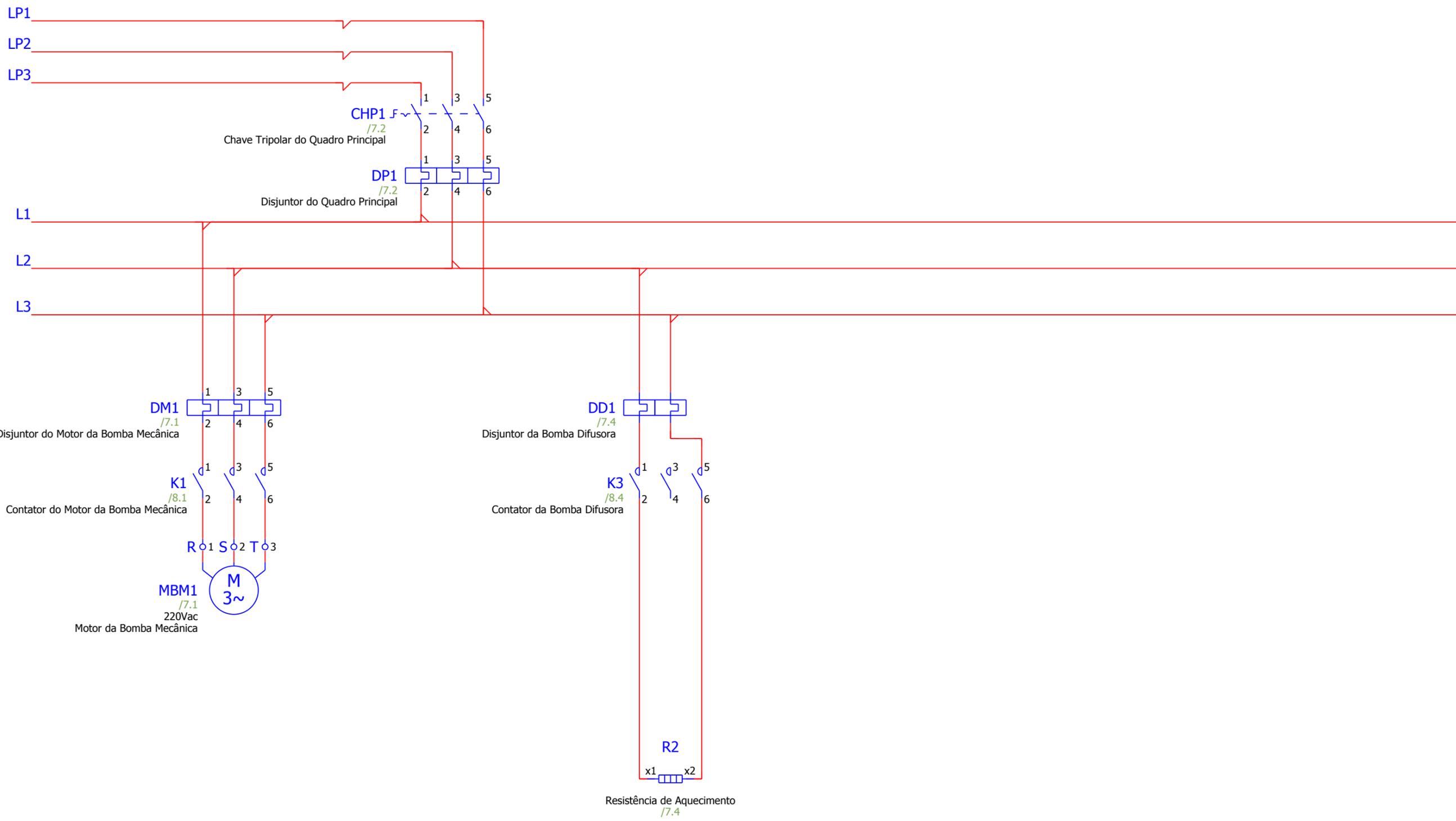
-12V



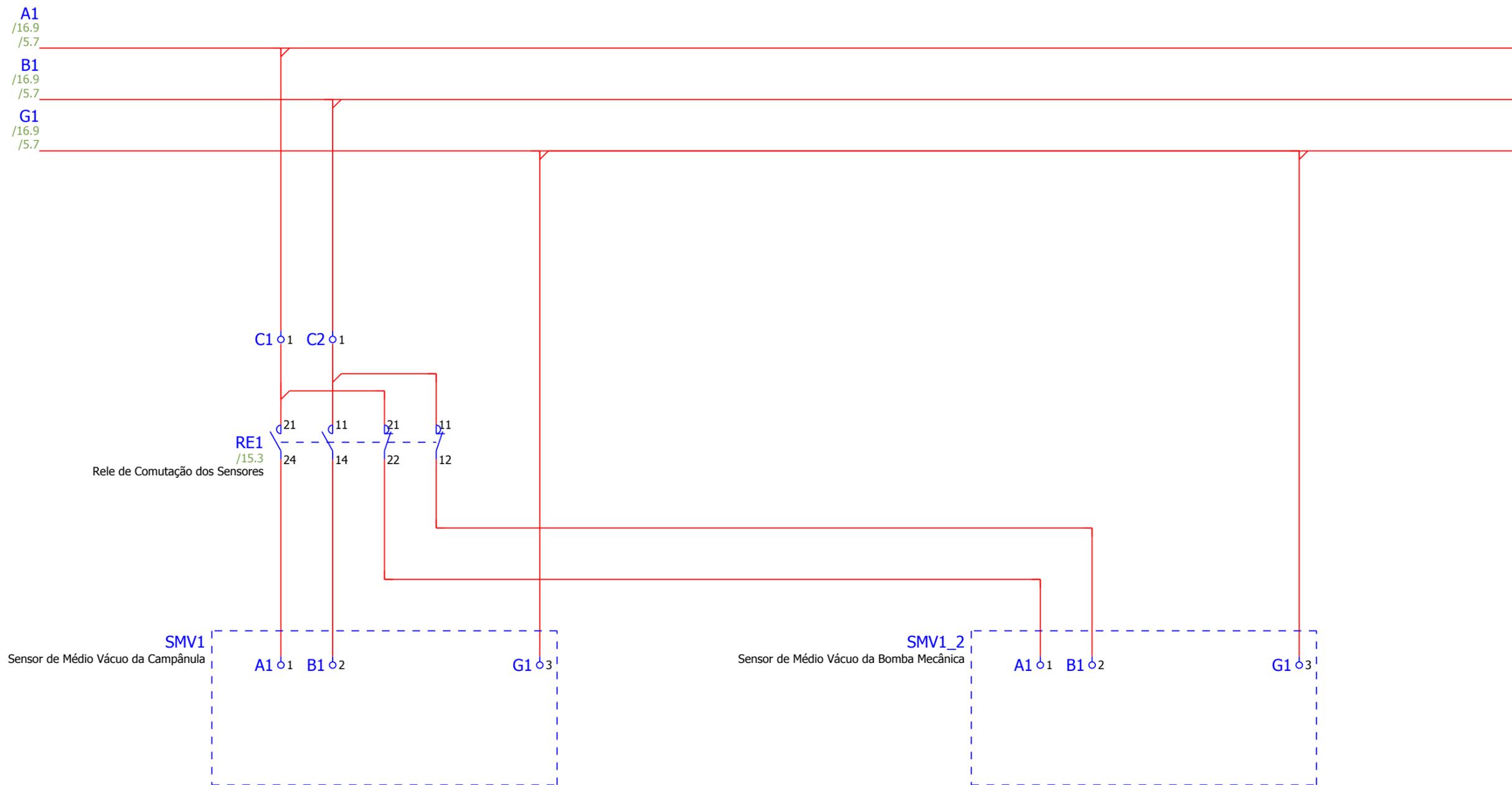
		Date	30-Nov-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Cartão das Saídas a Relé Q0X		= CA1 + EAA	
		Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 15	
		Appr		Replaced by		Replaced by				Page 22	
Modification	Date	Name	Original					IEC_bas001			



		Date	30-Nov-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Cartão das Saídas a Relé Q1X		= CA1 + EAA	
		Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 16	
		Appr		Replaced by		Replaced by				Page 22	
Modification	Date	Name	Original					IEC_bas001			



		Date	30-Oct-10	EPLAN		EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG		Acionamento da Bomba Mecânica e Difusora		= CA1 + EAA	
		Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure						Page 18	
		Appr		Replaced by		Replaced by				Page 22	
Modification	Date	Name	Original					IEC_bas001			



			Date	01-Dec-10	EPLAN	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG	Ligação dos Sensores de Médio Vácuo do Medidor do Quadro do CLP	= CA1		
			Ed.	Yvan	Basic project with IEC identifier structure			+ EAA		
			Appr						IEC_bas001	Page 19
Modification	Date	Name	Original		Replaced by	Replaced by				Page 22

Anexo Quatro – Dados e rotinas utilizadas para construção dos gráficos (Matlab).


