



Automação Industrial

Leandro Roggia

Rodrigo Cardozo Fuentes



Santa Maria - RS
2016

Presidência da República Federativa do Brasil
Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
Este caderno foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

Coordenação Geral da Rede e-Tec/UFSM
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Professor-autor
Leandro Roggia/CTISM
Rodrigo Cardozo Fuentes/CTISM

Coordenação de Design
Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica
Elisiane Bortoluzzi Scrimini/CTISM
Jaqueline Müller/CTISM

Revisão Textual
Raquel Bevilaqua/CTISM

Revisão Técnica
Rafael Adaime Pinto/CTISM

Ilustração
Marcel Santos Jacques/CTISM
Morgana Confortin/CTISM
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação
Emanuelle Shaiane da Rosa/CTISM
Tagiane Mai/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Alenir I. Goularte - CRB-10/990
Biblioteca Central da UFSM

R733a Roggia, Leandro
Automação industrial / Leandro Roggia, Rodrigo Cardozo Fuentes. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.
102 p. : il. ; 28 cm
ISBN: 978-85-9450-001-4

1. Automação industrial 2. Automação de processos - Sensores 3. Mecânica 4. Acionamento de cargas 5. Portas lógicas I. Cardozo Fuentes, Rodrigo II. Título.

CDU 681.5

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Maio de 2016

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Fundamentos de automação	15
1.1 Considerações iniciais.....	15
1.2 Histórico.....	15
1.3 Processos industriais e variáveis de processo.....	17
1.4 Conceitos básicos e terminologia.....	20
Aula 2 – Sensores para controle e automação de processos	23
2.1 Considerações iniciais.....	23
2.2 Tipos de sensores e simbologia gráfica.....	24
2.3 Sensores de pressão.....	29
2.4 Sensores de temperatura.....	30
2.5 Sensores de nível.....	32
2.6 Sensores de vazão.....	34
Aula 3 – Sistemas de automação em máquinas e processos industriais	37
3.1 Considerações iniciais.....	37
3.2 Acionamento de cargas por relés e contadores.....	37
3.3 Acionamento de motores CC e de passo.....	43
3.4 Acionamentos de eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos.....	50
3.5 Sistemas de controles discretos e proporcionais.....	54
3.6 Sistemas de supervisão.....	59
Aula 4 – Lógica booleana	63
4.1 Considerações iniciais.....	63
4.2 Portas lógicas.....	63
4.3 Álgebra booleana.....	68
4.4 Acionamentos sequenciais.....	74

Aula 5 – Controlador lógico programável	81
5.1 Considerações iniciais.....	81
5.2 Aspectos gerais do CLP.....	82
5.3 O <i>hardware</i> do CLP.....	84
5.4 Programação.....	86
Aula 6 – Projeto de automação	95
6.1 Considerações iniciais.....	95
6.2 Etapas de um projeto.....	96
6.3 Documentação.....	98
Referências	100
Currículo do professor-autor	102

Palavra do professor-autor

A automação industrial é uma das áreas que mais avançou nas últimas décadas e continua avançando atualmente em grande escala. Novas tecnologias surgem todos os anos, enquanto que outras são aprimoradas, aumentando cada vez mais a gama de possibilidades de implementação de recursos na automatização de processos.

A automação está presente em processos residenciais, comerciais e industriais, sendo este último o foco desta disciplina. Pode-se ter automação em processos simples e de pequeno porte, até em processos complexos de plantas industriais totalmente automatizadas.

Por ser uma área muito vasta, a automação agrega diversos conhecimentos de diferentes áreas, como a elétrica, a eletrônica, a mecânica, a gestão, entre outras. Este assunto necessitaria de muito tempo de estudo para aprender a aplicar todos os conhecimentos inerentes dessas áreas. Dessa maneira, o objetivo principal da disciplina não é aprender cada detalhe de todos os sistemas, mas sim proporcionar uma base de conhecimentos que permitirá ao aluno entender o princípio de funcionamento de diversas tecnologias e as suas principais aplicações. Com o intuito de facilitar o entendimento dos assuntos abordados, diversos exemplos aplicados são estudados ao longo da disciplina, com os quais os profissionais formados provavelmente irão se deparar no mundo do trabalho. O aluno terá o papel fundamental de buscar informações relacionadas à área do seu maior interesse de atuação e aprofundar o conhecimento neste assunto, com base nos fundamentos adquiridos nesta disciplina. Essa iniciativa é de grande valia para um profissional de sucesso.

Professor Leandro Roggia
Professor Rodrigo Cardozo Fuentes



Apresentação da disciplina

Esta disciplina tem o objetivo de apresentar os principais fundamentos e aplicações de tecnologias envolvidas na automação industrial. A disciplina está dividida em seis aulas, separadas por tópicos e subtópicos, com o intuito de facilitar o estudo e a assimilação do conhecimento.

Inicialmente é apresentado um histórico da automação, desde os primórdios até os dias de hoje, incluindo também a classificação da automação e terminologias utilizadas nesta área. A segunda aula aborda algumas das tecnologias mais utilizadas para sensoriamento de variáveis envolvidas em processos de automação. São estudados, entre outros, sensores empregados em processos de medição de pressão, temperatura, nível e vazão.

A terceira aula é a que compreende a maior variedade de elementos e processos de diversas áreas do conhecimento. Os elementos de acionamento de cargas, como contadores, relés, motores de corrente contínua, motores de passo e eletroválvulas pneumáticas e hidráulicas são estudados. Tecnologias e estratégias utilizadas para a realização do controle de processos e características dos sistemas de supervisão também fazem parte do escopo.

A eletrônica digital é o assunto da quarta aula, na qual são estudados os elementos básicos da lógica e da álgebra booleana, os quais fornecem subsídios para o entendimento da operação de circuitos integrados e computadores, por exemplo. Além dos circuitos combinacionais, circuitos sequenciais que empregam memórias também são estudados.

O controlador lógico programável, equipamento largamente utilizado em aplicações industriais envolvendo lógica, controle e acionamentos é estudado na sequência. Questões como estrutura interna, funcionamento, programação e aplicações são abordadas. A última aula apresenta o projeto de automação, destacando as etapas importantes para a elaboração e gestão de um projeto, bem como os requisitos de documentação.



Projeto instrucional

Disciplina: Automação Industrial (carga horária: 60h).

Ementa: Fundamentos de automação. Sensores analógicos para controle e automação de processos. Sistemas de automação em máquinas e processos industriais. Lógica booleana. Controlador lógico programável. Projeto de automação.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Fundamentos de automação	Conhecer o histórico da automação industrial e fatos relevantes para o seu desenvolvimento. Compreender os tipos de processos industriais e variáveis de processos. Assimilar conceitos, definições e terminologias importantes da automação industrial.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	04
2. Sensores para controle e automação de processos	Compreender as diferentes tecnologias de sensores, incluindo suas aplicações e simbologias. Conhecer os sensores utilizados para medição de grandezas específicas como pressão, temperatura, nível e vazão.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	12
3. Sistemas de automação em máquinas e processos industriais	Compreender o funcionamento, aplicação e acionamento de relés, contadores, motores de corrente contínua, motores de passo e eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos. Entender os sistemas de controle em malha aberta e fechada, bem como algoritmos discretos e proporcionais de controle. Conhecer os sistemas de supervisão utilizados em automação industrial.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	16
4. Lógica booleana	Conhecer as portas lógicas e suas funções. Compreender as leis, teoremas e expressões da álgebra de Boole. Entender as diferenças e aplicações de circuitos sequenciais comparados aos combinacionais.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	12
5. Controlador lógico programável	Conhecer o controlador lógico programável, incluindo <i>hardware</i> , <i>software</i> , operação e aplicações. Compreender particularidades de diferentes linguagens de programação. Utilizar elementos e funções da linguagem ladder para programação de CLP.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	12

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
6. Projeto de automação	Conhecer as etapas de um projeto de automação. Compreender elementos importantes na documentação de projetos.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	04

Aula 1 – Fundamentos de automação

Objetivos

Conhecer o histórico da automação industrial e fatos relevantes para o seu desenvolvimento.

Compreender os tipos de processos industriais e variáveis de processos.

Assimilar conceitos, definições e terminologias importantes da automação industrial.

1.1 Considerações iniciais

Nesta aula, a origem da automação industrial e uma série histórica de fatos científicos e tecnológicos que contribuíram para o atual nível de desenvolvimento da automação industrial são apresentadas. Complementando a aula, são apresentadas as classificações relacionadas à automação industrial, alguns mecanismos de acionamentos e movimentação e, por fim, conceitos básicos e terminologias utilizadas em automação.

Inicialmente, convém salientar que automação é diferente de mecanização. Enquanto a mecanização está baseada na utilização de máquinas para executar determinada tarefa em substituição do esforço físico, a automação possibilita fazer uma tarefa por meio de máquinas que são controladas automaticamente.

Assim, uma definição simples para a automação é a de um sistema de controle pelo qual os mecanismos verificam a sua própria operação, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da intervenção do homem.

1.2 Histórico

A evolução da automação industrial remete há longos períodos de tempo na história. Desde a pré-história o homem vem desenvolvendo mecanismos e invenções com o intuito de reduzir o esforço físico e auxiliar na realização de atividades. Como exemplo, podem-se citar a roda para movimentação de cargas e os moinhos movidos por vento ou força animal.

Entretanto, a automação industrial começou a conquistar destaque na sociedade no século XVIII, com o início da Revolução Industrial, originada na Inglaterra. Devido a uma evolução no modo de produção, o homem passou a produzir mercadorias em maior escala.

Com o objetivo de aumentar a produtividade, diversas inovações tecnológicas foram desenvolvidas no período:

- Máquinas modernas, capazes de produzir com maior precisão e rapidez quando comparadas ao trabalho manual.
- Novas fontes energéticas, como o vapor, aplicado a máquinas para substituir a energia hidráulica e/ou muscular.

O primeiro controlador automático com realimentação usado em um processo industrial é geralmente aceito como o regulador de esferas de James Watt, desenvolvido em 1769 para controlar a velocidade de um motor a vapor. O dispositivo mostrado na Figura 1.1 mede a velocidade do eixo de saída e utiliza o movimento das esferas para controlar a quantidade de vapor que entra no motor através de uma válvula. O eixo de saída do motor a vapor é conectado por meio de ligações mecânicas e engrenagens cônicas ao eixo do regulador. À medida que a velocidade do eixo de saída do motor a vapor aumenta, os pesos esféricos se elevam e, através de ligações mecânicas, a válvula de vapor se fecha, como mostra a Figura 1.2, e o motor desacelera. O processo inverso ocorre quando a velocidade do eixo de saída do motor a vapor diminui.

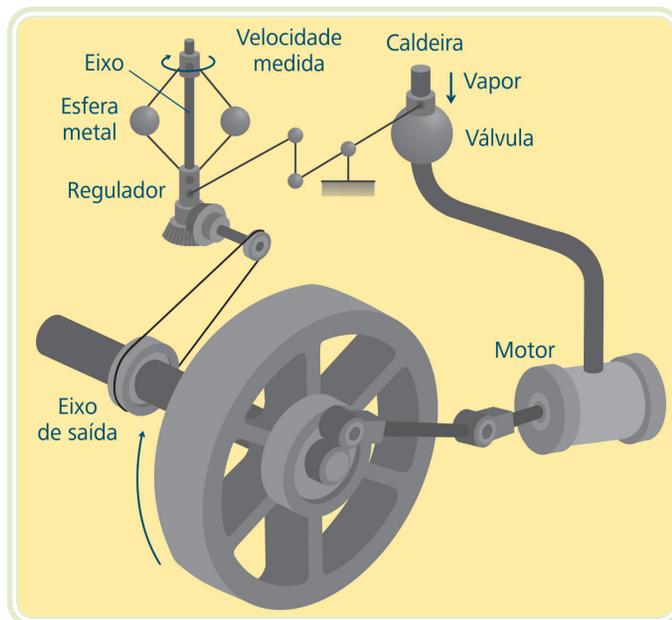


Figura 1.1: Regulador de fluxo de vapor de Watt

Fonte: CTISM

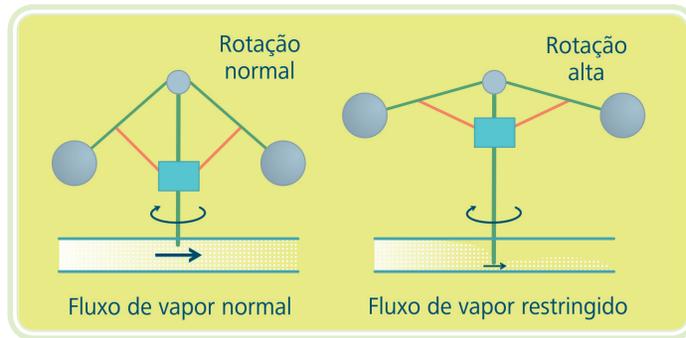


Figura 1.2: Mecanismo de regulação do fluxo de vapor

Fonte: CTISM

A partir do século XIX, a energia elétrica passou a ser utilizada e a estimular indústrias como a do aço e a química. Novos processos de produção de aço, que aumentam a sua resistência e permitem a sua produção em escala industrial, foram criados. O setor de comunicações passou por avanços significativos com as invenções do telégrafo e do telefone. O setor de transportes também progrediu com a expansão das estradas de ferro, locomotivas a vapor e o crescimento da indústria naval. Outra importante invenção, o motor à explosão, também ocorreu neste período.

No século XX, computadores, servomecanismos e controladores programáveis passaram a fazer parte da automação. Para se chegar aos computadores que usamos atualmente, diversos avanços foram sendo praticados ao longo do tempo, desde o uso de ábacos pelos babilônios, passando pela régua de cálculo (século XVII) e pelos cartões perfurados (século XIX). Durante este período, George Boole desenvolveu a álgebra booleana (assunto abordado na Aula 4), que apresenta os princípios binários, os quais são aplicados nas operações internas de computadores. Os computadores constituem a base de toda a tecnologia da automação contemporânea e exemplos de sua aplicação estão presentes em praticamente todas as áreas do conhecimento.

1.3 Processos industriais e variáveis de processo

Basicamente, a automação industrial pode ser dividida em duas modalidades quanto aos tipos de processos: processos da manufatura e processos contínuos.

Os processos da manufatura são aqueles em que há grande movimentação mecânica de partes. O exemplo mais clássico é a indústria automobilística. Na linha de montagem, há robôs soldadores, esteiras transportadoras e outros sistemas, como mostra a Figura 1.3. Nos processos da manufatura, as grandezas mais comuns são força, velocidade e deslocamento.



Assista a um vídeo sobre regulador de esferas para controle do fluxo de vapor em: <https://www.youtube.com/watch?v=SiYEtnlZLSs>



Figura 1.3: Robôs usados na indústria automobilística

Fonte: http://3.bp.blogspot.com/-c-v4bil5sBQ/Tyqw5929-tI/AAAAAAAAHuY/QFDYB7SDTL0/s1600/118_1_IF.jpg

Ao contrário dos processos da manufatura, os processos contínuos são caracterizados pela pouca movimentação mecânica de partes. Uma estação de tratamento de água, mostrada na Figura 1.4, é um exemplo. As grandezas mais comuns nos processos contínuos são temperatura, vazão e pressão.



Figura 1.4: Estação de tratamento de água

Fonte: http://meioambiente.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/4_84/tratamento-terciario-1.png

Há muitas fábricas em que ambos os processos devem funcionar conjuntamente, por exemplo, a indústria de bebidas, na qual há processos contínuos na produção do líquido e da manufatura no seu envasamento e transporte.

Outra classificação aceita para os sistemas automatizados de produção está relacionada ao grau de flexibilidade, sendo definidos três tipos básicos: automação rígida, programável e flexível. A posição relativa dos três tipos de automação para os diferentes volumes e variedades dos produtos é mostrada na Figura 1.5.

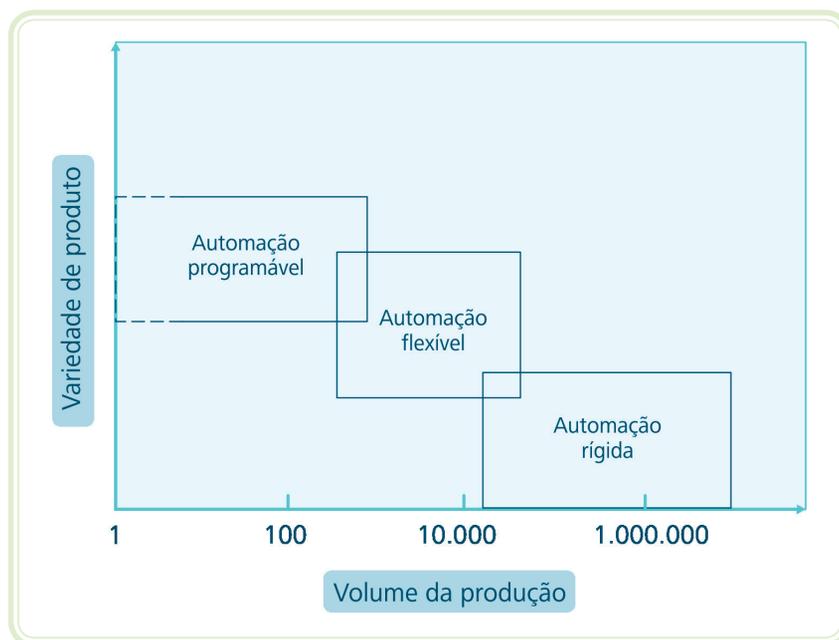


Figura 1.5: Tipos de automação relativos ao volume de produção e variedade do produto

Fonte: CTISM

- **Automação rígida** – está baseada em uma linha de produção projetada para a fabricação de um produto específico. Apresenta altas taxas de produção e inflexibilidade do equipamento na acomodação da variedade de produção.
- **Automação programável** – o equipamento de produção é projetado com a capacidade de modificar a sequência de operações de modo a acomodar diferentes configurações de produtos, sendo controlado por um programa que é interpretado pelo sistema. Diferentes programas podem ser utilizados para fabricar novos produtos. Esse tipo de automação é utilizado quando o volume de produção de cada item é baixo.
- **Automação flexível** – reúne algumas das características da automação rígida e outras da automação programável. O equipamento deve ser programado para produzir uma variedade de produtos com algumas características ou configurações diferentes, mas a variedade dessas características é normalmente mais limitada que aquela permitida pela automação programável.



Algumas razões que justificam a automação da produção e da manufatura são as seguintes: aumento da produtividade, redução dos custos do trabalho, minimização dos efeitos da falta de mão de obra qualificada, redução ou eliminação das atividades manuais rotineiras, aumento da segurança do trabalhador, melhoria na uniformidade do produto, realização de processos que não podem ser executados manualmente.

Na automação industrial, diversos mecanismos de acionamento e movimentação podem ser empregados. Alguns exemplos destes elementos são os elétricos (motores, válvulas solenoides, eletroválvulas), hidráulicos (válvulas e cilindros hidráulicos), pneumáticos (válvulas e cilindros pneumáticos) e mecânicos (polias, engrenagens e correias). Os acionamentos elétricos dependem do fornecimento de níveis de tensão e corrente adequados para produzir trabalho. Esses sistemas serão apresentados em maiores detalhes na Aula 3, assim como alguns acionamentos hidráulicos e pneumáticos.

1.4 Conceitos básicos e terminologia

Nesta seção, alguns conceitos básicos e termos utilizados frequentemente em automação industrial são apresentados, com o intuito de auxiliar no entendimento das aulas seguintes.

- **Processo** – conjunto de atividades ou passos que objetivam atingir uma meta. Utilizado para criar, inventar, projetar, transformar, produzir, controlar, manter e usar produtos ou sistemas.
- **Processo automatizado** – processo através do qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem necessidade de interferência do homem.
- **Variável de processo** – qualquer grandeza ou condição de um processo que é passível de variação. Em controle de processos também é chamada de variável controlada.
- **Controle de processos** – técnica de manter variáveis de um processo (como temperatura e pressão) em valores predeterminados a partir de um procedimento que calcula correções proporcionais a uma ou mais variáveis que são medidas em tempo real por um determinado equipamento.

- **Sensor** – elemento que está conectado à variável de processo e mede suas alterações. São dispositivos que causam alguma mudança nas suas propriedades de acordo com mudanças nas condições do processo.
- **Atuador** – elemento que atua para alterar fisicamente uma variável manipulada. Pode ser uma válvula utilizada para restringir a passagem de um fluido, bombas para regular o fluxo, entre outros.
- **Controlador Lógico Programável (CLP)** – aparelho eletrônico digital que pode ser programado através de uma linguagem de programação de maneira a executar funções aritméticas, lógicas, de temporização, de contagem, entre outras. Possui entradas para aquisição de dados e saídas para acionar diversos tipos de dispositivos ou processos.
- **Programas** – também chamados de *softwares*, são conjuntos de instruções lógicas, sequencialmente organizadas, as quais indicam ao controlador ou ao computador as ações a serem executadas.

Resumo

Nesta aula, fundamentos da automação industrial foram estudados. Inicialmente, estudamos a evolução de tecnologias como a máquina a vapor, o controle de processos, os sistemas de comunicação e informática, entre outros, que permitiram o desenvolvimento e aprimoramento dos sistemas de automação utilizados atualmente. Conhecemos os diferentes tipos de processos industriais e variáveis de processos. Características dos processos de manufatura e processos contínuos (os quais diferem quanto à movimentação de partes mecânicas), bem como das automações rígida, programável e flexível (que diferem quanto ao grau de flexibilidade da linha de produção) foram analisadas. Por fim, conceitos básicos e termos frequentemente utilizados em automação industrial foram apresentados.

Atividades de aprendizagem

1. Qual a diferença entre mecanização e automação?
2. Cite algumas inovações tecnológicas que ocorreram com o início da Revolução Industrial no século XVIII.
3. Qual o primeiro controlador automático com realimentação utilizado em um processo industrial? Como era seu funcionamento?



4. Cite alguns avanços tecnológicos ocorridos no século XX que contribuíram para a evolução da automação industrial.
5. Qual a diferença entre processos da manufatura e processos contínuos?
6. Como os sistemas automatizados de produção podem ser classificados quanto ao grau de flexibilidade?
7. Cite alguns mecanismos de acionamento e movimentação que podem ser empregados em automação industrial.
8. Quais as definições de processo automatizado, variável de processo e atuador?

Aula 2 – Sensores para controle e automação de processos

Objetivos

Compreender as diferentes tecnologias de sensores, incluindo suas aplicações e simbologias.

Conhecer os sensores utilizados para medição de grandezas específicas como pressão, temperatura, nível e vazão.

2.1 Considerações iniciais

No estudo da automação em sistemas industriais, comerciais, domésticos, etc., é necessário determinar as condições do sistema e obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado. Essa é a função dos sensores.

O sensor é um elemento sensível a uma forma de energia do ambiente (energia cinética, sonora, térmica, entre outras), que relaciona informações sobre uma grandeza que precisa ser medida como temperatura, pressão, vazão, posição e corrente.

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado e isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador. Quando este circuito está acoplado a um sensor, o dispositivo recebe o nome de transdutor.

De acordo com a natureza do sinal de saída, os sensores podem ser classificados em sensores digitais (discretos) e sensores analógicos (contínuos).

- **Sensores digitais** – são utilizados para monitorar a ocorrência ou não de um determinado evento. Apresentam em sua saída apenas dois estados distintos, como ligado (*on*) ou desligado (*off*), ou a presença ou ausência de determinada grandeza elétrica.
- **Sensores analógicos** – são utilizados para monitorar uma grandeza física em uma faixa contínua de valores estabelecidos entre os limites mínimo

e máximo. Apresentam em sua saída um sinal de tensão, corrente ou resistência proporcional à grandeza física sensoriada.

2.2 Tipos de sensores e simbologia gráfica

Nesta seção, diferentes tipos e tecnologias de sensores comumente utilizados em aplicações industriais são apresentados, incluindo princípios de funcionamento e simbologias.

2.2.1 Sensores indutivos

Os sensores indutivos são dispositivos eletrônicos que detectam proximidade de elementos metálicos sem a necessidade de contato. Seu princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo eletromagnético por uma bobina ressonante instalada na **face sensora**. Quando um metal aproxima-se do campo, ele absorve a energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. Essa redução do valor original aciona o estágio de saída.

