



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

LASHIP EMC
UFSC
Hidráulica & Pneumática

Campus Universitário - Cx. P. 476 - CEP 88040-900 - Florianópolis - S.C. - Brasil
Fone: (48) 3319396 - Fax: (48) 2341519 - e-mail: laship@emc.ufsc.br - <http://www.emc.ufsc.br/laship/>

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's

Victor Juliano De Negri, Dr. Eng.

Florianópolis, Julho de 1999

Índice

1 – Introdução	1
2 – Automação e Controle Hidráulico e Pneumático.....	3
2.1 - Sistemas de medição e de atuação.....	7
2.2 – Controladores lógicos programáveis	9
3 – Estudo de Caso I: CLP Controlando Válvulas Solenóide	12
AC1 – Conectando Atuadores e Sensores Digitais ao CLP.....	13
AC1.1 – Conexão atuador – saída digital.....	13
AC1.2 – Conexão sensor – entrada digital	15
AC2 – Compatibilização de Sensores, Atuadores e Módulos de Entradas e Saídas Digitais.....	18
AC2.1 – Atuadores (válvula + cilindro) e saídas digitais.....	18
AC2.2 – Sensores e entradas digitais	20
4 – Estudo de Caso II: CLP Controlando Válvulas Proporcionais	26
AC3 – Classificação de Sistemas de Controle	28
AC4 – Conectando Atuadores e Sensores Analógicos ao CLP	29
AC4.1 – Conexão atuador – saída analógica.....	29
AC4.2 – Conexão sensor – entrada analógica	30
AC5 – Definições Fundamentais para Comunicação Analógica.....	34
AC5.1 - Aspectos metrológicos	34
AC5.2 – Resposta dinâmica de sistemas.....	36
AC5.3 – Blindagem e aterramento.....	39
AC6 – Compatibilização de Sensores, Atuadores e Módulos de Entradas e Saídas Analógicas ...	41
AC6.1 – Atuadores e saídas analógicas	41
AC6.2 – Sensores e entradas analógicas	45
5 – Referências Bibliográficas	52

Agradecimentos

O conteúdo apresentado neste trabalho é fruto de diversas atividades realizadas junto ao LASHIP/UFSC integrando ensino de graduação e de pós-graduação em engenharia mecânica e pesquisa em automação e controle hidráulico e pneumático. Em especial, destaca-se o Projeto Institucional REENGE - Programa de Desenvolvimento das Engenharias, financiado pela FINEP e em parceria com as empresas Mannesmann Rexroth Automação Ltda e Siemens Ltda.

Agradecimento especial ao dedicado trabalho dos alunos de engenharia Christiano Carvalho de Verano, Laudelino Vieira de Matos Filho e Marco Antônio Nunes Vieira, membros da equipe do Projeto REENGE.

1 – Introdução

A utilização de componentes hidráulicos e pneumáticos na automação e controle de máquinas e processos já está bastante consolidada tendo sido, nas últimas décadas, reforçada pelo grande desenvolvimento tecnológico da eletrônica, possibilitando a solução de problemas ainda mais complexos.

A eletrônica se faz presente nos sistemas hidráulicos e pneumáticos de duas formas: Por um lado, por meio da disponibilização de sensores eletrônicos e de CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) e, por outro, com a incorporação de circuitos de realimentação e compensação em válvulas.

Com relação ao primeiro aspecto, há um considerável aumento da capacidade de automação de lógicas complexas em decorrência da disponibilidade dos mais diferentes tipos de sensores, adequando-se às exigências de ambientes industriais, de limitações de espaço e de sensoramento de diversas grandezas e estados de um processo ou máquina. Além disso, o processamento das informações colhidas pelos sensores através de CLP's dá-se de forma bastante rápida e confiável, com as vantagens de flexibilidade de reprogramação e detecção de falhas, além de redução de custo em relação a soluções com relés ou com componentes hidráulicos ou pneumáticos

Por outro lado, progressivamente vem ampliando-se a capacidade de operação lógica e de controle dos sistemas hidráulicos e pneumáticos, fruto da incorporação de circuitos eletrônicos aos componentes como, por exemplo:

- Realimentação interna de posição em válvulas proporcionais através de sensores de deslocamento;
- Uso de circuitos eletrônicos para tratamento de sinais de acionamento destas válvulas (dither, modulação por largura de pulso, etc.);
- Otimização dos solenóides proporcionais;
- Novas alternativas para o suprimento de potência hidráulica como *load sensing*;
- Construção de válvulas proporcionais e servoválvulas pneumáticas;
- Válvulas comandadas por *field bus*.

Naturalmente, a otimização comportamental dos componentes hidráulicos e pneumáticos decorre também do aprimoramento dos processos de fabricação e utilização de novos materiais como plásticos e materiais cerâmicos.

Junto com as vantagens da união da eletropneumática e eletro-hidráulica com sensores e CLP's, surge a necessidade do projetista, operador ou equipe de manutenção conhecer, além da hidráulica e da pneumática, também os princípios de eletro-eletrônica e de programação. Neste contexto, a questão fundamental é estabelecer o quão profundo tem de ser este conhecimento. Provavelmente a especialização em hidráulica e pneumática é o ponto fundamental, pois determina a capacidade de

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

seleção dos componentes e de configuração do circuito para atender aos requisitos funcionais. O conhecimento em eletro-eletrônica pode ser entendido como complementar devendo, todavia, ser correto e suficientemente completo para permitir o projeto e a operação adequada dos circuitos de automação e controle.

Se faz necessário, portanto, que o profissional saiba como interligar com segurança estes componentes H & P com sensores e CLP, como selecionar a configuração do CLP necessária para as válvulas H & P e como programar um CLP ou, pelo menos, como transmitir ao programador os requisitos da automação.

Assim sendo, esta apostila busca fundamentar a integração de componentes hidráulicos e pneumáticos com controladores lógicos programáveis iniciando, no capítulo 2, com conceitos fundamentais relacionados a automação e controle e a inserção de sensores, atuadores e CLP's nestes sistemas. O aprofundamento neste assunto é alcançado através dos capítulos 3 e 4, o primeiro relacionado à construção de circuitos que empregam entradas e saídas digitais e o último enfatizando a utilização de entradas e saídas analógicas de CLP's.

Ao longo dos capítulos estão inseridos **Assuntos Complementares** (seções emolduradas designadas por '**AC**') que objetivam auxiliar o entendimento dos tópicos abordados nos capítulos principais.

2 – Automação e Controle Hidráulico e Pneumático

Primeiramente, é importante unificar o entendimento acerca dos termos **sistema de automação** e **sistema de controle**, já mencionados no capítulo anterior, e que comumente são empregados quando se deseja aplicar componentes hidráulicos e pneumáticos.

Sistema de Automação: Emprega-se esta denominação quando se interpreta que um *conjunto de componentes interconectados* tem como função principal a realização de uma ou mais ações segundo uma lógica pré-determinada e em resposta à ocorrência de eventos. As *ações* podem ser o avanço ou recuo de um cilindro, o acionamento ou não de uma ventosa, o acionamento ou parada de um motor elétrico, pneumático ou hidráulico. Os *eventos* correspondem a sinais decorrentes do término de uma tarefa ou à mudança do estado de um dispositivo, caracterizando-se por serem abruptos e instantâneos. Como exemplos de eventos, pode-se citar o acionamento de botões pelo operador, o fechamento de contatos em chaves fim-de-curso de cilindros e a detecção de presença de peças em um magazine.

A figura 2.1 ilustra uma automação pneumática (comando pneumático) através de seu diagrama de circuito e do diagrama trajeto-passo correspondente.

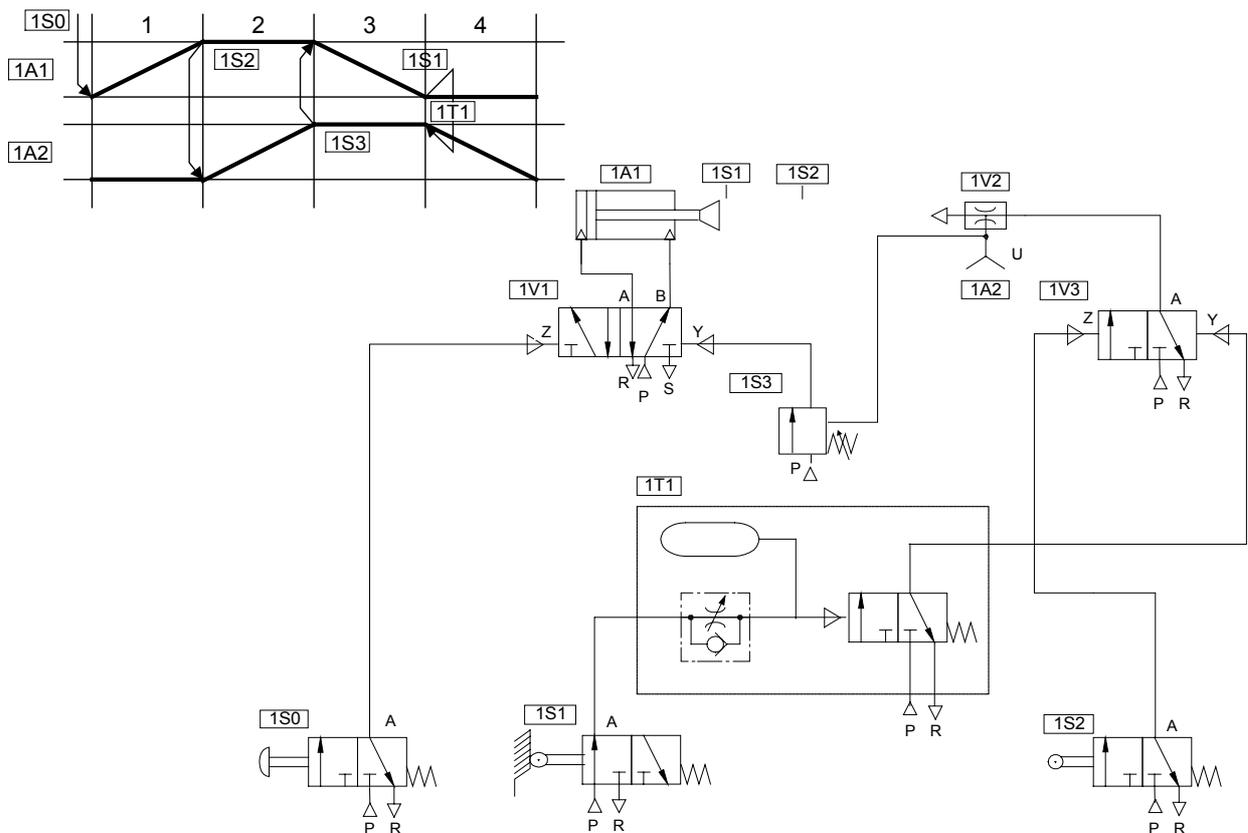


Figura 2.1 – Exemplo de automação pneumática incluindo o diagrama trajeto-passo e o diagrama de circuito.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Os sistemas de automação são também denominados de *sistemas de comando*, originando a denominação de *comandos pneumáticos* e *comandos hidráulicos*. Como se pode observar pelo diagrama trajeto-passo, a simples passagem do tempo não é suficiente para que o sistema evolua; é necessário que ocorram eventos (estímulos), sejam estes internos (fins-de-curso: 1S1, 1S2) ou externos (botão de partida: 1S0).

Sistema de Controle: Esta denominação é empregada quando se interpreta que um determinado conjunto de componentes interconectados tem como função principal a realização de uma ou mais ações que são observadas ao longo do tempo e cuja modificação decorre da aplicação de sinais de entrada. Estas ações podem ser o controle (ou regulagem) de posição, velocidade ou força em um cilindro, ou de vazão ou pressão em um circuito. O comportamento destas variáveis é observado no tempo, isto é, está-se interessado em verificar, por exemplo, em quanto tempo uma posição é alcançada ou qual a magnitude das oscilações e picos de pressão que estão ocorrendo no circuito.

A figura 2.2 apresenta vários aspectos de um sistema de controle eletro-hidráulico composto de uma servoválvula, um cilindro hidráulico de duplo efeito, um sistema de medição de posição e um controlador proporcional.

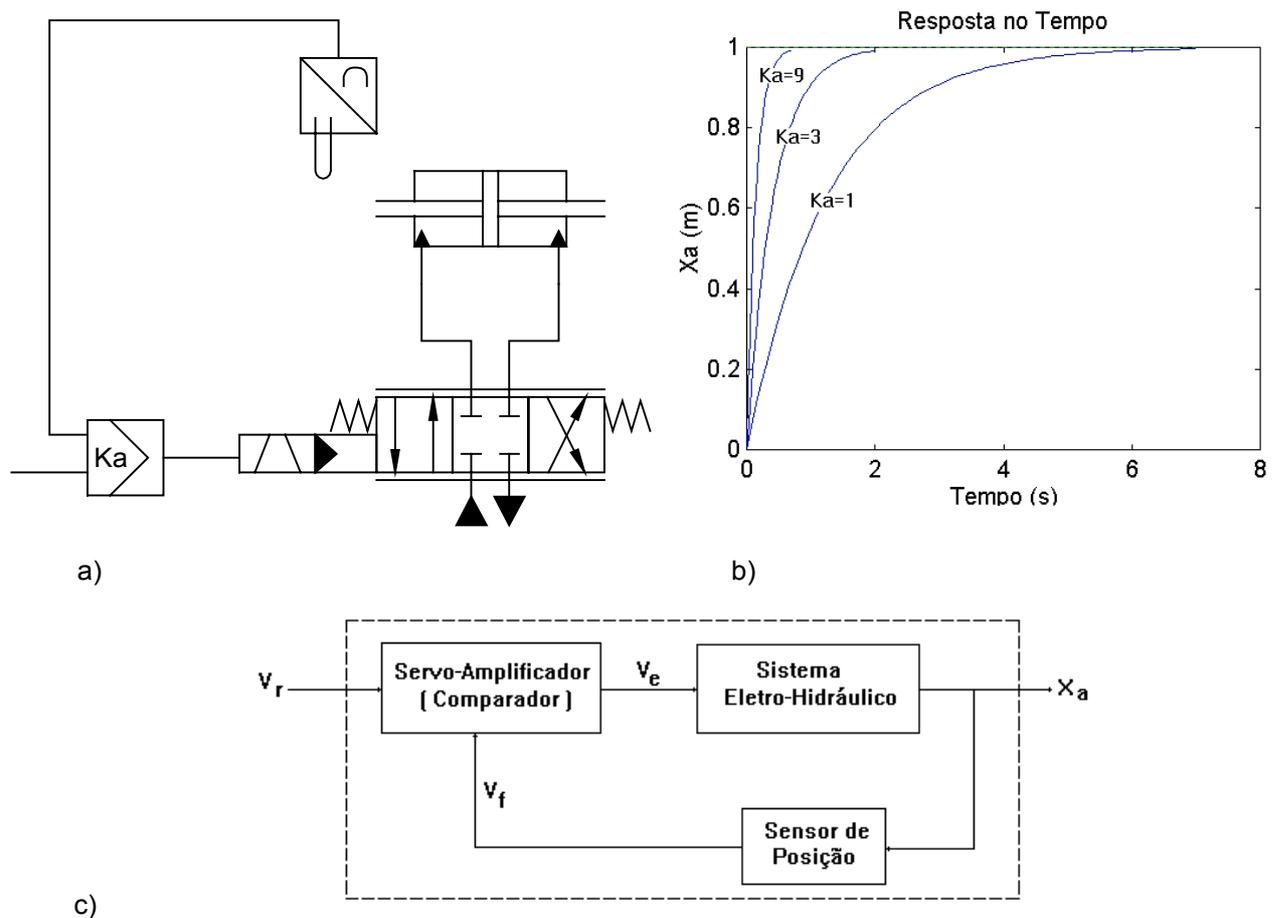


Figura 2.2 – Exemplo de controle eletro-hidráulico: a) Diagrama de circuito; b) Resposta a uma entrada em degrau; c) Diagrama de blocos.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Entende-se que o termo **automação** tem uma abrangência maior que **controle**, pois algumas ações lógicas, quando observadas mais detalhadamente, incluem tarefas de controle. Seria o caso se considerasse-se que o circuito de atuação composto pelo atuador 1A1 + válvula 1V1 (figura 2.1) devesse executar um posicionamento preciso e, para tal, empregasse-se a solução mostrada na figura 2.2 ou uma solução pneumática equivalente. Assim, dentro de um conjunto de ações logicamente encadeadas, ter-se-ia um sistema de controle.

Tem-se adotado o termo **sistema automático** para designar uma aplicação que envolva automação e/ou controle, ou seja, pode-se observar o problema segundo uma visão lógica ou então de maneira mais aprofundada, avaliando, ao longo do tempo, a resposta da posição, força, velocidade, vazão ou qualquer outra variável.

Para que se possa projetar, instalar ou realizar a manutenção de um sistema automático, isto é, de um sistema de automação e/ou controle, é importante que se entenda claramente quais suas partes principais e como são interligadas. Para tal, pode-se observar o equipamento ilustrado na figura 2.3 onde identifica-se:

- Cilindros e garras pneumáticas destinados a montagem de peças;
- Sensores para detecção de fim-de-curso e presença de peças;
- Botões e lâmpadas sinalizadoras para interação com o operador;
- Controlador programável.

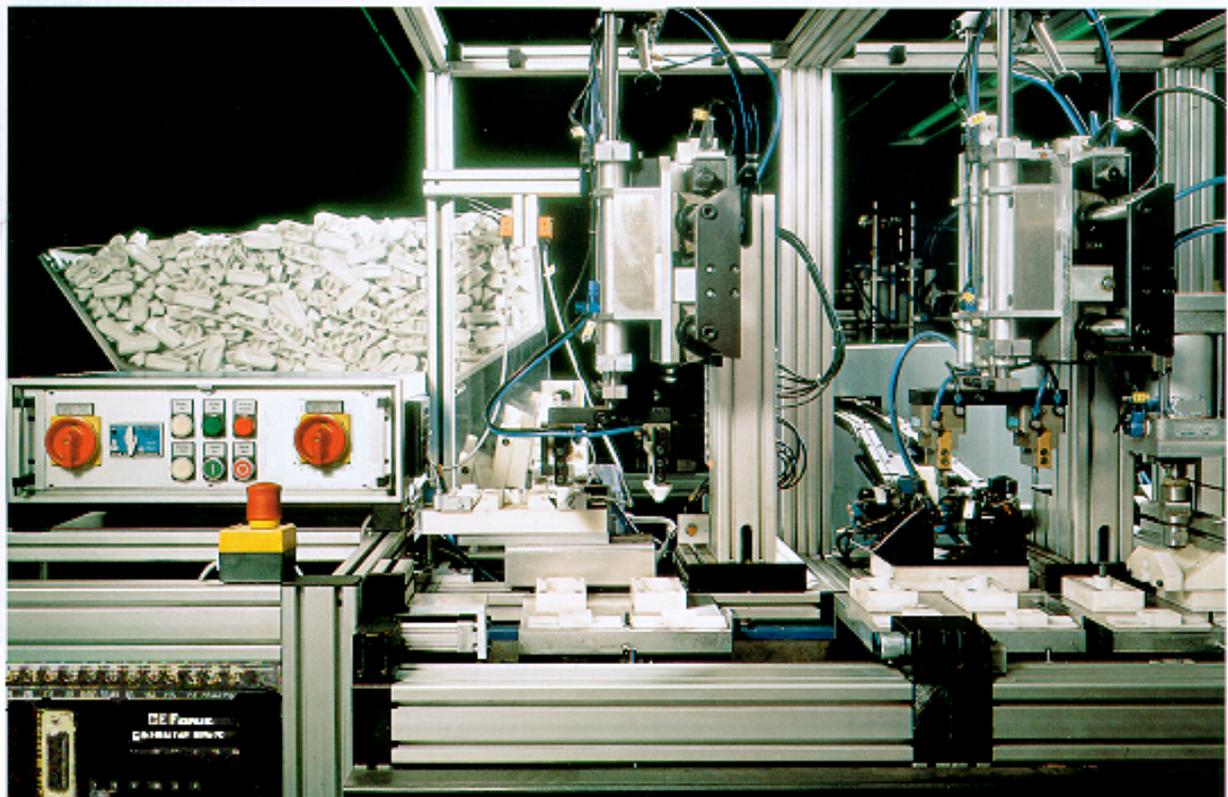


Figura 2.3 – Exemplo de sistema automático

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Os sensores têm a função de captar informações do equipamento ou processo e enviar para o controlador programável, da mesma forma que os botões, os quais recebem os comandos do operador. Após processar as informações recebidas, o controlador aciona os cilindros por intermédio de válvulas eletropneumáticas e emite, quando necessário, sinais luminosos para o operador.

O que se observa neste exemplo pode ser expandido para todos os sistemas automáticos, independentemente do domínio da aplicação e da complexidade deste. Assim sendo, um sistema automático pode ser decomposto em duas partes: um subsistema de informação e um subsistema energético/material, conforme representado na figura 2.4. O **sistema de informação** engloba os equipamentos que processam sinais e dados, tais como computadores, controladores lógicos programáveis, controladores analógicos e digitais, válvulas de processamento de sinais (válvulas 'E' e 'OU'), entre outros. Por sua vez, o **sistema energético/material (processo)** sintetiza as partes das máquinas, dispositivos e equipamentos que transformam ou processam energia e/ou matéria.