```
%Gráfico: Tempo versus Temperatura de aquecimento da bomba difusora
```

```
%Dados Gerais
```

```
% Tempo Temperatura (para cada uma das "duas colunas")
```

```
A = [0 18.9 18 197.1  
1 22.6 19 202  
2 31.5 20 207  
3 43.7 21 212  
4 58 22 218  
5 72.3 23 222  
6 85.5 24 225  
7 100 25 229  
8 112 26 233  
9 123.7 27 235  
10 134 28 238  
11 144 29 239  
12 153.6 30 241  
13 161.3 31 242  
14 169.4 32 242  
15 177 33 242  
16 183.8 34 242  
17 190.7 35 242];
```

```
%Eixo das abscissas
```

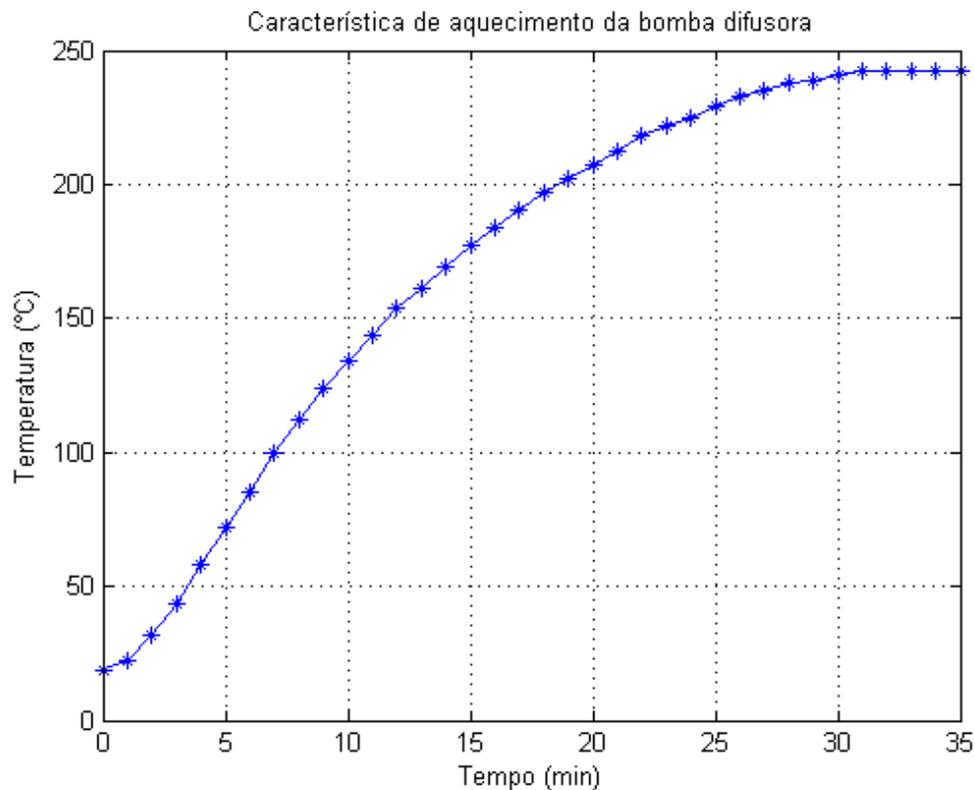
```
x = [A(:,1); A(:,3)];
```

```
%Eixo das ordenadas
```

```
y = [A(:,2); A(:,4)];
```

```
%Construção do gráfico
```

```
plot(x,y,'*-'); grid; xlabel('Tempo (min)');  
ylabel('Temperatura (°C)');  
title('Característica de aquecimento da bomba difusora');
```



```
%Gráfico do comportamento da tensão e corrente elétricas aplicada  
%ao filamento durante a metalização
```

```

%Dados Gerais
% Tempo Tensão Corrente (para cada uma das "quatro colunas")

B = [0.0 0 0      19.0 3.4 24      38.0 3.4 34      57.0 3.5 23
      0.5 0 0      19.5 3.5 24      38.5 3.4 34      57.5 3.5 23
      1.0 0 0      20.0 3.5 24      39.0 3.4 34      58.0 3.5 23
      1.5 0 0      20.5 3.4 24      39.5 3.4 34      58.5 3.5 23
      2.0 0 0      21.0 3.5 24      40.0 3.4 33      59.0 3.5 23
      2.5 0 0      21.5 3.5 24      40.5 3.4 33      59.5 3.5 23
