



Controle e automação de processos industriais

Controle e automação de processos industriais

Ricardo Carvalho Quesada

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Marley Fagundes Tavares
Roberto Mac Intyner Simões

Editoração

Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q5c Quesada, Ricardo Carvalho.
Controle e automação de processos industriais / Ricardo
Carvalho Quesada. – Londrina : Editora e Distribuidora
Educacional S.A., 2017.
176 p.

ISBN 978-85-8482-820-3

1. Automação industrial. 2. Processos de fabricação. 3.
Controladores programáveis. I. Título.

CDD 681.7

2017

Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Fundamentos da automação industrial	7
Seção 1.1 - Uma introdução à automação e ao controle	9
Seção 1.2 - Suas limitações	21
Seção 1.3 - Por que a automação?	35
Unidade 2 Principais sistemas de automação	51
Seção 2.1 - Equipamentos utilizados na automação e no controle	53
Seção 2.2 - Alguns tipos de controladores	67
Seção 2.3 - Do que a automação é feita?	79
Unidade 3 Integração de componentes para automação de um sistema	93
Seção 3.1 - A programação e suas variáveis	95
Seção 3.2 - Estruturando o funcionamento do sistema	107
Seção 3.3 - Criando um software	121
Unidade 4 O CLP e a linguagem LADDER	135
Seção 4.1 - Entendendo o controlador lógico programável (CLP)	137
Seção 4.2 - Estruturando a programação de um CLP	149
Seção 4.3 - Conversando com seu CLP	161

Palavras do autor

Caro aluno, atualmente o controle e a automação de processos são de grande valia para profissionais das indústrias, pois sabemos que há muito interesse por parte destas em automatizarem suas linhas de produção e seus processos em geral. Para que as organizações possam crescer e ampliar suas produções e até criar novas opções de produtos, a automação se faz muito necessária.

Aplicando os conceitos apresentados neste livro didático, o profissional deve ser capaz de sintetizar um sistema de automação e controle de processos, desde a compreensão do problema até sua solução. Uma empresa que pretende melhorar a qualidade e acelerar sua produtividade pode fazê-lo por meio dos conteúdos apresentados aqui.

Este livro está dividido em quatro unidades que visam apresentar a automação e o controle de processos de uma forma que facilite o entendimento e que promova o conhecimento. Cada parte apresentará um novo conceito, cada um dos quais, ao final dos estudos, se mostrará correlacionado e interdependente em relação ao outro.

De início começamos com os conceitos de automação industrial e de controle de processos, o que nos dará o conhecimento básico necessário para compreendermos melhor como nos portarmos diante de um problema dessa natureza. Após esse primeiro momento, é preciso conhecer os conceitos de programação e de variáveis do sistema de controle, pois isso nos permitirá criar os algoritmos que serão a base do controle. Por fim, desenvolveremos o projeto completo com o software que controlará todo o sistema, concluindo o conhecimento sobre automação e controle de processos.

Com este livro pretendemos ajudar você, aluno, na jornada de formação como profissional capaz de aplicar um sistema de automação nas indústrias de todo o mundo. Os conceitos apresentados aqui não são aplicáveis apenas na área de automação e controle, mas também no dia a dia do profissional, lembrando que visamos não só desenvolver o conteúdo teórico do livro, mas também abordar toda uma gama de habilidades básicas que você já possui, como criatividade, raciocínio rápido e lógico e, ainda, desenvolver a habilidade de programação que pode ser utilizada nas mais diversas áreas da indústria. Lembre-se de que com os estudos podemos chegar aonde quisermos.

Fundamentos da automação industrial

Convite ao estudo

Um bom profissional deve não apenas saber aplicar conceitos e cálculos para resolver problemas, mas também fazer uso de seus conhecimentos para obter informações vitais para desenvolver soluções práticas e viáveis para os problemas das mais diversas naturezas.

Para isso, iniciaremos os nossos estudos com os conceitos básicos da automação, passando para o controle de processos e suas limitações, com intuito encerrar esta unidade de ensino com algum conhecimento em práticas industriais. Isso nos dará a base necessária para conhecer e compreender os aspectos gerais da automação e do controle de processos, a aplicação da automação em processos de produção, bem como a aplicabilidade de Controlador Lógico Programável (CLP) e sua linguagem de programação. Devemos cumprir os seguintes objetivos de aprendizagem: (1) introduzir a automação e controle; (2) conhecer e compreender as limitações; e (3) entender o que é a automação de processos industriais.

Uma pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Durante uma breve reunião para discussão das necessidades da linha de produção, ficou evidente que o responsável não conseguia descrever como deveria ser realizada a automação.

O profissional enviado terá de elaborar uma lista de questionamentos direcionados à realidade da empresa e às necessidades do processo a ser automatizado, a fim de que possa, com base nas respostas obtidas, analisar os

dados para determinar a melhor solução para o problema, como processos industriais químicos, mecânicos, de comunicação, elétricos ou melhoria de qualidade, inspeção, segurança, dentre outros.

Primeiramente, entenderemos os conceitos relacionados à automação, em seguida, as limitações dos processos de automação e, por fim, as necessidades características do processo a ser automatizado, de forma que possamos problematizar a realidade do cliente e gerar uma solução assertiva e confiável.

Com o estudo das seções, você será capaz de fazer uma descrição das variáveis necessárias para compreender como um determinado sistema de automação deve ser construído. Isso, inclusive, será o produto a ser entregue ao final desta unidade de ensino.

Seção 1.1

Uma introdução à automação e ao controle

Diálogo aberto

Caro aluno, os fundamentos de automação e controle de processos são muito importantes para sua vida profissional e terão de ser muito bem assimilados para que você possa dar continuidade em seu aprendizado e desenvolver suas habilidades no campo da engenharia.

A área tecnológica visa a adequação do meio às necessidades das pessoas, utilizando-se, para isso, de desenvolvimento, estudo e criação de novas técnicas. Surgem problemas que devem ser resolvidos da melhor maneira possível, mas para propor e até pensar em uma solução, o profissional, primeiramente, tem de entender o problema. Nesta seção buscaremos conhecer os conceitos básicos de automação e em que se diferem da automatização. Veremos também as funções da automação e suas principais aplicações. Tudo isso nos dará base para identificarmos a melhor forma de automatizar cada tipo de necessidade, em indústria mecânica, química, têxtil, processos de fabricação, produtivos, logísticos, entre outras.

Nesta seção você iniciará sua caminhada com alguns conceitos de automação industrial, bem como seus tipos e aplicações.

Uma pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Durante uma breve reunião para discussão das necessidades da linha de produção, ficou evidente que o responsável não conseguia descrever como deveria ser realizada a automação.

Como profissional responsável pelo problema, quais perguntas você faria ao encarregado da produção, a fim de compreender as necessidades desse cliente?

Ao final desta seção, esperamos que você perceba que, para resolver o problema de um cliente, primeiro você tem de entendê-lo. Para isto, deve-se criar uma lista de questionamentos que direcionará as necessidades do cliente ao seu entendimento, para que você possa pensar e elaborar uma solução boa e viável.

Não pode faltar

Desde sempre o ser humano utiliza sua criatividade para modificar o ambiente a sua volta, facilitar e melhorar sua condição de vida. A automação segue esse princípio e ainda o leva além. Com o crescimento da sociedade moderna e o aumento da competitividade de mercado, as pessoas têm de encontrar meios alternativos de realizar suas tarefas diárias, razão pela qual se pode dizer que a automação moderna tem como objetivo prover o conforto para seus usuários. Exemplos disso são as casas inteligentes, os sistemas de irrigação automáticos e sistemas de segurança com conectividade via internet, com o qual o usuário pode controlar tudo de seu *smartphone* de onde estiver.

De acordo com Rosário (2009), a integração da automação industrial nasceu na prática, com Henry Ford, em meados de 1920, quando este criou a linha de montagem do modelo *T* com o intuito de aumentar a produtividade, reduzir custos de produção e garantir a segurança dos funcionários da fábrica. Porém, nessa época, o conceito de automação era similar ao de sistematização: sistematizava-se o chão de fábrica para que o processo de produção fluísse de forma contínua, o que reduzia, conseqüentemente, os riscos imediatos e aumentava a produção, pois cada operário se tornava especializado em uma determinada tarefa e se tornava ágil em realizá-la. Basicamente, podemos dizer que automatizavam as pessoas, com o que, no entanto, fazia crescer as doenças ocupacionais, por conta da repetição de movimentos.