Um circuito hidráulico pode ser citado como um *sistema energético* pois sua operação baseia-se na conversão, transferência e controle de energia hidráulica. Um *sistema material* pode ser exemplificado através de uma linha de produção, que recebe matéria prima e, após diversas operações como separação, usinagem, transporte, empacotamento etc., fornece o produto acabado.

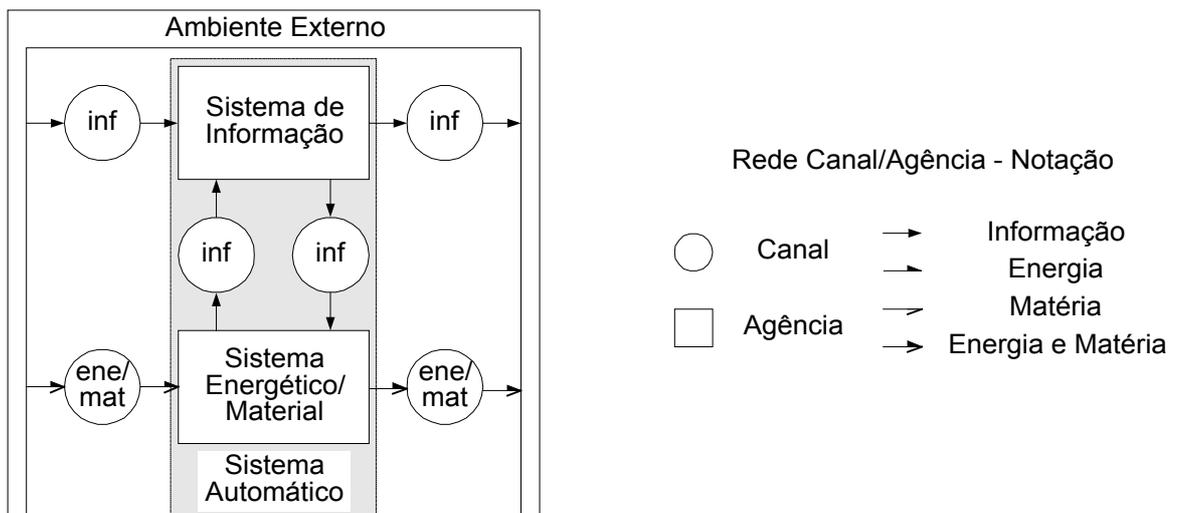


Figura 2.4 - Representação de um sistema automático (De Negri, 1996).

Assim, conforme indicado na figura 2.4, o sistema de informação deve ser capaz de extrair informações da parte energético/material, processá-las e, posteriormente, utilizá-las para alterar o funcionamento deste. Além da troca de informações entre estes dois subsistemas, há também o recebimento e fornecimento de energia (ene), matéria (mat) e informação (inf) em relação ao ambiente externo.

Correlacionando-se as figuras 2.3 e 2.4, conclui-se que:

- Controlador Programável: Pertence ao **sistema de informação**;
- Base da máquina, dispositivos de fixação etc.: Constituem o **sistema energético/material**;

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

- Operador e equipamentos que fornecem a matéria prima e retiram as peças acabadas: **Ambiente externo**;

- Botões = Transferem as **informações** que vêm do ambiente externo;
- Sinais luminosos = Correspondem às **informações** que vão para o ambiente externo;
- Peças brutas = Correspondem à **matéria** proveniente do ambiente externo;
- Peças montadas = Correspondem à **matéria** que vai para ambiente externo;

Nesta correlação, falta a identificação dos sensores e atuadores. Estes, na verdade, são os dispositivos físicos que realizam a troca de informações internas, ou seja, os sensores e as válvulas hidráulicas e pneumáticas, com os respectivos cilindros ou motores, são a interface entre o sistema de informação e o sistema energético/material. Portanto, as características destes dispositivos apresentam influência significativa sobre o desempenho do sistema global.

2.1 - Sistemas de medição e de atuação

Para o caso específico do emprego de CLP's no processamento de informações, é possível refinar a figura 2.4 para a forma apresentada na figura 2.5. Como pode-se observar, o *CLP*, que equivale ao sistema de informação, tem como elementos principais o **programa principal**, os **alocadores de endereços** e as **interfaces de medição e de atuação**. O sistema energético/material (processo) é composto de todos os elementos que estão em contato com os materiais que estão sendo processados ou que estão em contato direto com a potência elétrica, hidráulica, pneumática ou mecânica.

Tabela 2.1 – Notação referente à figura 2.5

Símbolo	Descrição
a_d	Atributo desejado
a_m	Atributo medido
End_a	Endereço de atuação
End_m	Endereço de medição
inf	Informações (sinais elétricos, pneumáticos, hidráulicos ou mecânicos)
ene	Energia (elétrica, pneumática, hidráulica ou mecânica)
mat	Matéria (peças, ferramentas, fluido hidráulico ou pneumático etc.)
SB_a	Sinal Bruto de atuação
SB_m	Sinal Bruto medido
SC_a	Sinal Condicionado de atuação
SC_m	Sinal Condicionado medido
SA	Sistema de Atuação
SM	Sistema de Medição

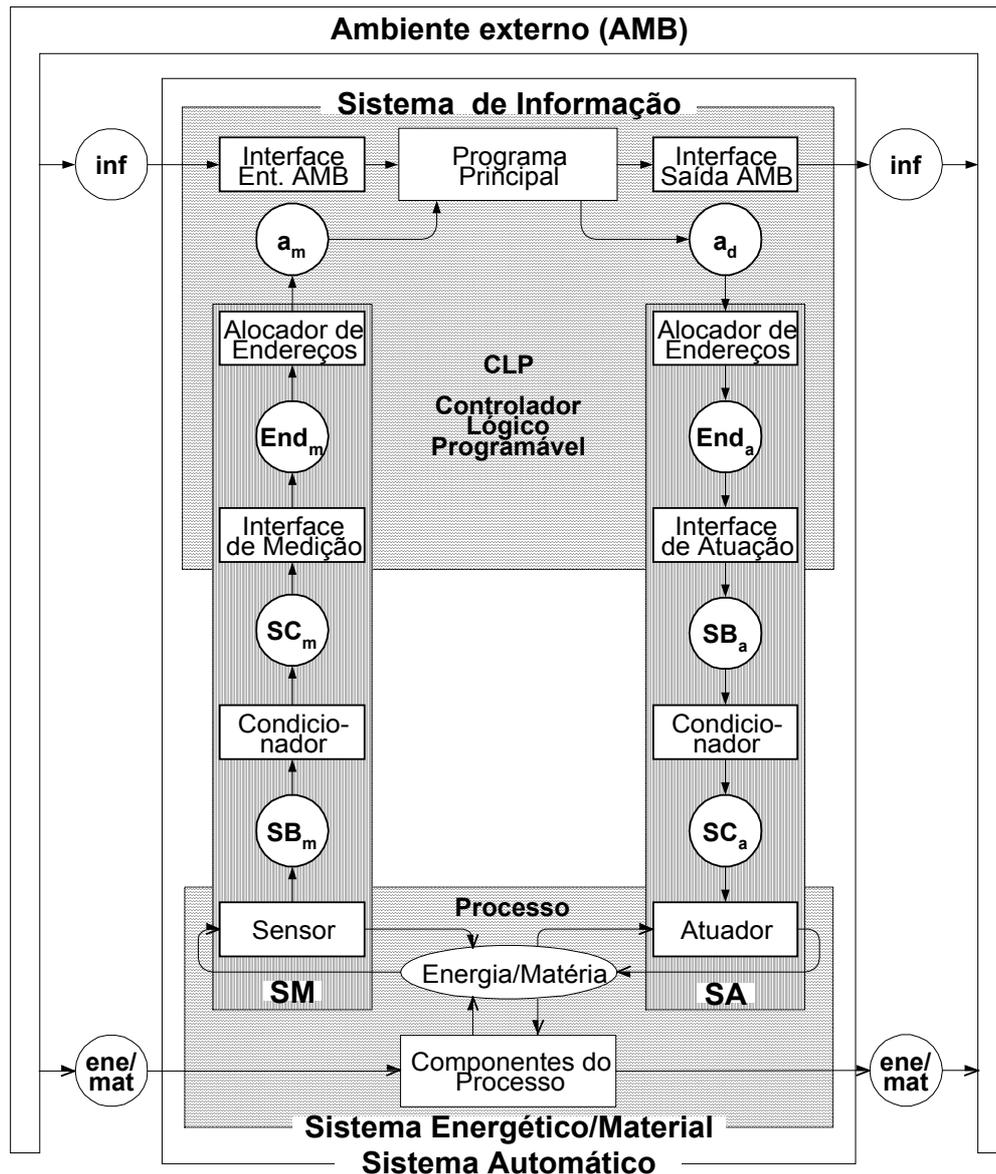


Figura 2.5 - Representação refinada de um sistema automático (notação conforme tabela 2.1)

Observa-se que, a interligação entre o processo e o CLP ocorre através dos **Sistemas de Medição (SM)** e **Sistemas de Atuação (SA)**. Um sistema de medição tem a função de capturar informações do processo e transmiti-las para o programa principal. Para tanto, este é composto de:

- **Sensor:** É o elemento que está em contato com a variável física e que fornece um sinal corresponde a este;
- **Condicionador de sinais:** Destina-se à amplificação da potência do sinal proveniente do sensor e às tarefas de processamento como filtragem, compensação, integração etc.;
- **Interface de medição:** Transforma o sinal tratado (condicionado) em uma forma adequada ao CLP, ou a qualquer outro meio de processamento de informações;
- **Alocador de endereços:** Faz a associação de símbolos (palavras mnemônicas) ao endereço físico da entrada.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

De modo similar, um sistema de atuação tem a função de receber dados do programa principal e promover a modificação de um *atributo* (a_r) da matéria ou da energia como, por exemplo, modificar a vazão ou pressão em um circuito hidráulico ou a posição de um cilindro. Deste modo, o sentido do fluxo de informações é contrário ao que ocorre em um sistema de medição. Para realização destas funções, normalmente faz-se a interligação dos seguintes componentes:

- **Alocador de endereços:** Faz a associação de símbolos (palavras mnemônicas) ao endereço físico da saída.
- **Interface de atuação:** Transforma o sinal de saída do CLP, ou de qualquer outro meio de processamento de informações, em um sinal tratado (condicionado);
- **Condicionador de sinais:** Destina-se à amplificação da potência do sinal proveniente da interface e às tarefas de processamento como filtragem, adição de sinais de dither etc.;
- **Atuador¹:** É o instrumento que altera as variáveis do processo físico ou químico em resposta à sinais recebidos;

A interseção das fronteiras do CLP com as fronteiras dos sistemas de medição e de atuação indica que as interfaces e as alocações de endereços são definidas de acordo com cada medição ou atuação em particular, porém, são implementadas no CLP. Da mesma forma, existe uma interseção com a fronteira do processo percebendo-se que os sensores e atuadores, que são os elementos principais em um sistema de medição e de atuação, também pertencem ao processo.

2.2 – Controladores lógicos programáveis

Os controladores lógicos programáveis são equipamentos eletrônicos digitais destinados ao controle e monitoração de variáveis de uma máquina ou processo, tendo sido originalmente concebidos para substituir as lógicas de comando implementadas por meio de relés (Stemmer, 199-).

Sua operação baseia-se na realização de funções lógicas similares às implementadas através de relés eletro-mecânicos, chaves de tambor, válvulas pneumáticas 'E' e 'OU', temporizadores e contadores mecânicos e pneumáticos etc.

Funcionalmente, um **CLP** pode ser caracterizado como um *dispositivo lógico seqüencial que gera sinais de saída de acordo com operações lógicas realizadas sobre os sinais de entrada*. As **interfaces de medição** constituem-se de circuitos digitais que recebem os sinais de entrada provenientes dos sensores e convertem estes sinais em uma forma aceitável para o processamento pelo CLP. Sinais de entrada também podem ser provenientes do ambiente externo (operador, outro CLP ou computador), sendo convertidos pela **interface de entrada do ambiente**.

¹ O termo **atuador**, empregado em automação e controle, corresponde ao conjunto de componentes que atuam sobre a energia ou matéria em resposta a um sinal de baixa potência. Assim, um circuito composto de válvula direcional e cilindro corresponde, sob o ponto de vista de automação, a um atuador.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

O **programa principal** implementa as operações lógicas, sendo inserido pelo operador através de terminais de programação ou computadores conectados ao CLP. Este programa é gravado na memória do CLP para ser executado quando este estiver ativo.

As **interfaces de atuação** constituem-se de dispositivos eletromagnéticos (relés) ou circuitos digitais (transistores) que permitem o fornecimento de sinais elétricos digitais ou analógicos para os condicionadores de sinais ou diretamente para os atuadores.

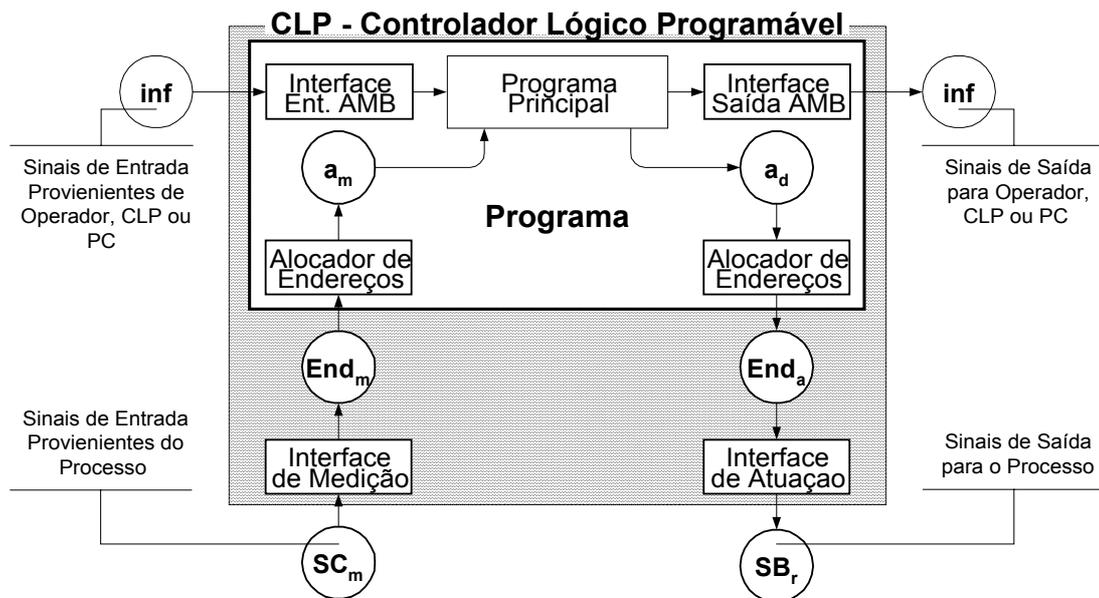


Figura 2.6 – Identificação de componentes de um CLP

O principal aspecto para a compatibilização dos sensores e atuadores com o CLP é a especificação dos módulos de interfaceamento deste, os quais podem ser categorizados como:

- Entradas digitais;
- Saídas digitais;
- Entradas analógicas;
- Saídas analógicas;
- Field bus (entrada e saída);
- Acionamento de drives específicos como, por exemplo, para servomotores elétricos.

Para o interfaceamento com operador são empregados os seguintes meios (Stemmer, 1999-):

- Através das entradas e saídas digitais (as mesmas empregadas para interfaceamento com o processo);
- Utilização de interface serial (RS 232) para conexão de:
 - Painéis inteligentes para comunicação on-line;
 - Terminais de programação (terminais industriais) para comunicação off-line (introdução, alteração e depuração de programas);
- Microcomputadores (PC) para ação on-line e off-line.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Comparando-se se as interfaces disponíveis em um dado CLP com as características técnicas dos sensores e atuadores, é possível determinar a viabilidade ou não de interconexão destes ou quanto a necessidade de condicionadores de sinais. Nos capítulos subsequentes, estuda-se duas situações distintas de automação, buscando a observação de detalhes técnicos desta natureza.

3 – Estudo de Caso I: CLP Controlando Válvulas Solenóide

Considera-se como exemplo a ser estudado, um sistema de captura de embalagens para uma esteira transportadora, conforme ilustrado na figura 3.1a. As embalagens estão dispostas em um magazine, sendo colocadas sobre a esteira através de um cilindro pneumático de duplo efeito acionado por uma válvula simples solenóide com retorno por mola.

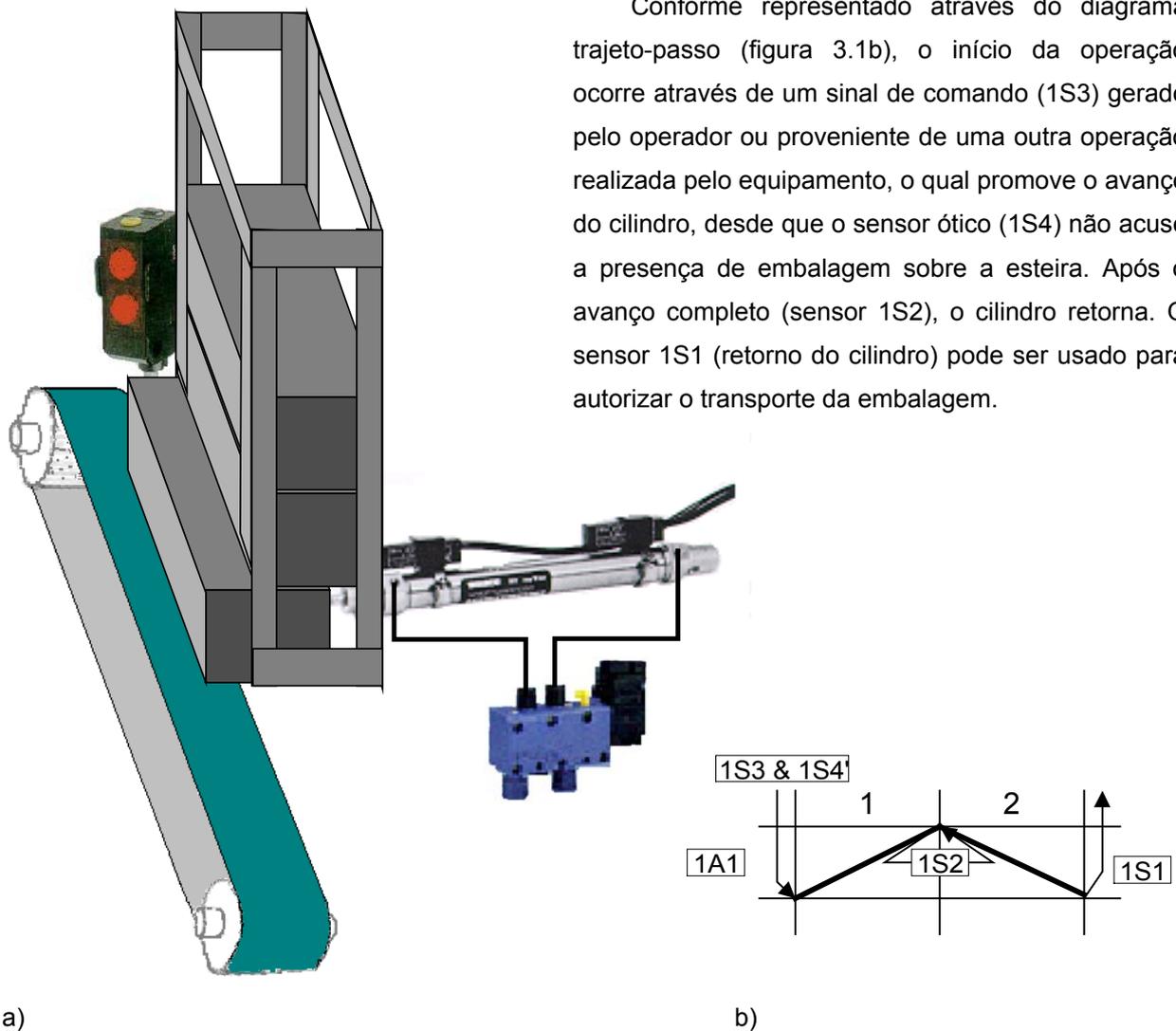


Figura 3.1 – Sistema de captura de embalagens: a) Esquema geral; b) Diagrama trajeto passo.

O diagrama pneumático da figura 3.2 apresenta uma possível concepção para o circuito pneumático e para os sensores complementares. Objetivando-se implementar a lógica de comando através de um CLP, faz-se necessário definir claramente a forma de conexão dos sensores e válvulas, conforme visto na seção AC1 (Assunto Complementar 1) a seguir.

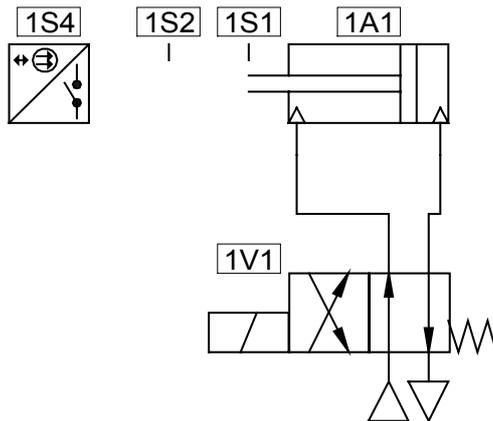


Figura 3.2 – Diagrama de circuito pneumático referente ao sistema de captura de embalagens.