A-Z

face sensora

É a superfície de onde sai o campo eletromagnético dos sensores indutivos ou o campo elétrico dos sensores capacitivos.

A Figura 2.1(a) mostra o esquema simplificado de um sensor indutivo e a Figura 2.1(b) mostra o seu símbolo.

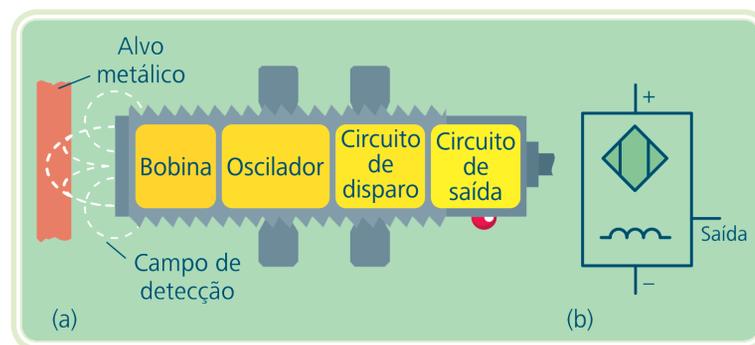


Figura 2.1: Sensor indutivo: diagrama do sensor (a) e simbologia (b)

Fonte: CTISM

2.2.2 Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos são dispositivos eletrônicos que detectam proximidade de materiais orgânicos, plásticos, pós, líquidos, etc., sem a necessidade de contato. Seu princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo elétrico por um oscilador controlado por capacitor. O capacitor é formado por duas placas metálicas montadas na face sensora de forma a projetar o campo elétrico para fora do sensor. Quando um material aproxima-se do sensor o dielétrico do meio se altera, alterando a capacitância. Essa alteração aciona o estágio de saída.

$$C = \epsilon \times \frac{A}{d}$$

Onde: C – capacitância
 ϵ – constante dielétrica
A – área das placas
d – distância entre as placas

A Figura 2.2(a) mostra um sensor capacitivo e a Figura 2.2(b) mostra o seu símbolo.

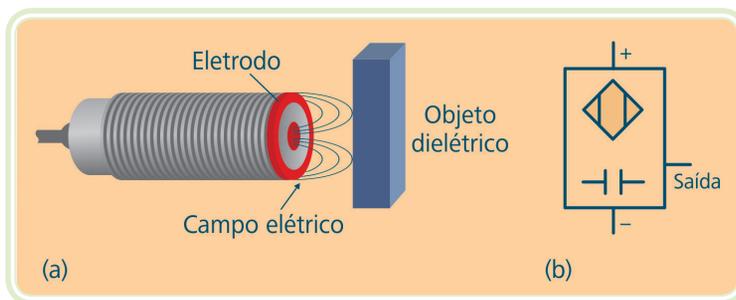


Figura 2.2: Sensor capacitivo: representação da atuação (a) e simbologia (b)

Fonte: CTISM

O ajuste de sensibilidade do sensor capacitivo é realizado por um parafuso localizado no sensor, conforme indica a Figura 2.3(a). A Figura 2.3(b) mostra uma aplicação de sensores capacitivos.

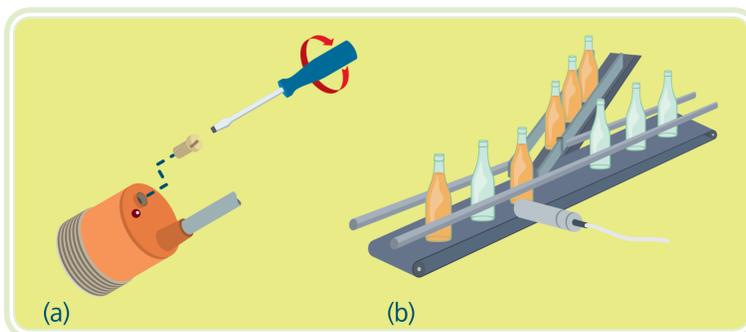


Figura 2.3: Sensor de proximidade capacitivo: parafuso para ajuste de sensibilidade (a) e utilização para detecção de líquido dentro de garrafas (b)

Fonte: CTISM

2.2.3 Sensores magnéticos

Os sensores magnéticos podem ser ativados pela proximidade de um campo magnético produzido por um ímã, acionando um contato normalmente aberto na sua saída.



Assista a um vídeo sobre ajuste de sensibilidade do sensor capacitivo em:
<https://www.youtube.com/watch?v=0ddcmSnC9kl>

A Figura 2.4(a) mostra um sensor magnético não acionado, a Figura 2.4(b) mostra um sensor magnético acionado e a Figura 2.4(c) mostra o seu símbolo.

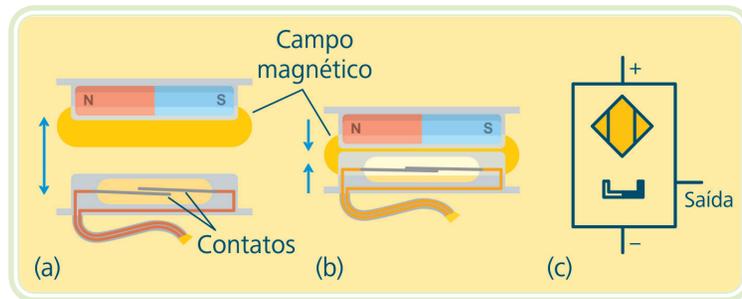


Figura 2.4: Sensor magnético: contatos abertos (a), contatos fechados (b) e simbologia (c)

Fonte: CTISM

2.2.4 Sensores ópticos (fotoelétricos)

Esses sensores manipulam a luz para detectar a presença de um material acionador. Os sensores possuem um emissor e um receptor de luz infravermelha, invisível ao olho humano. O emissor envia um feixe de luz através de um diodo emissor de luz e o receptor, composto por um fotodiodo ou fototransistor, é capaz de detectar o feixe emitido.

a) Sensor óptico por reflexão difusa – o emissor e o receptor estão montados na mesma unidade, conforme a Figura 2.5. Quando um objeto é posicionado em frente ao feixe de luz emitido, de maneira a refleti-lo ao receptor, o sensor é acionado.

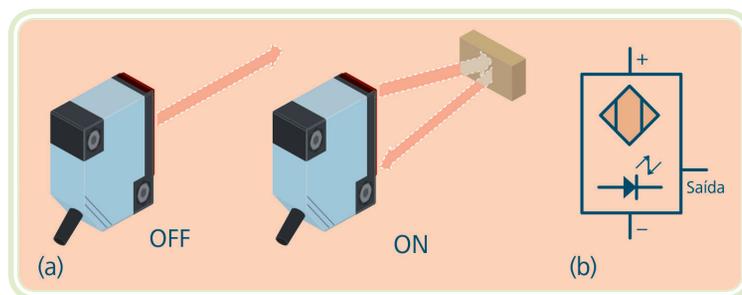


Figura 2.5: Sensor óptico por reflexão difusa: funcionamento (a) e simbologia (b)

Fonte: CTISM

b) Sensor óptico por retroreflexão – o emissor e o receptor estão montados na mesma unidade, conforme a Figura 2.6. Um feixe de luz é estabelecido entre o emissor e o receptor por intermédio de um refletor (prisma refletivo ou espelho prismático). O sensor é ativado quando um objeto interrompe o feixe de luz.

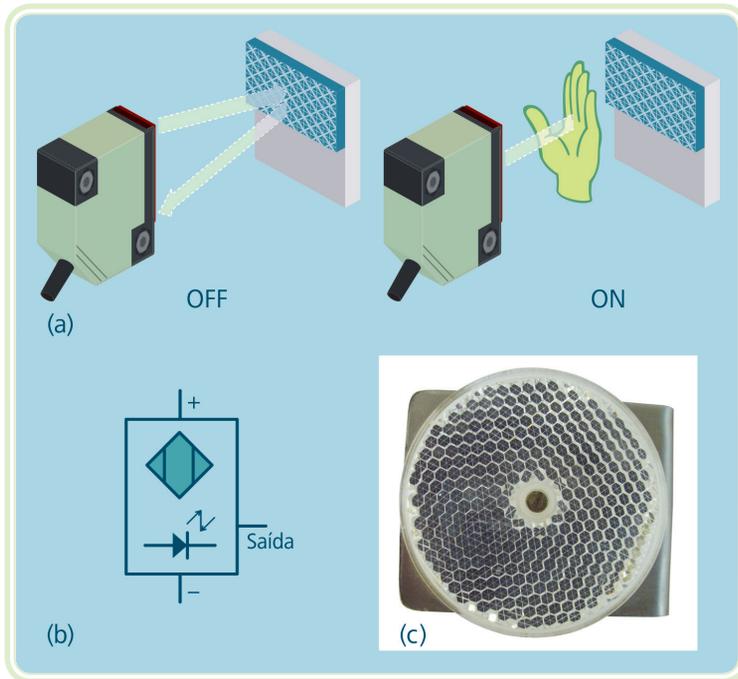


Figura 2.6: Sensor óptico por retroreflexão: funcionamento (a), simbologia (b) e exemplo de espelho prismático (c)

Fonte: CTISM

c) Sensor óptico de barreira direta – o emissor e o receptor estão montados em unidades distintas, conforme a Figura 2.7, e devem ser dispostos frente a frente, de forma que o receptor sempre receba a luz do emissor. A saída é acionada quando um objeto interrompe o feixe de luz.

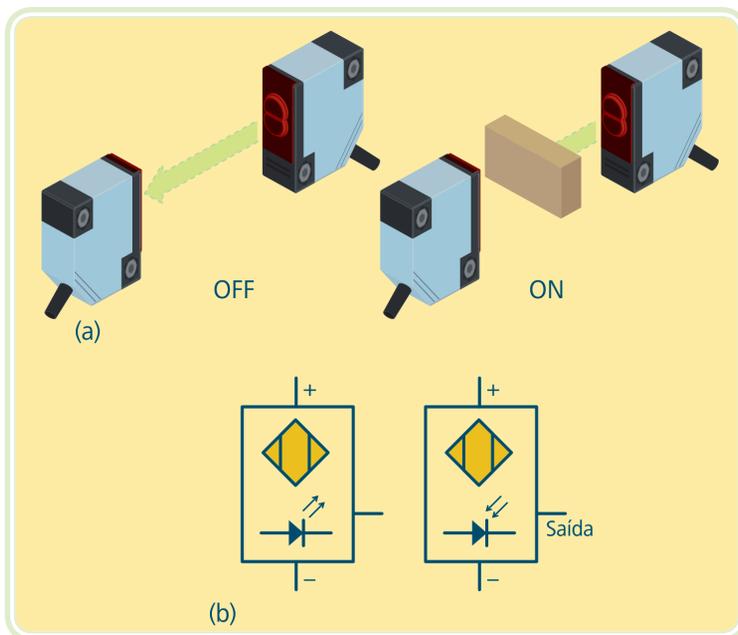


Figura 2.7: Sensor óptico de barreira direta: funcionamento (a) e simbologia (b)

Fonte: CTISM

2.2.5 Sensores ultrassônicos

A operação do sensor ultrassônico é baseada na emissão e recepção de ondas acústicas ultrassônicas na faixa de frequência de 30 a 300 kHz, inaudíveis para o ser humano. A detecção de um objeto é realizada quando a onda incide sobre um objeto e é refletida. O tempo entre o envio e a recepção da onda é medido, processado e convertido em um sinal elétrico proporcional à distância do objeto. A grande vantagem deste sensor é a capacidade de detectar qualquer tipo de material, independentemente da forma, cor e constituição.

A Figura 2.8(a) mostra a área de detecção de um sensor ultrassônico e a Figura 2.8(b) mostra o seu símbolo.

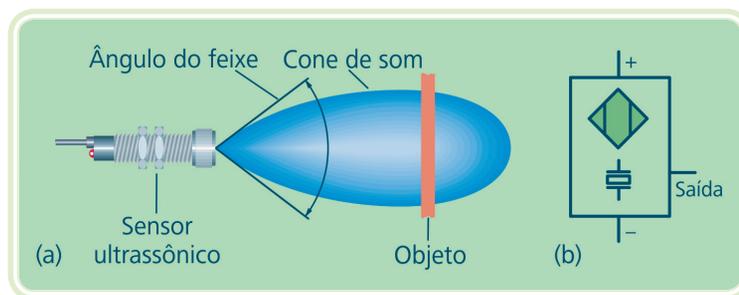


Figura 2.8: Sensor ultrassônico: área de detecção (a) e simbologia (b)

Fonte: CTISM

2.2.6 Sensores potenciométricos

O deslocamento linear ou angular pode ser determinado através da variação da resistência de um potenciômetro, conforme a configuração de sensor mostrado nas Figuras 2.9(a) e 2.9(b). A Figura 2.9(c) mostra o símbolo representativo dos potenciômetros apresentados.

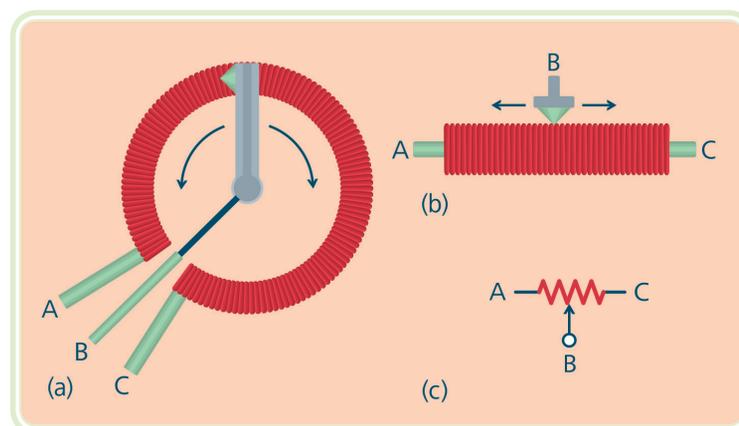


Figura 2.9: Sensor potenciométrico: rotacional (a), linear (b) e simbologia (c)

Fonte: CTISM

Após diferentes tecnologias de sensores terem sido estudadas, nas próximas seções são apresentados exemplos de alguns tipos de sensores utilizados para medição de pressão, temperatura, nível e vazão.

2.3 Sensores de pressão

Nesta seção, dois tipos de sensores de pressão são apresentados, os sensores de pressão capacitivos e os sensores de pressão piezoelétricos.

2.3.1 Sensores de pressão capacitivos

Nestes sensores, a armadura móvel, ao sofrer uma variação de pressão, altera o valor da capacitância, a qual está associada à distância física entre o diafragma e a parte fixa. Isso pode ser medido através de um circuito eletrônico, o qual gera um sinal proporcional à pressão aplicada. A Figura 2.10(a) mostra os detalhes construtivos de um sensor de pressão capacitivo e a Figura 2.10(b) mostra o detalhe de um diafragma sensor.

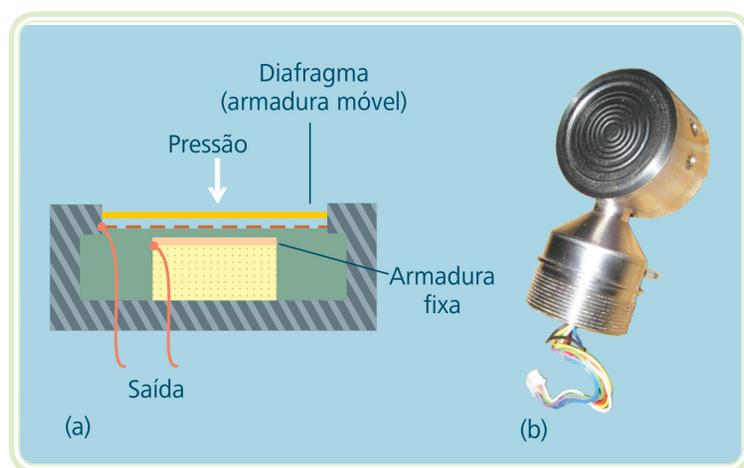


Figura 2.10: Sensor de pressão capacitivo: detalhes construtivos (a) e detalhe do diafragma do sensor (b)

Fonte: CTISM

2.3.2 Sensores de pressão piezoelétricos

Os materiais piezoelétricos produzem uma tensão em seus terminais quando uma força é aplicada a eles, como mostra a Figura 2.11. São frequentemente usados como receptores ultrassônicos e também transdutores de deslocamento em dispositivos que medem aceleração, força e pressão. O quartzo, o selênio e o telúrio são exemplos de materiais que exibem essa propriedade. Como o princípio piezoelétrico é reversível, distorções podem ocorrer no material aplicando-se uma tensão, e vice-versa.

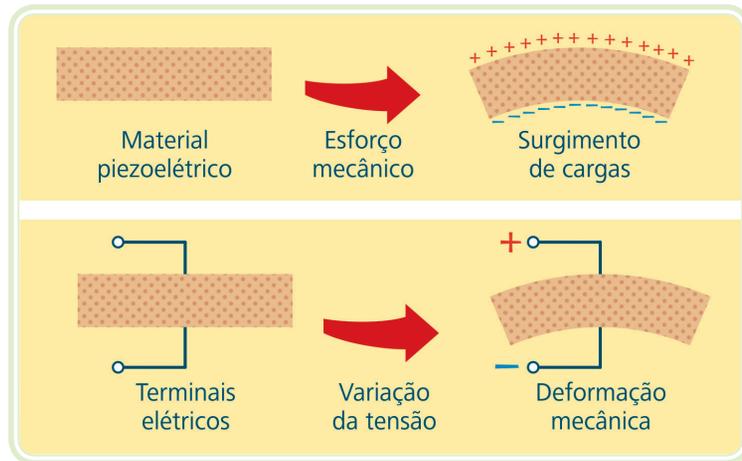


Figura 2.11: Princípio do sensor piezoelétrico

Fonte: CTISM

Os sensores de pressão piezoelétricos são pequenos e de construção robusta. O sinal de resposta é linear com a pressão e podem medir pressões de 1 mbar até mais de 10 kbar. A Figura 2.12(a) mostra o esquema básico do sensor piezoelétrico. A Figura 2.12(b) mostra uma foto de um sensor de pressão piezoelétrico.

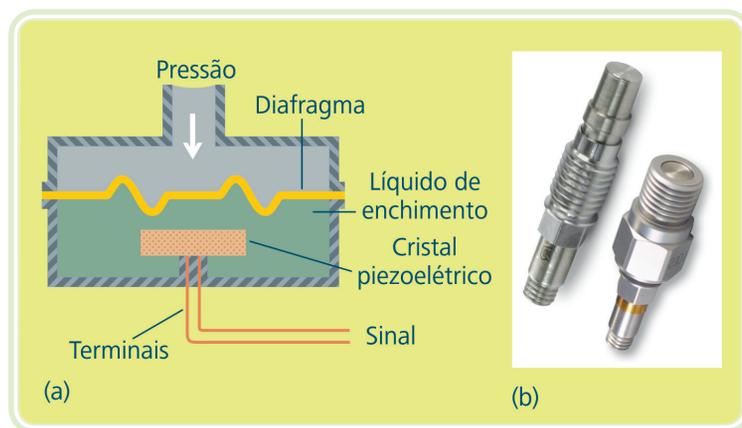


Figura 2.12: Esquema básico do sensor piezoelétrico (a) e foto de um sensor de pressão piezoelétrico (b)

Fonte: (a) CTISM

(b) http://www.sae.org/dlymagazineimages/6181_6007_ACT.JPG

2.4 Sensores de temperatura

Nesta seção, dois tipos de sensores de temperatura são apresentados, os termopares e os termistores.

2.4.1 Termopares

Os termopares se baseiam na propriedade de que dois metais diferentes unidos em uma junção, chamada de junta quente ou de medição (JM), geram uma força eletromotriz (tensão) de alguns milivolts na outra extremidade, chamada

de junta fria ou de referência (JR), quando submetida a uma temperatura diferente da primeira junção, como mostrado na Figura 2.13.

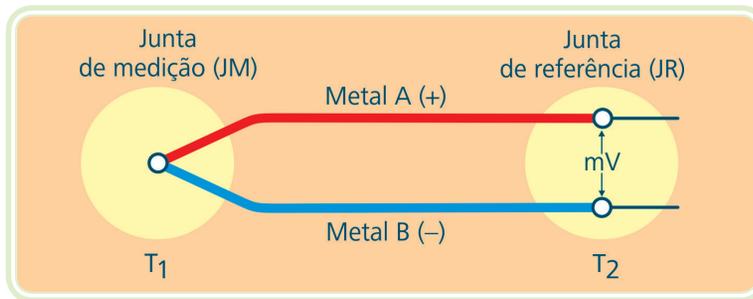


Figura 2.13: Princípio de funcionamento de um termopar

Fonte: CTISM

Existem várias combinações de metais para obter termopares com características diferentes. Cada tipo de termopar corresponde a uma aplicação que envolve o ambiente e faixa de temperatura em que o mesmo será empregado. A Figura 2.14 mostra curvas da relação entre as grandezas de tensão gerada (fem) e temperatura, com a junta de referência do termopar mantida a 0°C , para vários termopares.

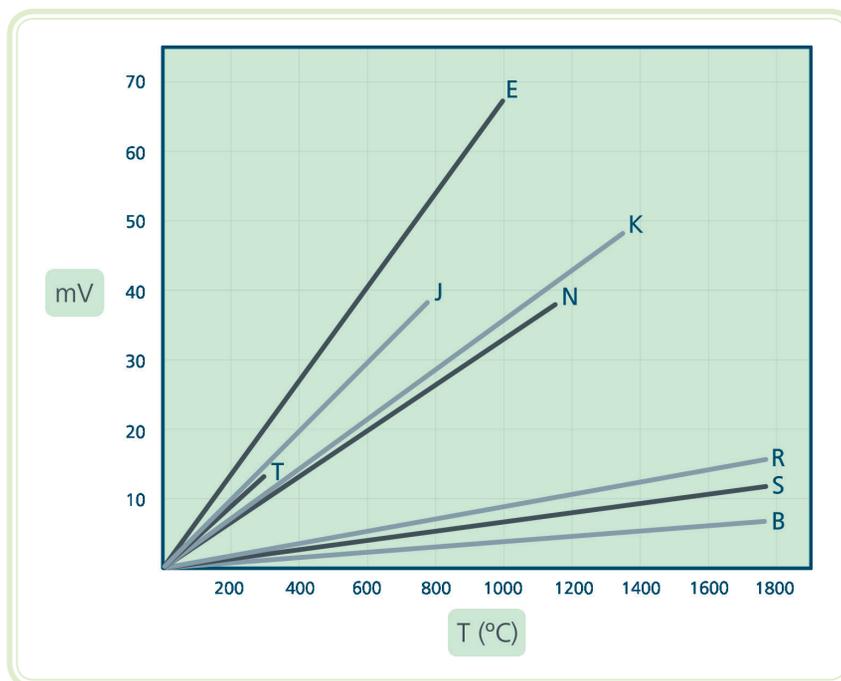


Figura 2.14: Correlação entre tensão gerada e temperatura de diversos termopares com a junta de referência a 0°C

Fonte: CTISM

O termopar tipo E é o que apresenta maior geração de $mV/^{\circ}C$, o que o torna útil na detecção de pequenas variações de temperatura. O termopar tipo K é o mais utilizado em aplicações industriais por apresentar grande faixa de trabalho e menor custo comparado aos termopares formados por ligas nobres, como os tipos R, S e B.

2.4.2 Termistores

São semicondutores que variam a resistência em função da temperatura. São fabricados com óxido de níquel, cobalto, magnésio, sulfeto de ferro, alumínio ou cobre. Apresentam como característica baixo custo e elevada sensibilidade, sendo restritos a temperaturas menores que $300^{\circ}C$. O tipo mais comum é o NTC (*Negative Temperature Coeficient*), o qual sofre redução da resistência à medida que a temperatura aumenta. O PTC (*Positive Temperature Coeficient*), por outro lado, sofre aumento da resistência com o aumento da temperatura. A Figura 2.15 mostra exemplos de termistores e a simbologia.