No início da década de 1960, a indústria de equipamentos inventou o termo automação, um neologismo que buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial (MARAES; E CASTRUCCI, 2010). Ainda nos anos 1960, os primeiros resultados no campo da automação foram obtidos com um sistema do tipo rígido, com base no qual as máquinas automáticas executavam uma tarefa com a mínima intervenção humana. O problema encontrado nesse período é o desenvolvimento de maquinários com o objetivo de fabricar um único tipo de produto e, caso fossem necessárias adequações ao produto, a máquina teria de sofrer modificações muito custosas ou até impossíveis (PRUDENTE, 2011).

Na década de 1980, ocorreu uma revolução tecnológica que facilitou e barateou o processo de automação. Isso possibilitou a automação para empresas de todos os tamanhos e seguimentos, a criação do microprocessador e o desenvolvimento do computador pessoal, que levou a indústria para um novo patamar. Nesse contexto, a automação evoluiu exponencialmente.

Com essa breve história, você pôde perceber a mudança dos conceitos da automação. Algo que se iniciou com a sistematização de pessoas em linhas de produção evoluiu para o controle de processos por meio de computadores.

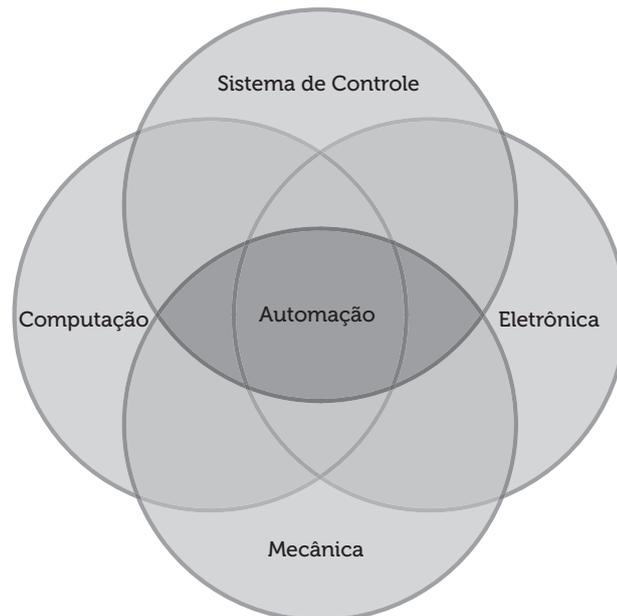


Assimile

Perceba que em nenhum momento o ser humano é retirado totalmente da equação, apenas é colocado para supervisionar o funcionamento do processo e deixa de realizar o trabalho pesado ou perigoso. Acreditar que a automação excluirá o homem dos processos é um conceito errado, porém muito comum neste meio.

O conceito de automação, segundo Rosário (2009), é a utilização de qualquer dispositivo mecânico ou eletroeletrônico para controlar máquinas e processos. Uma definição ainda mais abrangente seria afirmar que a automação pode ser definida como a integração de conhecimentos substituindo a observação, os esforços e as decisões humanas por dispositivos (mecânicos, elétricos, eletrônicos) e *softwares* concebidos por meio de especificações funcionais e tecnológicas, com uso de metodologias. Basicamente, a automação é a integração de quatro grandes áreas (computação, mecânica, eletrônica e sistemas de controle). Podemos desenhar o conceito da automação conforme o que é apresentado na Figura 1.1.

Figura 1.1 | Conceito da automação



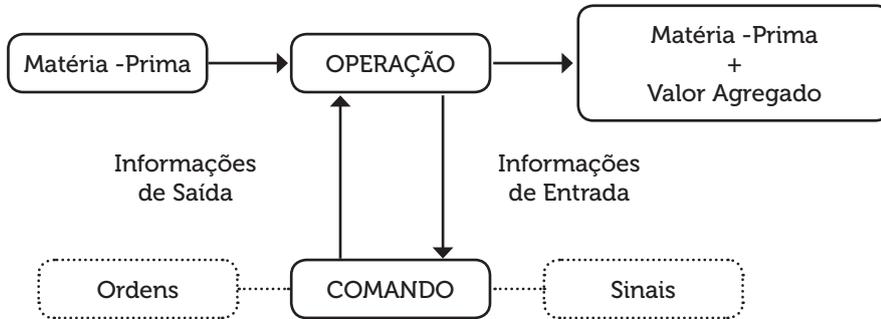
Fonte: elaborada pelo autor.

Na Figura 1.1, a mecânica se refere à parte física do sistema; a eletrônica aplica-se às funções de processamento de sinais e controle analógico; a computação dita a modelagem, análise e simulação, além de ser responsável pela execução dos

algoritmos de controle; por fim, os sistemas de controle impõem o comportamento desejado ao sistema.

Vimos várias vezes o termo “sistema”, porém, o que é um sistema? Atribuímos este termo a um conjunto complexo de elementos diversos, que quando integrados contribuem para determinado objetivo ou propósito específico.

Figura 1.2 | Conceito de sistema automatizado



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 1.2 demonstra o conceito de um sistema automatizado, no qual o produto é a matéria-prima com valor agregado, a operação denota a parte física do sistema, ao passo que o comando é a parte de *software*. Pode-se perceber que existe um fluxo de informações entre essas duas últimas partes. Esse fluxo de informação é a integração que caracteriza o sistema. Com base nessas informações os elementos de conversão e controle se tornam possíveis. Agora você deve estar se perguntando: mas, então, qual é a função da automação?

Hoje em dia a automação tem objetivos bem diferentes: não apenas reduz custos e amplia a produtividade como era antigamente, mas também visa o conforto dos usuários, a agilidade de comunicação entre os diversos setores e níveis da produção, maior controle e supervisão dos processos industriais e ainda, por vezes, a remoção completa do contato humano com a produção de objetos estéreis, como alimentos e equipamentos médicos. Ou seja, o homem continua supervisionando, porém não tem mais contato com a operação.

Uma das funções mais exploradas da automação é a segurança, tanto para o usuário quanto para as demais pessoas que estejam envolvidas no processo ou que estejam de visita no ambiente fabril. A segurança pode ser dividida em duas, tratando-se de processos e pessoas.

- A segurança de processos visa proteger o processo de fabricação, o ambiente e a máquina envolvida na produção. Geralmente é apresentada como uma série de algoritmos predeterminados que descontinua a linha de produção em caso de erros causados por intervenções indiretas ao sistema: uma matéria-prima defeituosa, uma interferência de qualquer motivo ou ainda vibrações exacerbadas.
- Já a segurança de pessoas é determinada pela parada de um processo em caso de intervenção humana, que pode ser: entrada repentina no ambiente, falta de atenção, sonolência, queda ou descuido de qualquer tipo. Ainda se pode considerar como pertencente a esse tipo de segurança os sistemas de monitoramento por câmeras, cercas elétricas e alarmes.



Refleta

Com o que aprendemos até aqui, podemos dizer que, em vez de remover o fator humano da equação, a automação o insere ao meio automatizado para construir um novo sistema, integrando todas as partes necessárias de forma a realizar as tarefas com eficácia e eficiência?

A automação industrial é apenas uma das aplicações de um sistema automatizado. Podemos destacar que, com a evolução da tecnologia, a automação só é limitada pela criatividade do profissional. Podemos automatizar praticamente qualquer coisa, desde nossas indústrias até nossas casas, passando por carros, aviões, navios e prédios.

Até há pouco tempo, falava-se de automação industrial, predial e de processos, porém, com a evolução desenfreada da tecnologia, podemos tratar de automação residencial, automotiva, aeronáutica, naval, aeroportuária e ferroviária. Com o advento do *smartphone*, que nada mais é que um computador ultraportátil, estamos vendo a automação em um nível jamais imaginado. Temos a possibilidade de operar um sistema de vigilância residencial de qualquer lugar do mundo, podemos controlar drones e veículos pelos nossos celulares. Ainda não se sabe até a que ponto algo pode ser automatizado.

Algumas das aplicações dentro da automação industrial são: processos de estamperia (moldagem de chapas ao formato desejado), máquinas de solda, processos de pintura, dosagem de produtos para misturas, controle de pH, estações de tratamento de efluentes, britagem de minérios, usinas de pelotização, carregamento de vagões, corte e descascamento de madeira, branqueamento e embalagens em todas as indústrias mencionadas (etiquetado, agrupado, lacrado e ensacado).



Pesquise mais

Assista a este vídeo da produção de uma BMW:

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qhCXFsQ6kKQ>>.

Acesso em: 25 jul. 2016.

Assista também à maneira como são fabricados os lápis:

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=r2Pq6ucQObA>>.

Acesso em: 25 jul. 2016.

Perceba as diferentes formas de automação utilizadas por cada empresa.