(Notação segundo ISO 1219-1 (ISO, 1991) e ISO 1219-2 (ISO, 1995))

AC1 – Conectando Atuadores e Sensores Digitais ao CLP

AC1.1 – Conexão atuador – saída digital

Conforme visto anteriormente, a interligação entre processo e CLP ocorre através dos sistemas de atuação e de medição que contém, respectivamente, os sensores e atuadores. Com relação ao *Caso 1* em análise, o **atuador** identificado na figura 2.5 consiste do cilindro **1A1** comandado pela válvula **1V1**, conforme o circuito da figura 3.2. Para que se estabeleça a conexão deste atuador com a **interface de atuação** do CLP, neste caso um módulo de saída digital, faz-se necessária a correta ligação elétrica, observando-se a compatibilidade de tensões e correntes entre CLP e solenóide da válvula.

Na figura AC1.1 estão apresentados um sistema de atuação genérico e uma ilustração dos meios físicos usados para implementação do problema em análise. Conforme pode-se observar, as seguintes correlações, referentes aos canais, estão estabelecidas:

- O posicionamento da haste do cilindro está correlacionado com a energia/matéria
- Os fios de interligação válvula-CLP conduzem o sinal bruto de atuação (SB_a)
- O endereçamento atribuído ao canal que está sendo usado é pré-configurado pelo CLP sendo designado, neste caso, por 'Q 4.1' (Q = Saída; 4 = Endereço do Módulo; 1 = Número do Canal)
- O atributo desejado 'Recuar 1A1' é a designação empregada na elaboração do programa e representa de forma mnemônica o endereço 'Q 4.1'.

Além disso, pode-se identificar que a CPU executa a tarefa de *alocação de endereços*, o módulo de saídas digitais corresponde à *interface de atuação* e o circuito válvula-cilindro tem a função de produzir a *atuação*. Destaca-se que o sinal bruto de atuação (SB_a) está especificado em 24 V / 67 mA. Esta corrente decorre da potência requerida pelo solenóide (neste caso de 1,7 W). Obviamente que a saída digital do CLP deve ter capacidade de chavear sinais com correntes superiores a esta. Como exemplo, a tabela AC2.2, que será apresentada posteriormente, especifica que a corrente máxima nos canais do módulo de saídas digitais é de 0,5 A, isto é, compatível com esta válvula.

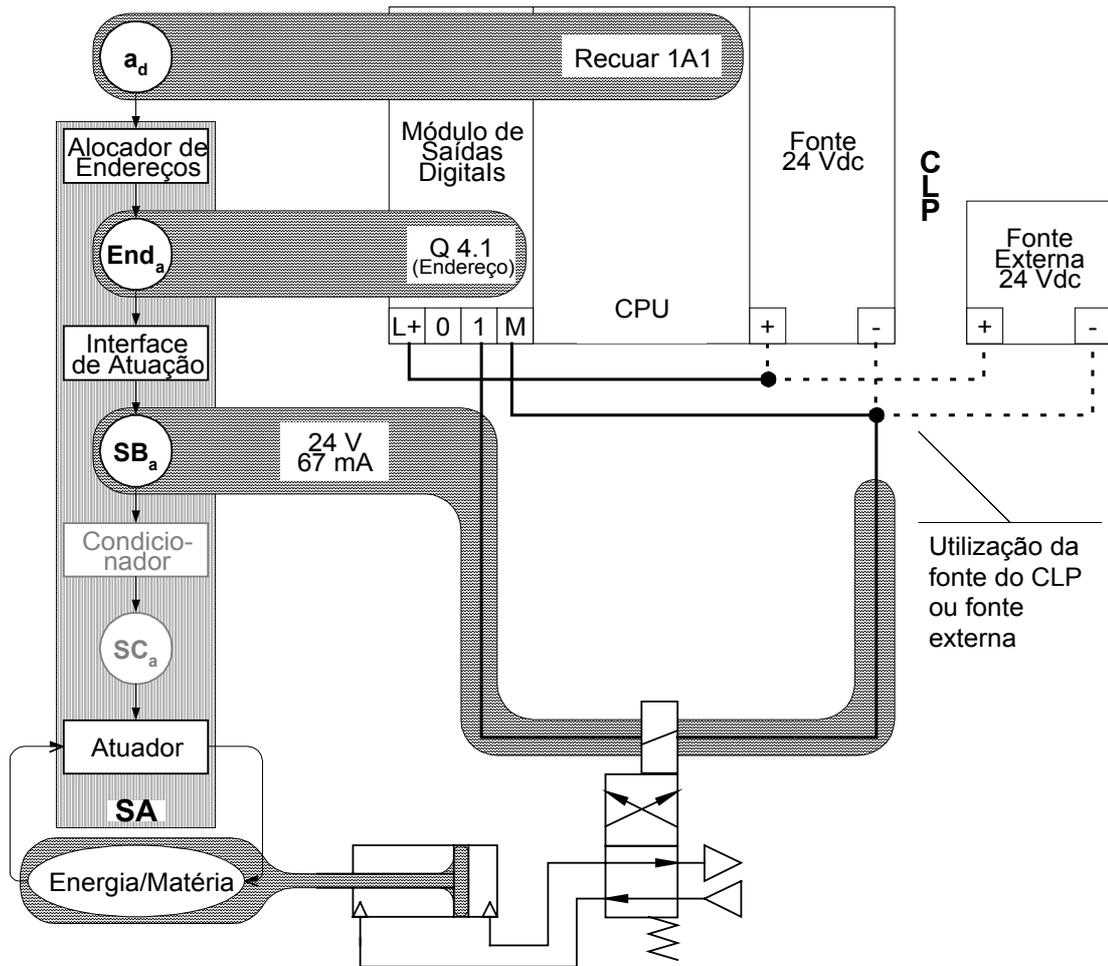


Figura AC1.1 – Sistema de atuação para captura de embalagens: Componentes e interligações

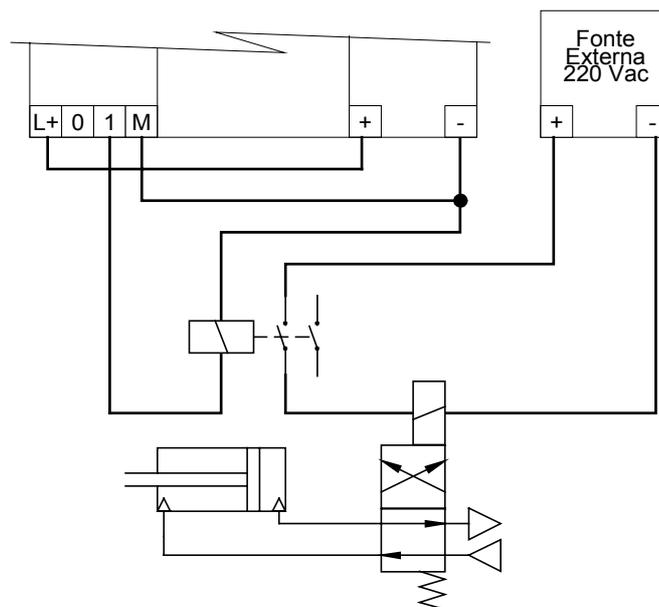


Figura AC1.2 – Emprego de condicionador de sinais (relé) para interfaceamento entre saída digital e solenóide

Caso não haja compatibilidade entre solenóide e saída digital, pode ser empregado um condicionador, conforme ilustrado na figura AC1.2, onde apresenta-se a interconexão de uma válvula de 220 Vac com uma saída digital para 24 Vdc.

AC1.2 – Conexão sensor – entrada digital

Para uma melhor compreensão acerca da interligação de sensores digitais a um CLP, apresenta-se na figura AC1.3 a associação entre a estrutura genérica e um sistema de medição (SM) e a estrutura necessária para a medição de fim de curso do cilindro exemplificado no *Caso 1*. Assim, as seguintes correlações, referentes aos canais, estão estabelecidas:

- A posição da haste do cilindro, detectada pelo ímã que aciona o contato do sensor, está correlacionada com a energia/matéria;
- Os fios de interligação sensor-CLP conduzem o sinal condicionado de medição (SC_m);
- O endereçamento atribuído ao canal que está sendo usado é pré-configurado pelo CLP sendo designado, neste caso, por 'I 0.1' (I = Entrada; 0 = Endereço do Módulo; 1 = Número do Canal);
- O atributo medido '1A1 Recuado' é a designação empregada na elaboração do programa e representa de forma mnemônica o endereço 'I 0.1'.

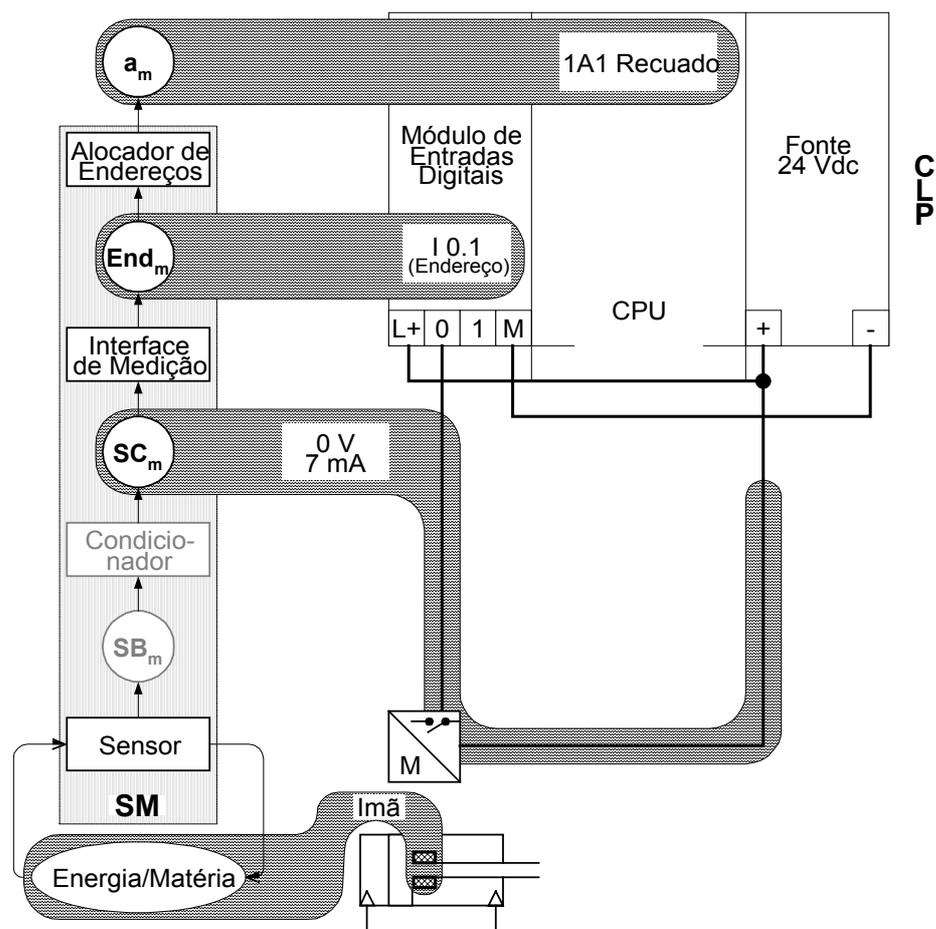


Figura AC1.3 – Sistema de medição da posição de recuo do cilindro: Componentes e interligações

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Da mesma forma que na estrutura de atuação, também observa-se que a CPU executa a tarefa de alocação de endereços, o módulo de entrada digital corresponde à interface de medição e que o sensor magnético tem a função de gerar um sinal corresponde a posição do cilindro.

Cuidado deve ser tomado quanto a capacidade de corrente dos contatos do sensor. Em situações com a ilustrada na figura AC1.3, em que o sensor chaveia um sinal para uma entrada de um CLP, não há necessidade de maior preocupação, pois normalmente a corrente exigida pela entrada do CLP é bastante reduzida. (7 mA, se considerado o Módulo de Entradas Digitais especificado na tabela AC2.4 a seguir). Situação distinta ocorre quando o sensor é empregado para acionar diretamente um válvula ou a bobina de um relé, onde poderia ser exigida a utilização de um amplificador intermediário, de modo semelhante ao relé apresentado na figura AC1.2.

Com base nas informações constantes na seção AC1, apresenta-se na figura 3.3 o diagrama de circuito elétrico que determina a forma de interligação do CLP com os sensores e o solenóide da válvula direcional. Nesta solução, foi empregada uma fonte externa (auxiliar) para a alimentação do solenóide, pressupondo-se que a fonte do CLP tenha potência suficiente somente para alimentar os seus próprios módulos (CPU e Módulo de entradas digitais) e os sensores magnéticos e óticos. Observa-se que, nesta situação, a fonte externa também alimenta o módulo de saídas digitais.

Na construção deste diagrama foram considerados outros aspectos, além da potência da fonte do CLP, tais como a necessidade de aterramento e a polaridade de sinal (+ ou -) que pode ser aplicada aos canais de entrada e saída. Para um melhor entendimento das particularidades associadas à construção de um circuito elétrico, apresenta-se na seção AC2 a seguir a correlação entre especificações técnicas de sensores, atuadores e módulos de entradas e saídas digitais.

Tabela 3.1 – Notação referente ao diagrama a figura 3.3

Geral		Módulo de Entradas Digitais (CLP)		Módulo de Saídas Digitais (CLP)	
R	Fase (220 VAC)	2	Canal 0	2	Canal 0
N	Neutro	3	Canal 1	3	Canal 1
⊥	Terra	4	Canal 2	5	Realimentação -
Fonte e CPU (CLP)		5	Canal 3	6	Potencial de referência
L+	24 VDC				
M	0 VDC				
⊥	Terra				

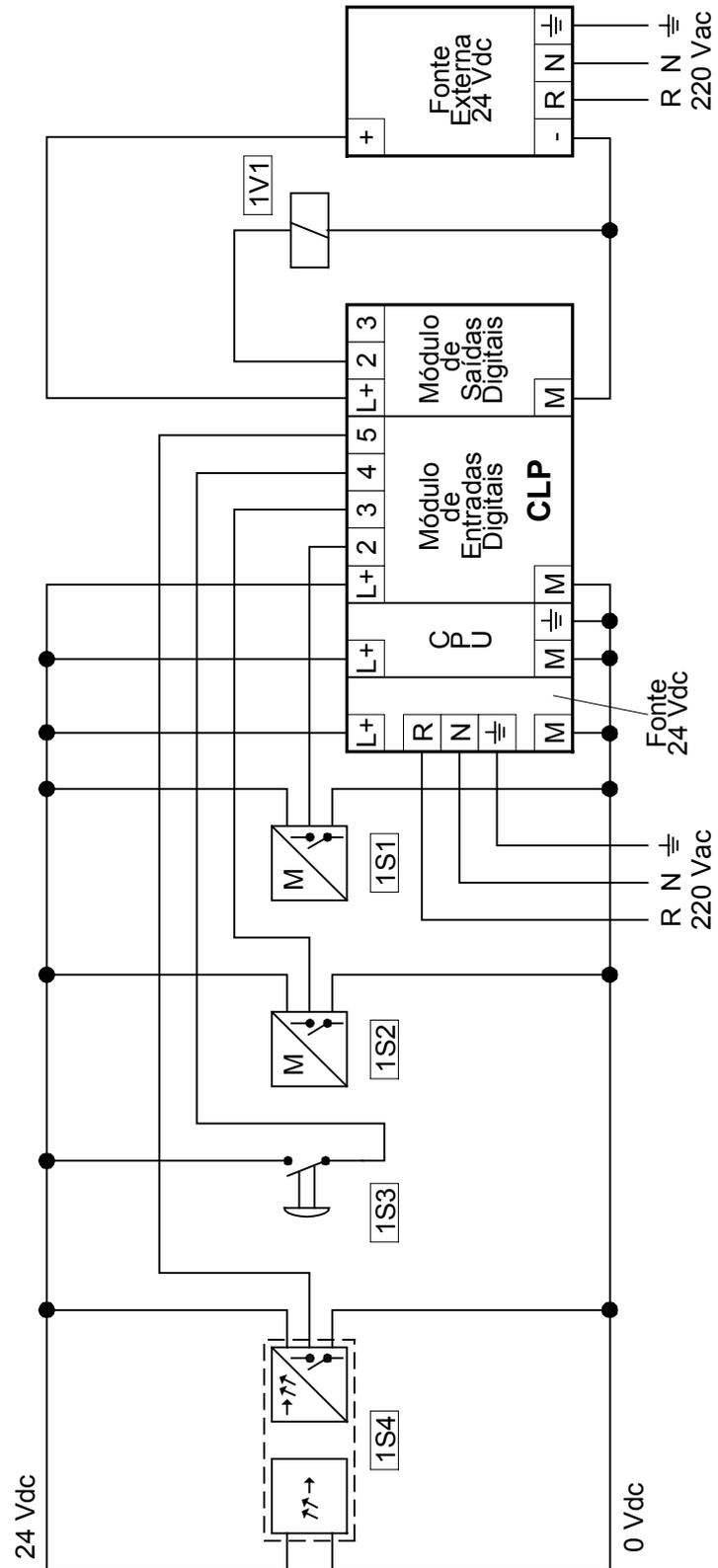


Figura 3.3 – Diagrama de circuito elétrico referente ao sistema de captura de embalagens.

(Notação conforme tabela 3.1)

AC2 – Compatibilização de Sensores, Atuadores e Módulos de Entradas e Saídas Digitais

AC2.1 – Atuadores (válvula + cilindro) e saídas digitais

No caso de circuitos eletro-pneumáticos, como o que está sendo analisado neste capítulo 3, o termo **atuador** designa, conforme já discutido na seção 2.1, o *conjunto válvula+cilindro*. Para interfaceamento do CLP com a válvula direcional, se faz necessária a análise das especificações desta a partir de dados de catálogo, do tipo apresentado na tabela AC2.1.

Tabela AC2.1 - Especificações de válvula direcional 4/2 – simples solenóide (Rexroth, 1998)

Especificações		
Tipo	Válvula de assento	
Faixa de temperatura ambiente	-15 a +50 °C (8 bar) -15 a +40 °C (10 bar)	
Fluido	Ar comprimido, com ou sem lubrificação	
Massa (peso)	73 g	
Material: Corpo Vedações	Termoplástico Perbunan	
Faixa de pressão de trabalho	1,5 a 10 bar	
Vazão nominal (Q _n) a 6 bar, Δp=1 bar	180 l/min	
Tensão operacional:		
CC	24 ±10 %	
CA 50 Hz	110/220 –15% +10%	
CA 60 Hz	110/220 –10% +15%	
Consumo	Sem LED indicador	Com LED indicador
24 CC	1,6 W	1,7 W
Para atração 110/220 VCA 50/60 Hz	3,1/2,7 VA	3,3/2,9 VA
Ara retenção 110/220 VCA 50/60 Hz	2,2/1,9 VA	2,4/2,1 VA
Classe de isolamento	B	
Proteção com conector elétrico	IP 65	

As informações correlacionadas com a ligação elétrica da válvula estão hachuradas na tabela AC2.1, enfatizando-se a especificação da tensão requerida para acionamento (U) e a potência consumida (P). A corrente consumida (i) pelo solenóide pode ser obtida a partir da relação $P = U \cdot i$, obtendo-se o valor de 67 mA, sendo sua resistência de aproximadamente 360Ω ($U = R \cdot i$).

Para se identificar os recursos de saída digital tipicamente disponíveis em um CLP, apresenta-se na figura AC2.1 o terminal de conexões de um módulo de saídas digitais e o corresponde diagrama de blocos incluindo a forma de ligação das cargas. Especificamente, este módulo possui 32 canais, isolados em grupos de 8, com tensão nominal de 24Vdc e capacidade de corrente de 0,5 A.

Conforme pode-se observar nos circuitos de ligação das cargas (que podem ser válvulas, contatores ou relés e luzes indicadoras), estas são alimentadas com sinal negativo (M) diretamente da fonte externa ao módulo, sendo o sinal positivo provido pela saída digital.