      3.0 0 0      22.0 3.5 24      41.0 3.4 32      60.0 3.5 23
      3.5 0 0      22.5 3.5 24      41.5 3.4 32      60.5 3.5 23
      4.0 0 0      23.0 3.5 23      42.0 3.4 32      61.0 3.5 23
      4.5 0 0      23.5 3.5 23      42.5 3.4 31      61.5 3.5 23
      5.0 0 0      24.0 3.5 24      43.0 3.4 31      62.0 3.5 23
      5.5 0 0      24.5 3.5 24      43.5 3.4 31      62.5 3.5 23
      6.0 0 0      25.0 3.5 24      44.0 3.4 30      63.0 3.5 23
      6.5 0 0      25.5 3.5 24      44.5 3.4 29      63.5 3.5 23
      7.0 0 0      26.0 3.5 23      45.0 3.4 28      64.0 3.5 23
      7.5 0 0      26.5 3.5 23      45.5 3.4 28      64.5 3.5 23
      8.0 0 0      27.0 3.4 24      46.0 3.4 28      65.0 3.5 23
      8.5 0 0      27.5 3.4 24      46.5 3.4 27      65.5 3.5 23
      9.0 0 0      28.0 3.5 25      47.0 3.4 27      66.0 3.5 23
      9.5 1.6 27    28.5 3.4 28      47.5 3.4 27      66.5 3.5 23
     10.0 2.7 30    29.0 3.4 31      48.0 3.4 26      67.0 3.5 23
     10.5 3.1 28    29.5 3.4 31      48.5 3.5 26      67.5 3.5 23
     11.0 3.1 28    30.0 3.4 36      49.0 3.5 26      68.0 3.5 23
     11.5 3.3 27    30.5 3.4 37      49.5 3.5 26      68.5 3.5 23
     12.0 3.4 26    31.0 3.4 37      50.0 3.5 25      69.0 3.5 23
     12.5 3.4 25    31.5 3.4 37      50.5 3.5 25      69.5 3.5 23
     13.0 3.4 25    32.0 3.4 36      51.0 3.5 25      70.0 3.5 23