Automação versus Automatização

Existe uma grande confusão quando se trata de diferenciar a automação da automatização, pois, apesar de conceitos distintos, o primeiro se iniciou no segundo. O termo automatização é sinônimo de mecanização, ou seja, a realização de movimentos automáticos, o que implica um mecanismo que funciona às cegas, sem correção. Já o conceito de automação, como foi abordado anteriormente, remete a algo bem mais complexo, pois aplica conjuntos de técnicas e informações pelos quais se constroem sistemas ativos ou dinâmicos, capazes de atuar com uma eficiência ótima. Por ser dinâmico, tem a capacidade de se autoadaptar a diferentes condições, por meio dos sinais que recebe do meio em que atua, calcula correções e executa ações que são apropriadas ao longo do processo.

Assim, podemos dizer que existem basicamente três tipos de automação: a rígida, a flexível e a programável (ROSÁRIO, 2009).

- A automação rígida ou fixa é utilizada quando a produção é intensa. Neste molde a linha de produção é composta por máquinas de Comando Numérico (CN), denominadas de estações de trabalho. Nas estações é realizado um conjunto de operações. Quando estas são finalizadas, as peças passam para a próxima estação até que o produto esteja pronto. Desse modo, a produção possui uma linha fixa voltada para a concepção de apenas um tipo de produto.
- A automação flexível é utilizada para volumes de produção moderados, proveniente da interação otimizada da área da engenharia mecânica com tecnologias de eletrônica embarcada e sistema de informação. Nesta, a automação, aliada à flexibilidade, possibilita que se fabriquem diversos produtos ao mesmo tempo, com utilização do mesmo sistema.
- A automação programável é parecida com a flexível, em certo nível, porém é aplicada para um volume de produção baixo e diversificado. A produção é

realizada em pequenos lotes. Nessa forma de automação, os equipamentos devem ser reprogramados a cada novo lote.

Observe que para cada tipo de empresa existe um tipo de automação e ainda pode existir a possibilidade de se aplicar apenas a automatização do processo, ou seja, em alguns casos é mais viável criar um dispositivo automático que realizará a tarefa desejada sem que a automação seja necessária, tudo a depender do contexto.



Assimile

Existem três tipos distintos de automação industrial, cada qual com suas características. O profissional deve conseguir caracterizar a necessidade do processo para poder determinar qual tipo é o mais adequado ao problema enfrentado.



Exemplificando

Veja estes exemplos:

- Uma empresa automobilística quer ampliar sua produção de carros populares criando mais uma linha de montagem automatizada em sua fábrica principal.

Podemos perceber rapidamente que o volume de produção é grande, razão pela qual determinamos que será um modo rígido de automação, pois cada elemento deverá realizar apenas um tipo de trabalho.

- Uma empresa química regional, fabricante de desinfetantes para clínicas veterinárias, desenvolve três tipos distintos do seu produto, diferenciando apenas alguns componentes.

Logo percebemos que esta é uma empresa de produção média que pode possuir uma linha de produção flexível, o que implica que os três produtos podem ser fabricados juntos, apenas com pequenas modificações na linha de produção.

- Uma empresa que presta serviços de calibração de balanças de precisão possui uma grande variedade de produtos para os quais presta assistência.

Neste caso, você pode perceber que existe uma grande variedade de produtos, porém, como é um serviço de grande especialidade, o volume de produção é bem baixo. Assim, podemos concluir que existe a necessidade de um tipo programável de automação, pois a cada balança o equipamento tem de ser reprogramado.

Um exemplo para uma linha de produção que não necessita de automação é o empacotamento de feno para fardos de ração para cavalos, pois, apesar de importante, não é uma produção que exija grande precisão ou qualidade, razão pela qual podemos desenvolver apenas um dispositivo de empacotamento automático, o que reduziria os custos de projeto.

Sem medo de errar

Uma pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Durante uma breve reunião para discussão das necessidades da linha de produção, ficou evidente que o responsável não conseguia descrever como deveria ser realizada a automação. Como profissional responsável pelo problema, quais perguntas você faria ao encarregado da produção, a fim de compreender as necessidades desse cliente?

Nesta situação, você deve se portar diante dos problemas, que são dois: o seu e o do cliente. Primeiro entendamos o seu problema: obter as informações necessárias para a compreensão das necessidades do cliente. Para resolvê-lo temos de pensar: sabemos que o cliente não tem ideia de como resolver a questão da automação, então, cabe a você direcioná-lo. Além disso, pelo que vimos até aqui, só vamos saber qual tipo de automação será aplicada dessa forma:

- Qual é a primeira pergunta que você deve fazer para o responsável de produção da empresa?

- O que é importante você saber para determinar o tipo de automação que deverá ser empregado?

Uma vez resolvido seu problema, a solução para o cliente se mostrará com a devida análise das informações. Suponhamos que ele tenha lhe dado a seguinte resposta para seus questionamentos: "A ideia desta linha de produção é produzir cerca de cem unidades de lâmpadas diárias, isto para três tipos de veículos diferentes, o que totaliza trezentas lâmpadas nesta linha, considerando que são fabricadas paralelamente". Podemos determinar o tipo de automação a ser usada com base nessa resposta.

Dessa forma, a resposta inclui determinar qual o tamanho da produção da empresa, quantos tipos de produtos são fabricados por eles e se estes são fabricados na mesma linha de produção ou em linhas distintas.

Como será realizado apenas o sistema de automação em uma linha, se esta for pequena e diversificada, aplicaremos uma automação programável. Se for uma produção de um único produto com alto volume, teremos uma automação fixa.

Sendo assim, a primeira questão seria: qual é o volume de produção desta linha? E a segunda questão seria: quantos tipos de produtos vocês querem fabricar nessa mesma linha? Com essas duas simples perguntas, poderemos determinar qual tipo de automação melhor se emprega ao caso. Perceba que a resposta do cliente sanou essas duas dúvidas, mostrando o caminho correto para o tipo de automação que deve ser empregado.

Observe a resposta do cliente, na qual estão contidas duas informações relevantes:

- A primeira informação diz que essa linha de produção fabrica trezentas lâmpadas de três tipos diferentes. Considerando essa configuração, podemos dizer que se trata de uma linha pequena ou de uma linha média de produção, pois, se fosse uma grande, teríamos apenas um tipo de produto.
- A segunda diz respeito à forma como esses produtos são fabricados. Essa linha do cliente fabrica três tipos de itens paralelamente, ou seja, há três produtos ao mesmo tempo na linha de produção.

Com essas duas informações, podemos dizer que o tipo de automação que melhor se encaixa à situação proposta é a automação flexível, por se tratar de uma linha com médio fluxo de produção.



Atenção

O mais importante aqui é o entendimento dos problemas (seu e do cliente) e a análise das informações obtidas com os questionamentos corretos.

Avançando na prática

Automação de uma indústria química

Descrição da situação-problema

Uma empresa química contratou você para fazer a automação das linhas de produção. Ao todo, são três linhas que fabricam produtos distintos. Ao chegar no local, você se depara com um tipo primitivo de fabricação, grande parte do chão de fábrica é composto por estações de trabalho automáticas e manuais e o empacotamento dos produtos é realizado artesanalmente.

Na primeira reunião de definição do projeto você já percebe um problema: o responsável técnico da empresa acredita que parte de sua produção já é automatizada, pois ele tem máquinas que funcionam automaticamente.

Como profissional responsável pela automação das linhas, você percebeu que o

setor de empacotamento é crítico para a automação das linhas de produção e deve ser o primeiro a ser adequado. Então, você fez questionamentos e obteve a seguinte resposta: “o setor de empacotamento funciona desta forma, pois nunca tivemos necessidade de mudá-lo, ele trabalha com três produtos distintos, porém as dimensões são as mesmas e podemos separar os produtos para empacotá-los, um tipo por vez, embora a carga de cada produto seja elevada e pretendamos aumentá-la mais”.

Essa resposta permite a definição de um tipo de automação. Qual seria esse tipo?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, compreendemos dois problemas palpáveis:

- O responsável técnico não sabe o que é automação e está confundindo o conceito de automação com o de automatização.
- Uma empresa com esse perfil de produção depende de muita mão de obra não qualificada para realizar os trabalhos manuais como empacotamento. E depois de automatizada gera muitos desempregos, pois parte dessa mão de obra não qualificada será descartada.

Agora, analisemos a resposta obtida:

1. Trabalha com três produtos distintos, porém os três possuem as mesmas dimensões, o que facilita na utilização da uma única linha para todos, o que, por sua vez, nos leva a pensar em uma automação flexível.
2. A carga é elevada e podemos separar os produtos e empacotá-los com a mesma embalagem, mudando apenas o rótulo, o que facilitaria o processo e nos levaria a uma automação do tipo rígida, que neste caso se mostra a mais adequada.