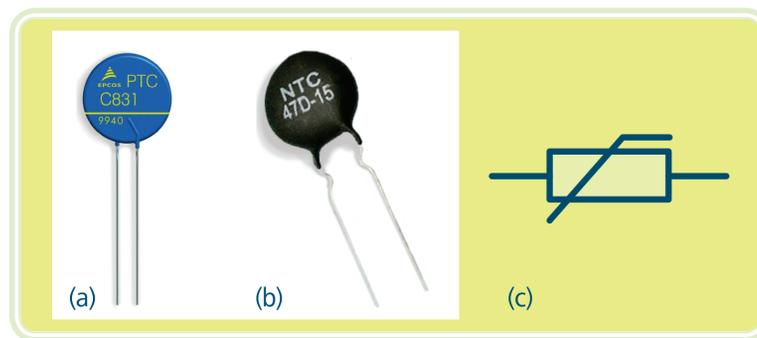


Figura 2.15: Termistor: PTC (a), NTC (b) e simbologia (c)

Fonte: (a) http://www.conrad.com/medias/global/ce/5000_5999/5000/5000/5005/500513_BB_00_FB.EPS_1000.jpg
(b) <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41YCUakRFGL.jpg>
(c) CTISM

2.5 Sensores de nível

Nesta seção, dois tipos de sensores de nível são apresentados, os sensores de nível ultrassônicos e os sensores de nível por pressão hidrostática.

2.5.1 Sensores de nível ultrassônicos

Os dispositivos ultrassônicos podem ser empregados tanto para medida de nível contínua como para descontínua. Normalmente, são empregados no topo, sem contato com o produto a ser medido. Ao emitir o som, o aparelho calcula o tempo de retorno para avaliar o nível. Se o tempo for maior, indica um nível menor de líquido. A Figura 2.16 apresenta o funcionamento do sensor de nível ultrassônico.

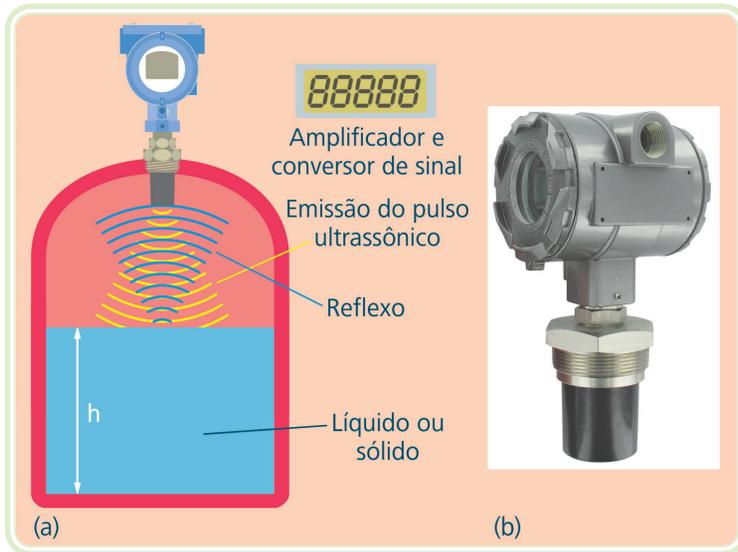


Figura 2.16: Sistema de medida com ultrassom: funcionamento (a) e transmissor de nível por ultrassom (b)

Fonte: (a) CTISM

(b) http://www.dwyer-inst.com/images/Medium/ULT_pic.jpg

2.5.2 Sensores de nível por pressão hidrostática

A Figura 2.17 mostra a medida de nível por pressão hidrostática, a qual é empregada em tanques não pressurizados. A altura da coluna do líquido (h) indica o nível segundo a pressão exercida (P), a qual é definida por:

$$P = h \times d$$

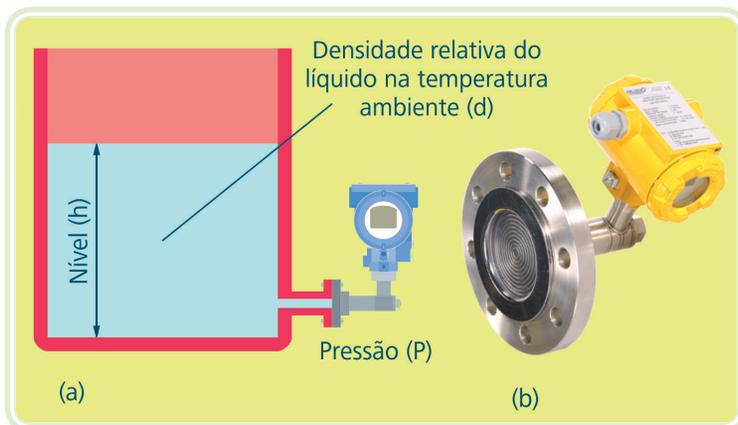


Figura 2.17: Medição de nível com tanque aberto (a) e exemplo de transmissor de nível (b)

Fonte: (a) CTISM

(b) http://img.directindustry.fr/images_di/photo-g/50547-2792743.jpg

2.6 Sensores de vazão

Nesta seção, dois tipos de sensores de vazão são apresentados, os sensores de vazão tipo turbina e os sensores ópticos de vazão.

2.6.1 Sensores de vazão tipo turbina

A Figura 2.18(a) mostra um sensor do tipo turbina constituído por um rotor montado na tubulação, o qual apresenta aletas magnetizadas que giram durante a passagem de fluido na tubulação. Um sensor de efeito Hall capta a passagem das hélices da turbina através da medição do campo magnético. A frequência dos pulsos gerados é proporcional à velocidade do fluido, sendo a vazão determinada pela medida desses pulsos. A Figura 2.18(b) mostra uma foto de um transmissor do tipo turbina.



O sensor de efeito Hall é usado para medir a magnitude de um campo magnético.

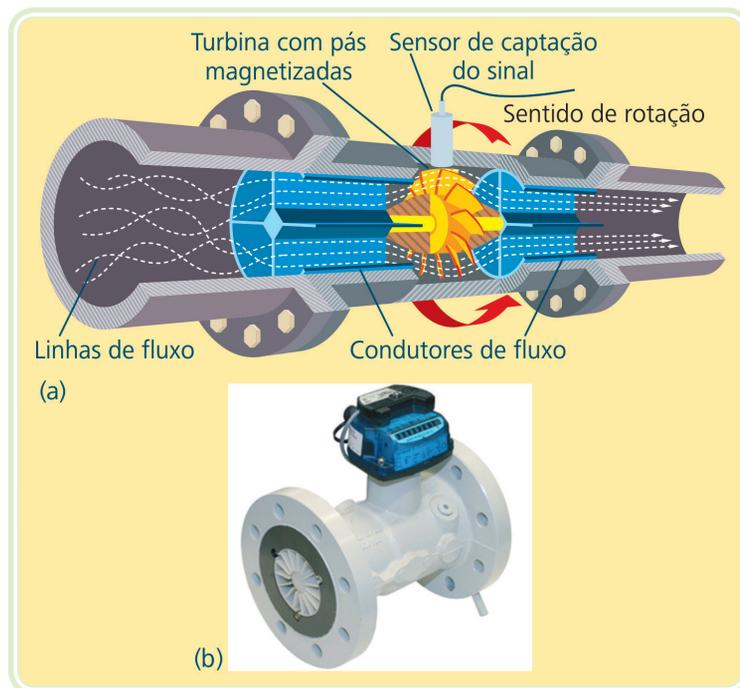


Figura 2.18: Sensor de vazão tipo turbina: funcionamento (a) e exemplo de transmissor de vazão tipo turbina (b)

Fonte: (a) CTISM

(b) <http://pimg.tradeindia.com/00247746/b/0/Turbine-Flow-Meter-Range.jpg>

2.6.2 Sensores ópticos de vazão

Consistem de um emissor (LED infravermelho) responsável por emitir um feixe de luz que é refletido pelas aletas de uma turbina, como mostra a Figura 2.19. O número de pulsos captados pelo receptor é proporcional à velocidade da turbina, que é proporcional à vazão. Esses sensores são normalmente utilizados na indústria automotiva para medição da vazão de combustível nos veículos.

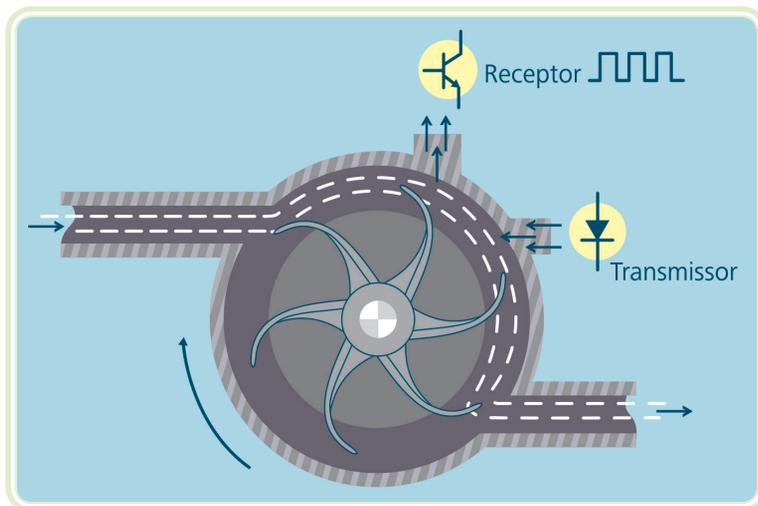


Figura 2.19: Princípio de funcionamento do sensor óptico de vazão

Fonte: CTISM

Resumo

O estudo de sensores empregados em controle e automação de processos foi o tema desta aula. Sensor é o termo utilizado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente. Eles podem ser classificados em sensores digitais (discretos) ou analógicos (contínuos). Diversos tipos de sensores, incluindo sensores indutivos, capacitivos, magnéticos, ópticos, ultrassônicos e potenciométricos foram estudados, detalhando seu princípio de funcionamento e simbologia. É de fundamental importância o conhecimento das particularidades desses tipos de sensores, bem como os tipos de materiais e substâncias que cada um consegue detectar, para que a seleção do tipo apropriado para uma aplicação específica em automação industrial seja realizada corretamente. Por fim, sensores empregados para medição das grandezas pressão, temperatura, nível e vazão foram estudados, incluindo tecnologias e princípios de funcionamento diferentes dos apresentados previamente, como sensores piezoelétricos, termopares, termistores, entre outros.

Atividades de aprendizagem

1. O que é um sensor e qual a diferença entre um sensor e um transdutor?
2. Qual a diferença entre sensores digitais e analógicos?
3. Qual a diferença entre sensores indutivos e capacitivos?
4. O que são sensores magnéticos?



5. Quais os tipos de sensores ópticos? Quais as diferenças entre eles?
6. Quais as características dos sensores ultrassônicos?
7. O que são sensores potenciométricos?
8. Como funcionam os sensores de pressão capacitivos?
9. Como funcionam os sensores de pressão piezoelétricos?
10. O que são termopares?
11. Quais os tipos de termistores existentes? Quais as diferenças entre eles?
12. Como funcionam os sensores de nível ultrassônicos?
13. Como funcionam os sensores de nível por pressão hidrostática?
14. Cite uma diferença entre os sensores de vazão tipo turbina e os sensores ópticos de vazão.

Aula 3 – Sistemas de automação em máquinas e processos industriais

Objetivos

Compreender o funcionamento, aplicação e acionamento de relés, contatores, motores de corrente contínua, motores de passo e eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos.

Entender os sistemas de controle em malha aberta e fechada, bem como algoritmos discretos e proporcionais de controle.

Conhecer os sistemas de supervisão utilizados em automação industrial.

3.1 Considerações iniciais

Esta aula aborda diversos temas relacionados a sistemas de automação. Inicialmente, são apresentados alguns tipos de acionamentos empregados em automação industrial, incluindo acionamento de cargas por relés e contatores, acionamento de motores CC e motores de passo, e acionamento de eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos. Na sequência, são apresentados os sistemas de controle discretos e proporcionais e os sistemas de supervisão de processos, os quais têm por objetivo monitorar e manter os processos operando da maneira desejada.

3.2 Acionamento de cargas por relés e contatores

Esta seção apresenta detalhes construtivos, princípio de funcionamento e informações relevantes a respeito de dois dos principais equipamentos utilizados para o acionamento de cargas, os relés e os contatores.

3.2.1 Relés

O relé é um dispositivo capaz de comandar circuitos elétricos de saída através de um circuito de controle de entrada.

Os relés eletromecânicos, baseados no princípio eletromagnético, são comumente aplicados em instalações industriais de baixa, média e alta tensão. São compostos, de modo geral, pelos seguintes elementos:

- Bobina (eletroímã).
- Armadura de ferro fixa e móvel.
- Conjuntos de contatos.
- Mola de rearme.
- Terminais de conexão.

A estrutura simplificada de um relé é mostrada na Figura 3.1(a), enquanto que um dispositivo comercial é mostrado na Figura 3.1(b).

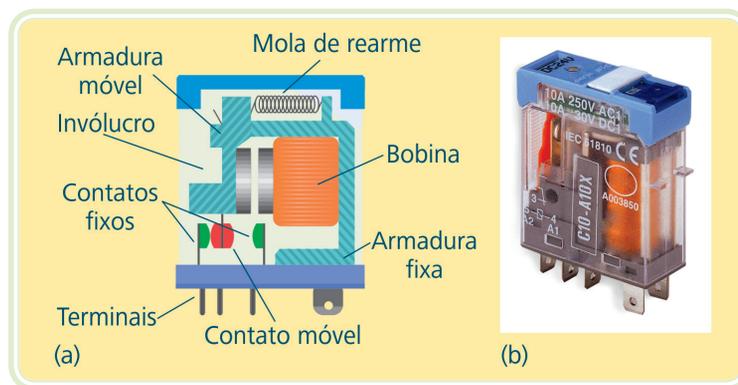


Figura 3.1: Relé: estrutura simplificada (a) e dispositivo comercial (b)

Fonte: (a) CTISM

(b) <http://www.alliedelec.com/images/products/Small/70035029.jpg>



Quando a corrente elétrica circula através da bobina e dá origem a um campo magnético, a armadura móvel é atraída por essa força, que altera a posição dos contatos, abrindo-os, fechando-os ou comutando-os, fazendo o dispositivo atuar. Quando a corrente elétrica é interrompida, o campo magnético se dispersa e os contatos retornam para a posição inicial através da ação da mola.

A Figura 3.2 mostra um exemplo de aplicação de um relé, no qual um circuito externo de saída é controlado, podendo ser ligado ou desligado. Quando o circuito de entrada é acionado através da chave CH, a corrente proveniente da fonte V1 circula pela bobina do relé, energizando-o. Neste momento, o contato do relé é fechado fazendo com que uma corrente proveniente da fonte

V2 possa circular pela carga, neste exemplo representada por uma lâmpada. Quando a chave CH é aberta, a corrente que antes circulava pela bobina do relé é interrompida, desacionando a carga do circuito de saída.

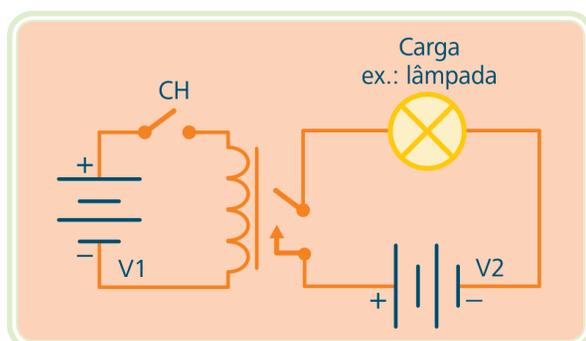


Figura 3.2: Relé usado para acionar carga de baixa potência

Fonte: CTISM

Uma importante característica do relé é que circuitos e cargas que exigem elevadas correntes durante o seu funcionamento podem ser acionados por uma corrente de baixa intensidade, necessária apenas para energizar a bobina do relé. Assim, cargas como motores e máquinas industriais pesadas podem ser controladas por dispositivos eletrônicos como transistores e circuitos integrados, como mostra a Figura 3.3.

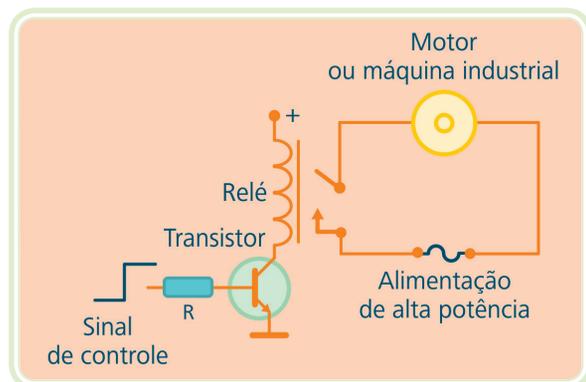


Figura 3.3: Relé usado para acionar carga de alta potência

Fonte: CTISM

Os relés podem ter diversas configurações quanto aos seus contatos, os quais podem ser divididos em três grupos: contato NA ou normalmente aberto; contato NF ou normalmente fechado; e contato comum ou central, também chamado de contato C.

Os contatos NA são os que estão abertos enquanto a bobina não está energizada e fecham-se quando a bobina recebe corrente. Os contatos NF são os que



estão fechados enquanto a bobina não está energizada e abrem-se quando a bobina recebe corrente, ao contrário dos NA. O contato central ou C é o comum, ou seja, quando os contatos NA ou NF estão fechados é com o C que se estabelece a condução. A Figura 3.4 ilustra os três tipos de contatos.



A utilização de contatos NA é feita quando se quer ligar uma carga externa a partir da energização da bobina, enquanto que a utilização de contatos NF é feita quando se quer desligar uma carga externa a partir da energização da bobina.

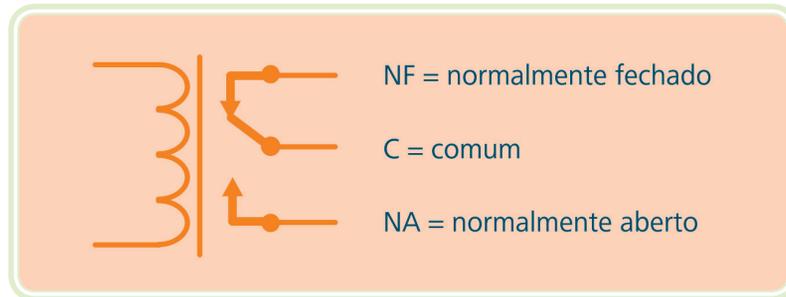


Figura 3.4: Contatos NF, C e NA com o relé desenergizado

Fonte: CTISM

Outras importantes características dos relés são:

- A tensão da bobina pode ser diferente, muito menor que a dos contatos, além de poder controlar sinais de corrente contínua por meio de tensão alternada, assim como o inverso.
- Permitem o acionamento de mais de um circuito ao mesmo tempo com um único sinal.
- Não existe contato elétrico entre o circuito da bobina e os circuitos dos contatos do relé (circuitos de saída), proporcionando isolamento e segurança.

Por outro lado, as desvantagens dos relés em relação aos dispositivos eletrônicos de acionamento de cargas, como os tiristores, são a atuação mais lenta e o desgaste mecânico dos contatos.

Ambos relés e contatores atuam no circuito em que estão instalados, abrindo e fechando cargas. Enquanto o relé pode atuar por eletromagnetismo, calor (relés térmicos), luz (relés fotoelétricos), movimento (relés de presença), entre outros, o contator atua basicamente pelo princípio eletromagnético, embora também existam contatores de estado sólido.

3.2.2 Contatores

Os contatores são os elementos principais de comando eletromecânicos, que permitem o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente. O contator é caracterizado como uma chave de operação não manual, eletromagnética, com uma única posição de repouso, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito. É constituído de uma bobina que, quando é alimentada, cria um campo magnético no núcleo fixo que atrai o núcleo móvel que fecha o circuito. Cessando a alimentação da bobina, é interrompido o campo magnético, provocando o retorno do núcleo por molas.



A Figura 3.5 apresenta a estrutura simplificada de um contator, juntamente com um dispositivo comercial. A função dos elementos que compõem os contatores são praticamente as mesmas dos relés detalhados anteriormente.

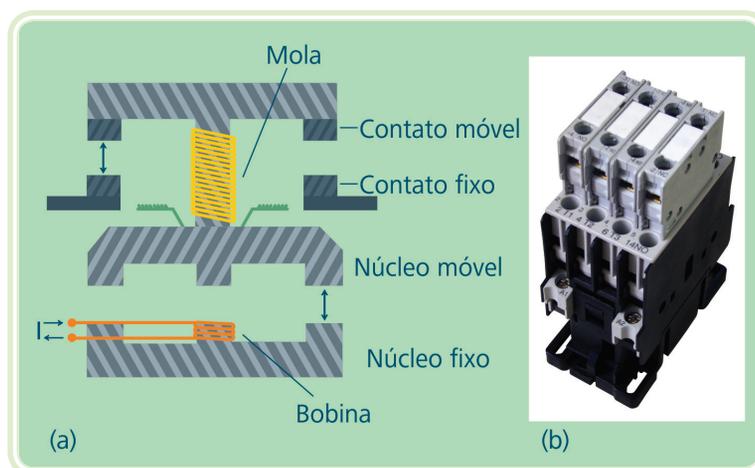


Figura 3.5: Contator: estrutura simplificada (a) e dispositivo comercial (b)

Fonte: CTISM

A Figura 3.6 mostra a simbologia de um contator trifásico utilizada em diagramas multifilares, onde se observa o símbolo de atuação eletromecânica (tracejado), a linha de acoplamento direto e os contatos de força (principais). Alguns contatores também possuem contatos auxiliares, além dos contatos de força. A denominação dos terminais da bobina é sempre A1/A2.

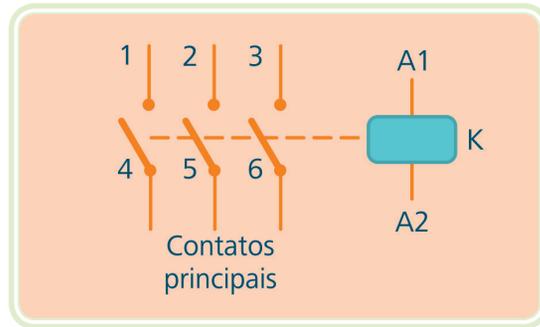


Figura 3.6: Simbologia do contator

Fonte: CTISM



Os contatos principais são utilizados para estabelecer e interromper correntes elétricas de alimentação de cargas, como motores, por exemplo. Por outro lado, os contatos auxiliares são utilizados para acionar e/ou bloquear circuitos auxiliares de comando, sinalização e intertravamento elétrico (impedir que um contator seja acionado quando outro já estiver em funcionamento). Esses contatos podem ser NA (identificados com números finais 3 e 4) ou NF (identificados com números finais 1 e 2), assim como nos relés.

Os contadores também apresentam as seguintes características:

- Comando à distância.
- Elevado número de manobras (grande vida útil mecânica).
- Requer pouco espaço para montagem.
- A tensão de operação pode estar na faixa de 85 % a 110 % da sua tensão nominal.

Para definir o contator apropriado para uma determinada aplicação, fatores como quantidade e tipo dos contatos auxiliares, nível da corrente elétrica, nível da tensão elétrica e frequência, devem ser levados em consideração.

Exemplo de acionamento de motor trifásico com contator

A Figura 3.7 mostra o diagrama de comando juntamente com o diagrama de força da chave de partida direta de um motor trifásico de indução.