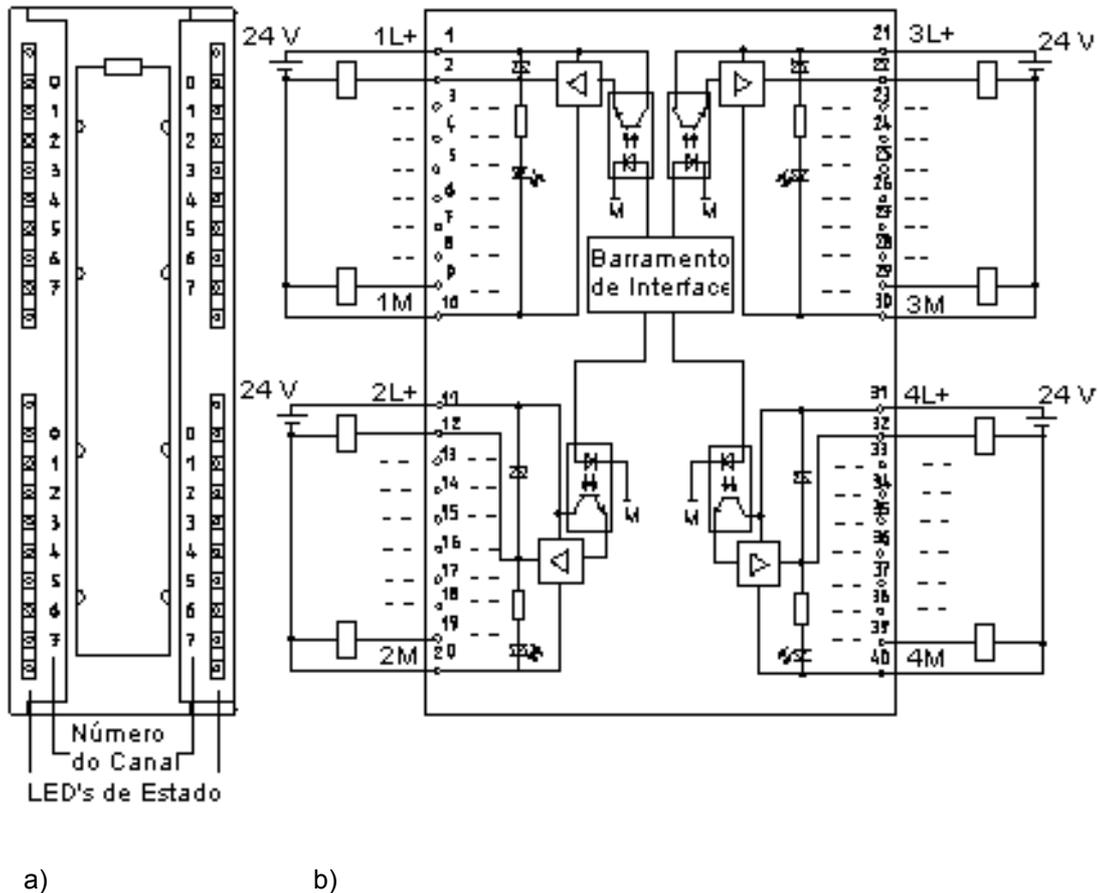


Figura AC2.1 – Módulo de saídas digitais com 32 canais de 24 Vdc/0,5 A: a) Terminal de conexões; b) Diagrama de blocos do circuito interno e externo (Siemens, 1994).

A tabela AC2.2 apresenta especificações detalhadas do módulo apresentado na figura AC2.2. Observando inicialmente os *dados para seleção do atuador* verifica-se que a corrente permissível em cada canal compreende a faixa de 5 mA a 0,6 A, sendo o valor nominal de 0,5 A. Por outro lado, com sinal lógico '0', isto é, com o canal desabilitado, pode existir uma corrente residual de até 0,5 mA. A partir dos dados da válvula pneumática apresentados na tabela AC2.1, observa-se que esta corrente residual é bastante inferior a corrente necessária para o acionamento da válvula (70 mA) e, por conseguinte, não provocará operação irregular nesta.

A impedância da carga, que inclui o efeito de resistência e indutância deve estar na faixa de 48 Ω a 4k Ω , a qual está adequada para a válvula especificada anteriormente, já que sua resistência é de 360 Ω .

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Quanto à frequência de chaveamento, estima-se que válvula pneumática responda em no mínimo 30 ms (correspondendo a uma frequência máxima de 17 ciclos por segundo (17 Hz), estando dentro da faixa de 0,5 Hz, especificada para cargas indutivas, e 100 Hz, definida para cargas puramente resistivas.

Ainda com relação a corrente máxima por canal, é importante observar que a posição de instalação do CLP e a temperatura de operação podem fazer com que a corrente máxima seja reduzida em relação ao valor apresentado acima. Conforme se observa desta tabela, esta corrente pode ser limitada em até 0,25 A por canal.

Tabela AC2.2 – Especificações do módulo de saídas digitais da figura AC2.1 (Siemens, 1994)

Dimensões e Peso	
Dimensões: W x H x D	40 x 125 x 120 mm
Peso:	aprox. 260 g
Dados Específicos do Módulo	
Número de pontos de entrada	32
Comprimento de cabo:	
Sem blindagem	Máx. 600 m
Com blindagem	Máx. 1000 m
Tensões, Correntes e Potenciais	
Tensão de carga nominal (L+)	24 Vdc
Corrente total das saídas (por grupo):	
Instalação horizontal	
Até 20° C	Máx. 4 A
Até 40° C	Máx. 3 A
Até 60° C	Máx. 2 A
Instalação vertical	
Até 40° C	Máx. 2 A
Isolamento galvânico:	
Entre canais e barramento central	Sim
Entre os canais em grupos de 8	Sim
Diferenças de potencial permissíveis	
Entre diferentes circuitos	75 Vdc; 60 Vac
Corrente drenada:	
Do barramento central	Máx. 90 mA
Da tensão de carga (L+) (sem carga)	Máx. 200 mA
Perdas de potência do módulo	Típico 6,6 W

Dados para seleção do atuador	
Tensão de saída:	
Ao sinal '1'	Min. L+ (-0,8 V)
Corrente de saída	
Ao sinal '1'	
Valor nominal	0,5 A
Faixa permissível	5 mA até 0,6 A
Ao sinal '0'	
Corrente residual	Máx. 0,5 mA
Impedância da carga	48 Ω to 4 kΩ
Carga de lâmpada	5 W
Conexão paralela de 2 saídas	
Para atuação redundante da carga	Possível (somente saídas do mesmo grupo)
Para amplificar potência	Impossível
Atuação da entrada digital	Possível
Frequência de chaveamento:	
Cargas resistivas	Máx. 100 Hz
Carga indutivas	Máx. 0.5 Hz
Cargas de lâmpadas	Máx. 10 Hz
Proteção contra curto-circuito da saída	Sim
Limiar da resposta	1 A tipicamente

AC2.2 – Sensores e entradas digitais

Para a automação de sistemas podem ser empregados diferentes tipo de sensores, destacando-se as chaves mecânicas, os sensores eletro-eletrônicos (óticos, capacitivos, indutivos e magnéticos) pressostatos e termostatos. No circuito apresentado na figura 3.3 emprega-se dois sensores magnéticos para determinar as posições de fim-de-curso do cilindro e um sensor ótico de barreira (unidirecional) que acusa a presença de embalagens sobre a esteira. Como exemplo, apresenta-se na

tabela AC2.3 as especificações de um sensor de proximidade optoeletrônico de corrente contínua com três fios.

Tabela AC2.3 – Especificações de sensor de proximidade (Balluff, 199-).

Especificações Técnicas	
Tipo	Feixe unidirecional
Dimensão	Euro-BOS
Alcance	8000 mm
Tensão de alimentação	10...30VDC
Corrente de carga	≤ 300 mA
Frequência de chaveamento	≤ 100 Hz
Proteção contra curto-circuito	Sim
Códigos	
Receptor NA	Bxx00X-XX-0X-XX-X
Receptor NF	Bxx00X-XX-0X-XX-X
Emissor	Bxx00X-XX-0X-XX-X

As informações hachuradas na tabela AC2.3 correlacionam-se com a conexão elétrica dos sensores e que deve ser realizada conforme esquema da figura AC2.2.a. Destaca-se o fato de que a tensão necessária para operação do sensor é a mesma que será chaveada para a carga (solenóide, entrada digital de CLP, relé etc.), conseqüentemente, a escolha deste tipo de sensor obriga a compatibilidade com os demais sensores e cargas que serão acionadas.

Além dos sensores optoeletrônicos, também os sensores indutivos e capacitivos necessitam alimentação externa para produzir a abertura ou fechamento de um contato. Por sua vez, os sensores magnéticos podem ou não necessitar de alimentação externa, dependendo do princípio construtivo (sensores eletrônicos (semicondutores) requerem alimentação e sensores eletromagnéticos (reed) são ativados pelo próprio campo magnético ao qual estão submetidos). A figura AC2.2 apresenta o simbologia gráfica e o circuito de ligação para sensores de proximidade eletrônicos de três fios.

Com relação as entradas digitais disponíveis em um CLP, apresenta-se na figura AC2.3 o terminal de conexões de um módulo que possui 16 canais isolados dos demais módulos do CLP com tensão nominal de 24Vdc e compatível com sensores de 2, 3 ou 4 fios. Conforme pode-se observar nos circuitos de ligação das chaves (que podem ser fins-de-curso mecânicos, sensores ou a saída digital de um CLP, por exemplo), cada canal recebe, através das chaves, um sinal positivo proveniente de uma fonte externa ao módulo, a qual também alimenta o módulo através dos terminais 'L+' e 'M'.

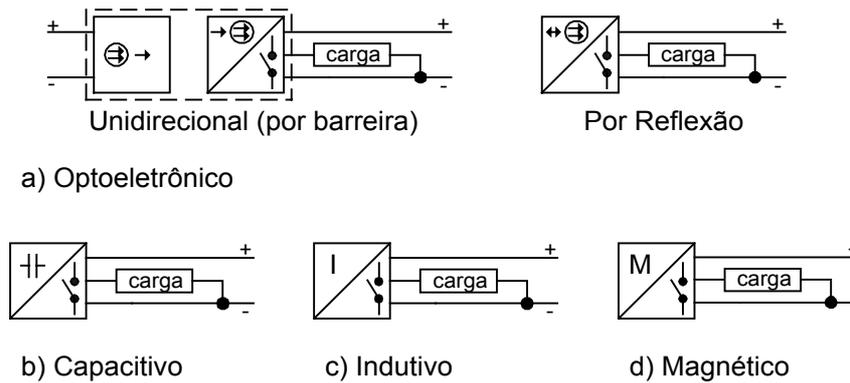


Figura AC2.2 – Simbologia e esquemas de ligação de sensores de proximidade eletrônicos tipo PNP: a) Sensor optoeletrônico; b) Sensor capacitivo; c) Sensor indutivo; d) Sensor magnético.

(Simbologia gráfica baseada na ISO 14617-5² (ISO, 1996))

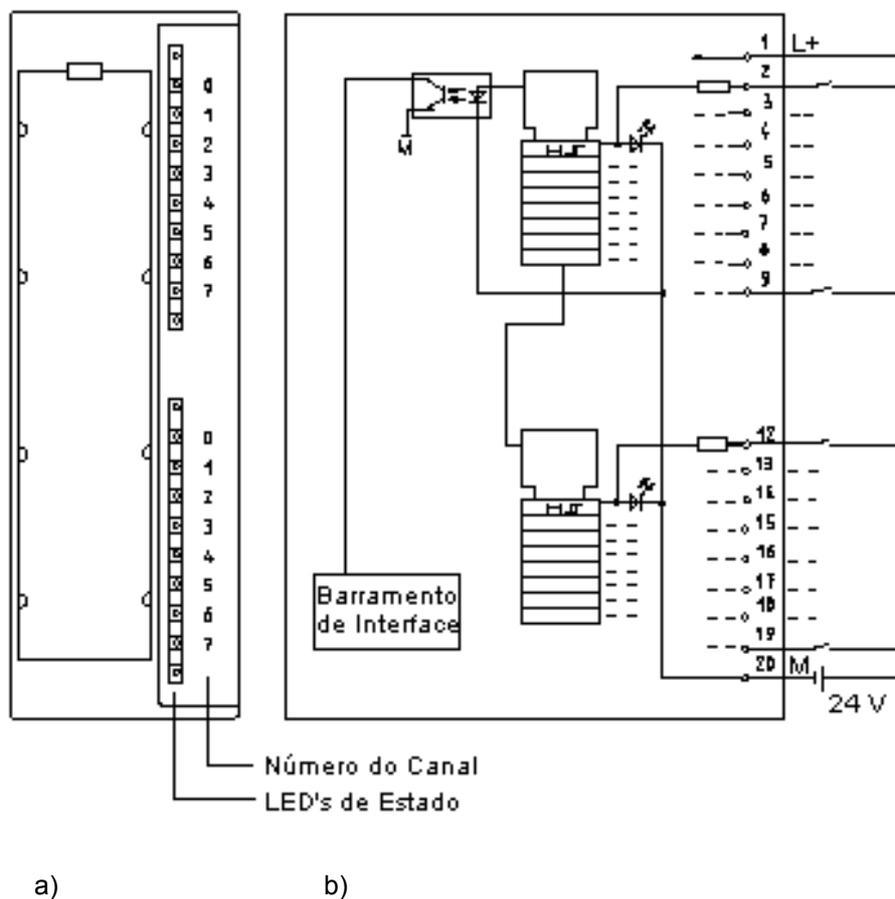


Figura AC2.3 – Módulo de entradas digitais com 16 canais de 24 Vdc: a) Terminal de conexões; b) Diagrama de blocos do circuito interno e externo (Siemens, 1994).

² A norma ISO 14617-5 (ISO, 1996) define símbolos para os princípios ótico e capacitivo. Na ausência de símbolos normalizados, foram empregadas as letras 'I' e 'M' para designar os princípios indutivo e magnético, respectivamente

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

A tabela AC2.4 apresenta especificações detalhadas do módulo apresentado na figura AC2.3. Observando inicialmente os *dados para seleção do sensor* verifica-se que cada canal consome cerca de 7 mA correspondendo, portanto, à corrente que circula no contato do sensor. Segundo os dados apresentados na tabela AC2.3, o sensor optoeletrônico especificado suporta até 300 mA sendo, portanto, adequado a esta aplicação. Segundo Bollmann (1997), os sensores de proximidade admitem correntes entre 200 mA a 2,5 A, variável de acordo com o fabricante e princípio operacional.

A especificação de atraso que ocorre na mudança do estado do canal de entrada, tanto quando passa de inativo '0' para ativo '1', como no sentido contrário, deve ser correlacionada com a frequência de chaveamento que ocorrerá durante a operação da máquina e que, por sua vez, deve ser inferior a frequência máxima estabelecida para o sensor (ver tabela AC2.3). Assim, se o canal de entrada leva até 4,8 ms para interpretar uma mudança no sinal de entrada, os chaveamentos externos poderão ocorrer em intervalos (T) de no mínimo 4,8 ms, isto é, com uma frequência (f) máxima de 208 Hz ($f = 1/T$).

Tabela AC2.4 – Especificações de módulo de entradas digitais da figura AC2.3 (Siemens, 1994)

Dimensões e Peso

Dimensões: W x H x D	40 x 125 x 120 mm
Peso:	Aprox. 200 g

Dados Específicos do Módulo

Número de pontos de entrada	16
Comprimento de cabo:	
Sem blindagem	Máx. 600 m
Com blindagem	Máx. 1000 m

Tensões, Correntes e Potenciais

Tensão de carga nominal (L+)	24 Vdc
Nº de pontos que podem ser acionados simultaneamente	16
Isolamento galvânico:	
Entre canais e barramento central	Sim
Entre canais	Não
Diferenças de potencial permissíveis	
Entre diferentes circuitos	75 Vdc; 60 Vdc
Corrente drenada:	
Do barramento central	Máx. 25 mA
Da tensão de carga (L+)	Máx. 25 mA

Dados para seleção do sensor

Tensão de entrada:	
Valor nominal	24 Vdc
Para sinal '1'	13 to 30 V
Para sinal '0'	- 3 to 5 V
Corrente de entrada	
Para sinal '1'	Típico 7 mA
Atraso de entrada:	
De '0' para '1'	1,2 a 4,8 ms
De '1' para '0'	1.2 a 4.8 ms
Conexão a dois fios	Possível
Corrente de curto circuito permissível	Máx. 2 mA

Voltando a atenção ao sistema de captura de embalagens que está em análise, observa-se que já foram definidos os diagramas pneumático e elétrico. Para que este sistema possa operar, faz-se necessário elaborar o programa a ser implementado no CLP, o qual pode ser descrito empregando linguagens de alto nível como STL (statement list), Diagramas de Blocos, Diagrama de contatos (Ladder diagram) ou GRAFCET (Bollmann, 1997).

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Na figura 3.4a, apresenta-se o diagrama de contatos referente ao exemplo em estudo, onde percebe-se que o sinal de saída (1V1) precisa ser memorizado pelo CLP, já que está empregando-se uma válvula direcional com retorno por mola. Caso fosse empregada uma válvula de duplo solenóide, o programa poderia ser elaborado na forma mostrada na figura 3.5b em que, mesmo que o sinal 1V1(Y1) não esteja mais presente, a válvula permanecerá acionada. Para alterar a posição da válvula, basta que o CLP receba o sinal do sensor 1S2 e, conseqüentemente, acione a saída 1V1(Y2).

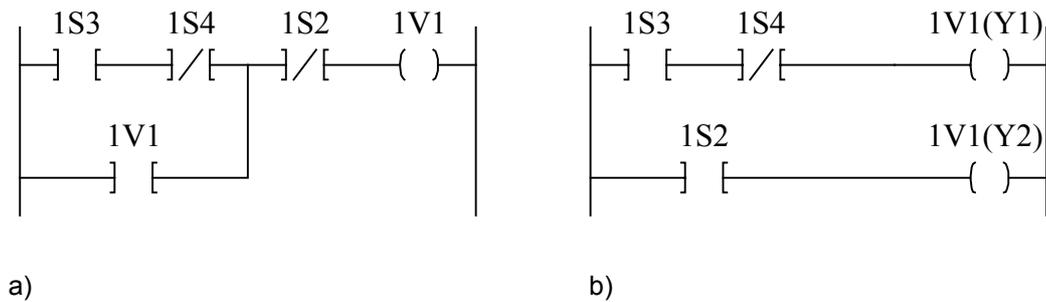


Figura 3.4 – Programa do CLP referente ao sistema de captura de embalagens: a) Para válvula simples solenóide; b) Para válvula duplo solenóide.

A automação deste sistema também pode ser alcançada empregando-se um **temporizador** para estabelecer o tempo de permanência do cilindro na posição avançada. Conforme a figura 3.5, ocorrendo um sinal de partida 1S3 e não havendo embalagem na esteira (1S4'), o temporizador é acionado que, ao mesmo tempo, aciona a válvula 1V1. Após transcorrido o tempo ajustado (Tmp_aj), a saída 'Q' irá para zero, provocando o retorno do cilindro.

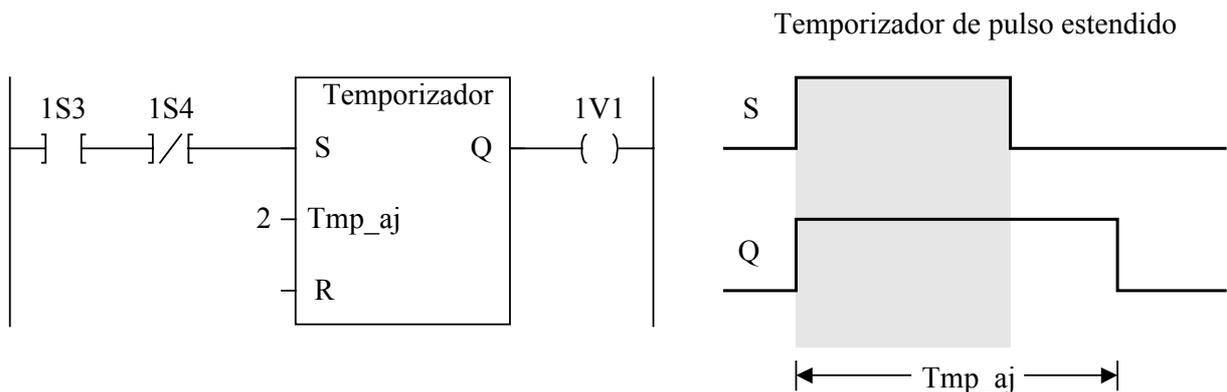


Figura 3.5 - Programa do CLP para de captura de embalagens empregando temporizador: a) Diagrama de contatos; b) Funcionamento do temporizador

Outro requisito que pode ser estabelecido para este sistema é a verificação da existência de embalagens no magazine através do emprego de um **contador / comparador**, conforme o diagrama de contatos da figura 3.6. Este dispositivo acresce a variável contadora em uma unidade cada vez que recebe um pulso no terminal 'Cont'. Quando esta atinge o valor igual a do terminal de referência

(Ref_cont), a saída 'Q' assume o valor lógico zero.

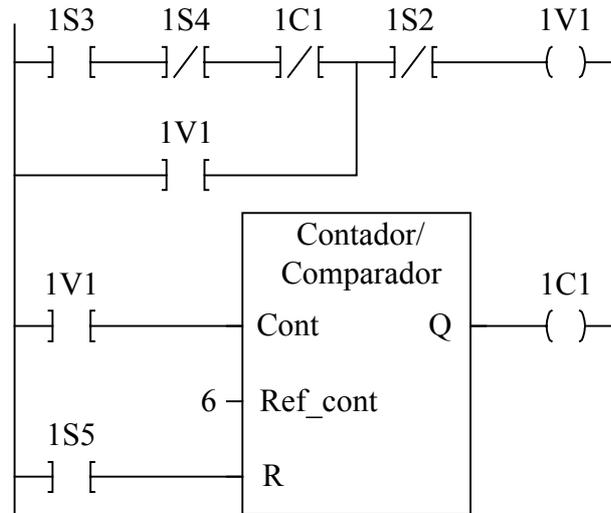


Figura 3.6 - Programa do CLP para de captura de embalagens empregando contador / comparador

A primeira linha deste diagrama foi extraída do diagrama da figura 3.5a, acrescentando-se a negação do sinal '1C1'. O sinal '1S5' corresponde ao comando do operador informando que o magazine foi preenchido e inicializando o contador para que o sistema de captura de embalagens volte a operar.

4 – Estudo de Caso II: CLP Controlando Válvulas Proporcionais

As válvulas proporcionais disponíveis no mercado podem ser categorizadas de acordo com a grandeza controlada, ou seja:

- Válvulas controladoras de pressão proporcionais;
- Válvulas controladoras de vazão proporcionais;
- Válvulas direcionais proporcionais.