Faça valer a pena

1. O termo automação ainda nem havia sido inventado nessa época, porém seu conceito já era bem real, ainda que diferente do que é atribuído hoje em dia. É correto afirmar que:

a) A automação era análoga à sistematização.

b) A automatização era a automação da época.

c) A automação podia ser definida como a integração de conhecimentos, substituindo a observação, os esforços e as decisões humanas por dispositivos.

d) A automatização era um conjunto complexo de elementos diversos que, quando integrados, contribuíam para determinado objetivo em comum.

e) O sistema visava aumento da produção e redução de custos.

2. “A automação industrial nasceu da necessidade de aumento de flexibilização, de maior rapidez da produção e de redução de custos das empresas de manufatura ou de processos contínuos, a fim de que elas pudessem se adequar rapidamente às necessidades do consumidor e assim manterem-se competitivas em um mercado cada vez mais exigente” (ROSÁRIO, 2009. p.35).

Assumindo V para verdadeiro e F para falso, assinale a alternativa que corresponda à sequência correta.

() A automação industrial visa apenas proporcionar agilidade de processos e barateamento dos custos de produção.

() O processo de automação agiliza o processo de adequação às necessidades no mercado.

() A qualidade é aumentada pelo processo de automação e os custos são reduzidos, o que permite que a empresa seja competitiva por mais tempo.

() Quando se usa a automação em uma linha de produção, as pessoas que trabalham nela se tornam obsoletas e são demitidas em massa, causando o colapso da economia regional.

a) F; V; F; V.

b) V; F; F; V.

c) F; V; V; F.

d) V; F; V; F.

e) F; V; F; F.

3. Existe uma grande confusão quando se trata de diferenciar a automação da automatização, pois, apesar de conceitos distintos, o primeiro se iniciou no segundo. O termo automatização é sinônimo de mecanização, ou seja, a realização de movimentos automáticos, o que implica um mecanismo que funciona às cegas, sem correção. Já o conceito de automação, como foi abordado anteriormente, remete a algo bem mais complexo, pois aplica conjuntos de técnicas e informações pelos quais se constroem sistemas ativos ou dinâmicos, capazes de atuar com uma eficiência ótima. Por ser dinâmico, tem a capacidade de se autoadaptar a diferentes condições, por meio dos sinais que recebe do ambiente onde atua, calcula correções e executa ações que são apropriadas ao longo do processo.

Por meio desse conceito, podemos afirmar que o termo automatização é sinônimo de:

- a) Automação, pois os dois conceitos são idênticos.
- b) Mecanização, em que o mecanismo funciona de forma a se adaptar a diferentes condições.
- c) Sistematização, em que o mecanismo funciona às cegas, ou seja, sem correção.
- d) Automação, que por ser dinâmico é capaz de atuar com eficiência ótima.
- e) Mecanização, em que a máquina realiza movimentos automáticos.

Seção 1.2

Suas limitações

Diálogo aberto

Na Seção 1.1 deste livro foram introduzidos os conceitos de automação industrial, suas aplicações, tipos de automação e a forma como são determinadas as utilizações destes para solução dos mais diversos problemas. Nesta seção, continuaremos introduzindo os conceitos de controle de processos, suas técnicas e limitações, e também trabalharemos a compreensão para solução de problemas, o que nos dará mais informações pertinentes ao método de automação e controle de processos industriais.

Você se lembra da empresa em que estávamos trabalhando? Na Seção 1.1 aprendemos como resolver o primeiro problema, agora veremos como avançar com as informações que obtivemos. Pense um pouco:

A pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis onde estamos trabalhando deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade sem, no entanto, ter ideia de como realizar essa automação. Para ajudá-la, precisávamos compreender como acontece a produção dessa linha, que foi delimitada com duas simples questões: Qual é o volume de produção dessa linha? Quantos tipos de produtos vocês querem fabricar nessa mesma linha?

Feitos esses questionamentos, delimitamos a linha que deverá ser seguida por meio da seguinte resposta: "a ideia dessa linha de produção é produzir cerca de cem unidades de lâmpadas diariamente, isto para três tipos de veículos diferentes, totalizando trezentas lâmpadas nessa linha, as quais são fabricadas paralelamente". Definimos, então, que o tipo de automação mais adequado para esse problema é a flexível. Mas como controlar esse processo que será automatizado? Qual seria a melhor forma e ação a se tomar para implementar o sistema de controle?

Estudar os conceitos de controle de processos e as limitações das técnicas permitirá ampliar a visão sobre o assunto e desenvolver a solução correta para os problemas. O objetivo é analisar e compreender as necessidades do processo e conseguir propor um tipo de controle para solucionar o problema.

Não pode faltar

Inicialmente, é importante expor uma breve história acerca do controle de processos industriais, o que permitirá um melhor entendimento do conceito por trás da prática.

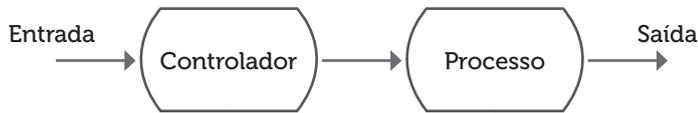
Antes da década de 1940, as plantas industriais eram basicamente operadas de forma manual. Com o aumento dos custos de mão de obra e o desenvolvimento de equipamentos e processos de melhor desempenho durante as décadas de 1940 e 1950, tornou-se antieconômico e até inviável operar plantas industriais sem dispositivos de controle automático. Porém, nesse período, a experiência e o empirismo eram as únicas técnicas empregadas para um projeto de controle.

A partir da década de 1960, a teoria de controle e a de análise dinâmica começaram a ser desenvolvidas e aplicadas em plantas de processos. Isso abriu caminho para estudos que levariam à evolução da teoria de controle nas décadas de 1970 e 1980. Com o aumento do poder de processamento dos computadores, foram desenvolvidos algoritmos para controle de forma digital (DDC – Controle Digital Direto), além de métodos para identificação, otimização, controle avançado e estatístico de processos. Paralelamente à evolução das técnicas de controle, houve a evolução dos equipamentos empregados, passando de transdutores baseados em tubos de Bourdon e dispositivos mecânicos para transdutores baseados em ultrassom e elementos emissores de raios gama, bem como a evolução de instrumentos analógicos e digitais que permitiram uma simplificação e aumento na transmissão de informações concernentes ao controle (ALVES, 2010).

Agora podemos montar um conceito para controle, considerando que controlar um processo significa obter os resultados desejados dentro dos limites de tolerância razoáveis para um determinado parâmetro. Vamos agora nos atentar para dois conceitos de controle: em malha aberta e em malha fechada. Basicamente esses dois tipos ditam a forma como o sistema deve funcionar.

O controle em malha aberta é um tipo mais primitivo e de baixo custo. Nele a entrada do sistema é um sinal predefinido, baseado em experiências anteriores para que, dessa forma, realize-se o trabalho, e a saída alcance o sinal desejado. Pela falta de realimentação do sistema em malha aberta, é necessário que o processo termine para que se possa verificar o produto e avaliar se este está adequado. Somente então, caso haja falha, a entrada deve ser ajustada manualmente. Um exemplo disso é um forno de micro-ondas: quando a pessoa descongela um alimento, configura o forno para uma determinada ação, assim que esta ação é realizada deve-se analisar se o alimento se encontra pronto ou se terá de ser reconfigurado até que o alimento esteja pronto.

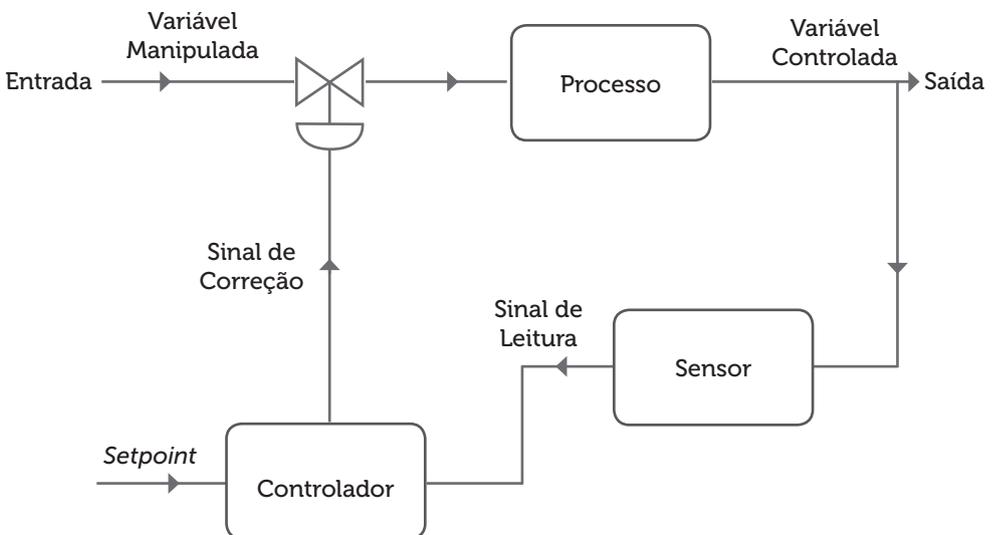
Figura 1.3 | Diagrama de malha aberta



Fonte: elaborada pelo autor.