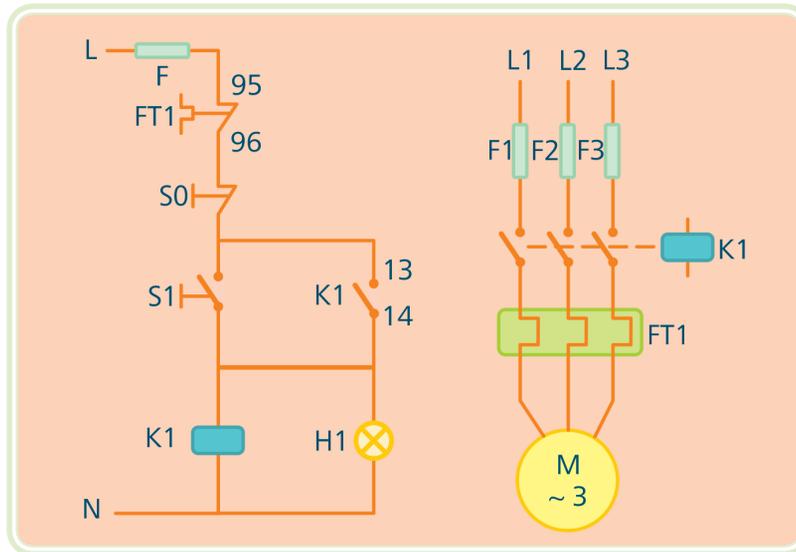


Figura 3.7: Diagramas de comando e de força de uma partida direta

Fonte: CTISM

Na representação do diagrama de comando há uma alimentação (L-N), em que a energia provém por essa fase que está protegida por um fusível e logo abaixo está representado um contato do relé térmico (95/96-FT1) que irá interromper o circuito no caso de uma falha. Assim, a parte lógica do circuito funciona da seguinte maneira:

Ao ser pressionado o botão de impulso S1, será energizada a bobina do contator K1 que fecha o contato NA 13/14 de K1 realizando o selo do contator K1, o qual permanece ligado mesmo após o botão S1 ser solto. Com o contator fechado o motor será alimentado com as três fases. Em paralelo com a bobina de K1 existe uma lâmpada de sinalização que indica o fechamento do contator. Ao ser pressionado o botão de impulso S0, o circuito da bobina do contator K1 é desligado, sendo o circuito desenergizado.

No diagrama de força, as três fases L1, L2 e L3 são protegidas por um fusível por fase (F1, F2, F3), sendo ligadas então ao contator K1, que está diretamente acoplado ao relé térmico FT1, que interliga os cabos até o motor.

3.3 Acionamento de motores CC e de passo

Esta seção irá apresentar detalhes construtivos, princípio de funcionamento, informações relevantes e circuitos utilizados para o acionamento de dois tipos de motores elétricos, os motores de corrente contínua (CC) e os motores de passo.

3.3.1 Motores CC

Dentre os tipos de motores, o motor de corrente contínua foi o primeiro a ser empregado na indústria. Estruturalmente, o motor CC pode ser dividido em duas partes, sendo uma fixa (estator ou campo) e outra móvel (rotor ou armadura), ambas mostradas na Figura 3.8.

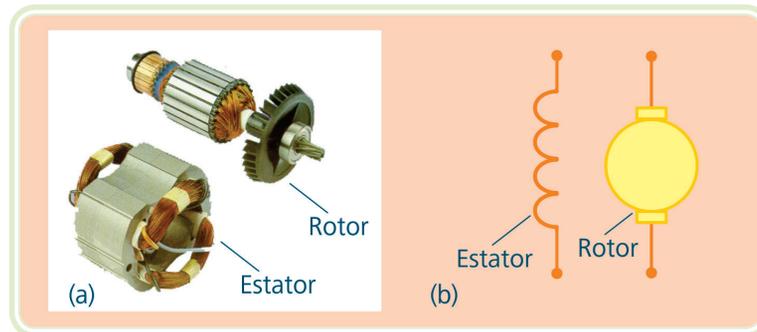


Figura 3.8: Estator e rotor do motor CC: estruturas (a) e simbologias (b)

Fonte: CTISM

- **Estator ou campo** – é a parte fixa, possui sapatas polares formadas por pacotes de lâminas de aço silício justapostas. Em torno das sapatas polares se enrolam fios condutores, formando bobinas.
- **Rotor ou armadura** – o rotor é a parte móvel do motor, ligada ao eixo de transmissão de movimento. As bobinas do rotor são montadas em ranhuras presentes na estrutura do rotor, também constituído de lâminas de aço silício. Os terminais destas bobinas são conectados eletricamente ao coletor.
- **Coletor ou comutador** – o coletor conecta eletricamente as bobinas do rotor através de escovas de carvão à fonte de energia elétrica. Desta maneira, o giro do rotor ocorre sem a presença de curto-circuito.
- **Escovas** – são constituídas de carvão grafite ou carbono. As escovas permitem a circulação de corrente elétrica da fonte externa para os contatos do comutador e às bobinas do rotor.

O princípio de funcionamento do motor CC é explicado a seguir:

- A condição inicial para a operação do motor CC é a produção do fluxo magnético estatórico. Este fluxo magnético é obtido aplicando-se corrente contínua nas bobinas estatóricas. Surgem então polos magnéticos ao redor das peças polares, que passam a ser eletroímãs com polaridades fixas.

- Uma corrente contínua de uma fonte externa deve circular através das escovas, comutador e bobinas do rotor, produzindo assim polos magnéticos no rotor. Os polos do rotor são atraídos pelos polos do estator e, como resultado, tem-se uma força magnética.
- As forças magnéticas presentes entre o rotor e o estator provocam um deslocamento angular no rotor, uma vez que este está estruturalmente possibilitado a movimentar-se.
- Com o deslocamento inicial, outras bobinas do rotor passam a ser alimentadas através do coletor e das escovas, produzindo novamente forças magnéticas.
- O resultante destas forças magnéticas atuando sobre o rotor e o seu movimento rotacional é chamado de conjugado motor, como mostra a Figura 3.9.

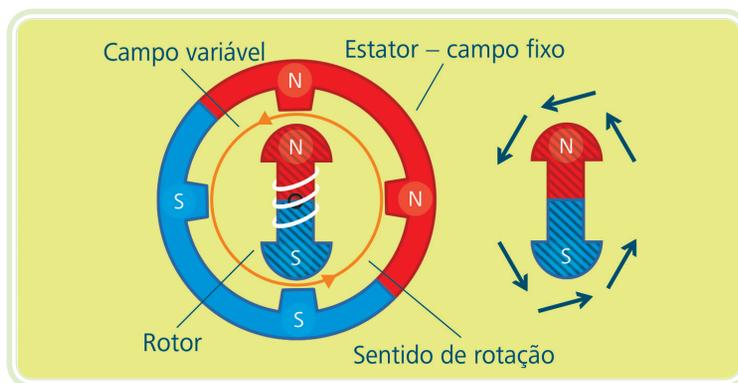


Figura 3.9: Ação dos campos magnéticos

Fonte: CTISM

O controle de velocidade e torque em motores CC com excitação independente pode ser realizada de 4 maneiras, as quais estão descritas a seguir e mostradas na Figura 3.10.

- Controle pela tensão aplicada na armadura** – mantém-se a tensão e a corrente no campo constantes, desta forma o fluxo magnético produzido é constante. Varia-se a tensão aplicada na armadura e por consequência a rotação da máquina, seguindo uma relação direta entre a tensão da armadura e a rotação. Neste método o torque permanece constante e a potência varia proporcionalmente com a velocidade.



Assista a um vídeo sobre funcionamento do motor CC em:
<https://www.youtube.com/watch?v=LatPHANefQo>

- b) Controle pela tensão aplicada no campo** – mantém-se a tensão de armadura constante e varia-se a corrente de campo (I_f). Como o fluxo magnético é proporcional à corrente de campo, diminuindo-se I_f diminui-se o fluxo magnético e aumenta-se a velocidade de rotação da máquina, processo conhecido por enfraquecimento de campo. No controle de campo a potência permanece constante enquanto a rotação se eleva e o torque se reduz.
- c) Controle pela resistência na armadura (R_a)** – varia-se a resistência da armadura através da variação de um reostato inserido em série com a armadura do motor e, assim, consegue-se variar a velocidade do motor. Neste método existe uma perda considerável de energia devido à potência dissipada no reostato adicional.
- d) Controle pela tensão aplicada na armadura e no campo** – ambas as técnicas a) e b) são aplicadas, proporcionando um controle integral da operação do motor CC. Esta técnica permite várias alternativas de conjugado e rotações e vem sendo empregada nos modernos conversores para acionamento em CC.

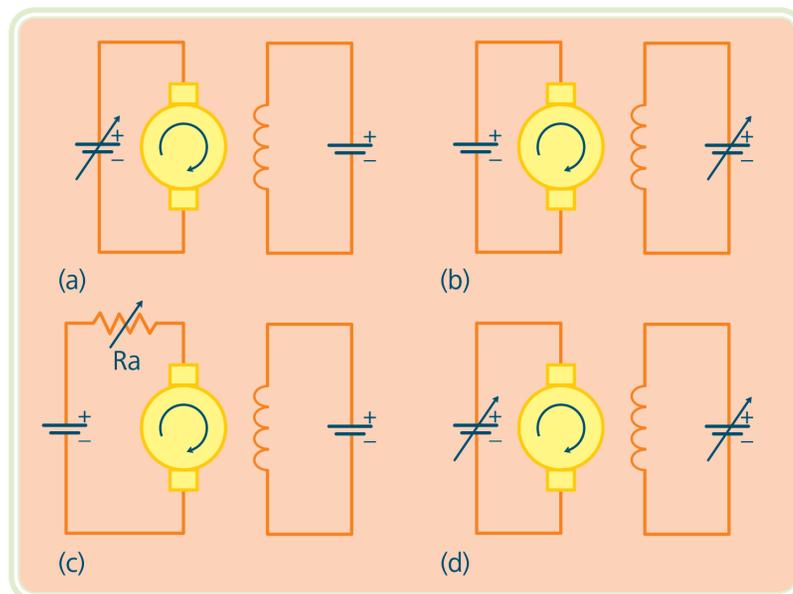


Figura 3.10: Acionamento do motor CC: controle pela armadura (a), controle pelo campo (b), controle pela resistência na armadura (c) e controle pelo campo e armadura (d)

Fonte: CTISM

De maneira geral, os motores CC apresentam como vantagem:

- Alto torque no momento da partida e em baixas velocidades de giro.
- Facilidade em controlar a velocidade.
- Grande faixa de variação de velocidade.
- Flexibilidade devido aos vários tipos de excitação.
- Confiabilidade.



Por outro lado, os motores CC apresentam como desvantagem:

- Maior tamanho e maior custo que os motores de indução para uma mesma potência.
- Maior necessidade de manutenção devido aos comutadores.
- Presença de arcos e faíscas devido à comutação de corrente por elemento mecânico, o que impede o uso em determinados ambientes.



3.3.2 Motores de passo

Os motores de passo fazem parte de uma categoria diferenciada de motores, os quais se deslocam por impulsos ou passos discretos. A crescente popularidade dos motores de passo não se deve apenas à redução de custo de produção, mas também à total adaptação desses dispositivos à lógica digital.

O motor de passo, mostrado na Figura 3.11, é um dispositivo eletromecânico que converte pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos seus terminais. O sentido de rotação, a velocidade de rotação e o tamanho do ângulo de rotação são definidos pela sequência, frequência e quantidade de pulsos elétricos aplicados no motor, respectivamente.



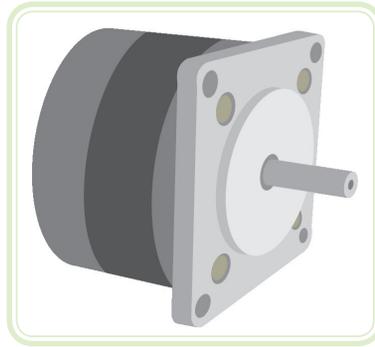


Figura 3.11: Motor de passo

Fonte: CTISM

A principal vantagem dos motores de passo é a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Além disso, as variações no torque aplicado por motores de passo são pequenas e eles apresentam pouco desgaste (não possuem escovas). São muito usados em impressoras, robôs, brinquedos e automação industrial. Por outro lado, não são recomendados para aplicações de elevado torque e/ou velocidade e possuem baixa relação entre potência e volume.

O princípio de funcionamento do motor de passo é detalhado na Figura 3.12, tomando como exemplo um motor de 4 passos. O funcionamento básico é obtido pelo uso de solenoides (eletroímãs) alinhados aos pares. Os solenoides, quando energizados, exercem uma força de atração sobre o rotor, que provoca o seu alinhamento com o eixo definido pelos solenoides. Desta maneira, uma pequena variação de ângulo, denominada passo, ocorre no rotor.

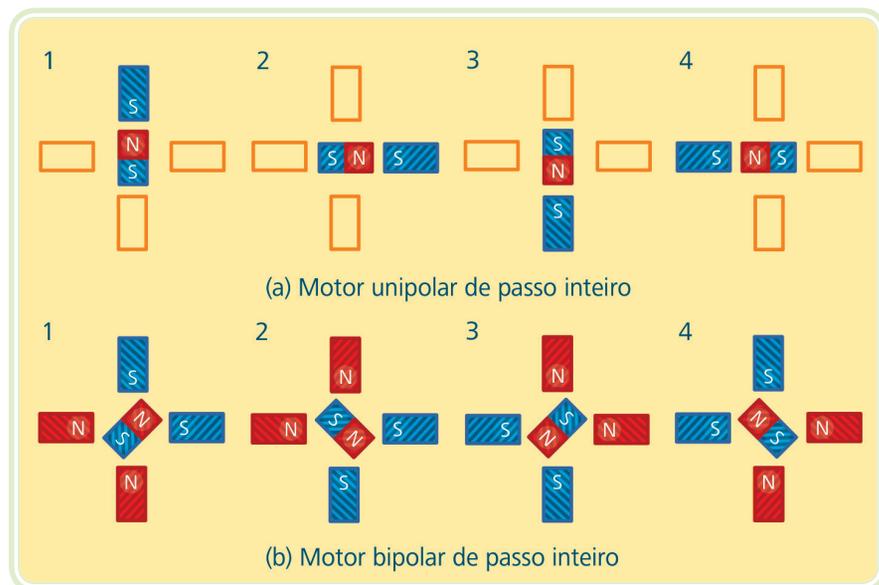


Figura 3.12: Princípio de funcionamento do motor de passo: unipolar de passo inteiro (a) e bipolar de passo inteiro (b)

Fonte: CTISM



Assista a um vídeo sobre o funcionamento do motor de passo em: <https://www.youtube.com/watch?v=ChJXW7VDMhw>

O número de passos é definido pelo número de alinhamentos possíveis entre o rotor e as bobinas. Assim, para aumentar o número de passos de um motor usa-se um maior número de bobinas ou maior número de polos no rotor (através de uma roda dentada). Há também o acionamento de meio-passo, no qual o rotor gira em intervalos de 45° ao invés de 90° conforme exemplo apresentado, conseguido através da polarização adequada das bobinas.

O acionamento e controle dos motores de passo demandam certo grau de complexidade pela necessidade de uma fonte de alimentação "inteligente" que produza o campo rotativo. A Figura 3.13 apresenta de um diagrama de blocos do circuito de acionamento.

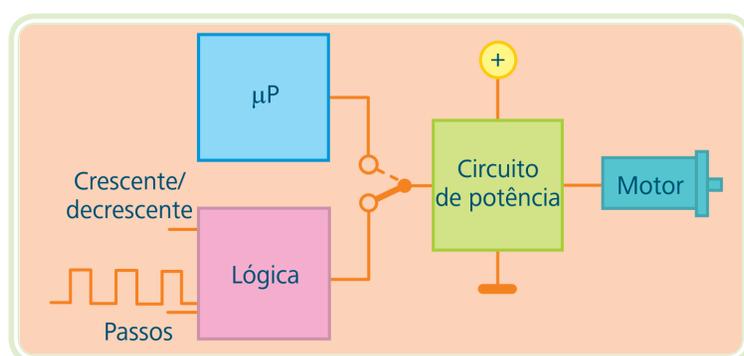


Figura 3.13: Diagrama de blocos do circuito de acionamento de um motor de passo
Fonte: CTISM

- a) Motores unipolares** – um motor de passo unipolar possui dois enrolamentos por fase, um para cada sentido da corrente, como mostra a Figura 3.14(a). Então, cada fase consiste de um enrolamento com derivação central ou mesmo de dois enrolamentos separados, de forma que o campo magnético possa ser invertido sem a necessidade de inverter o sentido de corrente (ao acionar A ou \bar{A} , por exemplo, campos magnéticos opostos são gerados). Geralmente possuem 5 ou 6 terminais. O circuito da comutação pode ser feito de forma muito simples, por exemplo, com um único transistor para cada enrolamento, como mostra Figura 3.14(b), sendo acionado um por vez sequencialmente.

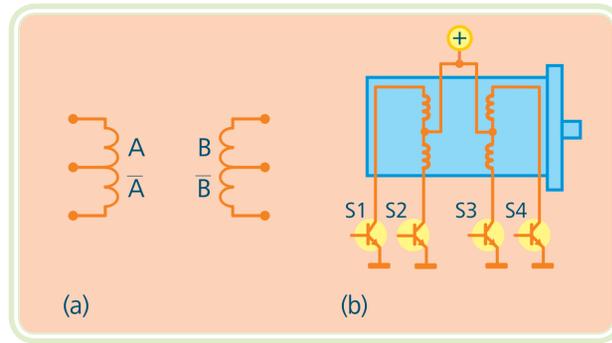


Figura 3.14: Motores unipolares: enrolamentos (a) e exemplo de acionamento (b)

Fonte: CTISM

b) Motores bipolares – os motores bipolares possuem um único enrolamento por fase, como mostra a Figura 3.15(a). Geralmente possuem 4 terminais. Há duas ligações por fase e nenhuma está em comum. Assim, a corrente em um determinado enrolamento necessita sofrer inversão de sentido, com o objetivo de inverter um polo magnético. Portanto, o circuito de acionamento, mostrado na Figura 3.15(b), é um pouco mais complexo, usando um arranjo de ponte H com quatro transistores por enrolamento. Também é possível utilizar somente dois transistores em cada enrolamento desde que seja empregada uma fonte simétrica. Por outro lado, os motores bipolares desenvolvem torques (momentos) superiores aos dos unipolares com as mesmas dimensões.



Ponte H é um circuito eletrônico que permite inverter o sentido da corrente em uma bobina. Mais informações em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_H

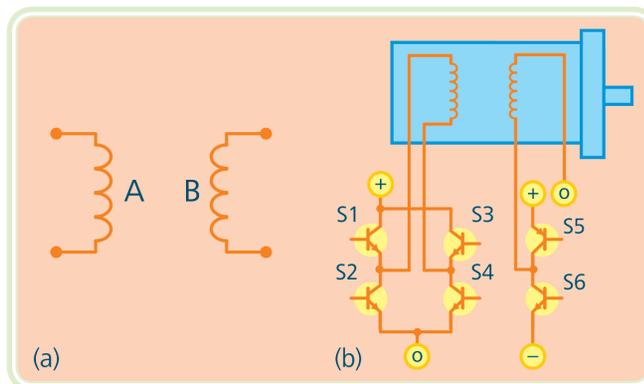


Figura 3.15: Motores bipolares: enrolamentos (a) e exemplo de acionamento (b)

Fonte: CTISM

3.4 Acionamentos de eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos

Os solenoides são bobinas eletromagnéticas que, ao serem percorridas por uma corrente elétrica, criam um campo magnético ao seu redor. Este campo magnético tem a capacidade de atrair ou repelir elementos ferromagnéticos. Desta maneira, o solenoide comporta-se como um ímã permanente. Porém,

eles apresentam vantagens sobre ímãs permanentes, pois podem ser ligados ou desligados pela aplicação de uma corrente, sendo úteis como interruptores e válvulas, e podem ser totalmente automatizados.

Em uma eletroválvula, hidráulica ou pneumática, a bobina do solenoide é enrolada em torno de um núcleo fixo, preso à carcaça da válvula. Quando uma corrente elétrica circula através da bobina, o campo magnético gerado atrai um pistão ou um êmbolo que deveria bloquear o fluxo de ar ou fluido. Um fluxo de corrente elétrica constante é necessário, pois assim que a corrente for interrompida o campo magnético se dispersa e a válvula retorna à posição de fechamento original. A Figura 3.16 mostra uma eletroválvula e a indicação das partes que a compõem.

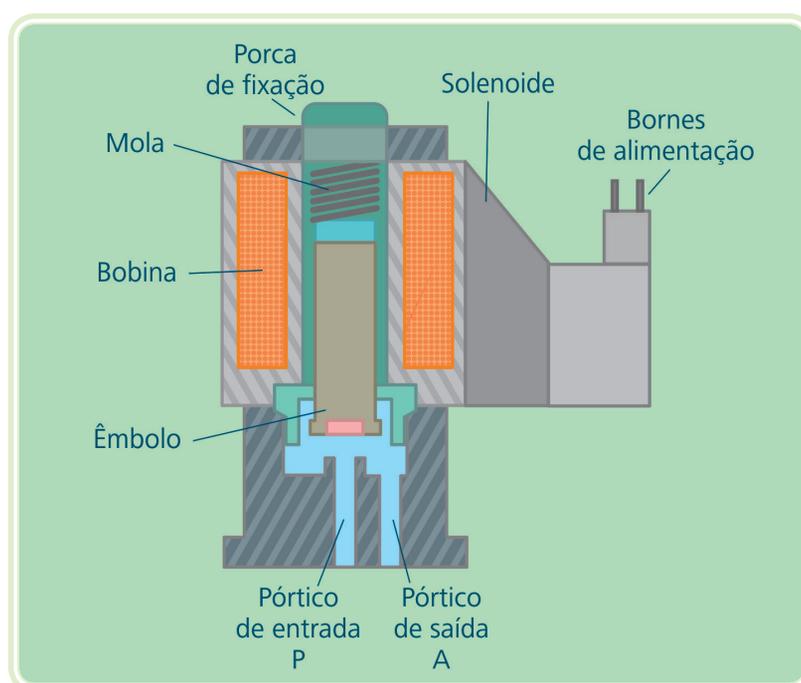


Figura 3.16: Eletroválvula

Fonte: CTISM

Em eletroválvulas pneumáticas, quando o campo magnético é gerado em consequência da energização da bobina, o êmbolo da válvula é atraído. Esta atração do êmbolo, por sua vez, resulta na abertura ou fechamento das tubulações do ar comprimido no interior da carcaça da válvula, conforme mostra a Figura 3.17.

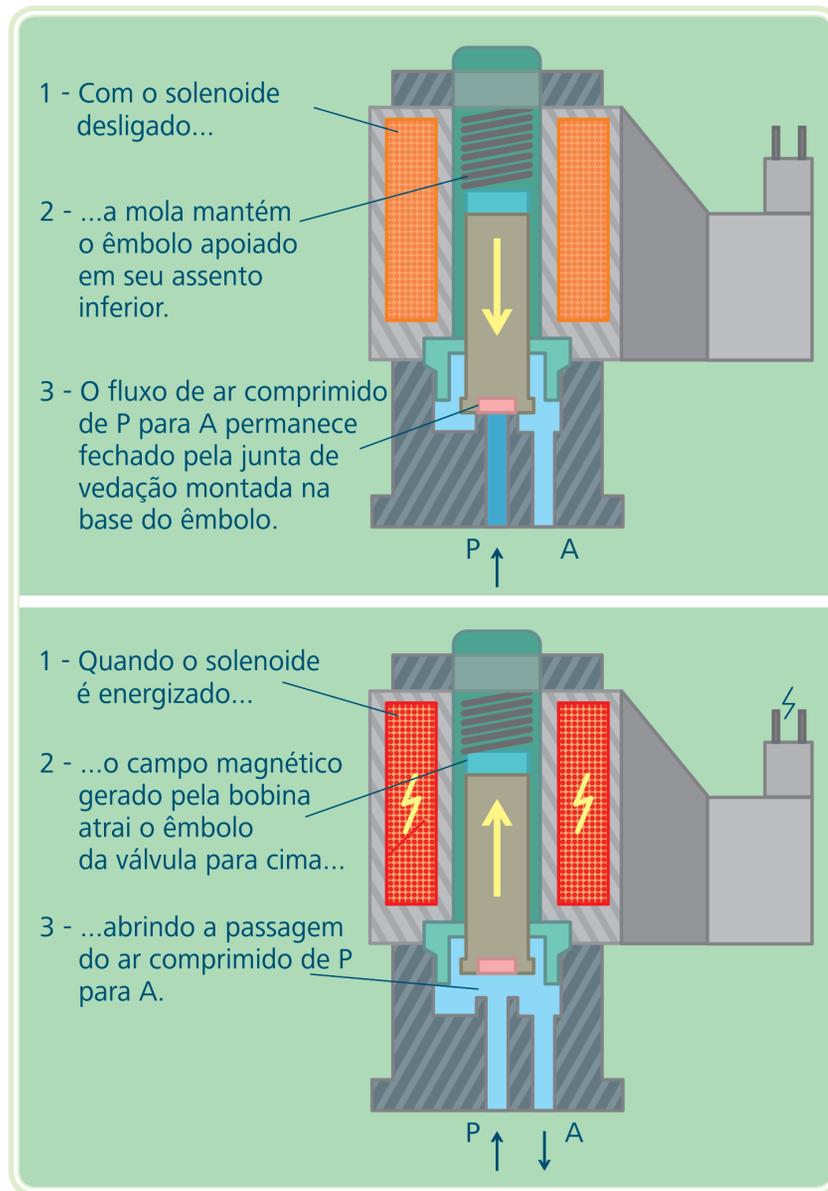


Figura 3.17: Funcionamento da eletroválvula pneumática

Fonte: CTISM



Assista a um vídeo sobre operação de eletroválvulas em:
<https://www.youtube.com/watch?v=v0tMFLNBeco>

https://www.youtube.com/watch?v=itDXE7Gzj_c

Os circuitos eletropneumáticos são aqueles que relacionam os elementos elétricos e os elementos pneumáticos utilizados para realizar o acionamento de cargas e equipamentos diversos. Os diagramas e esquemáticos evidenciam as relações necessárias entre os elementos para que o objetivo final da aplicação seja alcançado. O circuito elétrico é o responsável pela sequência de comandos (lógica) dos componentes pneumáticos. O circuito pneumático, por sua vez, é o responsável pelo acionamento das partes mecânicas da máquina ou equipamento.