Através destas válvulas, torna-se possível o controle contínuo de variáveis mecânicas, como o ilustrado na figura 2.2, onde uma válvula direcional proporcional é empregada no controle de posição de um cilindro hidráulico. De modo geral, o emprego das válvulas citadas acima possibilita aos sistemas hidráulicos e pneumáticos o controle final de:

- Posição linear ou angular;
- Velocidade linear ou angular;
- Força ou torque;
- Pressão ou vazão.

Neste estudo de caso, discutir-se-á a utilização de uma válvula redutora de pressão proporcional conforme indicado no circuito da figura 4.1, o qual pode ser parte de um sistema de controle de força de fechamento de moldes em máquinas injetoras, do tipo ilustrado na figura 4.2.

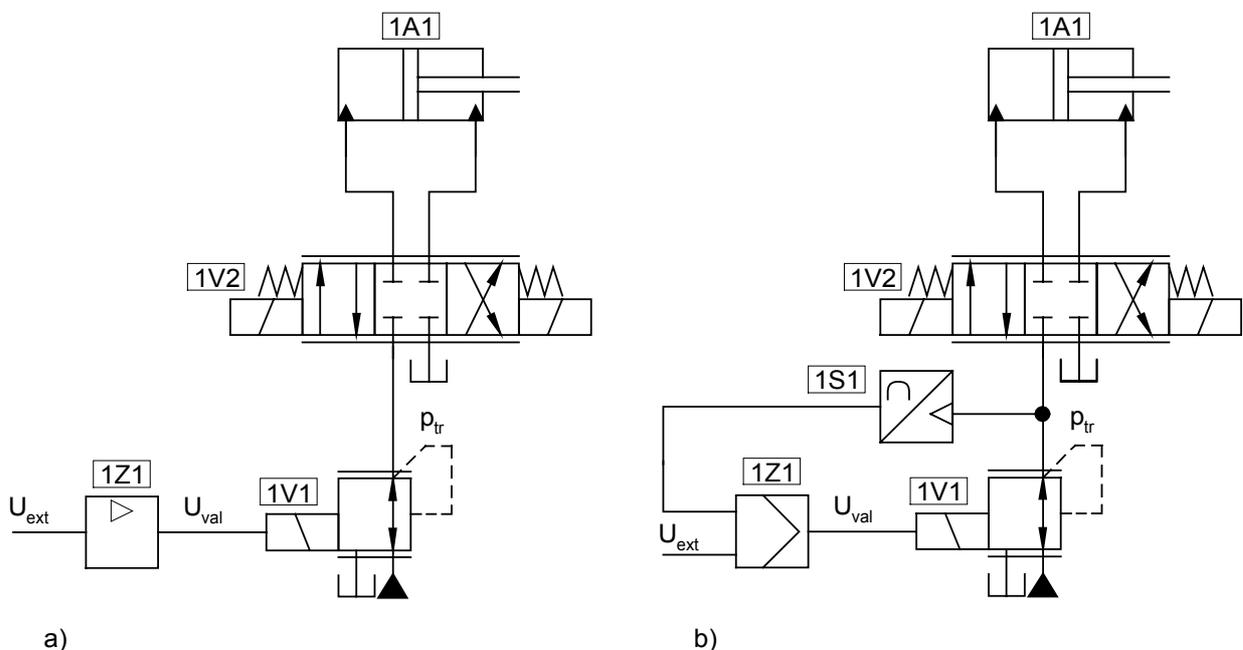


Figura 4.1 – Diagrama geral do sistema de controle de pressão: a) Sem medição de pressão; b) Com medição de pressão.

(Notação segundo ISO 1219-1 (ISO, 1991) e ISO 1219-2 (ISO, 1995))

No diagrama da figura 4.1a, o controle de velocidade e direção do cilindro é definido pela válvula proporcional direcional, cabendo à válvula proporcional de pressão a limitação da pressão de trabalho e, conseqüentemente, da força que poderá ocorrer quando do fechamento do molde. Para alcançar o valor desejado de pressão pode-se simplesmente analisar a curva 'pressão–tensão' fornecida pelo fabricante (figura 4.3) e aplicar um sinal em tensão na válvula tal que gere a pressão desejada. Se for necessário um controle mais preciso, pode-se instalar um sensor de pressão para medir a pressão alcançada (figura 4.1b) e, através de um dispositivo de comparação, determinar a alteração do valor da tensão que está sendo aplicada à válvula. Para um melhor entendimento entre estas alternativas, apresenta-se na seção AC3 informações básicas sobre estruturas básicas de controle. Na seqüência, está inserida a seção AC4 que trata da forma de conexão de válvulas e sensores analógicos com CLP's.

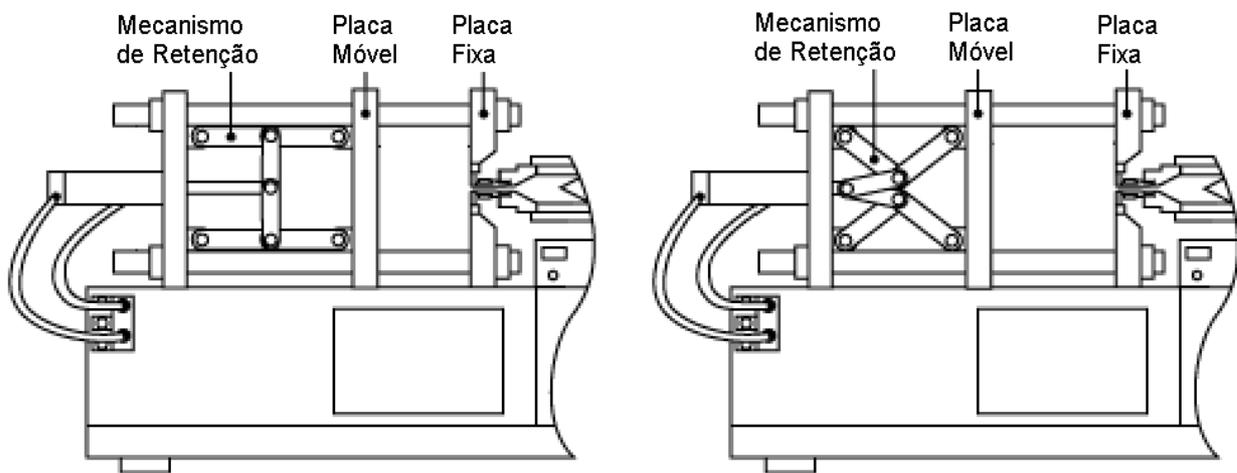


Figura 4.2 – Vista parcial de uma máquina injetora com destaque ao sistema de retenção do molde nas posições fechado e aberto. (Paulson, 1999)

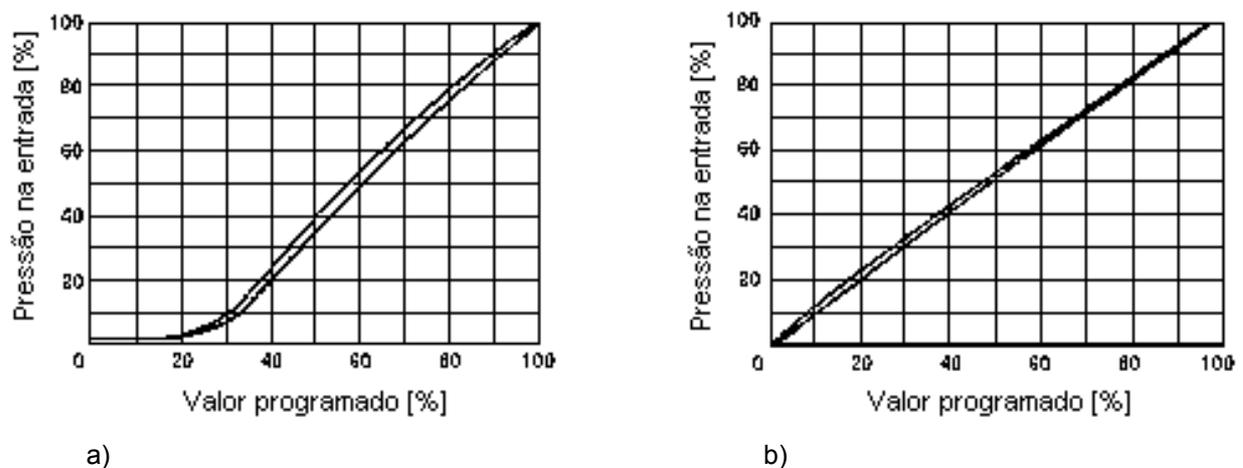


Figura 4.3 – Curva de pressão versus percentual (em corrente ou tensão) para uma válvula limitadora de pressão proporcional: a) Válvula sem eletrônica incorporada; b) Válvula com eletrônica incorporada.

(Rexroth, 1993).

AC3 – Classificação de Sistemas de Controle

Discutiu-se na seção 2, anteriormente, que um equipamento ou parte deste pode ser entendido como **sistema de controle** quando for possível descrever seu comportamento observando-se, ao longo do tempo, as variáveis que são modificadas por este sistema e as variáveis que provocam (causam) esta modificação.

Dependendo de como um sistema de controle é construído, este pode ser classificado como **sistema de controle em malha aberta** ou **sistema de controle em malha fechada**³.

Sistema de controle em malha aberta: Conforme representado pelo diagrama de blocos da figura AC3.1, neste tipo de sistema a variável de *entrada* (causa) não é de forma alguma influenciada pela *saída* (efeito).

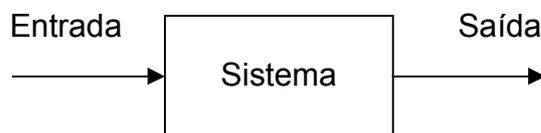


Figura AC3.1 – Sistema de controle em malha aberta

Assim, o sistema apresentado na figura 4.1a pode ser visto com um sistema em malha aberta cuja entrada é a tensão externa recebida pelo amplificador (U_{ext}) e a saída é a pressão de trabalho (p_{tr}).

Sistema de controle em malha fechada: Neste caso, a *entrada* do sistema é modificada em função do comportamento da *saída*. Em outras palavras, a saída é realimentada e comparada com a *referência*, gerando um sinal de erro que será a entrada para o sistema. A figura AC3.2 mostra esta configuração.

Tanto o exemplo da figura 2.2 como o sistema apresentado na figura 4.1b são sistemas em malha fechada podendo-se identificar, para o segundo exemplo, a seguinte correlação:

- Referência = Tensão externa (U_{ext});
- Entrada = Tensão na válvula (U_{val});
- Saída = Pressão de trabalho (p_{tr});
- Realimentação = Pressão de trabalho (p_{tr}).

³ Os termos **sistema de controle em malha aberta** e **em malha fechada** são empregados em países como Estados Unidos e Inglaterra. As escolas alemã e francesa empregam os termos **sistema de comando** e **sistema de controle**, respectivamente. No Brasil tem sido empregadas ambas as terminologias.

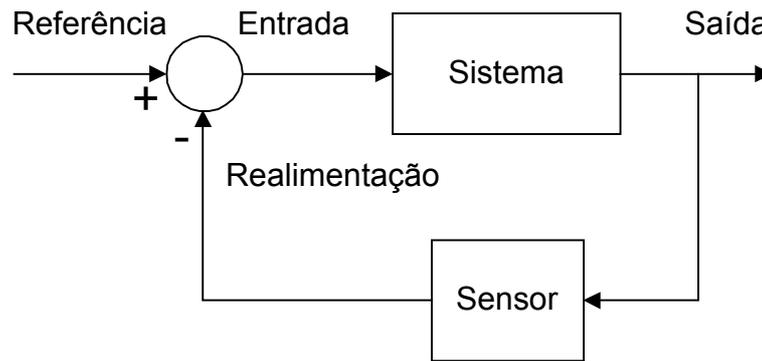


Figura AC3.2 – Sistema de controle em malha fechada

AC4 – Conectando Atuadores e Sensores Analógicos ao CLP

AC4.1 – Conexão atuador – saída analógica

Buscando uma analogia com a estrutura geral dos sistemas de atuação e de medição apresentada na figura 2.5 observa-se que, com relação ao *Caso II* em análise, o **atuador** consiste da válvula **1V1**, conforme o circuito da figura 4.1. Para que se estabeleça a conexão desta válvula com a **interface** do CLP, neste caso um módulo de saídas analógicas, faz-se necessário observar a compatibilidade de tensões e correntes do CLP com o solenóide proporcional ou com um circuito eletrônico de comando que fará o papel de condicionador de sinais.

A figura AC4.1 correlaciona os elementos de um sistema de atuação genérico com os meios físicos necessários para a implementação desta atuação em pressão, podendo-se observar que:

- A pressão na linha hidráulica está correlacionada com a energia/matéria;
- Os fios de interligação entre a válvula proporcional e o instrumento eletrônico de comando conduzem o sinal condicionado de atuação (SC_a);
- Os fios entre o CLP e o instrumento de comando conduzem o sinal bruto de atuação (SB_a);
- O endereçamento atribuído ao canal da saída analógica que está sendo usado é pré-configurado pelo CLP sendo designado, neste caso, por PQW304.0 (PQ = Saída analógica; W = Forma de codificação (word); 304 = Endereço do módulo; .0 = Resolução).
- O atributo desejado é a pressão desejada (P_d) que pode variar entre 0 e 50 bar.

Segundo esta configuração, a CPU realiza a *alocação de endereços*, ou seja, a atribuição de um símbolo (p_d), que é utilizado na redação do programa, a um espaço de memória, identificado internamente no CLP por 'PQW304.0'. O módulo de saídas analógicas corresponde à *interface de atuação*, cabendo ao circuito eletrônico de comando a tarefa de fornecimento do sinal adequado para a válvula, a qual promove a regulação da pressão do circuito hidráulico.

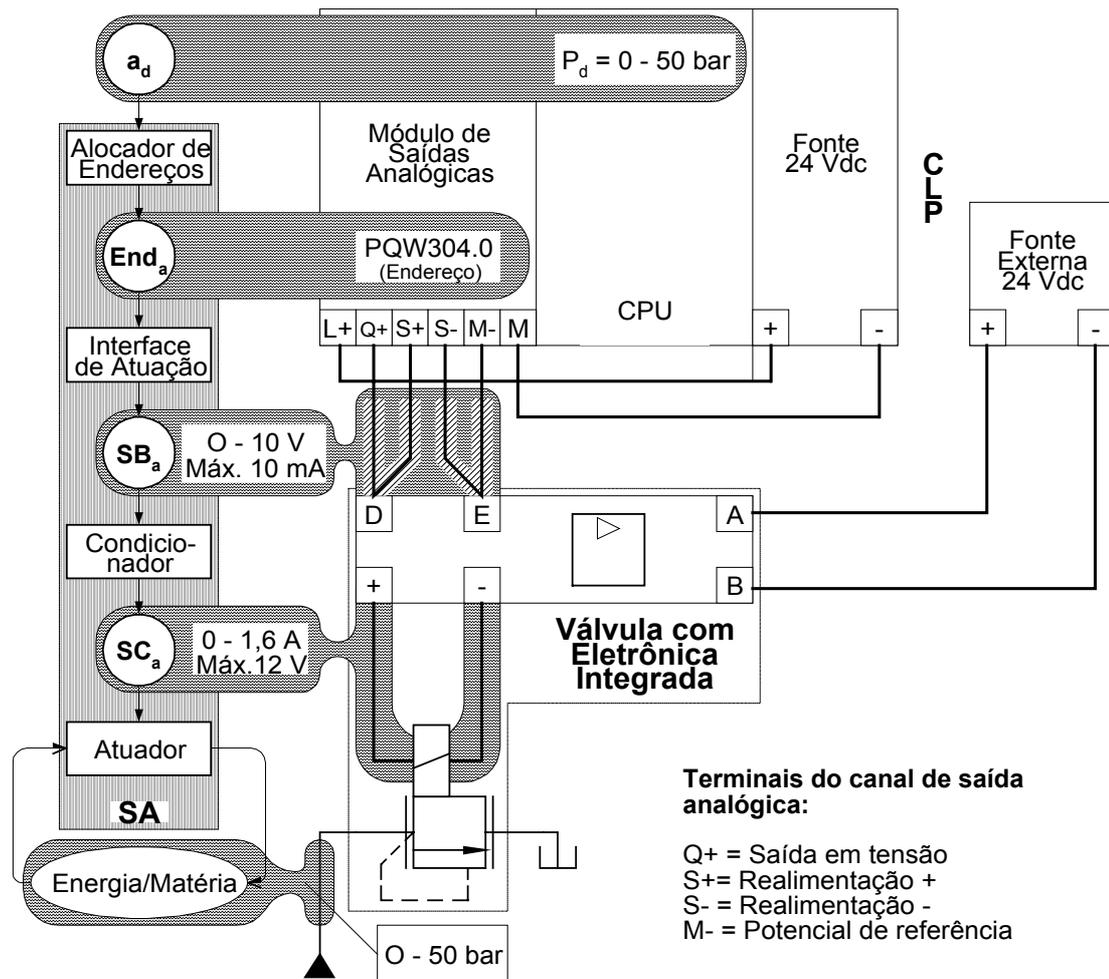


Figura AC4.1 – Sistema de atuação em pressão: Componentes e interligações básicas.

O sinal bruto de atuação (SB_a) varia entre 0 e 10 V e deve ter uma corrente máxima de 10 mA a fim de ser compatível com a faixa de operação da saída analógica. Como a válvula proporcional consome até 1,6 A (SC_a) é inviável a sua conexão diretamente a este módulo de saídas analógicas, necessitando do circuito eletrônico de comando.

AC4.2 – Conexão sensor – entrada analógica

Para uma melhor compreensão acerca da interligação de sensores analógicos a um CLP, apresenta-se na figura AC4.2 a associação entre a estrutura genérica e um sistema de medição (SM) e a estrutura necessária para a medição de pressão no circuito hidráulico exemplificado no *Caso I*. Assim, as seguintes correlações, referentes aos canais, estão estabelecidas:

- A pressão no circuito hidráulico está correlacionada com a energia/matéria;
- Os fios de interligação sensor - condicionador de sinais conduzem o sinal bruto de medição (SB_m);
- Os fios entre o condicionador de sinais do sensor e o CLP conduzem o sinal condicionado de medição (SC_m);

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

- O endereçamento atribuído ao canal que está sendo usado é designado, neste caso, por PIW288.0 (PI = Entrada analógica; W = Forma de codificação (word); 288 = Número do Módulo; .0 = Resolução)

- O atributo medido é a pressão medida que varia entre 0 e 10 bar. 'p_m' é a designação empregada na elaboração do programa.

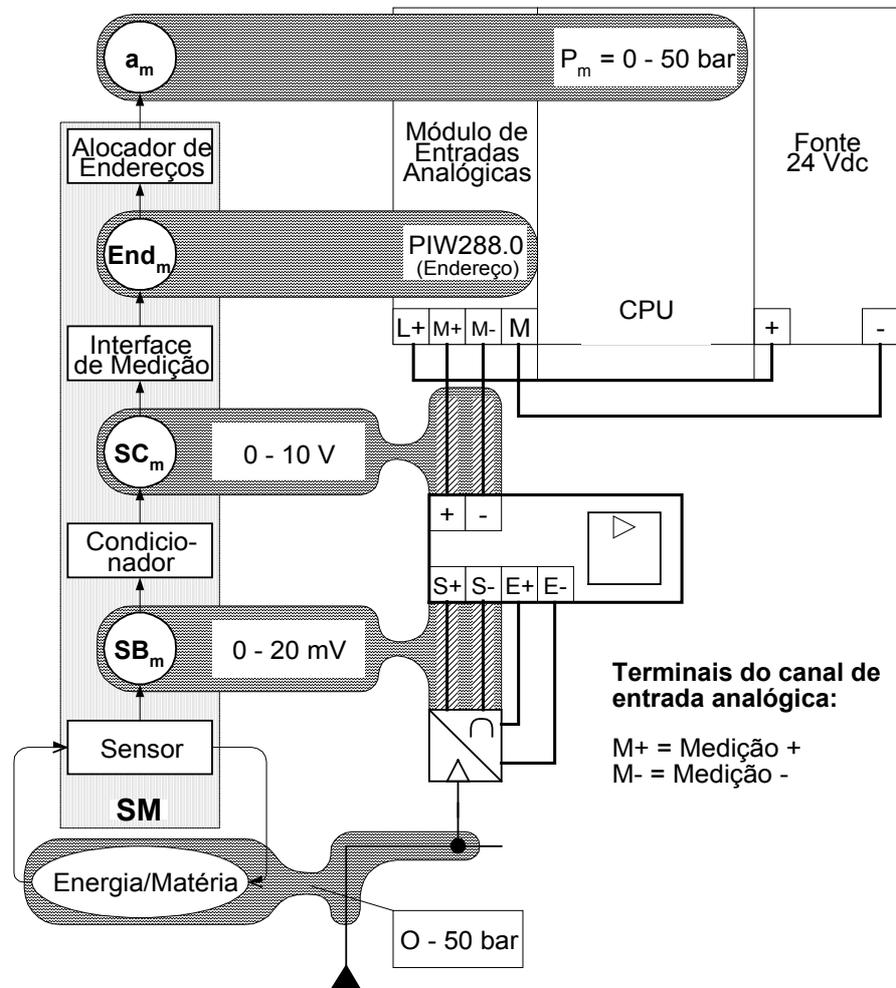


Figura AC4.2 – Sistema de medição de pressão: Componentes e interligações básicas.