O sistema em malha fechada pode se dividir em dois subtipos: controle por realimentação e controle antecipativo. No primeiro, o sinal de saída é realimentado para que se faça uma comparação com o *Setpoint* (valor desejado), o que gera um sinal corrigido que retorna ao sistema para alcançar a saída desejada. Isso permite que o sistema se adéque automaticamente sem a necessidade de reconfiguração manual. Este é o tipo mais utilizado de controle em processos industriais por tornar o sistema completamente automático.

Figura 1.4 | Exemplo de diagrama de malha fechada



Fonte: elaborada pelo autor.

O controle por realimentação (*feedback*), que é a forma tradicional e mais usual, consiste em medir a variável a ser controlada e comparar com seu valor de referência, agindo de forma a compensar o distúrbio e tendendo a levar seu valor de volta ao desejado.

Já o controle antecipativo (*feedforward*) foi difundido posteriormente em casos nos quais a realimentação é negativa e se aplica a processos com grandes atrasos. Ele visa agir diretamente na variável controlada assim que o distúrbio é detectado, evitando que este percorra o processo todo antes de corrigi-lo (ALVES 2010).

Você percebeu que precisamos entender alguns conceitos como o de variáveis, dinâmica, estabilidade, conhecer equipamentos, programação, entre outros, certo? Porém, como esta seção visa o controle em si, não entraremos em detalhes agora, mas exploraremos esses conceitos em seções mais adiante. Aqui estudaremos uma prévia desses conceitos para podermos ampliar o entendimento de controle da forma como ele funciona. Para isso, vamos destacar os seguintes aspectos:

- Dinâmica é o comportamento do processo ao longo do tempo. Podemos ter uma resposta em malha aberta, quando o sistema não apresenta realimentação e, portanto, é desenvolvido para se manter sempre próximo ao *Setpoint*, ou uma resposta em malha fechada, quando o sistema tem seu comportamento controlado com base em informações que são atualizadas a todo o tempo.
- Variáveis existem de duas maneiras: as que geram informações para o controlador são as variáveis de entrada; as variáveis de saída são as que serão controladas para que o sistema funcione de acordo com o esperado.
- Estabilidade: um sistema é estável se para todo sinal de entrada com amplitude limitada o sinal de saída é também limitado. Com isso, podemos dizer que o sistema é instável quando, ao aplicarmos um sinal de entrada com amplitude limitada, sua saída divergir com o passar do tempo, ou seja, a amplitude do sinal de saída tenderá a crescer indefinidamente.
- Programação é a linguagem que utilizamos para nos comunicarmos com os controladores.

Necessitamos saber também que podemos distinguir indústrias de duas naturezas:

1. Indústrias de processamento contínuo em que o processo produtivo envolve variáveis contínuas ao longo do tempo; geralmente as medidas de produto são massa, volume e vazão.
2. Indústrias de processamento discreto são aquelas que envolvem variáveis discretas ao longo do tempo, em que a produção é medida em unidades.



Assimile

O controle pode se apresentar de duas formas: o controle de realimentação (*feedback*), que é a forma tradicional e mais usual, consiste em medir a variável a ser controlada e comparar com seu valor de referência, agindo de forma a compensar o distúrbio e tendendo a levar seu valor de volta ao desejado. Já o controle antecipativo (*feedforward*) foi difundido

posteriormente em casos em que a realimentação é negativa e se aplica a processos com grandes atrasos. Ele visa agir diretamente na variável assim que o distúrbio é detectado, evitando que este percorra o processo todo antes de corrigi-lo.

Como já foi dito anteriormente, controlar um processo significa obter os resultados desejados dentro dos limites de tolerância razoáveis para um determinado parâmetro. Portanto, sempre que houver um distúrbio, a variável controlada deve retornar exatamente ao valor do ponto de ajuste previamente estabelecido, dentro do tempo prescrito e com erro limitado.

Os instrumentos de controle de processo são necessários, pois as variáveis de processo não permanecem constantes ao longo do tempo. O objetivo do sistema de controle é determinar o valor das variáveis de processo e continuamente atualizar os dispositivos de atuação que agem diretamente sobre o processo.



Pesquise mais

Nestes dois vídeos exemplificam-se os conceitos de controle. No primeiro, podemos perceber o controle atuando sobre a linha de montagem garantindo seu funcionamento automático. Já no segundo, é explicado como funciona um sistema de controle.

Simulação de controle de processo industrial via MINDSTORMS NXT. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=GMp3fpMVjao>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

Execução do software para controle de processo no CLP Software A1 e Step 7 SIEMENS 1.1. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Da5YmlaQwlQ>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

Algumas das partes que compõem o sistema de controle foram evoluindo e algumas outras foram sendo implementadas com o tempo. Alguns componentes utilizados nos dias de hoje não existiam antes, e podemos prever que técnicas e elementos novos serão desenvolvidos e implementados futuramente. Façamos aqui uma prévia dos elementos que compõem um sistema de controle, pois serão abordados mais profundamente em seções posteriores deste livro:

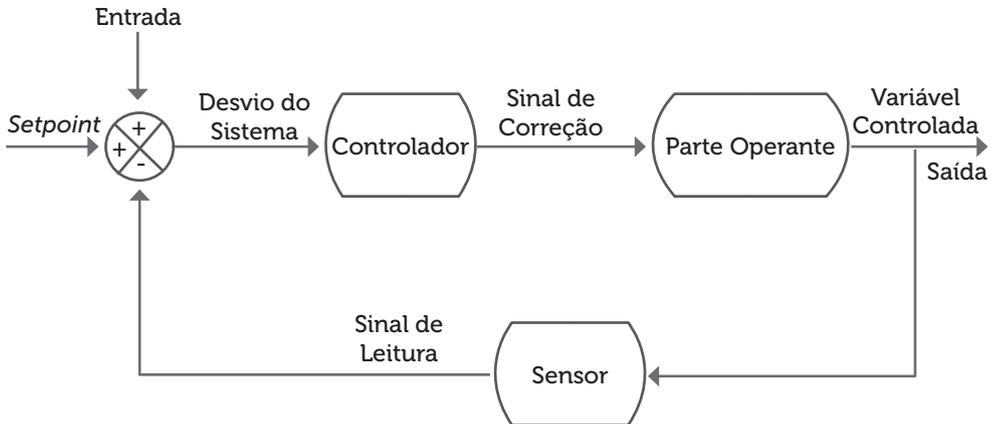
- O bloco de comando é responsável pela elaboração e transmissão de dados, sendo constituído de computadores, controladores, CLP (Controladores Lógicos Programáveis) e/ou microprocessadores. Sua função é governar o sistema por meio das informações que são enviadas dos sensores.

- Os atuadores, como o próprio nome diz, atuam no sistema de forma física, sendo responsáveis pela operação final, que consiste em transformar sinais elétricos, pneumáticos e hidráulicos em uma outra grandeza física, geralmente mecânica, que acionará ou compensará o distúrbio sofrido ou causado pelo elemento controlado.
- Também possuem dispositivos detectores (sensores) que são responsáveis por monitorar o processo e emitir sinais para o controlador, que serão analisados e calculados para que possam realizar a devida correção do sistema.
- Interface Homem/Máquina (IHM) são dispositivos que visam fazer a interação entre homens e máquinas, elementos por meio dos quais podemos supervisionar o funcionamento do sistema e até aplicar ações, caso necessário. São painéis de botoeiras, telas, painéis luminosos, entre outros.
- Por fim, apesar de esses sistemas de controle funcionarem de forma automática, ainda assim se faz necessária a existência de órgãos de manobra de proteção e acionamento manual. Estes são ligados diretamente com os atuadores e agem em caso de falha do sistema para proteção dos componentes.

Com isto, podemos compreender um pouco melhor como se dá o controle de um sistema. O sistema tradicional de controle por realimentação consiste em sensor que, ao final do processo, realiza medidas ou inspeções para obter informações que serão enviadas ao controlador para análise e cálculo das possíveis ações a serem tomadas. Esse método está demonstrado pela Figura 1.5. Essa técnica se limita em tratar da variável após todo o ciclo do processo já ter terminado, ou seja, necessita de que o sistema complete o ciclo para medir o que foi obtido e só então corrigir os distúrbios que surgirem. Sendo assim, em processos mais complexos ou longos esse controle se torna lento e até inviável. O controle é dividido em duas técnicas: por realimentação positiva e por realimentação negativa.