Os circuitos eletro-hidráulicos possuem princípio similar, porém neste caso o circuito elétrico é o responsável pela sequência de comandos dos componentes

hidráulicos, enquanto que o circuito hidráulico é o responsável pelo acionamento das partes mecânicas.

Exemplo

A Figura 3.18 apresenta um circuito eletropneumático frequentemente utilizado em equipamentos industriais. O objetivo deste exemplo é mostrar a interação entre os componentes elétricos e pneumáticos e a representação dos seus diagramas, bem como detalhar seu princípio de funcionamento.

Ao acionar um botão de comando, a haste de um cilindro de ação simples com retorno por mola deve avançar. Enquanto o botão for mantido acionado, a haste deverá permanecer avançada. Ao soltar o botão, o cilindro deve retornar à sua posição inicial.

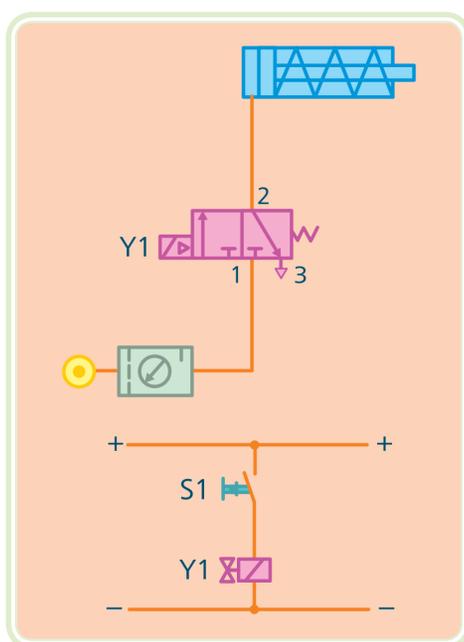


Figura 3.18: Circuito eletropneumático

Fonte: CTISM

Este circuito pneumático apresenta dois elementos: um cilindro de ação simples com retorno por mola e uma válvula de controle direcional de 3/2 vias, normalmente fechada, acionada eletricamente por solenoide e reposicionada por mola. O circuito elétrico de comando utiliza o contato NA de um botão de comando pulsador. O funcionamento detalhado é descrito a seguir.

Acionando-se o botão pulsador S1 ocorre o fechamento do seu contato NA. Assim, uma corrente elétrica começa a circular através do circuito, promovendo a energização da bobina do solenoide Y1 da válvula direcional. Conseqüentemente, o carretel da válvula direcional de 3/2 vias é deslocado para a direita,

permitindo a passagem do ar comprimido do pÓrtico 1 para o 2 da vÁlvula. AlÉm disso, a descarga para a atmosfera no pÓrtico 3 É bloqueada. Seguindo a anÁlise, o ar comprimido que sai atravÉs do pÓrtico 2 É direcionado para a cÂmara traseira do cilindro, fazendo com que a haste avance para a direita, resultando na compressão da mola. O circuito permanece com esta configuração (haste do cilindro avançada e solenoide Y1 ligado) durante o tempo no qual o botÃO S1 for mantido acionado.

Soltando-se o botÃO pulsador S1 ocorre a abertura do seu contato NA. A corrente elÉtrica para de circular atravÉs do circuito, resultando na desenergização e desacionamento da bobina do solenoide Y1 da vÁlvula direcional. Conseqüentemente, como nÃO há mais força impulsionando o carretel da vÁlvula para a direita, a mola da vÁlvula empurra o carretel de volta para a esquerda (posiçÃO original), promovendo o bloqueio do pÓrtico 1 e conectando novamente os pÓrticos 2 e 3. Por fim, como o ar comprimido nÃO É mais direcionado ao cilindro pneumático atravÉs da vÁlvula, a mola do cilindro impulsiona a haste para a esquerda (posiçÃO original) e o ar comprimido armazenado na cÂmara traseira do cilindro sai para a atmosfera.

3.5 Sistemas de controles discretos e proporcionais

O controle de processos, conforme definido na Aula 1, consiste na tÉcnica de manter variÁveis de um processo em valores desejados para o sistema. Este objetivo É atingido a partir de um controlador que processa correções de acordo com variÁveis que sÃO medidas em tempo real por um determinado equipamento.

Os sistemas de controle podem ser classificados em duas categorias distintas: sistemas de controle em malha aberta e sistemas de controle em malha fechada.



Em um sistema em malha aberta, o sinal de entrada É um sinal predefinido, baseado em experiÉncias passadas, de forma que o sistema forneça o sinal de saÍda desejado. Neste tipo de controle nÃO existe elemento de realimentaçÃO, ou seja, a saÍda nÃO É medida nem comparada com uma entrada para efetuar a açÃO de controle. As principais vantagens sÃO a simplicidade e o baixo custo. A principal desvantagem É a imprecisÃO devido à falta de realimentaçÃO. O diagrama de blocos para esse sistema É apresentado na Figura 3.19.

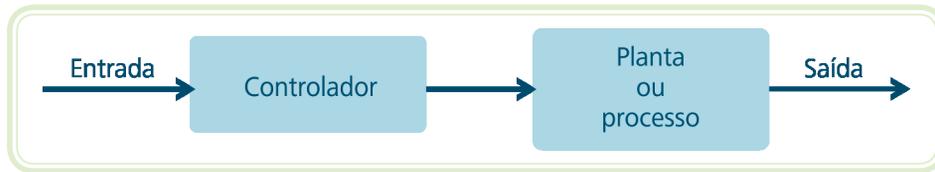


Figura 3.19: Diagrama de blocos do sistema em malha aberta

Fonte: CTISM

Em um sistema em malha fechada, a grandeza a ser controlada é monitorada através de um elemento de medição, sendo realimentada para a entrada. Esta informação é comparada com o valor desejado (*setpoint*) através de um elemento comparador produzindo-se um sinal de erro. Este sinal de erro é processado pelo elemento controlador gerando sinais de controle que atuarão sobre o processo. O elemento atuador age sobre a variável manipulada de tal maneira que sejam corrigidos eventuais desvios causados por modificações nas condições de operação ou perturbações na Variável Controlada (VC).

Este tipo de sistema apresenta como vantagens a compensação de erros, saída constante e robustez (menor sensibilidade a distúrbios). A complexidade e o maior custo são desvantagens. O diagrama de blocos para esse sistema é apresentado na Figura 3.20.

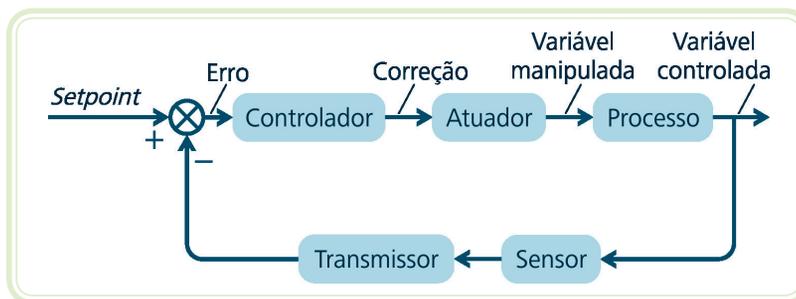


Figura 3.20: Diagrama de blocos do sistema em malha fechada

Fonte: CTISM

Com o objetivo de fazer com que o valor da variável controlada seja igual ao valor do *setpoint* do sistema, ações ou algoritmos de controle que agem sobre o processo são implementados. Na sequência, as mais tradicionais ações de controle são apresentadas.

3.5.1 Controle liga/desliga (*on/off*)

É a mais simples estratégia de controle, sendo classificada como controle discreto. A ação de controle gerada pelo controlador poderá somente ligar (*on*) ou desligar (*off*) o elemento atuador do processo.



Antes de existir a automação industrial, pessoas em vez de máquinas executavam muitas tarefas de controle de processo. Operações de controle que envolvem ações humanas de ajuste são chamadas de sistemas de controle manual. De forma análoga, operações de controle nas quais nenhuma intervenção humana é necessária são chamadas de sistemas de controle automáticos.

Trata-se de uma estratégia de larga aplicação prática em processos que permitem uma faixa de variação do valor da grandeza a ser controlada entre um nível máximo e mínimo próximos ao *setpoint*. Esta faixa de variação é denominada histerese.

Conforme a Figura 3.21, aplica-se 100 % de potência na carga quando o valor da variável controlada estiver abaixo do *setpoint* menos a histerese, e 0 % de potência quando estiver acima do *setpoint* mais a histerese. Resultará em oscilação do valor da variável controlada ao longo do tempo dentro da faixa de histerese. Esta ação de controle é utilizada, por exemplo, em refrigeradores.

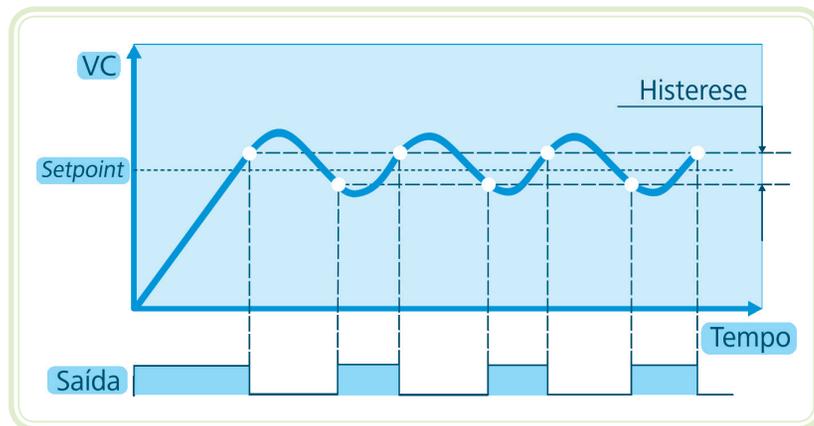


Figura 3.21: Controle liga/desliga

Fonte: CTISM

As demais estratégias de controle apresentadas na sequência são classificadas como contínuas ou proporcionais, uma vez que a variação do controlador não se resume a somente dois valores, como na ação liga/desliga.

3.5.2 Controle proporcional

Este controlador produz na sua saída um sinal de controle que é proporcional ao erro. Desta maneira, a atuação do controlador sobre o sistema será mais intensa quanto maior for o sinal de erro presente, e vice-versa. Esta proporcionalidade é representada por uma constante k_p que define o fator de amplificação do controlador (ganho). Esta estratégia minimiza os erros ao longo do tempo, porém permanece um erro em relação ao *setpoint*.

Conforme a Figura 3.22, a potência aplicada na carga varia de forma proporcional à diferença (erro) entre o *setpoint* e o valor medido no processo (sensor) dentro da região denominada banda proporcional. Resultará em estabilização da variável ao longo do tempo.

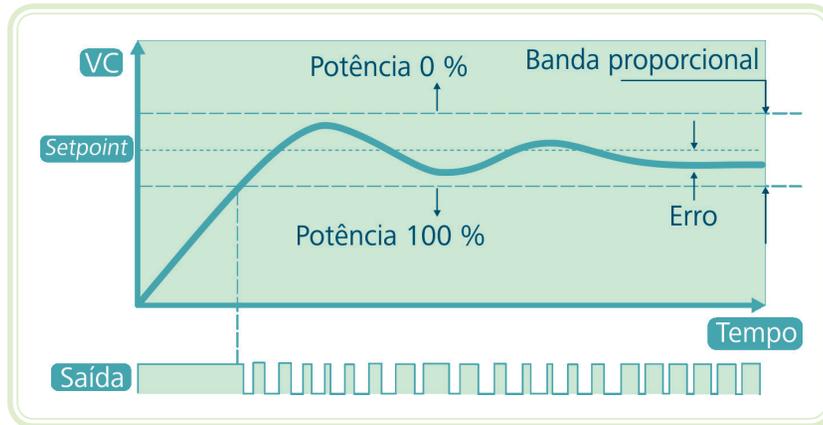


Figura 3.22: Controle proporcional

Fonte: CTISM

3.5.3 Controle derivativo

A saída do controlador é proporcional à taxa de variação do sinal de erro, ou seja, à derivada do erro. Este tipo de controlador proporciona uma ação bastante rápida sempre que ocorrerem variações na saída, porém não minimiza erros de regime permanente. Nesta estratégia, o valor do ganho derivativo através da constante k_d deve ser definido.

3.5.4 Controle integral

A saída do controlador é proporcional ao somatório do sinal de erro em um determinado instante de tempo, ou seja, à integral do erro. Este tipo de controlador elimina os erros de regime permanente do sistema, porém sua ação de resposta é lenta. Nesta estratégia, o valor do ganho integral através da constante k_i deve ser definido.

3.5.5 Controladores associados

Além das estratégias de controle apresentadas, podem-se encontrar controladores associados como PI (Proporcional Integral), PD (Proporcional Derivativo), ou PID (Proporcional Integral Derivativo).

O controle PD funciona conforme o controle proporcional, acrescido de uma maior velocidade de reação do controlador às variações do processo. Resultará em uma rápida estabilização da variável controlada ao longo do tempo, como mostra a Figura 3.23.

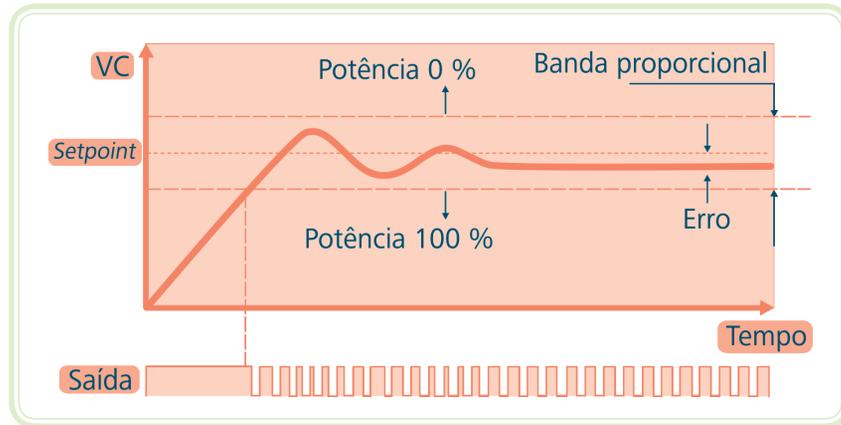


Figura 3.23: Controle PD

Fonte: CTISM

O controle PID funciona conforme o controle PD, acrescido de uma estabilização o mais próximo possível do valor do *setpoint*. Assim, além da ação proporcional que atua conforme o valor do erro, há um compromisso entre a velocidade de atuação (derivativo) e erro nulo no regime permanente (integral). Resultará em uma rápida e precisa estabilização da variável controlada ao longo do tempo, como mostra a Figura 3.24.

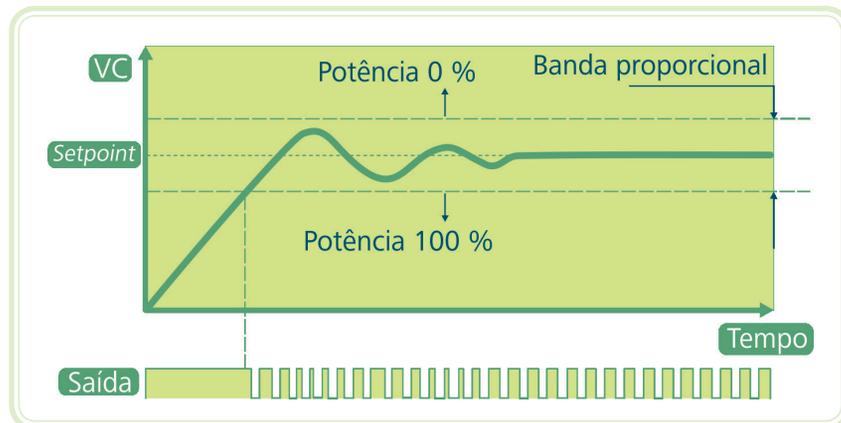


Figura 3.24: Controle PID

Fonte: CTISM



Com base no exposto, evidencia-se que duas importantes tarefas devem ser realizadas no controle de um determinado processo: a definição da ação (estratégia) de controle em função do processo físico a ser controlado e a sintonia (dimensionamento) dos ganhos k_p , k_d e k_i , fundamentais para a obtenção da melhor resposta para o sistema.

3.6 Sistemas de supervisão

Nos processos industriais, de maneira geral, existe a necessidade de centralizar as informações de forma a se ter a maior quantidade de dados no menor tempo possível. Um sistema de supervisão é responsável pelo monitoramento de variáveis de controle do sistema, com o objetivo principal de fornecer subsídios ao operador para controlar ou monitorar um processo automatizado mais rapidamente, permitindo a leitura das variáveis em tempo real e o gerenciamento do processo.

O sistema de supervisão, também conhecido como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), coleta dados do processo através de determinados dispositivos industriais, principalmente controladores lógicos programáveis (CLP), formata estes dados, e os apresenta ao operador em uma multiplicidade de formas. Os dados são capturados tanto em locais próximos, quanto locais distantes geograficamente.

Dentre os principais benefícios do uso de sistemas de supervisão podem-se citar: informações instantâneas, redução no tempo de produção, redução no custo de produção, precisão das informações, detecção de falhas, aumento da qualidade e aumento da produtividade.



Com a evolução tecnológica, os computadores assumiram um papel de gestão na aquisição e tratamento de dados, permitindo sua visualização em um monitor de vídeo e a geração de funções de controle complexas, cobrindo um mercado cada vez mais vasto.

As telas de visão geral de processo apresentam ao operador uma visão global de um processo, sob visualização imediata na operação da planta. Nestas telas são apresentados os dados mais significantes à operação e objetos que representam o processo. Os dados devem procurar resumir os principais parâmetros a serem monitorados (e/ou controlados) do processo específico. A Figura 3.25 mostra um exemplo de tela de visão geral.

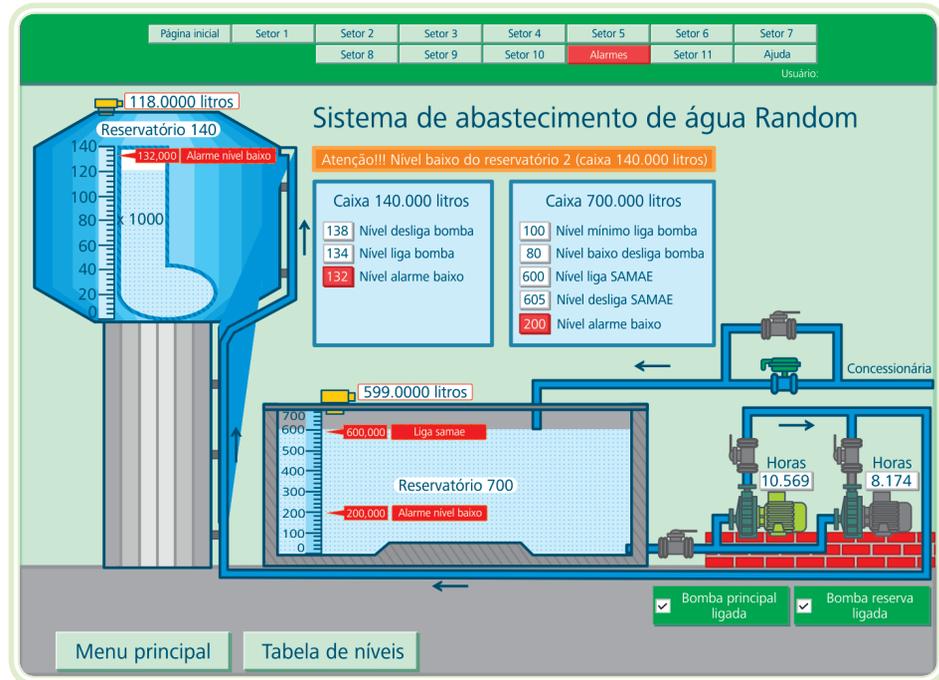


Figura 3.25: Tela de visão geral de processo

Fonte: CTISM, adaptado de <http://www.elipse.com.br>

As principais características que um sistema de supervisão deve possuir são:

- Interface amigável com o operador, ou seja, propiciar facilidade de visualização gráfica e de operação do sistema (visualização dos valores coletados por sensores e estados atuais de contatores, relés, solenoides; alteração de ganhos e tipos de controladores; acionamento de atuadores elétricos, hidráulicos, pneumáticos, mecânicos; entre outros).
- Geração automática de relatórios, com o controle estatístico do sistema, os quais podem ser impressos, enviados por e-mail ou salvos em arquivos.
- Histórico de tendências para acompanhamento das variáveis controladas em forma de gráficos ou tabelas.
- Facilidade para interação com outros aplicativos.
- Acesso automático a banco de dados.
- Acesso compartilhado e remoto.
- Conexão em rede e por meio de *modem* ou rádio.

- Gerenciamento das condições de alarme, que são mensagens de sistema definidas pelo usuário para alertar o operador sobre alguma situação específica.

Em um ambiente industrial cada vez mais complexo, é importante garantir que as informações de um processo estejam seguras e disponíveis quando necessário, independentemente de sua localização. Portanto, é fundamental implementar mecanismos de acessibilidade, segurança e tolerância a falhas, capazes de serem obtidos com os sistemas de supervisão.

Resumo

Esta aula abordou diversos assuntos relacionados a sistemas de automação em máquinas e processos industriais. Inicialmente, o princípio de funcionamento de relés e contadores, os quais são dispositivos eletromecânicos muito utilizados no acionamento de cargas, foi apresentado. Ambos possuem bobinas que quando energizadas alteram o estado de contatos para conduzir ou interromper corrente em circuitos de saída.

A estrutura, o princípio de funcionamento e métodos de acionamento dos motores CC e de passo foram apresentados. Os motores CC proporcionam elevado torque na partida e em baixas rotações e ampla variação de velocidade. Os motores de passo permitem o controle de seus movimentos de forma precisa e apresentam pouco desgaste.

Eletroválvulas de comandos pneumáticos e hidráulicos podem estabelecer ou interromper o fluxo de ar comprimido e fluidos, respectivamente, através do acionamento de um solenoide. Ambas são muito utilizadas nos circuitos eletropneumáticos e eletro-hidráulicos de máquinas e equipamentos industriais.

O controle de processos consiste na técnica de manter variáveis de um processo em valores desejados para o sistema. Em sistemas de malha fechada, os quais possuem realimentação da variável de processo, um algoritmo de controle que pode ser discreto (mais simples e barato) ou proporcional (mais complexo e com melhores resultados) é empregado.