É importante destacar o papel do condicionador de sinais que, além de fornecer a tensão de alimentação para o sensor, filtra e amplifica o sinal proveniente do sensor. O sinal tratado (SC_m) pode, então, ser transmitido à distância com menor risco de interferência eletrostática e eletromagnética provocada por motores elétricos, redes elétricas, luminárias etc., presentes no ambiente industrial.

Seguindo as diretrizes apresentadas na seção AC4, obtém-se o diagrama de circuito elétrico

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

mostrado na figura 4.4 que especifica a interligação do CLP com o sensor e a válvula proporcional. Observa-se que a fonte de 24 Vdc do CLP é empregada apenas para a alimentação dos próprios módulos deste. A alimentação do sensor de pressão e da válvula provém dos respectivos condicionadores de sinais. Neste circuito também está sendo utilizado um módulo de entradas digitais para captura dos sinais dos sensores '1S2' e 1S3', que serão empregados para determinar o início e o fim do controle de pressão.

Destaca-se também o emprego de cabos blindados, cuja malha está ligada ao terra, objetivando a redução de interferências eletrostáticas e eletromagnéticas. Na seção AC5 discute-se este aspecto bem como define-se diversos termos relacionados à metrologia e à dinâmica de sistemas, fornecendo subsídios para o entendimento da seção AC6, que apresenta a correlação entre especificações técnicas de sensores, atuadores e módulos de entradas e saídas analógicas.

Tabela 4.1 – Notação referente ao diagrama da figura 4.4

Geral		Módulo de Entradas Analógicas (CLP)		Módulo de Saídas Analógicas (CLP)	
R	Fase (220 VAC)	2	Medição +	3	Saída em tensão
N	Neutro	3	Medição -	4	Realimentação +
⊥	Terra	11	Potencial de referência	5	Realimentação -
				6	Potencial de referência
Fonte e CPU (CLP)		Sensor (1S1) e Condicionador de sinais (1Z2)		Válvula (1V1) com Eletrônica Integrada (1Z1)	
L+	24 VDC	E+	Excitação +	A	24 VDC
M	0 VDC	E-	Excitação -	B	0 VDC
⊥	Terra	R+	Realimentação +	D	Valor programado
		R-	Realimentação -	E	Potencial de referência
		S+	Resposta +	S+	Alimentação +
		S-	Resposta -	S-	Alimentação -

AC5 – Definições Fundamentais para Comunicação Analógica

AC5.1 - Aspectos metrológicos

A utilização de instrumentos para medição e atuação depende da correta correlação entre os valores dos sinais de entrada e saída, avaliada sob diversas condições de operação.

Conforme visto na seção 2, a função básica dos **sistemas de medição** é o fornecimento de um sinal de saída correspondente a magnitude da variável física do processo (a_r = atributo real) que age sobre o sensor. Através da calibração do conjunto 'condicionador de sinais + sensor', obtém-se a correlação entre o sinal condicionado medido (SC_m) (saída) e o atributo real (a_r) (entrada), conforme ilustrado na figura AC5.1.

Nesta figura identifica-se os seguintes parâmetros (Flesch, 1997):

- **Característica de resposta real (CR_r)**: Consiste de uma linha que passa pelas leituras médias referentes a cada valor do atributo real e por uma faixa de dispersão que especifica estatisticamente o desvio dos pontos em relação a esta linha média.

- **Característica de resposta nominal (CR_n)**: Especifica univocamente o comportamento ideal esperado do instrumento, podendo ser expressa por uma equação matemática (linear ou não), uma tabela ou um gráfico.

- **Tendência (Td)**: Corresponde ao erro sistemático, isto é, a diferença entre a leitura média e o valor equivalente na característica de resposta nominal, avaliado para cada valor do atributo real.

- **Repetitividade (Re)**: É o grau de concordância entre o resultado de medições sucessivas efetuadas sob as mesmas condições de medição.

- **Erro Máximo ($Emáx$)**: é definido por:

$$Emáx = |Td + Re| \text{ máx. na faixa de medição}$$

Desta forma, o erro máximo reflete a discrepância entre a característica de resposta real e a característica de resposta nominal, adotada para descrever o comportamento do sistema. Quando da utilização da cadeia de instrumentos de medição, a forma inversa da característica de resposta nominal deverá ser empregada para determinar o valor real do atributo físico a partir da indicação fornecida pelo instrumento.

Quando a característica de resposta nominal (CR_n) é uma reta, o erro máximo é denominado de **Erro de Linearidade**, caracterizando o quanto a característica de resposta real (CR_r) afasta-se do comportamento linear ideal.

Outro parâmetro bastante empregado na caracterização de instrumentos é a **Histerese** que corresponde a diferença entre as saídas obtidas a partir de um mesmo valor do sinal de entrada, quando a entrada está decrescendo de valor e quando está crescendo de valor. Por sua vez, o termo

Limiar ou **Erro de Reversão** (threshold) especifica a variação no valor da entrada necessário para produzir uma reversão no valor do sinal de saída. A figura AC5.2 ilustra estes parâmetros.

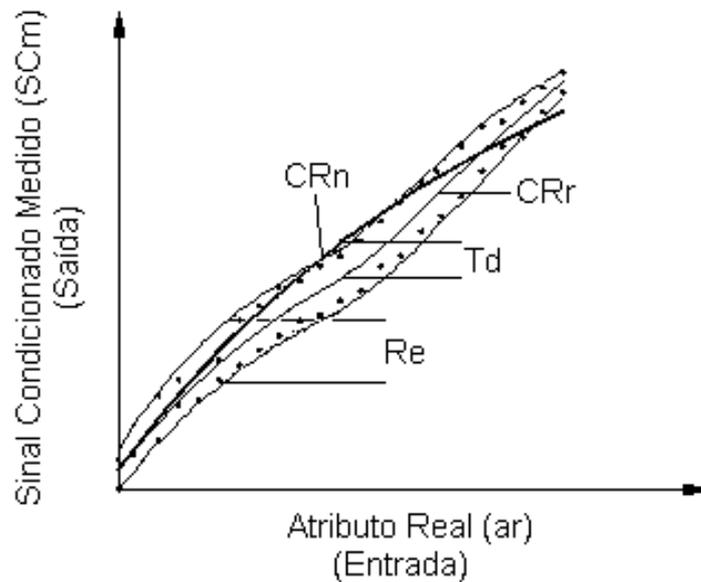


Figura AC5.1 – Curvas e parâmetros característicos de um sistema de medição

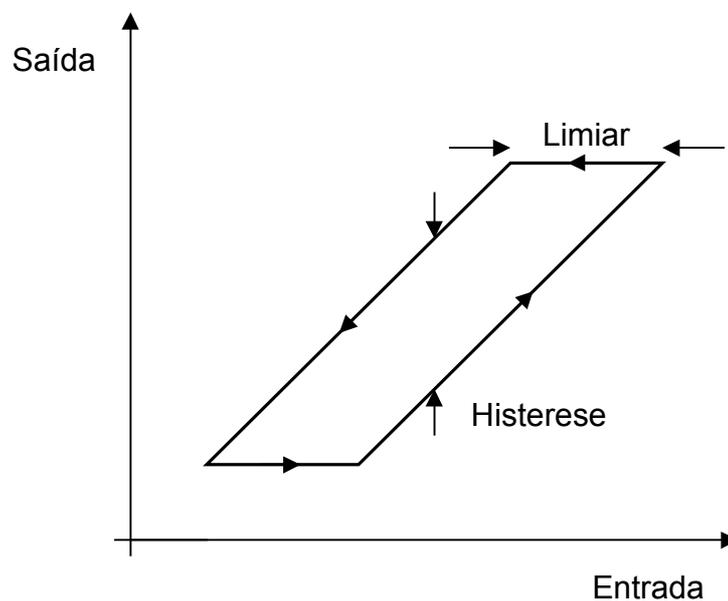


Figura AC5.2 – Histerese e Limiar de um instrumento.

Estes parâmetros, apresentados acima para sistemas de medição, podem ser empregados para caracterizar qualquer instrumento. Assim, no caso de **sistemas de atuação** incluindo válvulas e circuitos eletrônicos de amplificação, correlaciona-se o sinal bruto de atuação (SB_a), que será a entrada, e o atributo real (a_r), que será a saída (ver figura 2.5).

AC5.2 – Resposta dinâmica de sistemas

Conforme apresentado na seção AC3, os sistemas destinados ao controle de variáveis como pressão, vazão, posição, velocidade etc. são analisados através da correlação entre os sinais de entrada e de saída. Assim sendo, é comum especificar o desempenho de um sistema de acordo com a sua **resposta**, ou seja, o *comportamento de sua saída ao longo do tempo em função da aplicação de um sinal de entrada*.

Considerando como exemplo um circuito hidráulico empregando uma válvula controladora de vazão proporcional (figura AC5.3), se for aplicado um sinal em corrente de forma bastante lenta, poder-se-á medir a vazão na tubulação de saída e obter um curva em função do tempo na forma mostrada na figura AC5.4a. Representando a vazão versus a corrente ter-se-á a figura AC5.4b, tipicamente encontrada em catálogos.

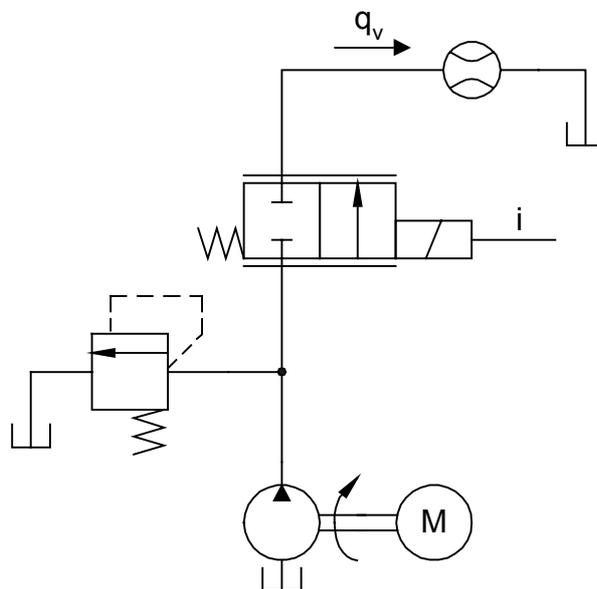


Figura AC5.3 – Válvula controladora de vazão proporcional

Por outro lado, se houver uma variação rápida no sinal de entrada, por exemplo, através da aplicação de um degrau em corrente, a válvula responderá na forma mostrada pela figura AC5.5, em que a vazão demora um determinado tempo para atingir um valor constante proporcional a corrente aplicada.

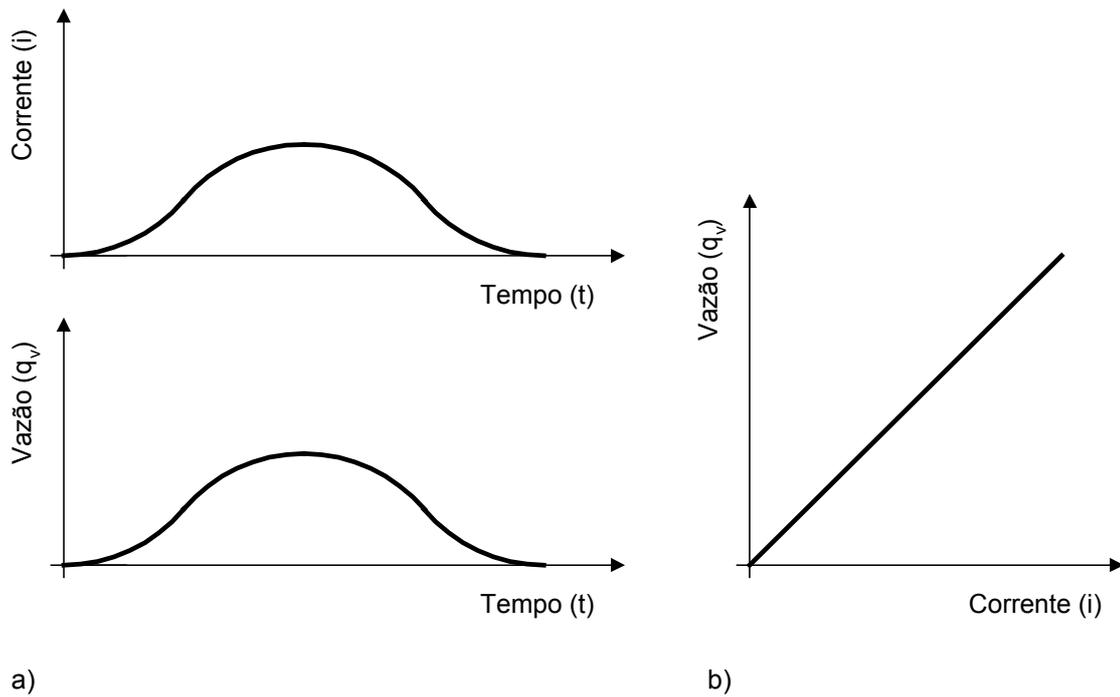


Figura AC5.4 – Resposta de uma válvula controladora de vazão proporcional a uma variação lenta da corrente de entrada

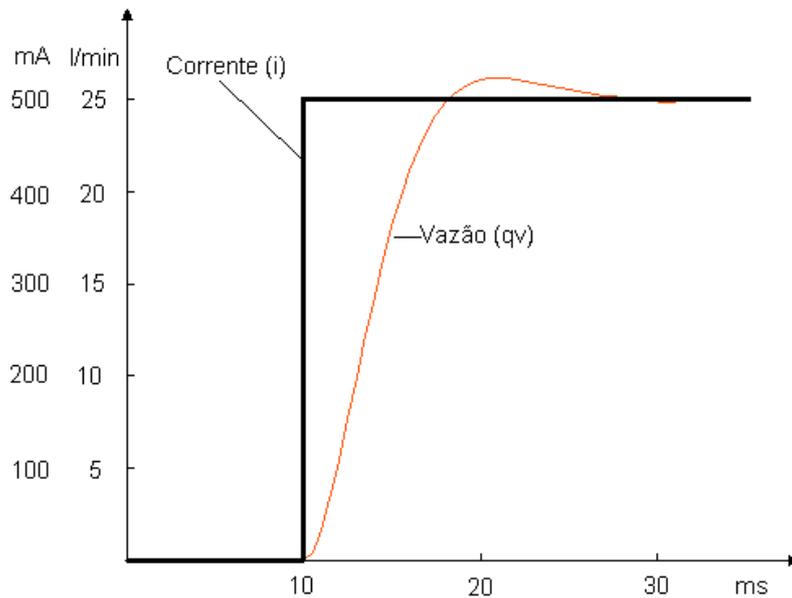


Figura AC5.5 – Resposta de uma válvula controladora de vazão proporcional a um degrau em corrente

O estado de funcionamento de um sistema em que as suas variáveis (vazão, deslocamento do carretel etc.) estão constantes ou acompanhando o formato do sinal de entrada é denominado de **regime permanente**. A passagem de um regime permanente a outro é denominado de **regime transiente** e ocorre sempre que se altera o valor de entrada de forma significativa.

Com relação à figura AC5.5 intervalo de 10 a ≈ 30 ms corresponde ao regime transiente e a partir de ≈ 30 ms a resposta está em regime permanente. Como na obtenção da curva AC5.4 a variação da entrada foi muito lenta, a resposta sempre acompanhou a entrada e portanto é uma medição de resposta em regime permanente ao longo de todo o tempo.

Na figura AC5.6, está representada a resposta típica de um sistema de controle para uma entrada em degrau, identificando-se diversos parâmetros que são empregados como critérios de desempenho de um sistema dinâmico (KUO, 1985), quais sejam:

- **Tempo de atraso (t_d):** é o tempo necessário para a resposta ao degrau atingir 50 % do seu valor final;

- **Tempo de subida (t_r):** é o tempo necessário para a resposta a degrau subir de 10 % à 90 % do seu valor final;

- **Tempo de acomodação (t_s):** é o tempo necessário para a resposta a degrau atingir, e então permanecer, dentro de uma porcentagem especificada (tipicamente 5 %) do seu valor final;

- **Erro de regime permanente (eRP):** é o desvio entre o valor final da resposta e o valor ideal que é diretamente proporcional à entrada.

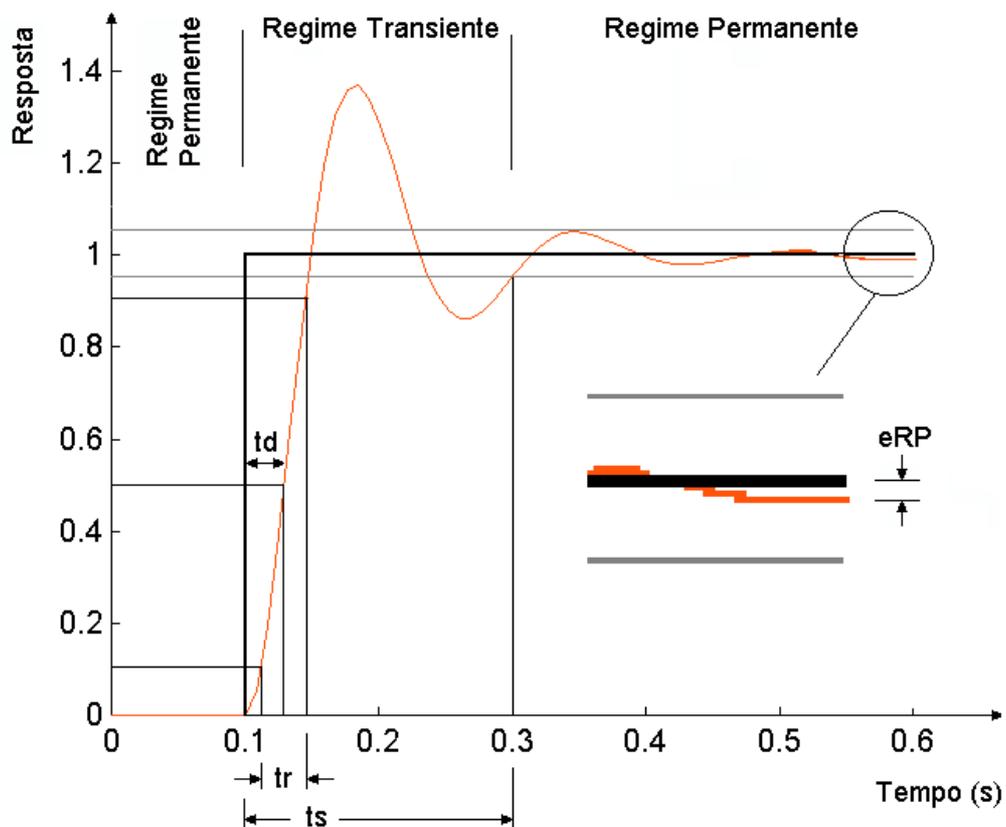


Figura AC5.6 – Resposta a uma entrada em degrau

AC5.3 – Blindagem e aterramento

A construção de circuitos elétricos para automação e controle exige alguns cuidados especiais, pois pode haver a sobreposição de sinais elétricos ao sinal principal, provocando adulteração deste ou mesmo a danificação da instrumentação eletrônica empregada.

Sinais elétricos indesejáveis são denominados de **ruídos** e são provenientes de fontes diversas como motores, cabos de tensão de alimentação de equipamentos, lâmpadas fluorescentes, transformadores, monitores de microcomputadores etc. Estes dispositivos produzem *campos magnéticos e/ou campos elétricos* que provocam o surgimento de tensões adicionais no circuito de instrumentação. Esta influência é mais significativa quanto menores forem as tensões nominais nestes circuitos pois, nestes casos, os ruídos provenientes de campos externos poderão ter magnitude compatível com estas tensões.

Um terceira fonte de tensões indesejadas decorre da presença de **laços de terra**, isto é, da *existência de potenciais diferentes de '0 V' entre os pontos de ligação dos instrumentos ao plano da terra*. Observando-se o circuito elétrico da figura 4.4, esta situação ocorreria caso os pontos de terra em que o condicionador de sinais do sensor, o CLP e a fonte de alimentação externa estão conectados, tivessem tensões diferentes entre si (bastaria que algum ponto tivesse tensão diferente de '0 V'.) e não houvesse o cabo externo de interligação destes. Nesta situação os pontos de terra podem ser curto-circuitados pelos próprios instrumentos provocando distorções nos sinais de entrada e saída ou mesmo a danificação destes instrumentos.

A maneira mais fácil de se evitar ou minimizar estas interferências é a simples separação, o máximo possível, entre os cabos de sinal e as fontes de ruído e também o completo isolamento dos instrumentos em relação ao plano terra. Caso isto não seja possível, as seguintes medidas devem ser tomadas:

- **Blindagem eletromagnética** que consiste no torcimento dos fios de sinais, de 20 a 30 voltas por metro, como mostrado pela figura AC5.7. Este torcimento é importante pois tende a fazer com que as tensões induzidas por campos magnéticos, que aparecem em cada laço, se cancelem mutuamente, reduzindo este efeito.