No controle por realimentação positiva, o sistema apresenta um ganho para a entrada, de forma que esta se aproxime do *Setpoint*, porém esse ganho gera uma instabilidade proveniente do aumento infinito da entrada do sistema, razão pela qual é um método aplicado em conjunto com a realimentação negativa, que foi desenvolvida para corrigir esse ganho no sistema. Nessa realimentação negativa, o sinal de leitura da variável manipulada sofre uma degeneração e, assim, o sistema se torna mais estável ao longo do processo.

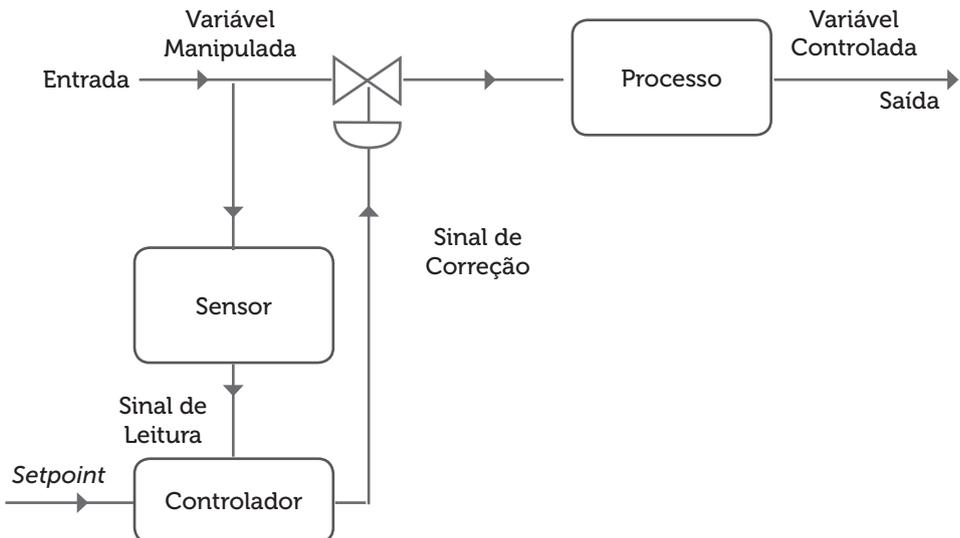
Figura 1.5 | Controle por realimentação



Fonte: elaborada pelo autor.

O controle antecipativo ou preditivo, por sua vez, é uma técnica moderna que visa resolver o problema da variável assim que esta entra no sistema. Dessa forma, pode-se prever como deve ser feita a correção antes que ela chegue até o processo propriamente dito. Essa técnica foi difundida depois daquela denominada realimentação negativa. No controle antecipativo, assim que o sistema se inicia, a variável de entrada verificada. Caso seja necessário, ela sofrerá intervenção para que se assemelhe ao máximo com o *Setpoint*. Podemos ver seu funcionamento na Figura 1.6. Por ser mais complexa, essa técnica se torna mais trabalhosa e tem custos mais elevados, não sendo uma boa escolha para controle de sistemas simples.

Figura 1.6 | Controle antecipativo



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

Existem sistemas de controle das mais variadas funções, pois cada empresa tem seu problema e cada problema exige uma solução específica, mas podemos dizer que os sistemas não possuem nenhuma restrição? Existem limites para o controle?

No início da utilização de controle nos processos industriais, as técnicas utilizadas eram muito limitadas, pois, como já vimos, eram basicamente a experiência e o empirismo. Porém, com o tempo, o estudo e a evolução das tecnologias e dos computadores, podemos imaginar que o controle não é mais tão limitado. Uma vez que já vimos que existem dois tipos de controle, agora vejamos as técnicas relacionadas a eles.

A partir deste ponto, trataremos apenas de controle em malha fechada, pois é o mais aplicável a indústrias, salvo quando componentes isolados necessitam de controle simples. Basicamente, podemos destacar quatro técnicas de ação de controle: ação liga/desliga, ação proporcional, ação integral e ação derivativa.

- A ação liga/desliga, como o próprio nome sugere, visa um algoritmo de controle em que a variável de entrada é corrigida ao ligar ou desligar um processo para adequá-lo ao valor desejado. Um exemplo desse método é o sistema de refrigerador: quando a temperatura está adequada, o termostato desliga o motor para que pare de resfriar, e, quando a temperatura sobe, religa o motor de forma a resfriar novamente o sistema. Essa técnica é limitada pela sua simplicidade e gera oscilações pela ação repetitiva de ligar e desligar no sistema, não sendo adequada para utilizações em sistemas complexos ou extensos.
- A ação proporcional refere-se ao controle mais preciso, adequando, de forma sutil, o sinal de correção ao *Setpoint*. Um exemplo desse controle é um forno industrial: quando a temperatura cai, o controlador aciona a válvula de gás para que este libere mais combustível, o que permite que o sistema se reaqueça. Essa técnica apresenta um erro de *off-set* (aumento dos desvios de *Setpoint* com sinal medido), gerando um distúrbio no sistema que aparece sempre quando há uma variação de carga, o que a torna inadequada para sistemas que tenham grandes variações nesse aspecto.
- As ações integral e derivativa não são técnicas isoladas de controle, sendo aplicadas em conjunto com a ação proporcional, visando a correção dos erros apresentados por esta. A ação integral reajusta o *Setpoint* de forma a eliminar o erro de off-set e atua no processo enquanto a diferença entre o valor desejado e mensurado persistir. É um procedimento lento que deve ser utilizado para processos que não apresentam urgência ao longo de seu funcionamento.

Por sua vez, a ação derivativa age na variável manipulada em proporção à velocidade de variação do desvio, cujo objetivo é reduzir a velocidade desta. O princípio básico dessa ação é impelir uma correção antecipada ao desvio e, por agir com rapidez no sistema, provocar mudanças súbitas nele e não deve ser utilizada em processos com resposta rápida.

A técnica de ação proporcional utilizada em conjunto com as ações integral e derivativa deram origem à técnica de controle PID (Proporcional Integral Derivativa). Os controladores PID são largamente utilizados, uma vez que são capazes de solucionar a grande maioria dos problemas de controle que surgem em processos industriais. Essa expressiva utilização deve-se ao fato de esse controlador ser de fácil implementação, baixo custo e ter versátil capacidade de estabilizar os comportamentos transitórios e de regime permanente dos processos sob controle. Assim, além da ação proporcional que atua conforme o valor do erro, temos um compromisso entre a velocidade de atuação (diferenciador) e o erro nulo no regime permanente (integrador). Sua principal limitação é o fato de ser utilizada para uma simples entrada e saída (SISO – *Single Input Single Output*), o que pode ser facilmente remediado na utilização de controladores comerciais que apresentam modulações.



Exemplificando

Uma usina de açúcar contrata um profissional para desenvolver o sistema de controle de uma de suas caldeiras, que deve ser interligado com a sala de gestão e supervisão da empresa. A primeira coisa que o profissional deve fazer é determinar a variável a ser controlada. Como é um processo simples, ele pergunta para o responsável de caldeiraria como eles esperam que seja feito esse controle.

Uma caldeira nada mais é que uma grande panela de pressão que gera vapor superaquecido para os processos de uma empresa. São equipamentos grandes que em caso de falhas podem ser muito perigosos.

Perceba que o sistema de controle envolvendo uma caldeira deverá controlar a pressão e temperatura desta, então, vamos pensar um pouco!

Se a caldeira gera pressão e vapor em alta temperatura, o sistema controlará seu produto final, assim, o profissional deve-se utilizar de um controle de realimentação, como o de ação liga/desliga para a temperatura e pressão, pois estas não necessitam de grande precisão no controle para a caldeira.

Levando em consideração a infinidade de dispositivos que são ou podem ser utilizados para controle de processos, torna-se difícil determinar a limitação de cada um desses componentes, mas há uma limitação geral que leva em consideração o

custo do componente. Pense da seguinte forma, se meu sistema é complexo e de alto valor monetário, os dispositivos que serão empregados nele devem ser de alto custo, pois componentes simples não serviriam para tal propósito. Por outro lado, se um processo simples e de baixo custo for automatizado, o sistema de controle deve ser igualmente de baixo custo, pois não deve exceder os custos relativos do processo.

O custo relativo de um processo leva em conta o valor monetário para determinar se o investimento é válido ou se seria mais viável mudar o processo. Ele pode ser considerado um exercício administrativo, porém é de suma importância para que os custos não sejam, de forma alguma, insustentáveis para um projeto, qualquer que seja.