Por fim, sistemas de supervisão responsáveis pelo monitoramento de variáveis de controle dos processos industriais foram apresentados, incluindo características e vantagens proporcionadas.



Atividades de aprendizagem

1. Como funcionam os relés empregados no acionamento de cargas?
2. Quais os elementos que compõem os relés?
3. Qual o princípio de funcionamento dos contadores?
4. Quais as partes que compõem a estrutura dos motores CC?
5. Explique o funcionamento do motor CC.
6. Quais os métodos de controle de velocidade e torque em motores CC com excitação independente?
7. Como funcionam os motores de passo?
8. Qual a diferença entre motores de passo unipolares e bipolares?
9. Explique o funcionamento das eletroválvulas pneumáticas e hidráulicas.
10. Qual a diferença entre controle em malha aberta e malha fechada?
11. Como funciona a estratégia de controle liga/desliga?
12. Quais os objetivos das estratégias de controle proporcional, integral e derivativa?
13. O que são sistemas de supervisão?
14. Quais os benefícios proporcionados pelos sistemas de supervisão?

Aula 4 – Lógica booleana

Objetivos

Conhecer as portas lógicas e suas funções.

Compreender as leis, teoremas e expressões da álgebra de Boole.

Entender as diferenças e aplicações de circuitos sequenciais comparados aos combinacionais.

4.1 Considerações iniciais

Em 1854, o matemático inglês George Boole escreveu **Uma Investigação das Leis do Pensamento**, em que apresentava o modo como se tomam decisões lógicas com base em circunstâncias verdadeiras ou falsas. O método que ele descreveu é hoje conhecido como lógica booleana, e o sistema que emprega símbolos e operadores para descrever essas decisões é chamado de álgebra booleana, fazendo parte da área de eletrônica digital.

Nesta aula, inicialmente serão estudados os circuitos lógicos mais básicos, as portas lógicas, que são os blocos a partir dos quais todos os sistemas digitais são construídos. Serão estudados também conceitos da álgebra booleana e conceitos iniciais de circuitos eletrônicos sequenciais.

4.2 Portas lógicas

As portas lógicas são circuitos digitais construídos por componentes eletrônicos conectados de tal forma que o sinal de saída corresponde ao resultado de uma função lógica. Possuem uma ou mais tensões de entrada e uma única tensão de saída, sendo que os valores possíveis destas tensões são somente dois: tensão de alimentação do circuito (V_{CC}) ou tensão nula (terra ou GND). Por convenção, considera-se a tensão de alimentação como sinal lógico "1" e a tensão nula como sinal lógico "0".



Existem três portas lógicas básicas que são: “porta *AND*”, “porta *OR*” e “porta *NOT*”. A partir destas, derivam-se outras quatro portas lógicas, que são: “porta *NAND*”, “porta *NOR*”, “porta *XOR*” e “porta *XNOR*”, totalizando sete portas lógicas, capazes de realizar os mais variados comandos lógicos.

Na sequência, as três portas lógicas básicas são estudadas. Para cada porta lógica são apresentados a expressão lógica, a simbologia, o circuito elétrico equivalente capaz de implementar a função lógica e a tabela-verdade. Os sinais de entrada das portas são representados com as letras iniciais do alfabeto e o sinal de saída pela letra “S”. Por fim, as demais portas lógicas, derivadas das três primeiras, são apresentadas.

4.2.1 Porta lógica *AND* (E)

A função *AND* é aquela que executa a multiplicação de duas ou mais variáveis booleanas. Sua representação algébrica para duas variáveis de entrada é:

$$S = A \cdot B$$

Lê-se: S = A e B

O símbolo utilizado para representar a porta lógica é mostrado na Figura 4.1.

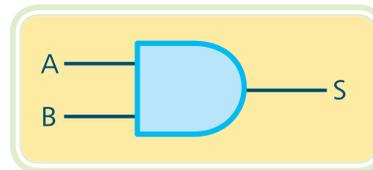


Figura 4.1: Simbologia da porta lógica *AND*

Fonte: CTISM

Nessa porta lógica, todas as entradas devem estar no nível lógico 1 para que se obtenha um nível lógico 1 na saída da mesma. Caso contrário, o sinal de saída será de nível lógico 0.

O circuito elétrico equivalente da porta lógica *AND* é mostrado na Figura 4.2, juntamente com as convenções para análise.

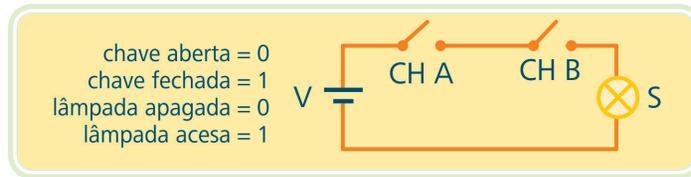


Figura 4.2: Circuito elétrico equivalente da porta AND

Fonte: CTISM

Através da análise da Figura 4.2, conclui-se que a lâmpada somente acenderá se ambas as chaves A e B estiverem fechadas ao mesmo tempo.

A tabela-verdade é um mapa onde são colocadas todas as possíveis situações (combinações das entradas) com os seus respectivos resultados (saídas). O número de combinações possíveis é igual a 2^N , onde N é o número de variáveis de entrada. Como há duas variáveis de entrada (chaves A e B), há 4 possíveis combinações. A Figura 4.3 mostra a tabela-verdade da porta lógica AND.

Tabela-verdade da porta AND		
A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 4.3: Tabela-verdade da porta AND

Fonte: CTISM

4.2.2 Porta lógica OR (OU)

A função OR é aquela que executa a soma de duas ou mais variáveis booleanas. Sua representação algébrica para duas variáveis de entrada é:

$$S = A + B$$

Lê-se: S = A ou B

O símbolo utilizado para representar a porta lógica é mostrado na Figura 4.4.

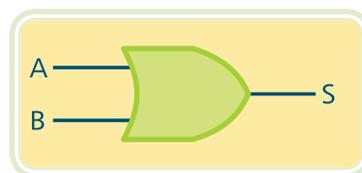


Figura 4.4: Simbologia da porta lógica OR

Fonte: CTISM

Esta porta lógica assume valor 1 quando uma ou mais variáveis de entrada forem iguais a 1. O valor 0 somente será obtido na saída da porta lógica quando todas as variáveis de entrada forem iguais a 0. Portanto, para que se obtenha um nível lógico 1 na saída, pelo menos uma das entradas deve estar no nível lógico 1.

O circuito elétrico equivalente da porta lógica *OR* é mostrado na Figura 4.5, juntamente com as convenções para análise.

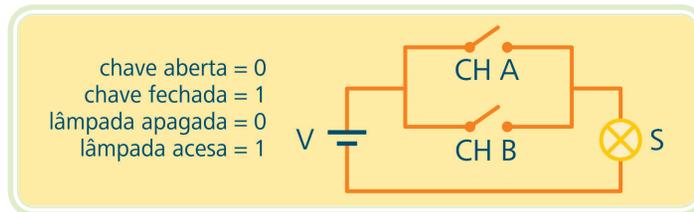


Figura 4.5: Circuito elétrico equivalente da porta *OR*

Fonte: CTISM

Através da análise da Figura 4.5, conclui-se que a lâmpada acenderá quando qualquer uma das chaves estiver fechada e permanecerá apagada se ambas estiverem abertas.

A Figura 4.6 mostra a tabela-verdade da porta lógica *OR*.

Tabela-verdade da porta <i>OR</i>		
A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figura 4.6: Tabela-verdade da porta *OR*

Fonte: CTISM

4.2.3 Porta lógica *NOT* (NÃO)

A função *NOT* é aquela que executa a função lógica da inversão booleana. Sua representação algébrica é:

$$S = \bar{A}$$

Lê-se: S é igual a A barra ou NÃO A

O símbolo utilizado para representar a porta lógica é mostrado na Figura 4.7.

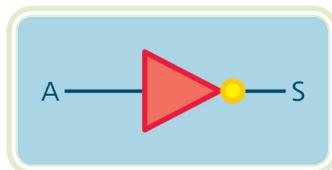


Figura 4.7: Simbologia da porta lógica *NOT*

Fonte: CTISM

Esta porta lógica inverte ou complementa o estado da variável de entrada, ou seja, se a variável estiver em 1, a saída será 0; se estiver em 0, a saída será 1. É, portanto, uma porta com apenas um sinal de entrada e um sinal de saída, o qual assumirá sempre valores lógicos inversos (complementares) ao sinal de entrada.

O circuito elétrico equivalente da porta lógica *NOT* é mostrado na Figura 4.8.

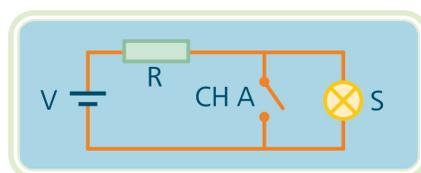


Figura 4.8: Circuito elétrico equivalente da porta *NOT*

Fonte: CTISM

Através da análise da Figura 4.8, conclui-se que a lâmpada acenderá quando a chave estiver aberta e permanecerá apagada quando a chave estiver fechada, uma vez que a corrente da lâmpada será desviada e irá circular através da chave. A Figura 4.9 mostra a tabela-verdade da porta lógica *NOT*.

Tabela-verdade da porta <i>NOT</i>	
A	S
0	1
1	0

Figura 4.9: Tabela-verdade da porta *NOT*

Fonte: CTISM

4.2.4 Portas lógicas *NAND*, *NOR*, *XOR* e *XNOR*

As portas lógicas *NAND* (NÃO E), *NOR* (NÃO OU), *XOR* (OU EXCLUSIVO) e *XNOR* (NÃO OU EXCLUSIVO) executam funções derivadas das portas lógicas básicas. A Figura 4.10 apresenta o símbolo, a expressão lógica e a tabela-verdade das portas lógicas derivadas, com duas entradas.

Portas lógicas derivadas																		
Porta lógica	Símbolo	Expressão	Tabela-verdade															
NAND NÃO E		$S = \overline{A \cdot B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	S																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
NOR NÃO OU		$S = \overline{A + B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	S																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
XOR OU EXCLUSIVO		$S = A \oplus B$ $S = \overline{A}B + A\overline{B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	S																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
XNOR NÃO OU EXCLUSIVO		$S = A \odot B$ $S = \overline{A \cdot B} + A \cdot B$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	S																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																



Figura 4.10: Portas lógicas derivadas

Fonte: CTISM

Teste o funcionamento das portas lógicas estudadas através de simulações em: <http://www.neuroproductions.be/logic-lab/>.

É possível montar circuitos com portas lógicas e elementos de entrada e saída, bem como simular circuitos de exemplos prontos.

A porta lógica *NAND* terá saída igual a 1 quando qualquer uma das entradas for igual a 0. A porta lógica *NOR* terá saída igual a 1 somente quando todas as entradas forem iguais a 0. A porta lógica *XOR* terá saída igual a 1 quando houver número ímpar de entradas iguais a 1. A porta lógica *XNOR* terá saída igual a 1 quando houver número par de entradas iguais a 1, ou quando todas as entradas forem iguais a 0. Nas demais situações, as saídas destas portas lógicas serão iguais a 0.

4.3 Álgebra booleana

Conforme mencionado anteriormente, em 1854, o matemático inglês George Boole apresentou um sistema matemático de análise lógica conhecido como álgebra de Boole. A principal diferença existente entre a álgebra booleana e a álgebra linear é que as constantes e variáveis booleanas podem assumir somente dois valores, 0 ou 1. Esses valores podem representar duas condições distintas, como “verdadeiro” ou “falso”, “aberto” ou “fechado”, “alto” ou “baixo”, entre outras. Pela lógica convencional, utilizam-se o valor 0 para indicar a condição falsa e 1 para indicar a condição verdadeira.

Com base nos valores que as variáveis booleanas assumem, três operações básicas podem ser executadas (Figura 4.11).

SOMA BOOLEANA: operador OR (OU) “+”
 PRODUTO BOOLEANO: operador AND (E) “.”
 INVERSÃO BOOLEANA: operador NOT (NÃO) “-”

Figura 4.11: Operações básicas

Fonte: CTISM

A álgebra de Boole possui leis, propriedades e teoremas que a definem, a exemplo de qualquer teoria matemática. O conhecimento dessas definições é importante para o entendimento dos princípios da eletrônica digital, o que permitirá desenvolver projetos próprios, determinar equivalência de circuitos e realizar simplificações.

4.3.1 Propriedades ou leis da álgebra de Boole

A Figura 4.12 apresenta as principais propriedades algébricas, importantes nas simplificações de expressões e, conseqüentemente, de circuitos lógicos.

Propriedades da álgebra de Boole	
Propriedade	Definição
Propriedade comutativa	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$
Propriedade associativa	$A + (B + C) = (A + B) + C = A + B + C$ $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C = A \cdot B \cdot C$
Propriedade distributiva	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$

Figura 4.12: Propriedades da álgebra de Boole

Fonte: CTISM

4.3.2 Teoremas da álgebra de Boole

Os teoremas da álgebra de Boole são definidos para uma variável booleana qualquer, ou seja, seu valor pode ser “0” ou “1”. Esses teoremas, mostrados na Figura 4.13, são divididos em três grupos de acordo com as funções lógicas básicas.

Teoremas da álgebra de Boole	
Teoremas	Definição
Teoremas da adição lógica	$A + 0 = A$ $A + 1 = 1$ $A + \bar{A} = 1$ $A + A = A$
Teoremas do produto lógico	$A \cdot 0 = 0$ $A \cdot 1 = A$ $A \cdot \bar{A} = 0$ $A \cdot A = A$
Teorema do complemento ou da inversão lógica	$A = 0 \rightarrow \bar{A} = 1$ $\bar{A} = 0 \rightarrow A = 1$ $\overline{\bar{A}} = A$

Figura 4.13: Teoremas da álgebra de Boole

Fonte: CTISM

Além desses, há também os dois teoremas de De Morgan, os quais são muito importantes quando se necessita simplificar um circuito lógico ou eliminar o complemento de uma função lógica.

O primeiro teorema de De Morgan define que o complemento de uma função lógica representada por um produto lógico de qualquer número de variáveis pode ser transformado em uma soma lógica, complementando-se cada variável individualmente e substituindo-se o operador “.” pelo operador “+”.

$$\overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B}$$

O segundo teorema de De Morgan define que o complemento de uma função lógica representada por uma soma lógica de qualquer número de variáveis pode ser transformado em um produto lógico, complementando-se cada variável individualmente e substituindo-se o operador “+” por “.”.

$$\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

4.3.3 Expressões ou funções lógicas

Uma expressão lógica ou booleana é uma função formada por variáveis binárias (podem assumir os valores 0 ou 1), por operadores lógicos (*AND*, *OR* e *NOT*), e por um sinal de igualdade. Uma expressão booleana pode ter como resultado somente os valores 0 ou 1. Da mesma forma que na álgebra tradicional, operações de multiplicação devem ser realizadas antes de operações de soma. Além disso, parênteses, colchetes e chaves podem ser utilizados nas expressões booleanas para indicar prioridades. Dois exemplos de expressões lógicas são mostrados a seguir:

$$S = A + B \cdot \bar{C}$$

$$S = [(A + \bar{B}) \cdot (\bar{B} + C) + C] \cdot D$$

As expressões lógicas também podem ser representadas através de circuitos lógicos. O procedimento consiste em identificar as portas lógicas na expressão e desenhá-las com as respectivas ligações, a partir das variáveis de entrada. Indicadores de prioridades, como os parênteses, devem ser respeitados quando presentes. Veja, por exemplo, a expressão booleana a seguir:

$$S = (A + B) \cdot (\bar{B} + C)$$

A soma booleana $A + B$, do primeiro parênteses, é representada por uma porta lógica *OR*, conforme Figura 4.14(a). A soma booleana $\bar{B} + C$, do segundo parênteses, é representada por uma porta lógica *OR*, sendo que a variável B deve ser primeiramente negada através de uma porta lógica *NOT*, conforme Figura 4.14(b). A multiplicação booleana dos dois parênteses é representada na Figura 4.14(c) através de uma porta lógica *AND*, cujas entradas são as saídas $S1$ e $S2$ dos parênteses.

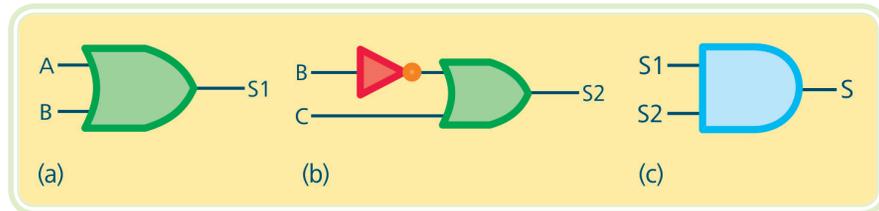


Figura 4.14: Operações lógicas: primeiro parênteses (a), segundo parênteses (b) e multiplicação (c)

Fonte: CTISM

Por fim, o circuito lógico obtido unindo as portas lógicas é mostrado na Figura 4.15.

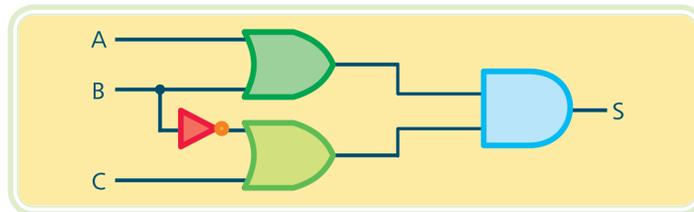


Figura 4.15: Circuito lógico que representa a expressão lógica

Fonte: CTISM

O processo de obtenção de expressões booleanas a partir de circuitos lógicos pode ser realizado através do procedimento inverso. Veja, por exemplo, o circuito lógico da Figura 4.16.

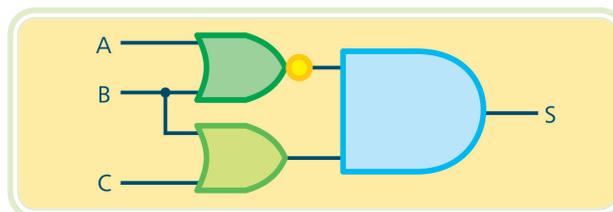


Figura 4.16: Exemplo de circuito lógico

Fonte: CTISM

O procedimento consiste em escrever na saída das diversas portas lógicas do circuito a expressão lógica por elas executada, como mostra a Figura 4.17.

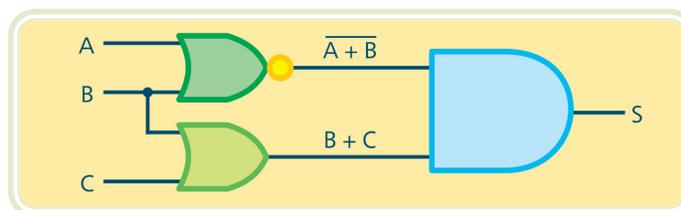


Figura 4.17: Circuito lógico com as expressões lógicas de saída

Fonte: CTISM

Por fim, a partir do circuito da Figura 4.17, pode-se obter a seguinte expressão:

$$S = \overline{(A + B)} \cdot (B + C)$$

4.3.4 Diagrama temporal

O diagrama temporal é um gráfico que permite analisar a saída de um circuito lógico ou expressão lógica. O diagrama é importante para analisar o comportamento de circuitos nos quais as entradas podem variar ao longo do tempo.

Veja o exemplo:

$$S = A \cdot (B + C)$$

A saída do circuito terá nível lógico alto quando a entrada A estiver acionada (nível lógico alto) e, ao mesmo tempo, pelo menos uma das entradas B e C estiver acionada. A expressão também pode ser representada pelo circuito lógico da Figura 4.18. Um diagrama temporal deste exemplo é mostrado na Figura 4.19.

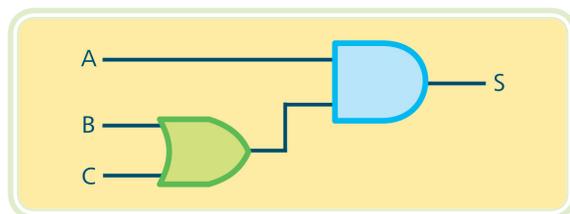


Figura 4.18: Exemplo de circuito lógico

Fonte: CTISM

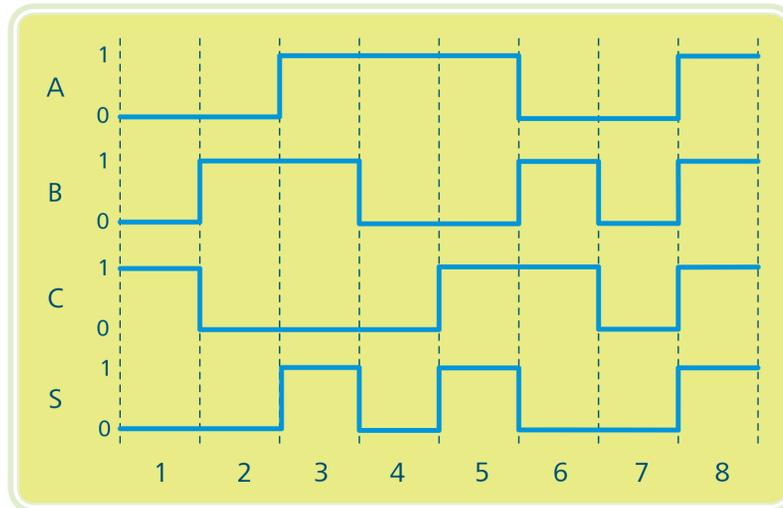


Figura 4.19: Diagrama temporal do circuito lógico

Fonte: CTISM

Através do diagrama temporal, observa-se que a saída assume nível lógico alto nos intervalos de tempo 3, 5 e 8. Nesses intervalos, a entrada A sempre está acionada, além de pelo menos uma das entradas B e C.



O circuito mostrado na Figura 4.18, constituído apenas por portas lógicas, é classificado como combinacional, uma vez que a saída depende somente do valor das entradas em cada instante de tempo. Todos os circuitos estudados até o momento nesta aula fazem parte deste grupo. Na seção seguinte, uma introdução aos circuitos sequenciais será apresentada, incluindo exemplo de diagrama temporal e aplicação prática.

4.4 Acionamentos sequenciais

Os circuitos que compõem a eletrônica digital podem ser classificados como: circuitos combinacionais ou circuitos sequenciais.



Os circuitos combinacionais são aqueles cujas saídas dependem apenas dos níveis lógicos das entradas. A mesma combinação de entrada sempre produzirá o mesmo resultado na saída. Os circuitos sequenciais são aqueles cujas saídas dependem dos níveis lógicos das entradas e também de seus estados anteriores, que permanecem armazenados, e operam sob o comando de uma sequência de pulsos denominada *clock*. Portanto, esses circuitos apresentam memória.

4.4.1 Flip-flops

Os *flip-flops* são os circuitos sequenciais mais elementares. São células binárias capazes de armazenar um bit de informação, ou seja, funcionam como um elemento de memória por armazenar níveis lógicos temporariamente. Também são chamados de biestáveis, pois possuem duas saídas estáveis, geralmente representadas por "0" e "1".

O *flip-flop* pode ser representado como um bloco que possui duas saídas (Q e \bar{Q}), uma entrada de controle (*clock*) e entradas para as variáveis. Este dispositivo possui basicamente dois estados de saída:

$$\begin{aligned} Q = 0 \text{ e } \bar{Q} = 1 \\ Q = 1 \text{ e } \bar{Q} = 0 \end{aligned}$$

Para o *flip-flop* assumir um desses estados, é necessário que haja uma combinação das variáveis e do pulso de controle. Após esse pulso, o *flip-flop* permanecerá nesse estado até a chegada de um novo pulso de *clock* e, de acordo com as variáveis de entrada, mudará ou não seus estados de saída.



Há quatro tipos básicos de *flip-flops*: SR, JK, T e D. Será estudado o *flip-flop* JK por ser o tipo universal, a partir do qual os demais podem ser facilmente obtidos.