     13.5 3.4 25    32.5 3.4 36      51.5 3.5 25      70.5 3.5 23
     14.0 3.4 25    33.0 3.4 36      52.0 3.5 24      71.0 3.5 23
     14.5 3.4 24    33.5 3.4 36      52.5 3.5 24      71.5 3.5 23
     15.0 3.4 24    34.0 3.4 37      53.0 3.5 24      72.0 3.5 23
     15.5 3.4 25    34.5 3.4 37      53.5 3.5 24      72.5 3.5 23
     16.0 3.4 24    35.0 3.4 36      54.0 3.5 24      73.0 3.5 23
     16.5 3.4 24    35.5 3.4 36      54.5 3.5 24      73.5 3.5 23
     17.0 3.4 24    36.0 3.4 36      55.0 3.5 24      74.0 3.5 23
     17.5 3.4 24    36.5 3.4 35      55.5 3.5 24      74.5 3.5 23
     18.0 3.4 24    37.0 3.4 35      56.0 3.5 23      75.0 3.5 23
     18.5 3.4 24    37.5 3.4 35      56.5 3.5 23      75.5 3.5 23];

%Eixo das abscissas (tempo)
x1 = [B(:,1); B(:,4); B(:,7); B(:,10)];

%Eixo das ordenadas (corrente)
y1 = [B(:,3); B(:,6); B(:,9); B(:,12)];

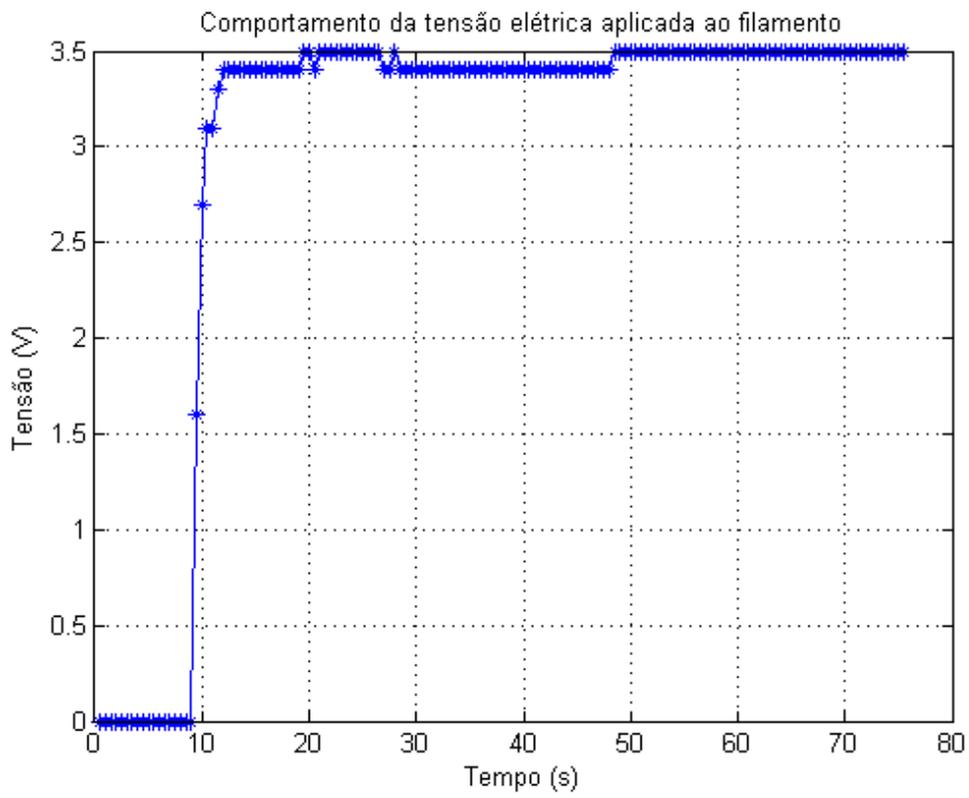
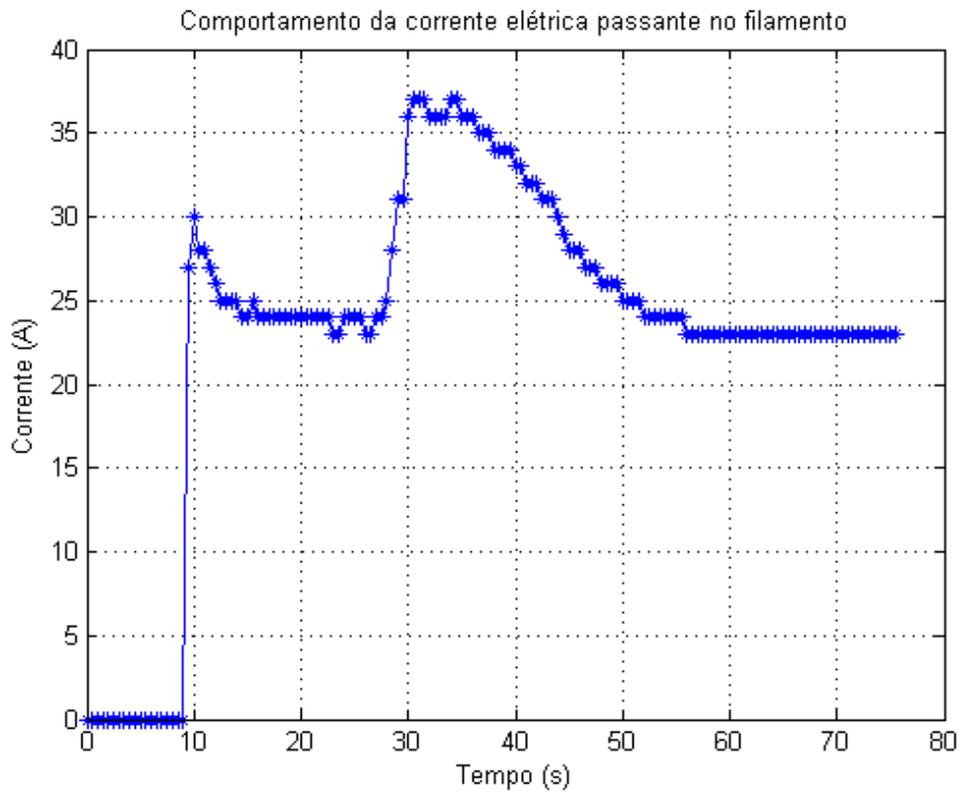
%Eixo das ordenadas (Tensão)
y2 = [B(:,2); B(:,5); B(:,8); B(:,11)];

%Construção dos gráficos

figure;
plot(x1,y1,'*-'); grid; xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Corrente (A)');
title ('Comportamento da corrente elétrica passando no filamento');

figure;
plot(x1,y2,'*-'); grid; xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Tensão (V)');
title ('Comportamento da tensão elétrica aplicada ao filamento');

```



Published with MATLAB® 7.10