Podemos citar alguns dispositivos de controle e suas limitações, como:

- O CLP. Apesar de robusto e de um bom desempenho em ambientes com distúrbio considerável, ele apresenta baixa capacidade de processamento, ocupa um espaço considerável e necessidade de modulação, pois não tem todas as capacidades de controle em seu módulo padrão.
- Um microcontrolador. Ele tem grande capacidade de processamento em um espaço muito reduzido, mas não funciona bem em ambientes insalubres, podendo apresentar defeitos e interferências.
- Processadores PIC. Eles apresentam boa capacidade de processamento, bom desempenho em ambientes com ruído e boa velocidade de resposta, e sua maior limitação é a dificuldade em programação e lentidão na gravação de dados.

Com o avanço das tecnologias, tornou-se difícil listar todos os dispositivos e suas limitações, e somente fazendo isso teríamos um manual técnico de tamanho considerável.

Sem medo de errar

Uma pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Durante uma breve reunião para discussão das necessidades da linha de produção, ficou evidente que o responsável não conseguia descrever como deveria ser realizada a automação. Então, você realizou os questionamentos que delimitaram a linha que vai seguir e obteve a seguinte resposta: "A ideia desta linha de produção é produzir cerca de cem unidades de lâmpadas diárias, para três tipos de veículos diferentes, o que totaliza trezentas lâmpadas nesta linha, considerando que são fabricadas paralelamente".

Com essa resposta, chegamos à conclusão de que utilizaremos a automação flexível para essa linha de produção, mas como controlar? Qual seria a melhor forma e a melhor ação a ser tomada para esse controle?

Para resolver esse novo problema, temos que compreender o que devemos controlar. Sabemos, como já foi apresentado nesta seção, que o controle visa manter uma determinada ação dentro de uma faixa de tolerância, verificando o produto e adequando a entrada do sistema, de forma a se aproximar do *Setpoint*. Portanto, devemos indagar qual é o componente do sistema a ser controlado. Para o exercício do controle, precisamos separar as ações da linha de produção. Vamos levar em conta apenas o fato de que ela vai fabricar três tipos de lâmpadas diferentes. Analise a situação:

São cem produtos de cada tipo, em três tipos, totalizando trezentos produtos fabricados ao final do dia. Portanto, logo na entrada do processo, a operação deve ser trocada a cada 100 unidades de lâmpada, indo para o segundo tipo e depois para o terceiro. O exercício de criatividade aqui é determinar qual forma de controle será utilizada e definir o motivo da escolha.

Nesse caso, podemos aplicar um sistema com malha fechada com controle PID para controlar a entrada do processo e substituir a matéria-prima e as ferramentas para adequá-las ao segundo tipo de operação. Se utilizarmos um tipo de malha aberta, teremos problemas se algum componente não for substituído adequadamente, podendo fabricar um lote todo de lâmpadas defeituosas. Se utilizarmos um algoritmo de liga/desliga teremos o problema de empregar mais atuadores ao sistema para conseguir realizar todas as ações necessárias, por se tratar de uma técnica demasiado simples. Para este caso de controle de alteração de ferramentas, podemos dizer que é um controle trabalhoso, porém de simples ação, não sendo necessário um controle antecipativo, pois seria muito custoso e complexo para uma tarefa desse tipo.

Com a malha fechada de realimentação com um algoritmo PID, teremos todas as variáveis controladas, e com a realimentação do sistema podemos garantir que todos componentes foram alterados com êxito antes de o lote de produtos chegar a um desastre. Como a linha de produção é em série e de grande quantidade, devemos realimentar a saída a cada passo do processo até o final da linha.



Atenção

O ponto crítico aqui é a necessidade de se exercitar a criatividade e a habilidade de resolução de problemas, pois a análise das informações é de extrema importância e a solução para o controle nesta etapa é muito ampla, podendo ser realizada de diversas formas diferentes. Não existe uma forma exata de se determinar como será feito o controle neste momento, o que depende do entendimento do profissional e da realidade do cliente.

Avançando na prática

Empresa de saneamento: projeto de distribuição de água

Descrição da situação-problema

Uma empresa de saneamento está com problemas com o desenvolvimento de um novo projeto de distribuição de água para um novo loteamento em um bairro afastado. As bombas d'água devem bombear a água do reservatório para a caixa d'água do loteamento, porém, por ser em um local alto demais, elas sofrem com a pressão de refluxo quando param de bombear, fazendo com que vase água nas juntas das bombas. Apesar disso, trocá-las não é uma opção no projeto por vários motivos internos da empresa.

A ideia que os profissionais da empresa tiveram é de colocar uma válvula de pressão que impeça a água de retornar para as bombas, salvando-as. Porém, não sabem como controlar essas válvulas de forma a garantir que o sistema fique seguro. Como profissional responsável pela definição do controle das válvulas, como você resolveria esse problema?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, devemos analisar a situação. Uma vez que a empresa já definiu a solução, temos de trabalhar com isto. A solução foi empregar uma válvula de pressão que impeça a água de retornar para as bombas, portanto:

- A empresa quer que o controle possa garantir a segurança do sistema, razão pela qual não podemos utilizar um controle em malha aberta, pois necessitamos de realimentação. Teremos, então, que utilizar um controle de malha fechada do tipo realimentação.
- O sistema de válvulas de pressão para esse caso é simples, pois não necessita de precisão no movimento de fechar ou abrir a válvula. Sendo assim, podemos utilizar um controle do tipo liga/desliga, que fará o acionamento de abrir ou fechar a válvula.

Desse modo, devemos utilizar um sistema de malha fechada do tipo realimentação para garantir o devido funcionamento do sistema. Então utilizaremos um algoritmo de liga/desliga para simplesmente abrir e fechar as válvulas, de forma a evitar que a água retorne para as bombas, danificando-as.

Faça valer a pena

1. Um conceito para controle diz que controlar um processo significa obter os resultados desejados dentro dos limites de tolerância razoáveis para um determinado parâmetro. Existem dois conceitos de controle: em malha aberta e em malha fechada. Basicamente, esses dois tipos ditam a forma como o sistema deve funcionar.

Com esse conceito formulado, podemos dizer que o controle em malha aberta é:

- a) Aquele que visa uma realimentação do sistema para garantir que as variáveis se aproximem do valor desejado.
- b) Aquele em que o sistema não apresenta realimentação, sendo simples e de baixo custo.
- c) Um sistema complexo e de alto custo que antecipa os desvios das variáveis antes que estas entrem no processo.
- d) Aquele que realiza a realimentação do sistema para que a segurança deste seja mantida.
- e) Um tipo de sistema empregado unicamente em fornos de micro-ondas.

2. Uma indústria de alimento resolve automatizar o processo de esterilização dos instrumentos de manipulação dos alimentos utilizando vapor em alta pressão. Contrataram uma empresa especializada para elaboração do processo de controle da pressão do vapor que deve ser mantido com rigor a 22 bar de pressão.

Qual das alternativas melhor descreve o controle a ser utilizado?

- a) Controle em malha aberta, pois se trata de um sistema simples que exige pouca precisão.
- b) Controle antecipativo, por se tratar de uma indústria com processos complexos e de alto custo.
- c) Controle em malha fechada do tipo realimentação, com algoritmo PID para realizar o controle com exatidão.
- d) Controle em malha fechada com algoritmo liga/desliga, pois o processo apenas necessita de uma válvula simples.
- e) Controle em malha fechada do tipo realimentação, pois o processo necessita de segurança por se tratar de alta pressão.

3. As ações integral e derivativa não são técnicas isoladas de controle, sendo aplicadas em conjunto com a ação proporcional, visando a correção dos erros apresentados por elas. A ação proporcional refere-se ao controle mais preciso, adequando o sinal de correção e aproximando-se do *Setpoint* de forma sutil.

Qual algoritmo de controle é formado pelo conjunto das três ações apresentadas no texto?

- a) Controle por realimentação.
- b) Controle em malha fechada.
- c) Controle antecipativo.
- d) Controle PID.
- e) Controle liga/desliga.

Seção 1.3

Por que a automação?

Diálogo aberto

Já estudamos ao longo desta unidade o que é automação e o que é controle, tendo conhecido seus tipos e algumas de suas aplicações. Sabemos também que o cliente é uma peça chave para nosso trabalho e que saber direcioná-lo é de grande valia para o processo de problematização nas necessidades de automação e controle.

Nesta seção, estudaremos um pouco mais sobre processos industriais, para que você se familiarize com esses conceitos e possa empregá-los em sua vida profissional. Lembre-se de que a pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis contratou uma empresa de automação para automatizar uma de suas linhas de produção e, assim, ampliar sua produtividade. Em um primeiro momento foi definido que seria automatizada a linha de empacotamento e para isto utilizaríamos uma automação do tipo rígida. Depois, definimos o controle de realimentação do tipo PID para o controle desse processo e agora teremos que nos atentar ao funcionamento da linha de produção, empacotamento, para que determinemos o método de operação a ser utilizado, o que nos dará a forma do processo de produção do cliente.