A Figura 4.20 mostra o *flip-flop* JK que é disparado pela transição positiva do sinal de *clock*, juntamente de sua tabela característica (tabela-verdade). As entradas J e K controlam o estado do *flip-flop*, o qual pode desempenhar 4 funções: armazenar a saída atual, impor nível alto na saída ($Q = 1$), impor nível baixo na saída ($Q = 0$) e inverter a saída atual. Também há *flip-flops* disparados pela transição negativa do *clock*.

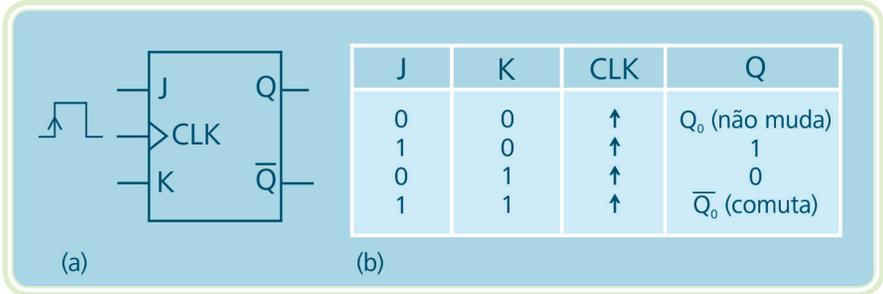


Figura 4.20: *Flip-flop* JK: simbologia (a) e tabela-verdade (b)
Fonte: CTISM

Na tabela-verdade do *flip-flop*, Q refere-se ao estado atual da saída e Q_0 refere-se ao estado anterior da saída Q (antes do pulso de *clock*). Com $J = 0$ e $K = 0$, ambas as saídas permanecem com o estado anterior (Q_0), isto é, o valor anterior da saída permanece memorizado. Com $J = 0$ e $K = 1$, independente do estado anterior, a saída Q assume 0 e seu complemento assume 1. Com $J = 1$ e $K = 0$, a saída Q assume 1 e seu complemento assume 0. Com $J = 1$ e $K = 1$, ambas as saídas têm o valor anterior complementado.

O funcionamento do *flip-flop* JK é ilustrado através de formas de onda no diagrama temporal da Figura 4.21 e explicado na sequência.

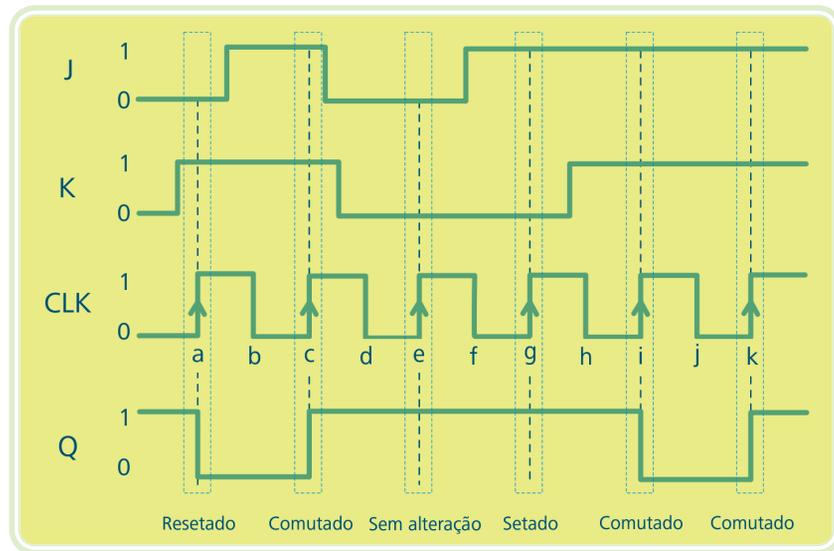


Figura 4.21: Diagrama temporal do circuito sequencial

Fonte: CTISM

- a) Inicialmente, todas as entradas estão em 0 e considera-se que a saída Q está em 1, isto é $Q_0 = 1$.
- b) Quando a transição positiva do primeiro pulso de *clock* ocorre (ponto a), tem-se a seguinte condição de entrada: $J = 0$ e $K = 1$. Logo, o *flip-flop* é resetado e vai para o estado $Q = 0$.
- c) No ponto c, $J = K = 1$. Logo, o *flip-flop* comuta para seu estado oposto, $Q = 1$.
- d) No ponto e, $J = K = 0$. Logo, o *flip-flop* não muda de estado durante esta transição.
- e) No ponto g, $J = 1$ e $K = 0$. Logo, o *flip-flop* é setado e vai para o estado $Q = 1$. Como Q já é igual a 1, o *flip-flop* permanece neste estado.

- f) No ponto i, $J = K = 1$. Logo, o *flip-flop* comuta para seu estado oposto. A mesma situação ocorre no ponto k.

Observa-se que no diagrama temporal deste circuito sequencial a saída depende das entradas atuais, dos estados anteriores da saída e do sinal de *clock*, ao contrário do diagrama temporal da Figura 4.19, correspondente ao circuito combinacional da Figura 4.18, no qual a saída depende apenas das entradas em um instante de tempo qualquer.

4.4.2 Aplicação

Uma das aplicações dos circuitos sequenciais consiste na obtenção de circuitos contadores, os quais podem ser usados, por exemplo, na contagem de tempo (temporizador) ou contagem de eventos (como peças transportadas em esteiras).

A Figura 4.22 ilustra um circuito contador assíncrono crescente que executa contagem de 0 a 7, o qual é constituído de 3 *flip-flops* do tipo JK. As entradas J e K são acionadas com nível lógico alto. A contagem é efetuada no sistema binário, empregando 3 dígitos de saída (Q_1 , Q_2 e Q_3) para a representação dos números.

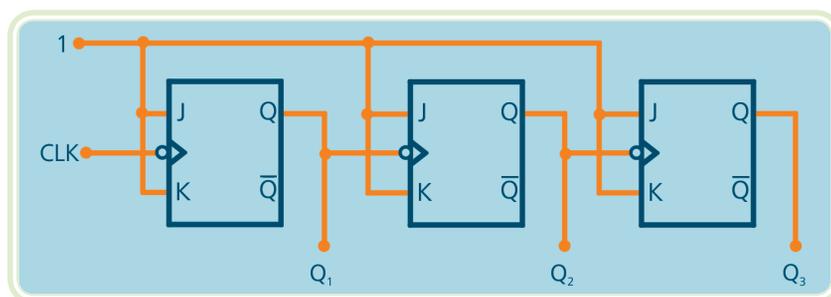


Figura 4.22: Circuito contador assíncrono crescente

Fonte: CTISM

Resumo

Esta aula apresentou conceitos e aplicações da eletrônica digital. Inicialmente, as 3 portas lógicas básicas (*AND*, *OR*, *NOT*) e as 4 portas lógicas derivadas foram estudadas, incluindo operação, simbologia e tabela-verdade. Na sequência, propriedades, teoremas e expressões da álgebra booleana, as quais são utilizadas para obtenção de circuitos equivalentes, simplificação e projeto de circuitos digitais, foram apresentadas. Por fim, conceitos iniciais de circuitos eletrônicos sequenciais, incluindo *flip-flops* (elementos básicos de memória), diagramas temporais e aplicações foram estudados.



Atividades de aprendizagem

1. Quais são as 3 portas lógicas básicas e quais as suas tabelas-verdade?
2. Como funcionam as portas lógicas *NAND* e *XOR*?
3. Quais são os teoremas do produto lógico?
4. Diga em que situações os teoremas de De Morgan são úteis.
5. Desenhar circuito lógico obtido a partir da expressão:

$$S = (A + \bar{B}) + (B \cdot \bar{C})$$

6. Obter a expressão lógica e completar o diagrama temporal para o circuito lógico da Figura 4.23. Observe que a saída do circuito terá nível lógico alto quando as entradas A e B estiverem ativadas ao mesmo tempo ou quando a entrada C estiver desativada.

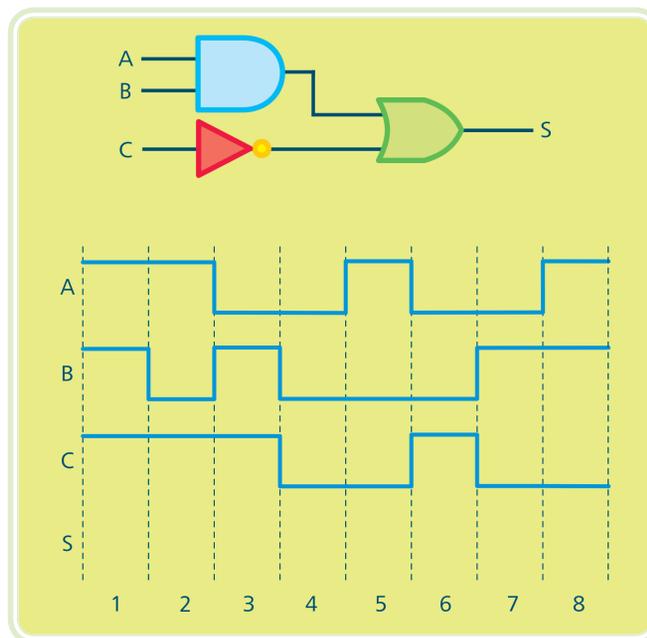


Figura 4.23: Exercício 6 – Circuito lógico e diagrama temporal

Fonte: CTISM

7. Qual a diferença entre os circuitos combinacionais e sequenciais?
8. O que são *flip-flops*?

9. Completar o diagrama temporal do *flip-flop* JK na Figura 4.24, sabendo que a saída Q inicia em nível lógico baixo.

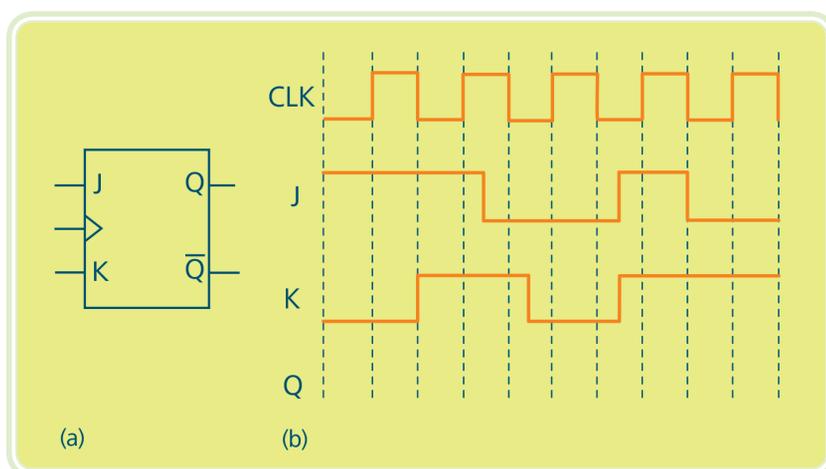


Figura 4.24: Exercício 9 – Diagrama temporal

Fonte: CTISM

10. Represente o diagrama temporal referente ao circuito da Figura 4.22, contendo uma sequência de 8 pulsos de *clock* e o estado de cada saída (Q_1 , Q_2 e Q_3).

Aula 5 – Controlador lógico programável

Objetivos

Conhecer o controlador lógico programável, incluindo *hardware*, *software*, operação e aplicações.

Compreender particularidades de diferentes linguagens de programação.

Utilizar elementos e funções da linguagem ladder para programação de CLP.

5.1 Considerações iniciais

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um equipamento eletrônico digital, com *hardware* e *software* compatível com as aplicações industriais. Ele pode ser programado através de uma linguagem de programação de maneira a executar funções aritméticas, lógicas, de temporização, de contagem, entre outras. Possui entradas para aquisição de dados e saídas para acionar diversos tipos de dispositivos ou processos.

Antes do surgimento dos CLPs, painéis compostos de relés eletromagnéticos eram utilizados para a realização de tarefas de comando e controle de processos industriais. Como cada painel era projetado para uma aplicação específica, eventuais modificações no processo devido a diversos motivos resultavam na necessidade de alterações estruturais, as quais muitas vezes eram complexas e seriam mais onerosas e demoradas do que projetar um novo circuito na totalidade.

O CLP revolucionou os comandos e controles industriais desde seu surgimento na década de 70. Sua grande vantagem é a possibilidade de reprogramação, permitindo transferir as modificações de *hardware* em modificações de *software*.

Outras vantagens dos CLPs em relação aos painéis com relés são:

- Utilização de menos espaço.

- Menor consumo de energia.
- Maior confiabilidade e flexibilidade.
- Reutilização para outros processos.
- Maior rapidez na elaboração dos projetos.
- Capacidade de comunicação com outros dispositivos.

5.2 Aspectos gerais do CLP

A Figura 5.1(a) mostra um CLP comercial de pequeno porte, enquanto que a Figura 5.1(b) mostra um CLP comercial com módulos de expansão anexados e recursos avançados.

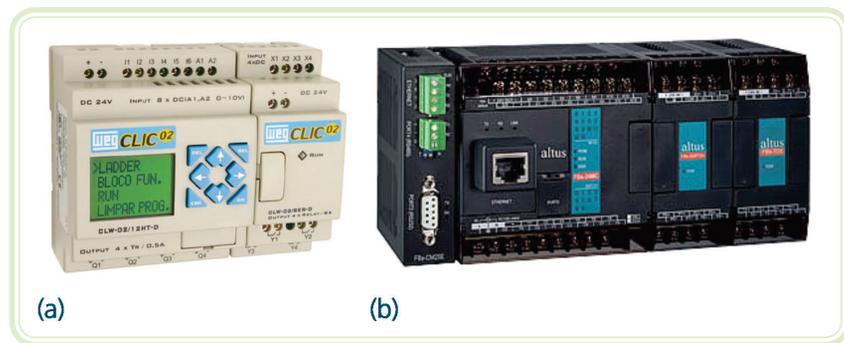


Figura 5.1: CLP comercial: pequeno porte (a) e com módulos de expansão (b)

Fonte: (a) <http://www.ergmotoreselétricos.com.br/img/clp-linha-clic02.jpg>
 (b) <http://docplayer.com.br/docs-images/30/14323916/images/1-0.jpg>

A maneira como o CLP atua no sistema está simbolizada na Figura 5.2. Os transdutores são dispositivos que fazem a leitura das variáveis do processo e enviam sinais elétricos para as entradas do CLP. O CLP, em função do programa gravado em sua memória pelo usuário, atua no sistema por meio de suas saídas. As variáveis de saída do sistema executam, a cada instante, acionamento de válvulas, motores, indicações luminosas, entre outros, interagindo com o processo a fim de controlá-lo.

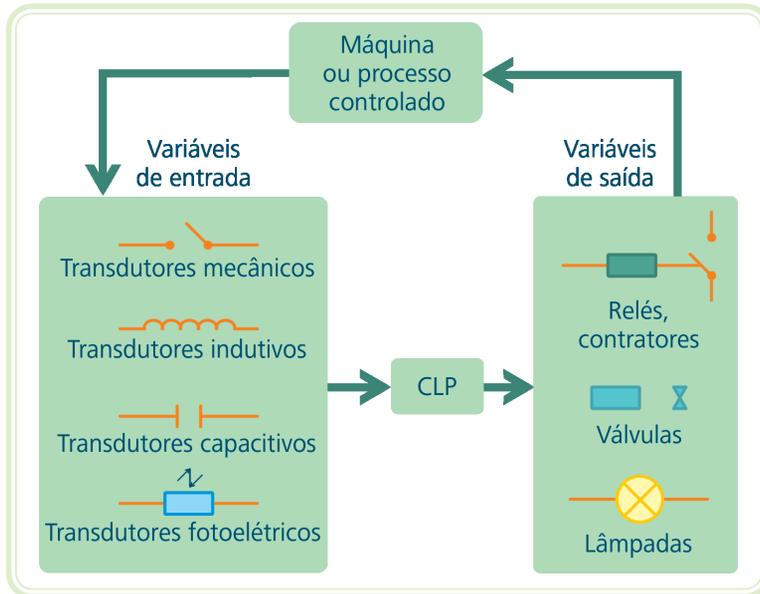


Figura 5.2: Atuação do CLP no controle de processos

Fonte: CTISM

O controle e o processamento das informações de entrada e saída do CLP são realizados de maneira sequencial, através de ciclos de varredura, como mostra a Figura 5.3 e conforme descrito a seguir.



Figura 5.3: Ciclo de varredura de um CLP

Fonte: CTISM

- Ao ser ligado o CLP, é verificado o funcionamento da CPU (Unidade Central de Processamento), memórias, circuitos auxiliares e existência de programa, além de todas as saídas serem desativadas.
- O CLP faz a leitura do estado das entradas e armazena as informações das saídas.
- Na sequência, o CLP executa todas as operações que estão programadas no *software* aplicativo, como funções lógicas, habilitação de temporizadores e contadores, intertravamentos, armazenagem de dados, entre outros.

- Por fim, após atualizar a memória imagem das saídas, o CLP atualiza as interfaces ou módulos de saída, iniciando então um novo ciclo de varredura.

5.3 O hardware do CLP

A Figura 5.4 mostra a representação da estrutura interna de um CLP, sendo possível observar os blocos que o compõem. Também são mostradas as conexões com a rede elétrica, o terminal de programação e os módulos de entradas e saídas.

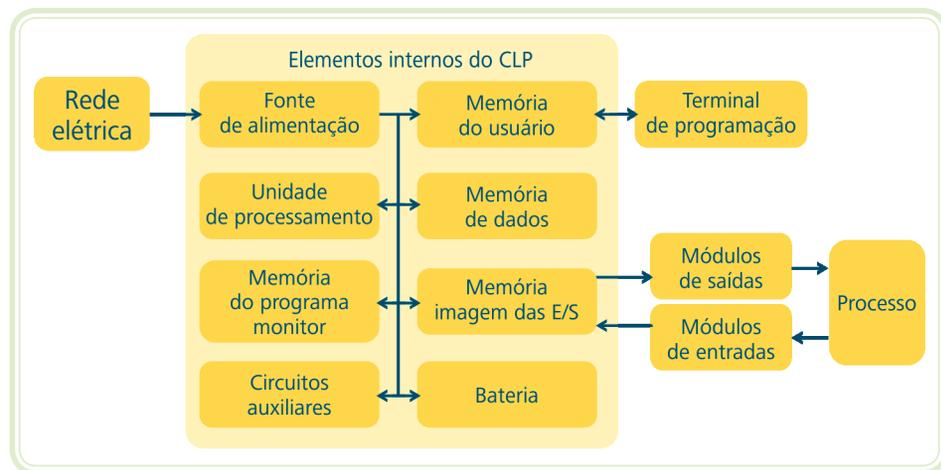


Figura 5.4: Estrutura interna de um CLP

Fonte: CTISM

As funções desempenhadas pelos elementos internos do CLP são descritas na sequência:

- **Fonte de alimentação** – tem por finalidade converter a tensão de alimentação (110 a 220 Vca) para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos (5 a 12 Vcc), bem como manter a carga da bateria e fornecer tensão para alimentação das entradas e saídas (12 ou 24 Vcc).
- **Bateria** – tem por finalidade manter a alimentação do circuito do relógio de tempo real e manter parâmetros ou programas (quando utilizar memória do tipo RAM), mesmo em falta de energia elétrica.
- **Unidade de processamento** – a CPU é responsável pelo funcionamento lógico de todos os circuitos. Realiza operações lógicas, aritméticas, temporização, controle, etc.
- **Memória do programa monitor** – o programa monitor é responsável pelo funcionamento geral do CLP, gerenciando todas as atividades do CLP.

Este programa não pode ser alterado pelo usuário e funciona de forma semelhante ao sistema operacional dos computadores.

- **Memória do usuário** – nesta memória, é armazenado o programa desenvolvido pelo usuário, o qual pode ser alterado, tornando flexível a programação. Este programa geralmente é armazenado em memórias do tipo RAM, EPROM, EEPROM E FLASH-EPROM.
- **Memória de dados** – tem por finalidade armazenar os dados do programa do usuário, tais como valores de temporizadores, contadores, senhas, etc.
- **Memória imagem das entradas e saídas** – esta memória armazena informações dos estados das entradas e saídas do CLP, funcionando como uma tabela onde a CPU buscará informações durante o processamento do programa de usuário.
- **Circuitos auxiliares** – são circuitos responsáveis pela proteção de falhas na operação do CLP, como evitar o acionamento indevido das saídas quando da energização do CLP.

O CLP pode possuir entradas digitais e analógicas. Para as entradas digitais, as quais reconhecem somente dois níveis discretos, nível alto e nível baixo, são utilizados sensores digitais, como os sensores de proximidade indutivos, capacitivos, magnéticos e ópticos. Os valores de tensão mais utilizados em entradas digitais são 24 Vcc e 110 a 220 Vca. Para as entradas analógicas, as quais reconhecem variáveis contínuas, são utilizados sensores analógicos, como os sensores ultrassônicos, potenciométricos e termopares. Os sinais elétricos recebidos podem ser de tensão ou corrente, cuja faixa de valores mais utilizada é, respectivamente, 0 a 10 Vcc e 4 a 20 mA.

Com relação às saídas, o CLP pode possuir saídas digitais e analógicas. As saídas digitais são as mais utilizadas em CLPs e cada uma pode assumir somente duas situações, acionada e desacionada. A comutação das saídas digitais pode ser a relé (em geral podem operar com maiores níveis de corrente, porém em menor frequência) ou a transistor (em geral operam com menores níveis de corrente, porém em maior frequência). As saídas analógicas dos CLPs fornecem aos atuadores nelas conectadas sinais elétricos variáveis (contínuos), não apenas energizando os equipamentos, mas principalmente definindo a intensidade de sua atuação no processo. Os sinais elétricos podem ser de tensão ou corrente. Essas saídas são geralmente utilizadas em processos que exigem um controle mais preciso.



Exemplos de dispositivos acionados pelas saídas digitais são contadores, lâmpadas de sinalização, válvulas eletro-hidráulicas ou eletropneumáticas. Exemplos de dispositivos acionados pelas saídas analógicas são os inversores de frequência, equipamentos destinados ao controle da velocidade de rotação de motores de indução, de acordo com o sinal recebido do CLP.

Diversos modelos de CLP permitem o acoplamento de módulos de expansão adicionais ao dispositivo. Exemplos de módulos comumente utilizados são: entradas analógicas e/ou digitais, saídas analógicas e/ou digitais, e protocolos de comunicação com outros dispositivos.

5.4 Programação

Para que o *hardware* possa executar a função desejada, o CLP necessita de um programa (*software*) que informe a sequência de tarefas a serem realizadas. Este programa deve ser gravado na memória do CLP, procedimento realizado através da conexão com um computador ou através do próprio CLP, em determinados modelos.

O programa pode ser expresso através de diferentes linguagens de programação, as quais permitem ao programador manifestar as relações entre as entradas e saídas do CLP por meio de comandos, blocos, símbolos ou figuras.

Na atual geração de CLP, são empregadas linguagens de alto nível, as quais possuem uma série de instruções de programação predefinidas. Isto aproxima as linguagens de alto nível da linguagem humana, facilitando o trabalho do programador. As chamadas linguagens de programação de baixo nível ou linguagens de máquina exigem maior habilidade do programador, o qual necessita de boa compreensão do *hardware* do equipamento, porém demandam um menor tempo de processamento.

A seguir são apresentados detalhes e exemplos de três linguagens de programação comumente utilizadas em CLPs: lista de instruções, diagrama de blocos e diagrama de contatos (ladder).

a) Lista de instruções – esta é uma linguagem de programação do tipo textual e não utiliza símbolos gráficos. É muito potente, mas não se tem a visão rápida do funcionamento do programa e requer muito tempo do programador para a pesquisa de falhas no programa. É praticamente a linguagem de máquina, ou seja, usa diretamente as instruções do microcomputador.

A Figura 5.5 mostra um exemplo da linguagem escrita na forma de mne-
mônicos booleanos, contendo linhas de instruções alfanuméricas.

.....		
0001	STR	I0
0002	OR	I1
0003	AND	I2
0004	ANDN	I3
0005	OUT	Q1
.....		
.....		