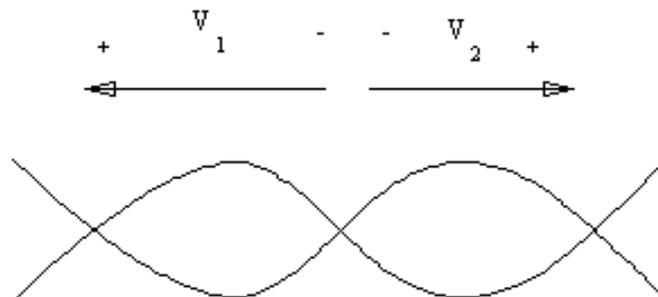


Figura AC5.7 Minimização dos efeitos do acoplamento indutivo através da blindagem eletromagnética. (De Negri et al., 1998)

- **Blindagem eletrostática e aterramento** que consiste na utilização de fios ou cabos blindados⁴ cujo revestimento metálico é ligado ao terra. Complementando com a blindagem e aterramento dos instrumentos, é possível minimizar ou praticamente eliminar os efeitos das interferências devido a campos elétricos e laços de terra.

Cabos blindados que tenham mais de um condutor isolado, normalmente incorporam o torcimento destes, permitindo a blindagem eletromagnética e eletrostática ao mesmo tempo. Evidentemente que os cabos blindados e os instrumentos utilizados em instrumentação deverão ser corretamente conectados ao terra para que de fato sejam eliminados tanto os ruídos provenientes de campos elétricos e magnéticos quanto os ruídos provenientes de laços de terra.

Como em uma instalação industrial os pontos de ligação dos instrumentos ao terra podem estar bastante distantes, é muito difícil assegurar que não haja diferença de potencial entre estes. Logo, é recomendado que o aterramento do circuito de instrumentação seja realizado em apenas um ponto, sendo este ponto preferencialmente o que corresponde ao sinal zero do instrumento que realiza o processamento principal das informações (Indicador digital, CLP, microcomputador etc.). A figura AC5.8 ilustra o aterramento de um sistema de medição.

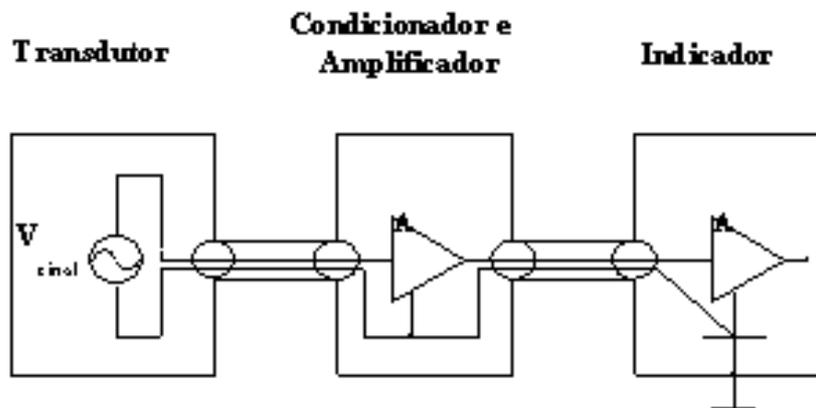


Figura AC5.8 - Conexão para a blindagem dos instrumentos e cabos com aterramento em apenas um ponto. (De Negri et al., 1998)

⁴ Um **cabo blindado** é constituído de um ou mais fios ou cabos isolados, revestidos por um condutor metálico (malha).

AC6 – Compatibilização de Sensores, Atuadores e Módulos de Entradas e Saídas Analógicas

AC6.1 – Atuadores e saídas analógicas

A fim de conectar o solenóide da válvula proporcional ou um amplificador eletrônico apropriado com um módulo de saída analógica, é fundamental a análise de especificações técnicas destes instrumentos.

A figura AC6.1 apresenta o diagrama de blocos de um circuito eletrônico incorporado a uma válvula limitadora de pressão proporcional que pode ser ligado a uma saída analógica do CLP através das conexões 'D' e 'E'. A potência elétrica para acionamento do solenóide provém de uma fonte de alimentação externa conectada em 'A' e 'B' e, portanto, a corrente no circuito de comando é mínima.

Através da tabela AC6.1, que fornece as principais características desta válvula, observa-se que a válvula sem circuito eletrônico incorporado necessita uma alimentação em corrente na faixa de 100 a 800 mA. Caso desejasse-se ligá-la diretamente ao CLP, este deveria possuir uma saída em corrente (e não em tensão) compatível.

As informações quanto à histerese, repetitidade e linearidade caracterizam o comportamento estático da válvula, conforme definido anteriormente na seção AC5.1. O tempo de resposta, que pode ser entendido como o tempo de acomodação definido na seção AC5.2, fornece uma noção da resposta dinâmica da válvula.

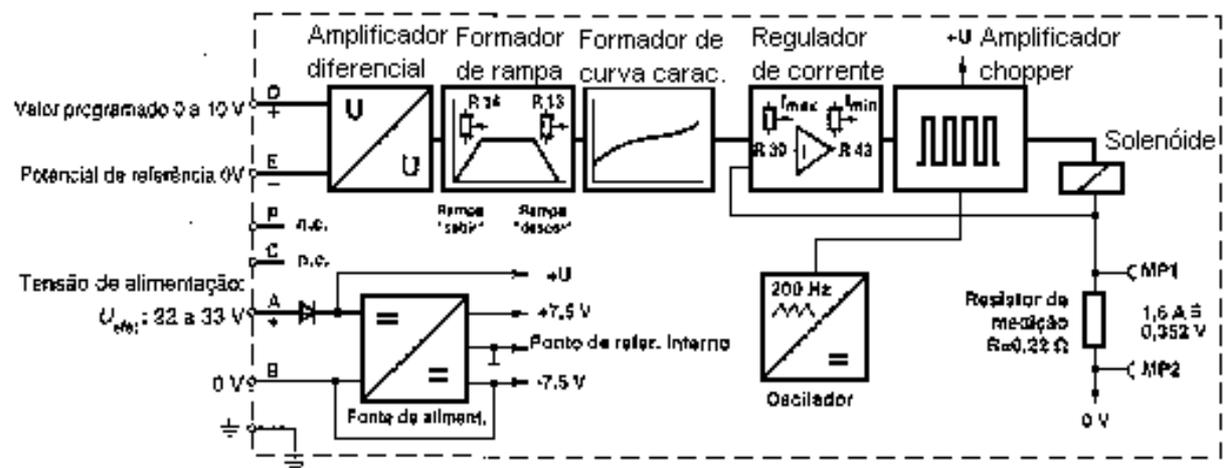


Figura AC6.1 – Diagrama de blocos do circuito eletrônico integrado à válvula proporcional (Rexroth, 1993)

Tabela AC6.1 – Especificações de válvula limitadora de pressão proporcional (Rexroth, 1993)

Especificações	
Gerais	
Massa	2,1 kg
Posição de montagem	Qualquer
Faixa de temperatura ambiente	0 a + 50 °C
Hidráulicas (medidas com $v = 41 \text{ mm}^2/\text{s}$, $t = 50 \text{ °C}$)	
Pressão de trabalho (conexão p)	Máx. 350 bar
Pressão máxima de ajuste:	
Faixa de pressão de 50 bar	50 bar
Faixa de pressão de 100 bar	100 bar
Pressão mínima de ajuste	Vide curvas características
Vazão	Máx. 2 l/min
Fluido	Óleo mineral (HL, HLP) ; Éster-fosfato (HFD-R)
Faixa de temperatura do fluido hidráulico	- 20 a + 70 °C
Faixa de viscosidade	15 a 380 mm^2/s
Grau de contaminação	Classe 7 a 9 (conforme NAS 1638)
Histerese (vide curvas características)	$\pm 1,5 \%$ da pressão máxima de ajuste
Repetitividade	$< \pm 2 \%$ da pressão máxima de ajuste
Linearidade	$\pm 3,5 \%$ da pressão máxima de ajuste
Tempo de resposta	30 – 150 ms (em função da instalação)
Elétricas	
Tipo de corrente	Corrente contínua
Corrente mínima de comando	100 mA
Corrente máxima de comando:	
Sem eletrônica incorporada	800 mA
Com eletrônica incorporada	1600 mA
Resistência da bobina:	
Sem eletrônica incorporada	
À frio com 20 °C	19,5 Ω
À quente (máx.)	28,8 Ω
Com eletrônica incorporada	
À frio com 20 °C	5,4 Ω
À quente (máx.)	7,8 Ω
Classe de isolamento	IP 65 conforme DIN 40 050

Por sua vez, apresenta-se na figura AC6.2 o terminal de conexões de um módulo de saídas analógicas e o corresponde diagrama de blocos, incluindo a forma de ligação dos atuadores (cargas). Especificamente, este módulo possui 2 saídas (2 grupos com 1 canal cada) que podem ser programados individualmente como saídas em tensão ou em corrente.

Vale ressaltar, que os módulos analógicos, sejam de entrada ou de saída, tem como principal objetivo a conversão de valores analógicos para a forma binária, adequando os sinais para processamento pela CPU do CLP, já que esta somente processa valores na forma binária. Assim, os **módulos de entrada analógicos convertem o sinal analógico proveniente do processo em um sinal**

digital, enquanto que os **módulos de saída analógicos** convertem um valor digital de saída em um sinal analógico par ao processo. O quadro em destaque apresenta noções básicas sobre sinais analógicos e binários (digitais).

Código Binário x Sinal Analógico

Considerando-se um módulo de entrada analógica de 2 bits, isto é, que opere internamente em 2 bits, e que seja capaz de receber sinais de 0 a 10 V do processo, o possível conjunto de números binários de 2 bits que poderá ser processado pelo módulo será: **00; 01; 10; 11**.

Assim, para 0 V na entrada, corresponderá o código binário '00' e para 10 V na entrada ter-se-á o código binário '11': A resolução do módulo será de 3,33 V, isto é, a faixa de tensão dividida por $(2^B - 1)$ ($B =$ número de bits). A tabela ao lado representa a correlação entre código binário e sinal analógico para módulos analógicos de 2 e 4 bits.

Módulo de 2 bits (B = 2)	
Código Binário	Sinal Analógico
00	0 V
01	3,33 V
10	6,66 V
11	10 V
Módulo de 4 bits (B = 4)	
Código Binário	Sinal Analógico
0000	0 V
0001	1,43 V
0010	2,86 V
0011	4,29 V
0100	5,72 V
0101	7,15 V
1010	8,58 V
1111	10 V

Os módulos analógicos comumente são de 8, 12 ou 16 bits, possuindo resoluções de 0,04 V, 0,0024 V e 0,00015 V, respectivamente

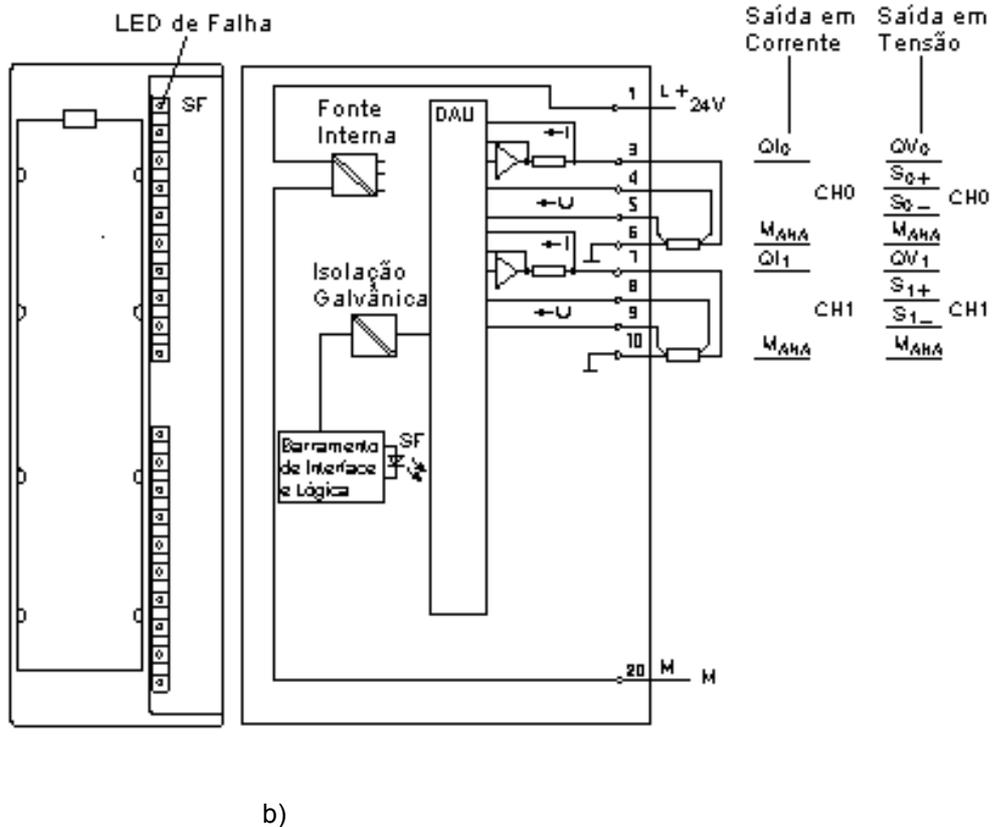


Figura AC6.2 – Módulo de saídas analógicas com 2 canais de 12 bits: a) Terminal de conexões; b)

Diagrama de blocos do circuito interno e externo (Siemens, 1994) (Notação segundo a tabela AC6.2).

Tabela AC6.2 - Notação referente à figura AC6.2 e à tabela AC6.3

Símbolo	Descrição
QI	Terminal para saída em corrente
QV	Terminal para saída em tensão
M _{ANA}	Potencial de referência
M	Terminal de terra
L+	Terminal para alimentação de 24 Vdc
S+	Terminal para realimentação da tensão +
S-	Terminal para realimentação da tensão -

Conforme pode-se observar da figura AC6.2, os módulos de saída podem fornecer corrente ou tensão para os atuadores (cargas), isto é, atuarão com fontes de tensão ou de corrente. No caso de saída em tensão, os conectores 'S+' e 'S-' são empregados para medir a tensão efetivamente aplicada na carga e realimentá-la para o módulo de saída para que este corrija a tensão fornecida nos conectores 'Qv' e 'M'.

Para reduzir interferência eletromagnética, deve-se utilizar cabos blindados e trançados para os sinais analógicos. Os cabos Qv e S+ e M e S-, respectivamente, devem ser trançados juntos. A blindagem dos cabos de sinais analógicos deve ser aterrada em ambas as extremidades do cabo. Se houver diferenças de potenciais entre as extremidades do cabo, dever-se-á aterrar a blindagem em apenas uma extremidade, de acordo com as observações da seção AC5.3

Segundo a tabela AC6.3, para interligar este módulo ao circuito eletrônico da válvula deve-se selecionar a faixa de saída de '0 – 10 Vdc'. O circuito eletrônico deverá ter uma impedância de entrada superior à 1 k Ω .

A resolução deste módulo é de 12 bits e, de acordo com o quadro apresentado anteriormente, implica que o sinal de saída pode variar em intervalos de 0,0024 V (0,024 % da tensão nominal). Por sua vez, os erros para saída em tensão podem chegar a 2 %, que são da ordem de grandeza dos erros associados à válvula, reduzindo o desempenho estático do conjunto 'Saída analógica – Válvula'.

Com relação a resposta dinâmica, a saída analógica consome cerca de 0,9 ms (0,8 ms para conversão e mais 0,1 ms de tempo de acomodação), no mínimo 30 vezes superior ao tempo de resposta da válvula. Considerando-se a recomendação prática de que um instrumento deve ser cerca de 5 a 10 vezes mais rápido que outro para que o comportamento dinâmico deste não cause influência, constata-se que este módulo analógico está adequado a este sistema de controle.

Tabela AC6.3 – Especificações de módulo de saídas analógicas da figura AC6.2 (Siemens, 1994)

Dimensões e Peso	
Dimensões: W x H x D	40 x 125 x 120 mm
Peso:	aprox. 220 g
Dados Específicos do Módulo	
Número de saídas	2
Comprimento de cabo com blindagem	Máx. 200 m
Tensões, Correntes e Potenciais	
Tensão de carga nominal (L+)	24 Vdc
Isolamento galvânico:	
Entre canais e barramento central	Sim
Entre os canais e tensão de carga (L+)	Sim
Diferenças de potencial permissíveis	
Entre S- e M _{ANA}	3 Vdc
Entre M _{ANA} e M _{Interno}	75 Vdc; 60 Vac
Corrente drenada:	
Do barramento central	Máx. 60 mA
Da tensão de carga (L+) (sem carga)	Máx. 135 mA
Perdas de potência do módulo	Típico 3 W
Geração do valor analógico	
Resolução:	
± 10 V; ± 20 mA; 4 – 20 mA; 1 – 5 V	11 bits + bit sinal
0 – 10 V; 0 – 20 mA	12 bits
Tempo de conversão por canal	Máx. 0,8 ms
Tempo de acomodação:	
Para carga resistiva	0,1 ms
Para carga capacitiva	3,3 ms
Para carga indutiva	0,5 ms
Limites de erros (referentes à faixa de saída)	
Erro básico:	
Saída em tensão	± 2 %
Saída em corrente	± 3 %
Desvio com temperatura	± 0,002 %/K
Erro de linearidade	± 0,05 %
Repetibilidade	± 0,05 %
Ripple (0 - 50 kHz)	± 0,05 %

Dados para seleção do atuador	
Faixas de saída (Valores nominais);	
Tensão	± 10 V 0 – 10 V 1 – 5 V
Corrente	± 20 mA 0 – 20 mA 4 – 20 mA
Impedância da carga:	
Com saída em tensão	Min. 1 kΩ
Carga capacitiva	Máx. 1 μF
Com saída em corrente	Máx. 500 Ω
Carga indutiva	Máx. 10 mH
Saída em tensão:	
Proteção contra curto-circuito	Sim
Saída em corrente:	
Corrente de curto circuito	Máx. 25 mA
Conexão de atuadores:	
Saída em tensão	
Conexão à 2 fios	Possível
Conexão à 4 fios	Possível
Saída em corrente	
Conexão à 2 fios	Possível

AC6.2 – Sensores e entradas analógicas

Para a monitoração e controle de equipamentos ou processos, normalmente se faz necessária a medição de variáveis analógicas, dentre as quais deslocamento (posição), velocidade, vazão, pressão, torque, força e temperatura. Os sistemas de medição correspondentes podem fornecer indicações mecânicas, como os manômetros e rotômetros, ou então elétricas através de indicadores digitais ou saídas analógicas.

As saídas analógicas de sistemas de medição tipicamente fornecem sinais em tensão na faixa de 0 a 10 Vdc ou -10 a + 10 Vdc ou então sinais em corrente na faixa de 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA.

Com relação ao sistema de medição de pressão empregado no **Caso II** em estudo, emprega-se um sensor de pressão conectado a um condicionador de sinais com saída analógica de 0 a 10 Vdc. (ver figura 4.4). A tabela AC6.4 apresenta as características técnicas do condicionador de sinais empregado.

Tabela AC6.4 – Especificações do condicionador de sinais.

Especificações técnicas	
Temperatura de operação	0 a 50 °C
Consumo	8,25 VA
Compatibilidade com transdutores resistivos	
Impedância de entrada	10 GΩ
Resposta em frequência	100 Hz (-3 dB)
Faixa de sensibilidade a ± 5 Vdc	± 2 a 1000 mV/V
Tensão de excitação	2,5; 5; 10 Vdc ± 0,2 %
Ajuste de zero do transdutor	± 10%
Máximo comprimento do cabo	400 m
Faixa de resistência	50 a 10 kΩ
Saída auxiliar	
Saída em tensão	± 10 V
Impedância mínima	5 kΩ

Para se determinar a compatibilidade da saída analógica (saída auxiliar) deste condicionador com o CLP, é necessário analisar o módulo de entradas analógicas que será empregado. Na figura AC6.3 apresenta-se um módulo que permite a medição de sinais em tensão e em corrente, medição de resistência e de sinais provenientes de termopares (provendo a devida compensação de temperatura).

Tabela AC6.5 - Notação referente ao diagrama da figura AC6.3

Símbolo	Descrição
M+	Medição +
M-	Medição -
M _{ANA}	Potencial de referência
M	Terminal de terra
L+	Terminal para alimentação de 24 Vdc
Comp+	Terminal de compensação +
Comp-	Terminal de compensação -

Assim como para o módulo de saídas analógicas, os cabos devem ser possuir blindagem eletrostática e eletromagnética (ver seção AC5.3) a fim de minimizar a distorção nos sinais elétricos provenientes do sensor ou do condicionador de sinais.

Conforme a tabela AC6.6, há também limitação quanto ao comprimento dos cabos, visando, principalmente, minimizar as quedas de tensão. Selecionando-se a faixa de entrada de ± 10 Vdc, a impedância da entrada será de 100 k Ω , compatível com o exigido pela saída analógica do condicionador de sinais, que é de no mínimo 5 k Ω .