Figura 5.5: Exemplo da linguagem por lista de instruções

Fonte: CTISM

b) Diagrama de blocos – esta é uma linguagem composta de uma série de símbolos gráficos clássicos da lógica combinatória. É a mais usada pelos técnicos com experiência em eletrônica digital. A representação gráfica é feita através de portas lógicas. A Figura 5.6 mostra um exemplo da linguagem, o qual desempenha a mesma função do exemplo da Figura 5.5.

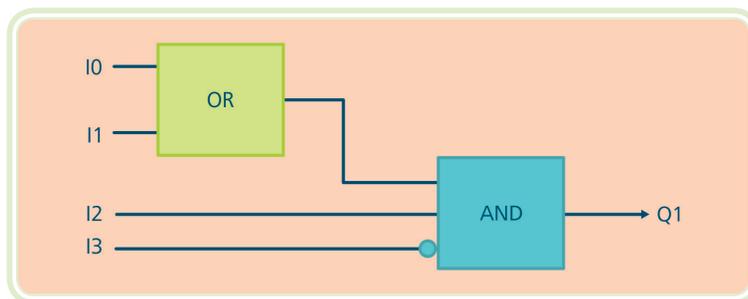


Figura 5.6: Exemplo da linguagem por diagrama de blocos

Fonte: CTISM

c) Diagrama de contatos (ladder) – esta é a linguagem de programação mais utilizada em CLPs, sendo semelhante a um diagrama elétrico. Também é conhecida como diagrama de relés, diagrama escada ou diagrama ladder. A Figura 5.7 mostra um exemplo da linguagem, o qual desempenha a mesma função dos exemplos das Figuras 5.5 e 5.6. Esta linguagem de programação será estudada em detalhes na próxima seção.

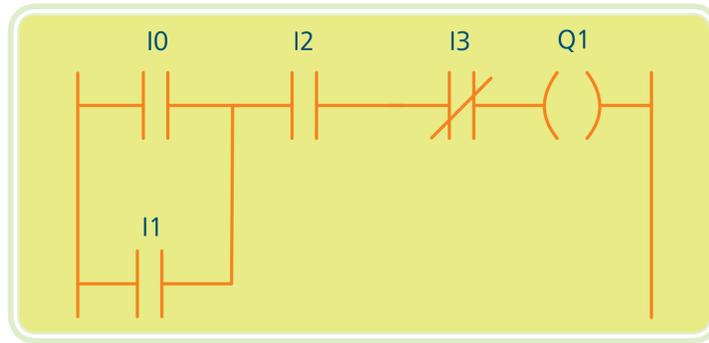


Figura 5.7: Exemplo da linguagem por diagrama de contatos

Fonte: CTISM

No exemplo apresentado, para que a saída Q1 seja acionada, pelo menos uma das entradas I0 e I1 deve estar acionada e, além disso, a entrada I2 deve estar acionada e a entrada I3 deve estar desacionada.

5.4.1 Linguagem de programação por diagrama de contatos: ladder

Os diagramas de contatos são uma forma de programação de CLPs por meio de símbolos gráficos, representando contatos e bobinas. Os diagramas são compostos estruturalmente de duas linhas verticais e de linhas horizontais (escada), sob as quais são colocadas as instruções a serem executadas, como mostra a Figura 5.7. As instruções podem ser contatos, bobinas, temporizadores, contadores, etc.

O programa deve ser construído partindo do pressuposto de que as instruções devem ser “energizadas” a partir de um “caminho de corrente” entre as duas barras, sendo que o fluxo simulado de “corrente elétrica” em uma lógica flui no sentido da barra da esquerda para a barra da direita. A barra da direita pode ser omitida da representação.

Cada uma das linhas horizontais é uma sentença lógica onde os contatos são as entradas das sentenças, as bobinas (localizadas na extremidade direita) são as saídas e a associação dos contatos é a lógica. As ligações são os “fios” de interconexão entre as células da lógica ladder (contatos, bobinas e blocos de funções). Podem-se ter ligações na horizontal e na vertical.

A Figura 5.8 mostra os três principais elementos dos diagramas de contatos, sua simbologia e elemento elétrico equivalente.

Principais elementos dos diagramas de contatos		
Tipo	Símbolo	Elemento elétrico
Contato aberto		
Contato fechado		
Saída (bobina)		

Figura 5.8: Principais elementos dos diagramas de contatos

Fonte: CTISM

A partir destes elementos é possível obter o diagrama ladder equivalente das funções lógicas booleanas estudadas na Aula 4. A Figura 5.9 apresenta a representação das funções ou portas lógicas básicas no diagrama ladder, a partir das quais todas as demais podem ser obtidas.

Representação das funções lógicas básicas no diagrama ladder			
Função	Equação	Símbolo	Diagrama de contatos
NOT NÃO	$Q1 = \bar{I1}$		
AND E	$Q1 = I1 \cdot I2$		
OR OU	$Q1 = I1 + I2$		

Figura 5.9: Representação das funções ou portas lógicas básicas no diagrama ladder

Fonte: CTISM

A Figura 5.10 mostra um exemplo de conexão das entradas e saídas do CLP para implementar a função lógica E. Os interruptores B1 e B2 são conectados nas entradas I1 e I2, respectivamente, e a lâmpada é conectada à saída Q1. A lâmpada será acionada somente quando ambos os interruptores B1 e B2 estiverem acionados, sendo um exemplo de comando bi-manual de segurança. A operação lógica é realizada pelo CLP através do programa gravado no mesmo. O CLP do exemplo possui 8 entradas digitais, 2 entradas analógicas e 4 saídas digitais à relé.



Teste o funcionamento dos elementos básicos dos diagramas ladder através de simulações em: <http://www.marioperez.com.mx/macroplc/simulador/1Q?run>

É possível montar diagramas com contatos e bobinas, bem como simular circuitos de exemplos prontos.

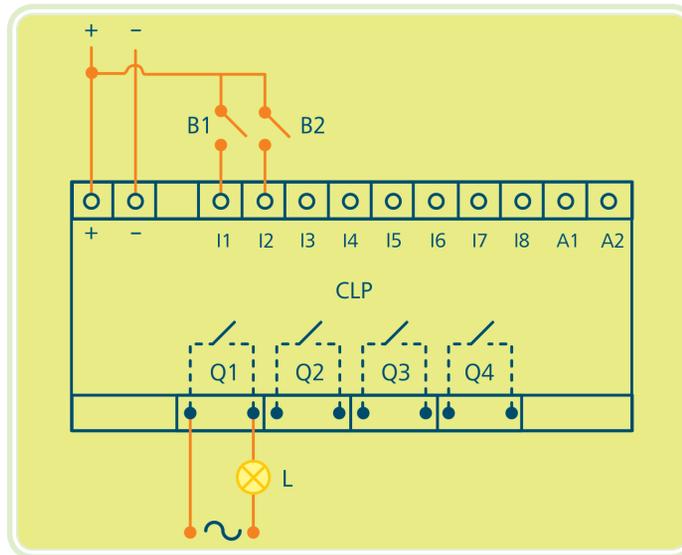


Figura 5.10: Exemplo de implementação da função lógica E em CLP
 Fonte: CTISM

O diagrama de contatos permite facilmente representar circuitos digitais formados por portas lógicas. Por exemplo, a Figura 5.11(a) mostra um circuito digital que executa a função $S = AB + \bar{B}C$, enquanto que a Figura 5.11(b) mostra o diagrama ladder equivalente desta função. A saída é acionada quando as entradas I1 e I2 estão acionadas ao mesmo tempo ou quando, ao mesmo tempo, a entrada I2 está desacionada e a entrada I3 está acionada.

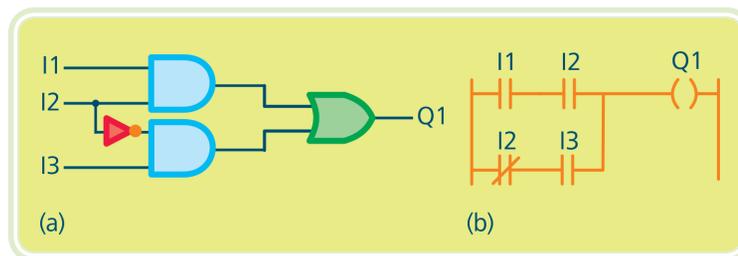


Figura 5.11: Exemplo de função lógica: circuito digital (a) e diagrama ladder (b)
 Fonte: CTISM

Existem diversas funções avançadas para uso nos diagramas de contatos. Algumas destas funções são abordadas a seguir, com suas representações no diagrama de contatos mostradas na Figura 5.12.

- **Função set** – tem por finalidade acionar uma bobina e mantê-la acionada mesmo após cessar o estímulo, por exemplo, mesmo após o botão que a acionou ser solto.
- **Função reset** – tem por finalidade desacionar uma bobina previamente acionada pela função set.

- **Temporizador** – tem por finalidade acionar ou desligar uma memória ou uma saída de acordo com um tempo programado. No temporizador com retardo na energização, por exemplo, uma saída será ligada após decorrido um determinado tempo a partir do acionamento do temporizador. No temporizador com retardo na desenergização, uma saída será desligada após decorrido um determinado tempo a partir do acionamento do temporizador. Essas funções são utilizadas, por exemplo, em chaves de partida de motores de indução, como a partida estrela-triângulo.
- **Contador** – tem por finalidade ativar uma memória ou uma saída após uma determinada contagem de eventos. Um contador crescente pode, por exemplo, acionar uma saída após um botão ou um sensor ter sido acionado um determinado número de vezes previamente programado.

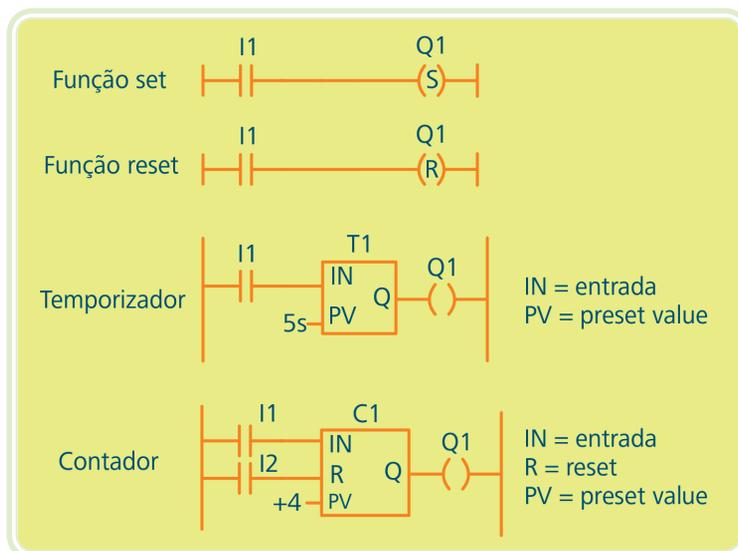


Figura 5.12: Representação de funções avançadas

Fonte: CTISM

A Figura 5.13 mostra um exemplo de diagrama de contatos para o acionamento de dois motores nas saídas Q1 e Q2, sendo que o segundo motor deve ser acionado 5 segundos após o acionamento do primeiro. O contato I1 representa um botão NA pulsante para ligar os motores. O contato I2 representa um botão NF utilizado para desligar o sistema. A saída Q1, ao ser acionada, aciona dois contatos NA. O contato de Q1 em paralelo com o contato I1 tem a função de selo, ou seja, manter a saída Q1 acionada após o botão pulsante I1 ser solto. O outro contato de Q1 aciona o temporizador que inicia a contagem de tempo. Depois de decorridos 5 s, o temporizador aciona a saída Q2, ligando o segundo motor. Quando o botão I2 é pressionado, a alimentação de Q1 é interrompida, desligando ambos os contatos de Q1 e também a saída Q2, além de zerar o temporizador.

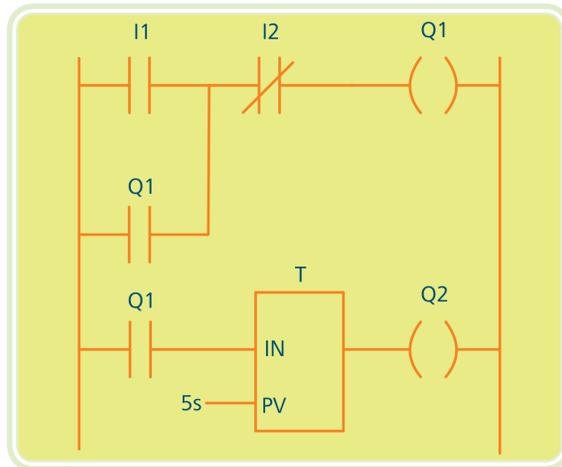


Figura 5.13: Exemplo de acionamento sequencial temporizado de dois motores

Fonte: CTISM

Resumo

Esta aula abordou o Controlador Lógico Programável (CLP), o qual é um equipamento eletrônico digital muito utilizado em aplicações de automação industrial devido à elevada confiabilidade, flexibilidade e rapidez na elaboração dos projetos, entre outros. A estrutura (*hardware*) do CLP, função dos elementos internos e algoritmo do ciclo de varredura foram estudados. Com relação ao programa (*software*) que informa a sequência de tarefas a serem realizadas, três linguagens de programação foram analisadas (lista de instruções, diagrama de blocos e diagrama de contatos). Por fim, a estrutura, funções básicas e funções avançadas da linguagem de programação ladder, mais utilizada em CLPs, foram estudadas.



Atividades de aprendizagem

1. O que é um controlador lógico programável?
2. Explique o funcionamento do ciclo de varredura de um CLP.
3. Qual a função da unidade de processamento do CLP?
4. Qual a diferença entre memória do usuário e memória de dados?
5. Qual a diferença entre entradas analógicas e digitais?
6. Explique a função do *software* no CLP.

7. Qual a diferença entre as linguagens de lista de instruções e diagrama de blocos?
8. Como a linguagem ladder (diagrama de contatos) é estruturada?
9. Obtenha o diagrama ladder que executa a expressão lógica

$$S = (A + \overline{B}) \cdot C$$

10. Obtenha o diagrama ladder de um circuito que acione a saída quando dois botões de entrada forem pressionados juntamente durante um tempo igual ou superior a 4 s. Caso contrário, a saída deve permanecer desligada.

Aula 6 – Projeto de automação

Objetivos

Conhecer as etapas de um projeto de automação.

Compreender elementos importantes na documentação de projetos.

6.1 Considerações iniciais

O sucesso de um sistema ou projeto de automação está fortemente vinculado à elaboração de uma metodologia de desenvolvimento de todo o projeto. O planejamento deve ser o mais completo e detalhado possível, sem perder de vista que o objetivo final é a obtenção de um resultado concreto que traga benefícios a todos os envolvidos no processo.

Para garantir os melhores resultados possíveis, tanto em curto quanto em longo prazo, um projeto de automação industrial deve:

- **Ser desenvolvido sistematicamente** – deve seguir um padrão lógico que permita o seu desenvolvimento passo a passo.
- **Ser bem estruturado** – deve ter uma organização que permita compreender o projeto facilmente.
- **Dispor de documentação detalhada** – todos os passos e informações necessárias para a montagem e manutenção dos sistemas devem ser relatados.

Difícilmente um projeto será plenamente eficiente se dirigido pela improvisação e pela falta de sistematização. O tempo e a energia gastos em um planejamento bem elaborado são compensados por uma série de vantagens resultantes, como:

- Estruturação e ordenação das ações a serem tomadas.
- Redução da necessidade de ajustes e correções.

- Não ocorrência de duplicação de recursos e esforços.
- Facilidade no controle efetivo das ações e sua avaliação.

Os resultados do esforço do planejamento talvez não sejam imediatos, mas a prática tem comprovado que são de longo alcance.

6.2 Etapas de um projeto

Na área de automação industrial, pode-se caracterizar e dividir um projeto nas etapas: escopo, especificação, desenvolvimento, testes integrados e implantação. Estas etapas são detalhadas na sequência, indicando as atividades que as compõem. Em cada uma destas etapas, são utilizados métodos e ferramentas que variam conforme o tipo de projeto que está sendo desenvolvido. Será utilizado como exemplo um projeto de automação com controle por CLP.

6.2.1 Etapa 1 – escopo

O escopo tem como objetivo a elaboração de proposta e de documento básico para a avaliação técnica e comercial da automação planejada, caso o projeto tenha caráter comercial.

Dentre as atividades, destacam-se:

- Identificação dos objetivos do cliente ou de seus participantes.
- Estudos preliminares compostos por levantamento completo das informações no campo e das informações já documentadas (inclusive com validação destas).
- Análise das possíveis topologias a serem aplicadas para as redes, interfaces e controladores programáveis.
- Estudos de viabilidade técnico-econômica com estimativas de investimento e análise da taxa interna de retorno do investimento.
- Elaboração da proposta técnica e comercial.

6.2.2 Etapa 2 – especificação

Esta etapa consiste no projeto conceitual básico, resultando em especificação funcional do sistema, critérios de projeto, distribuição planejada das equipes

e das atividades a serem executadas, especificação completa da configuração do sistema e lista de equipamentos, materiais e *softwares* a serem adquiridos.

Dentre as atividades, destacam-se:

- Levantamento de dados do processo objeto da automação.
- Detalhamento das variáveis de entrada e saída dos controladores programáveis e da planta (lista de **I/O**).
- Definição do sistema supervisor, das telas a serem desenvolvidas nas Interfaces Homem-Máquina (IHMs).
- Confeção do documento com definição completa da especificação técnica da automação.

A-Z

I/O

É a sigla em inglês de *input/output* (entrada/saída). É um termo muito utilizado em projetos de automação.

6.2.3 Etapa 3 – desenvolvimento

O desenvolvimento tem como objetivo o projeto completo da automação até o programa computacional e a sua simulação, passando pelo desenvolvimento do sistema supervisor e a configuração da rede de automação.

Dentre as atividades, destacam-se:

- Programação do CLP, a qual pode ser executada a partir de diagramas lógicos ou descritivo funcional. Deve-se programar a lógica de controle desejada, efetuando leitura dos dados de entrada e comandando as saídas previstas no projeto. A inserção de comentários explicativos nas instruções ou linhas de comando é recomendada.
- Elaboração dos sistemas supervisórios e telas sinóticas, que consiste no detalhamento gráfico do processo. É realizado o desenho de fluxograma de processo e são inseridos detalhes de equipamentos. Além disso, são criadas as atualizações dinâmicas como, por exemplo, exibição do estado de operação do equipamento, exibição dos valores das variáveis, efeitos especiais (movimento, rotação, carregamento de equipamentos, etc.).

6.2.4 Etapa 4 – testes integrados

Esta etapa consiste na realização de um conjunto de simulações e verificações para análise da operacionalidade dos programas dos controladores e interfaces, na fase de finalização do projeto de automação. As entradas são forçadas e

todas as linhas do programa são observadas como sequência dessas imposições. Também são realizados ensaios com dispositivos de sensoriamento e de automação conectados, mas sem o processo industrial presente.

6.2.5 Etapa 5 – implantação

Nesta etapa, a implementação física da automação na planta é realizada. Caso o sistema seja complexo, recomenda-se que a instalação seja realizada por etapas.

Do *hardware* da automação devem ser medidos e aprovados os parâmetros e o funcionamento de sensores, atuadores (solenoides, válvulas, contatores, servomotores, etc.), alarmes e sinalizadores, controladores programáveis e suas expansões, IHMs, redes de automação, fiações, conexões elétricas e dispositivos de proteção.

Do *software* da automação devem ser avaliadas e aprovadas as condições de operação normal (ciclo completo do processo em todas as suas possibilidades de atuação) e contingencial (possibilidades de operação anormal por causa de interrupção do fornecimento de energia, defeito de equipamentos ou mau uso da planta).

Em projetos comerciais também devem ser realizados os processos de treinamento operacional, configuração do sistema, operação assistida e aceite final.

6.3 Documentação

A documentação é uma parte essencial de um projeto e consiste de um requisito necessário para que um sistema de automação possa ser conservado e ampliado. A documentação compõe-se de referências sobre cada fase do projeto, procedimentos para utilização do programa na supervisão, controle e operação da planta e, quando necessário, descrições sobre este programa. Deve estar disponível tanto em papel quanto em arquivo eletrônico e é constituída de:

- Memorial descritivo.
- Croquis e *layouts* da planta.
- Diagramas de circuitos elétricos de comando e de potência (unifilar ou multifilar).

- Diagramas de circuitos pneumáticos e hidráulicos.
- Desenhos técnicos de detalhamento dos componentes.
- Esquemas de conexão de bornes.
- Programas de controle.
- Listas de alocação de entradas e saídas.
- Listas de materiais.
- Comandos de operação e forma de acionamento.
- Outros documentos que se fizerem necessários.

Resumo

Esta aula abordou os projetos de automação industrial. A importância da metodologia de desenvolvimento de um projeto e as vantagens que um projeto cuidadosamente planejado irá proporcionar foram apresentadas. Um projeto de automação pode ser dividido em 5 etapas (escopo, especificação, desenvolvimento, testes integrados e implantação), as quais apresentam, cada uma, um conjunto específico de atividades a serem desenvolvidas. Convém salientar que essas etapas podem ser adequadas e modificadas de acordo com cada projeto. Por fim, os elementos integrantes da documentação de um projeto, requisito importante para que um sistema de automação possa ser conservado e ampliado, foram apresentados.

Atividades de aprendizagem

1. Cite 3 características que um projeto de automação deve apresentar.
2. Que vantagens um projeto bem elaborado irá proporcionar?
3. Qual o objetivo da etapa de desenvolvimento do projeto?
4. Quais tipos de testes são realizados na quarta etapa?
5. Quais são os benefícios de uma documentação completa e consistente?



Referências

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

BONALDO, S. A. **Técnicas digitais**. Santa Maria: CTISM/UFSM, 2011.

CAPELLI, A. **Automação industrial**: controle do movimento e processos contínuos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2010.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle moderno**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C.; UMANS, S. D. **Máquinas elétricas**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2011.

_____. **Controle de processos industriais**: princípios e aplicações. São Paulo: Érica, 2013.

FUENTES, R. C. **Apostila de automação industrial**. Santa Maria: UFSM, 2013.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. 41. ed. São Paulo: Érica, 2014.

KARIM, M. A.; CHEN, X. **Projeto digital**: conceitos e princípios básicos. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MARTINS, G. M. **Princípios de automação industrial**. Santa Maria: UFSM, 2012.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

NATALE, F. **Automação industrial**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2008.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

PARKER. **Tecnologia eletropneumática industrial**. Jacaré: Parker Hannifin Corporation, 2005.

PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC**: teoria e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

SEIDEL, A. R. **Instrumentação aplicada**. Santa Maria: CTISM/UFSM, 2011.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 8. ed. São Paulo: Érica, 2012.

TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. **Sistemas digitais**: princípios e aplicações. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

WEG INDÚSTRIAS. **Tecnologia eletropneumática industrial**. Jaraguá do Sul, 2003.

ZANCAN, M. D. **Controladores programáveis**. Santa Maria: CTISM/UFSM, 2011.

Currículo do professor-autor



Leandro Roggia possui graduação (2008), mestrado (2010) e doutorado (2013) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), além de formação técnica em Eletrotécnica (2003) pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM). É professor da Universidade Federal de Santa Maria com atuação no Colégio Técnico Industrial e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFSM. Atualmente, é coordenador do curso técnico subsequente em Automação Industrial do CTISM, na modalidade presencial. Atua em disciplinas dos cursos técnicos em Automação Industrial, Eletrônica, Eletrotécnica e Mecânica. Tem experiência e desenvolve pesquisas na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica de Potência, atuando, principalmente, nos seguintes temas: conversores estáticos de potência, energias renováveis e sistemas de armazenamento de energia. É revisor dos periódicos IEEE Transactions on Power Electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics e da Revista Brasileira de Eletrônica de Potência.



Rodrigo Cardozo Fuentes natural de Santa Maria – RS, é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1995), Licenciatura de Disciplinas Especializadas do Ensino de II Grau – UFSM (1996), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIFRA (2009) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1996). É professor da carreira de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico da Universidade Federal de Santa Maria e atualmente realiza doutoramento no Programa de Pós-graduação em Educação da UFSM na linha de pesquisa de Educação e Trabalho. Atua nas áreas de Eletrotécnica, Eletrônica e Automação Industrial.