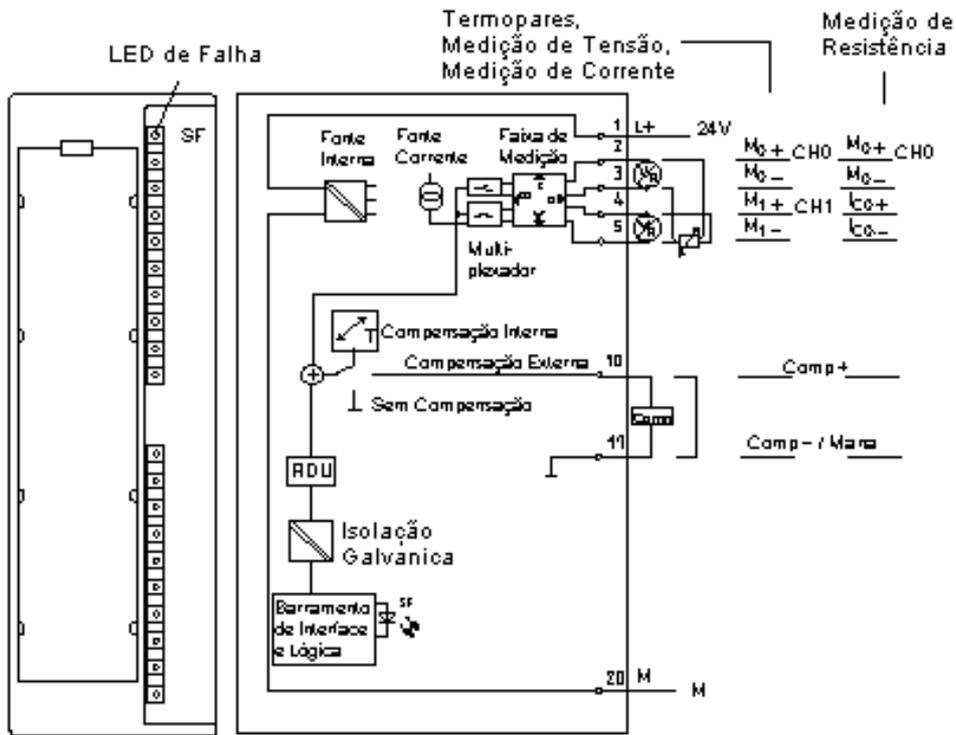


Figura AC6.3 – Módulo de entradas analógicas com 2 canais de 12 bits: a) Terminal de conexões; b) Diagrama de blocos do circuito interno e externo (Siemens, 1994). (Notação segundo a tabela AC6.5)

Considerando-se que a faixa de medição escolhida é bipolar (± 10 Vdc), a resolução do módulo poderá ser selecionada entre 9 bits + bit sinal, 12 bits + bit sinal ou 14 bits + bit sinal. Optando por 12 bits + bit sinal, implica que somente serão detectadas variações no sinal analógico de entrada em intervalos de 0,0024 V (0,024 % da tensão nominal). (Ver quadro em destaque).

Código Binário Complemento 2 x Sinal Analógico

Quando há necessidade de representar binariamente números inteiros com sinal, é comum o emprego da notação **complemento 2**, em que a resolução é obtida dividindo-se o valor máximo da tensão por (2^{B-1}) (B = número total de bits). A tabela ao lado representa a correlação entre código binário complemento 2 e sinal analógico para módulos analógicos de 2 bits.

Módulo de 2 bits + bit sinal (B =3)	
Código Binário	Sinal Analógico
000	0 V
001	2,5 V
010	5,0 V
011	7,5 V
100	- 10,0 V
101	- 7,5 V
110	- 5,0 V
111	- 2,5 V

Para módulos analógicos de 9 bits + sinal, 12 bits + sinal e 14 bits + sinal, as resoluções serão, respectivamente, 0,019 V, 0,0024 V e 0,0006 V.

Integração da Tecnologia Hidráulica e Pneumática com CLP's – LASHIP/EMC/UFSC

Tabela AC6.6 – Especificações de módulo de entradas analógicas da figura AC4.3 (Siemens, 1994).

Dimensões e Peso				
Dimensões: W x H x D	40 x 125 x 120 mm			
Peso:	aprox. 250 g			
Dados Específicos do Módulo				
Número de entradas:	2			
Com sensor tipo resistência	1			
Comprimento de cabo com blindagem:	Máx. 200 m			
Com 80 mV e termopares	Máx. 50 m			
Tensões, Correntes e Potenciais				
Tensão de carga nominal (L+)	24 Vdc			
Isolamento galvânico:				
Entre canais e barramento central	Sim			
Entre os canais e tensão de carga (L+)	Sim			
Diferenças de potencial permissíveis				
Entre entradas e M _{ANA}	2,5 Vdc			
Entre M _{ANA} e M _{Interno}	75 Vdc; 60 Vdc			
Corrente drenada:				
Do barramento central	Máx. 60 mA			
Da tensão de carga (L+) (sem carga)	Máx. 80 mA			
Perdas de potência do módulo	Típico 1,3 W			
Geração do valor analógico				
Tempo de conversão (por canal)	3 ms	17 ms	22 ms	101ms
Resolução:				
Faixa de medição bipolar	9 bits +sinal	12 bits +sinal	12 bits +sinal	14 bits +sinal
Faixa de medição unipolar	9 bits	12 bits	12 bits	14 bits
Supressão de ruído	400 Hz	60 Hz	50 Hz	10 Hz
Limites de erros (referentes à faixa de entrada)				
Erro básico:				
80 mV	± 0,6 %			
250 – 1000 mV	± 0,4 %			
2,5 – 10 V	± 0,6 %			
3,2 – 20 mA	± 0,5 %			
Desvio com temperatura	± 0,005 %/K			
Erro de linearidade	± 0,05 %			
Repetitividade	± 0,05 %			
Ripple (0 - 50 kHz)	± 0,05 %			

Dados para seleção do atuador	
Faixas de entrada (Valores nominais) / Resistência de entrada; Tensão	± 80 mV / 10 MΩ ± 250 mV / 10 MΩ ± 500 mV / 10 MΩ ± 1000 mV / 10 MΩ ± 2,5 V / 100 kΩ ± 5 V / 100 kΩ 1 - 5 V / 100 kΩ ± 10 V / 100 kΩ
Corrente	± 3,2 mA / 25 Ω ± 10 mA / 25 Ω ± 20 mA / 25 Ω 0 – 20 mA / 25 Ω 4 – 20 mA / 25 Ω
Conexão de sensores:	
Para medição de tensão	Possível
Para medição de corrente	
Conexão à 2 fios	Possível
Conexão à 4 fios	Possível
Para medição de resistência	Possível
Conexão à 2 fios	Possível
Conexão à 3 fios	Possível
Conexão à 4 fios	Possível

Para a resolução de 12 bits + sinal, o tempo de conversão para cada canal é de 17 ms. Segundo a tabela AC6.4, o condicionador possui uma resposta em frequência de 100 Hz (100 ciclos/s = 628 rad/s) a - 3dB, o que implica num tempo de atraso da ordem de 1,6 ms ($t_d \cong 1/628 = 1,6 \times 10^{-3}$ s). Como a resposta do condicionador é cerca de 10 vezes superior a do módulo de entradas analógicas, significa que este módulo determinará a resposta dinâmica deste sistema de medição.

Sob o ponto de vista do sistema automático como um todo, a válvula proporcional, analisada anteriormente, é a que possui a resposta mais lenta e, por conseguinte, restringirá a velocidade de resposta do sistema.

Por sua vez, os erros da entrada são de 0,6 %, que provavelmente são da ordem de grandeza dos erros associados ao condicionador de sinais, reduzindo o desempenho estático do conjunto 'Sensor – Condicionador – Entrada analógica'.

De posse das informações contidas nas seções AC5 e AC6, mostrando detalhes quando a minimização de ruídos elétricos e a compatibilidade entre os módulos analógicos e atuadores e sensores empregados neste estudo de caso, pode-se analisar novamente o diagrama de circuito elétrico apresentado na figura 4.4, entendendo-se o formato das ligações elétricas com os canais de entrada e saída e os cuidados com a blindagem dos cabos e ligações ao terra.

Para finalizar este projeto, é necessário definir o programa do CLP para as duas situações apresentadas no início esta seção, ou seja, com controle de pressão em malha aberta e em malha fechada. Para ambos os casos, pressupõe-se que a pressão no sistema deva possuir o comportamento ao longo do tempo indicado na figura 4.5.

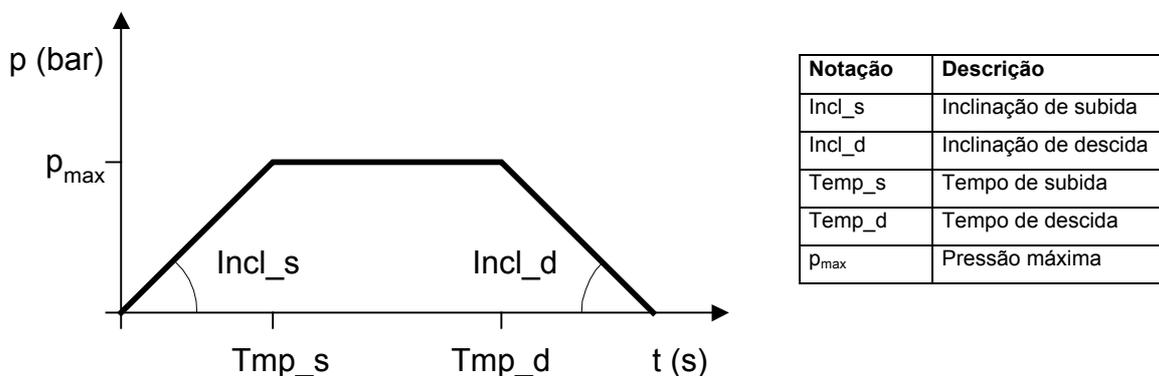


Figura 4.5 – Comportamento desejado para a pressão do sistema

O diagrama de contatos indicado na figura 4.6 destina-se ao controle da válvula proporcional em malha aberta, incorporando a geração do perfil de pressão desejado apresentado na figura 4.5. Para tal, é empregado um bloco de função denominado 'gerador de rampa' cuja operação ocorre segundo o

diagrama de blocos da figura 4.7. O sinal digital '1S2' dá início à operação do sistema ajustando o valor de referência para a inclinação (ref_incl) em 5 bar, Através do gerador de rampa, a saída analógica terá um valor crescente até atingir o limite superior de 50 bar. Quando for acionado o sinal '1S3', a referência para inclinação será ajustada para -3 bar, provocando a redução gradual da saída analógica até atingir o limite inferior (0 bar).

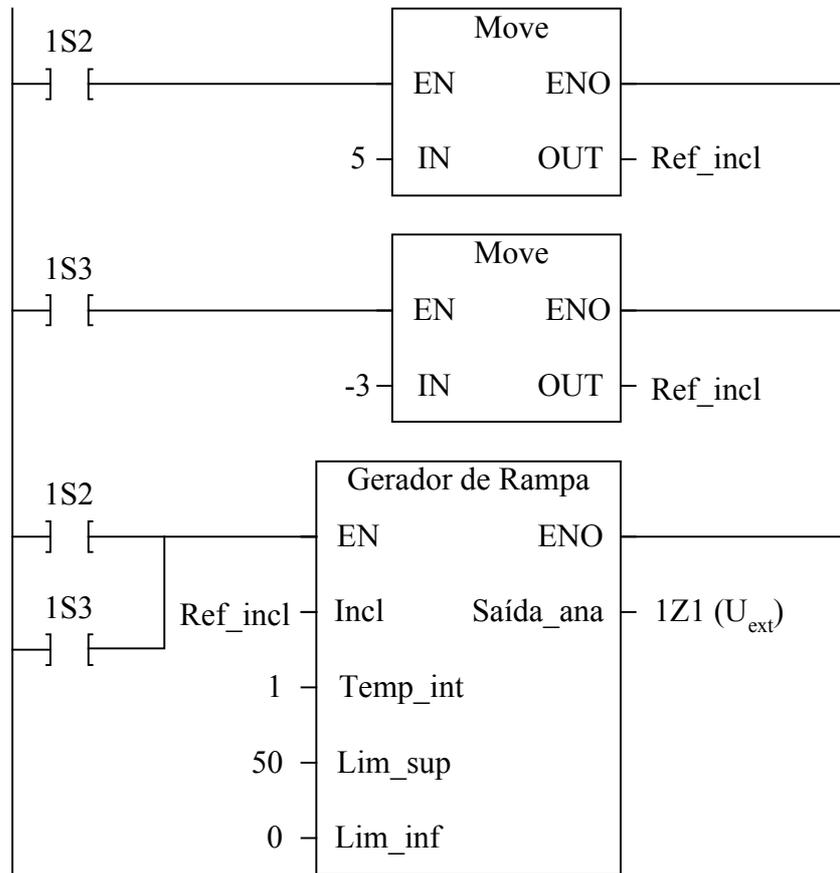


Figura 4.6 – Diagrama de contatos para programação do CLP (controle de pressão em malha aberta).

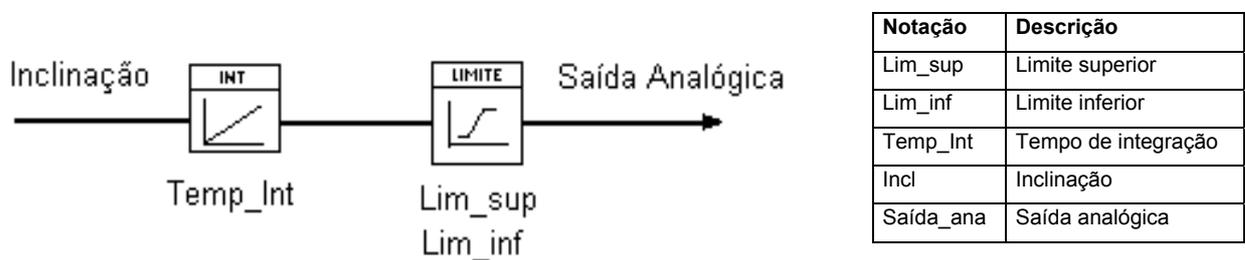


Figura 4.7 – Diagrama de blocos da função 'gerador de rampa'

Para implementar o controle em malha fechada pode-se programar o CLP segundo o diagrama de contatos apresentado na figura 4.8. A forma de geração do sinal de pressão desejada é a mesma que do caso anterior porém, agora a pressão do sistema é realimentada para o CLP e, através do controlador

PID (Proporcional-Integral-Derivativo), faz-se a correção da pressão comandada pela válvula em função da que efetivamente está ocorrendo no circuito hidráulico. O diagrama de blocos da figura 4.9 detalha o bloco de função 'PID'.

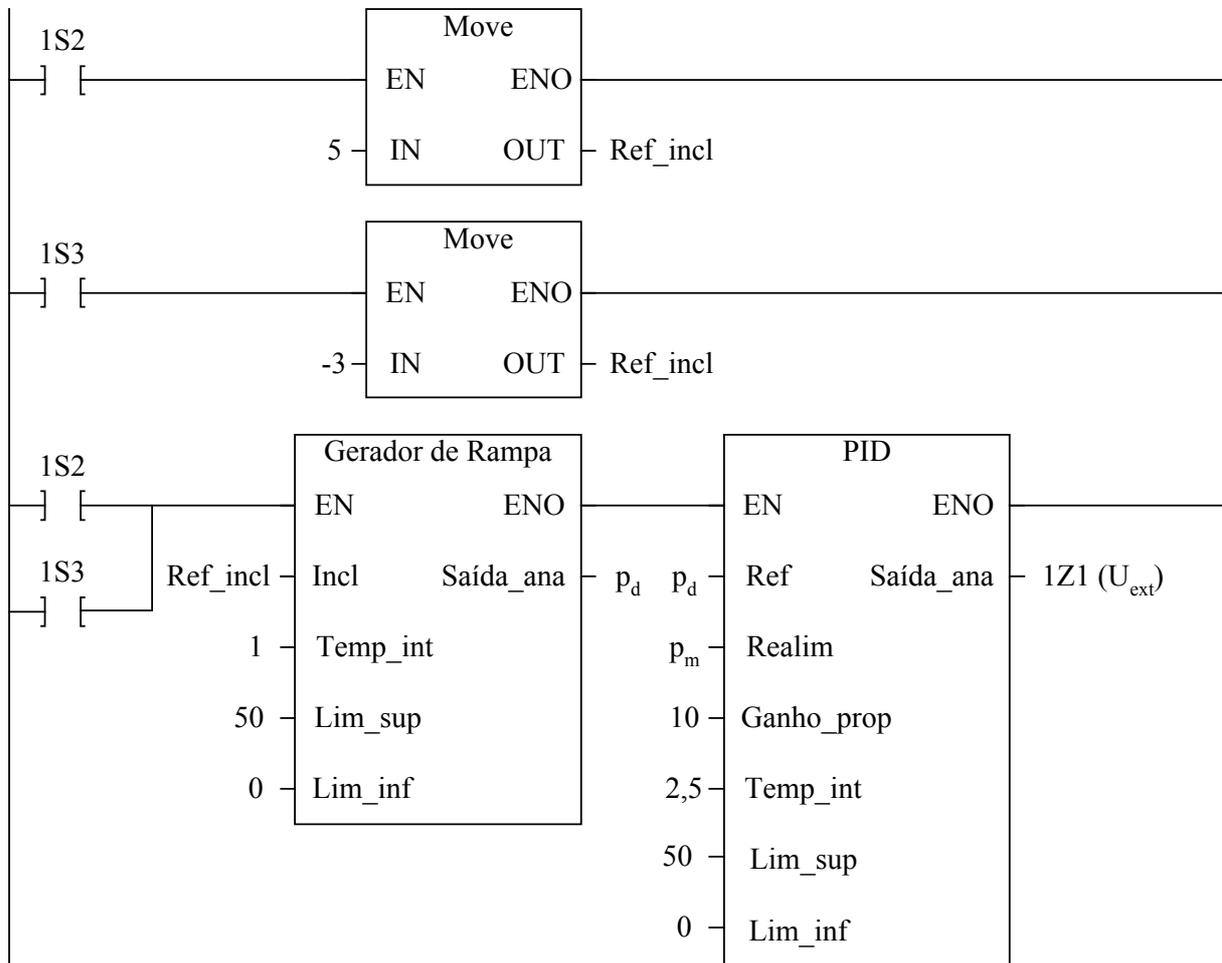


Figura 4.6 – Diagrama de contatos para programação do CLP (controle de pressão em malha fechada).

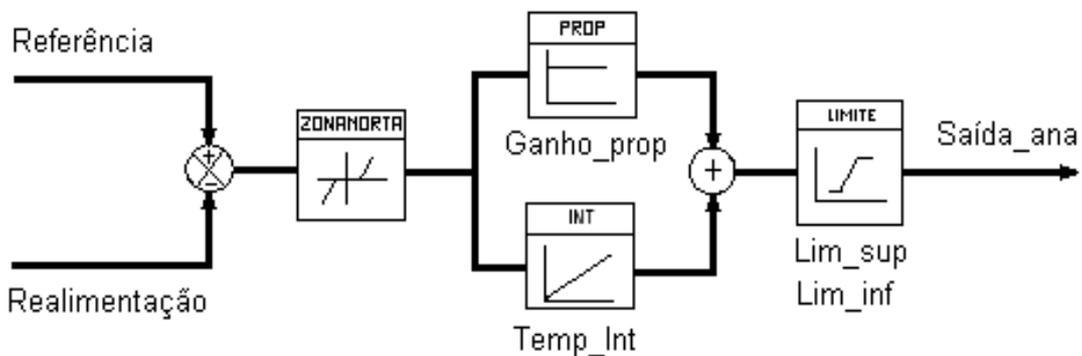


Figura 4.9 – Diagrama de blocos da função 'PID'

5 – Referências Bibliográficas

- BALLUFF. *Sensores de proximidade*. São Paulo: Balluff Controles elétricos Ltda, 199-. 74 p. (Catálogo).
- BOLLMANN, A. *Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica*. São Paulo: ABHP, 1997. 278 p.
- DE NEGRI, V. J. *Estruturação da modelagem de sistemas automáticos e sua aplicação a um banco de testes para sistemas hidráulicos*. Florianópolis: CPGEM, 1996. 154 p. (Tese de doutorado).
- DE NEGRI, V. J., KINCELER, R., SILVEIRA, J. *Automação e controle experimental em hidráulica e pneumática*. Florianópolis, 1998. Não paginado. (Apostila).
- FLESCH, C. A. *Metrologia e eletrônica básica para experimentação*. Florianópolis, 1997. Não paginado. (Apostila).
- ISO. *ISO 1219 - 1 - Fluid power systems and components - Graphic symbols and circuit diagrams – Part 1: Graphic symbols*. Switzerland: International Organization for Standartization, 1991. 40 p.
- ISO. *ISO 1219 - 2 - Fluid power systems and components - Graphic symbols and circuit diagrams – Part 2: Circuit diagrams*. Switzerland: International Organization for Standartization, 1995. 21 p.
- ISO. *ISO 14617 - 5 - Graphical symbols for diagrams – Part 5: Measurement and control devices*. Switzerland: International Organization for Standartization, 1996. 27 p.
- KUO, B. C. *Sistemas de controle automático*. 4 ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1985. 653 p.
- PAULSON. *The injection molding machine*. <http://www.plasticsnet.com>: Paulson Injection Molding Lesson, 1999.
- MANNESMANN. *Catálogo geral: Linha pneumática*. Diadema: Mannesmann Rexroth Automação Ltda, 1998. Paginação irregular (Catálogo).
- MANNESMANN. *Válvula limitadora de pressão proporcional tipo DBET e DBEMT*. Diadema: Mannesmann Rexroth Automação Ltda, 1993. (Catálogo).
- SIEMENS. *S7 300 – Programmable controler: Instalation and hardware*. Germany: Siemens AG Automation Group, 1994. (Manual).
- STEMMER, M. R. *Controladores Lógicos Programáveis*. Florianópolis: 199-. 42p. (Apostila).