Neste ponto do entendimento das necessidades do cliente, temos que entender o processo a ser automatizado. Portanto, o profissional deve ser capaz de elaborar um questionário direcionado à compreensão do processo que será abordado. Sendo você o profissional responsável pelo projeto, quais questões você aplicaria?

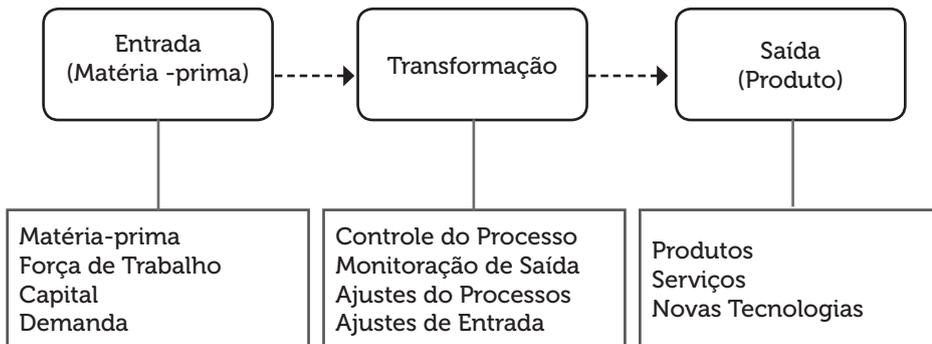
Na primeira seção deste livro, estudamos os conceitos de automação, em seguida, os de controle e suas limitações, para podermos entender as características do controle e automação de processos industriais. Agora, devemos compreender um pouco mais sobre processos de produção. Para isso, nesta seção serão apresentados os conceitos de processos de produção, noções de planejamento, continuidade e fluidez de processos e princípios e práticas industriais, para que você possa se aprofundar um pouco mais na visão da indústria que vai automatizar e controlar. Com isto, será capaz de definir todas as variáveis do processo de automação e controle para aplicá-las posteriormente. Lembre-se de que ao final desta unidade você vai elaborar a descrição das variáveis necessárias para compreender como um determinado sistema de automação deve ser construído.

Não pode faltar

Estudamos anteriormente como resolver problemas definindo a automação e o controle de processos, e também vimos as limitações das técnicas de controle e os tipos de automação que podemos aplicar às diversas necessidades da empresa. Sabemos que podemos mesclar as formas de automação e controle para assegurar uma ótima solução para o cliente. Agora, veremos o básico sobre os processos de produção para nos aprofundarmos na ideia de como aplicar a automação e controle, pois precisamos entender que existem diversos processos e que podemos automatizar cada um separadamente ou uma cadeia de processos como um todo, de forma a controlar toda a linha de produção ou apenas uma variável dessa linha.

O processo de produção é a atividade de transformação da matéria-prima em algo útil para o consumidor, cliente ou interessado. Quando nos referimos à matéria-prima, não podemos pensar apenas em algo bruto e tangível, mas sim em algo mais amplo. Podemos dizer que em um processo, aplicamos um trabalho sobre algo sem utilidade visível e isto o transforma em algo com determinada utilidade, podendo ser um automóvel, um avião ou um serviço de seguros, assessoria. Com isto em mente, vejamos a Figura 1.7, que demonstra um processo moderno generalizado.

Figura 1.7 | Processo de transformação moderno



Fonte: elaborada pelo autor.

Podemos perceber pela figura que o processo moderno, aplicado a qualquer forma de produção, leva em conta o controle do processo. Por isso, o controle de processos deve ser parte integrante de qualquer produção, de qualquer natureza que seja.



Assimile

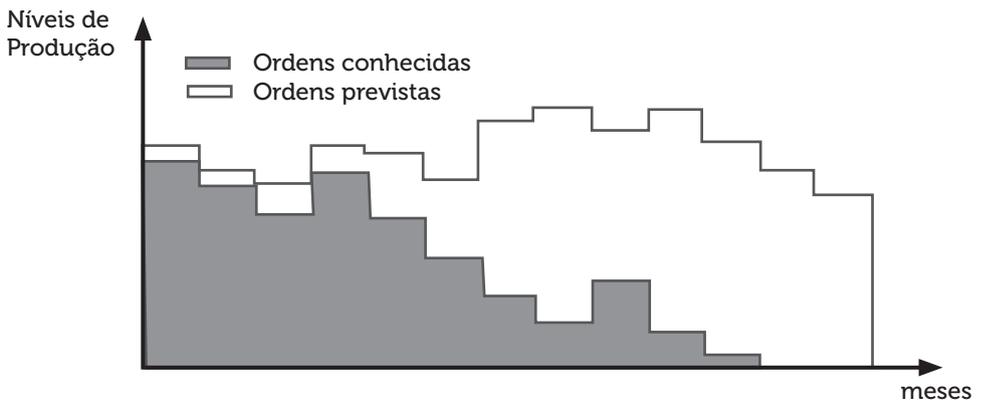
Processo de produção é a atividade de transformação de matéria-prima em algo útil para o consumidor, cliente ou interessado. Dessa forma, podemos dizer que um produto foi algo sem utilidade que, por meio de processos, transformou-se em algo com grande utilidade.

Para compreendermos os processos de produção, precisamos entender o planejamento de produção. Até os anos 1970, os sistemas de manufatura ofereciam um número limitado de produtos que respondiam a uma demanda maior que a capacidade de produção. Desta forma, o planejamento visava identificar o gargalo de produção (ponto do processo em que a demanda é maior que a capacidade de produção) a partir do qual se determinava a capacidade do sistema.

Com a evolução tecnológica durante esta década, os sistemas de produção tiveram grandes avanços, o que levou à solução de problemas, como aumento da qualidade, rapidez de entrega e preços competitivos. No entanto, surgiram outros problemas por conta dessa sofisticação: o sistema de gestão de produção se tornou cada vez mais complexo. Portanto, podemos dizer que, quanto mais complexo o sistema, mais complexa é a gestão da produção.

O comportamento da demanda ao longo do tempo complica ainda mais a gestão. Levando em conta os pedidos conhecidos (pedidos formalizados pela empresa) e a previsão de consumo (previsão por pedidos anteriores), podemos chegar no gráfico a seguir.

Figura 1.8 | Demanda conhecida *versus* demanda prevista



Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 1.8, podemos concluir que os pedidos conhecidos, aqueles feitos e formalizados pela empresa, necessitam de decisões em curto prazo para a execução dos processos de produção, que por serem baseados em dados concretos se tornam mais assertivos. Já as previsões de demanda se derivam de padrões observados em demandas anteriores conhecidas e, por isto, permitem decisões em longo prazo, porém com certo grau de incerteza.

De certa forma, podemos destacar duas atividades no gerenciamento da produção: o planejamento da produção e o controle de produção. O planejamento pode ser dividido em três partes, o que facilita o processo de tomada de decisão, pois considera o grau de certeza das informações:

- Planejamento estratégico: tem como objetivo adquirir e desenvolver os recursos de produção, definir novos produtos, políticas de atendimento e gerar planos de produção baseados nas previsões de demanda. O alto grau de incerteza caracteriza o problema com relação ao uso futuro dos recursos da empresa.
- Planejamento tático: visa desagregar as metas estabelecidas pelo planejamento estratégico em termos de tempo, recursos e produtos, além de ser responsável por estabelecer políticas de produção e utilização de recursos. Neste nível, as decisões são tomadas com base em informações com reduzido grau de incerteza.
- Planejamento operacional: também chamado de programação de produção, tem como objetivo a execução das tarefas estabelecidas pelo planejamento tático. Visa alocar tarefas aos recursos disponíveis no sistema. As decisões neste nível de planejamento são tomadas com base em informações com alto grau de certeza (decisões de curto prazo).



Pesquise mais

O vídeo a seguir mostra de forma sucinta como se dá o planejamento de produção.

PCP: introdução ao planejamento e controle da produção. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=z5cSJHhYGt4>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

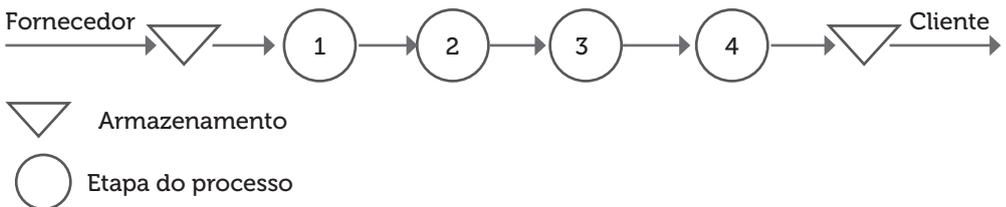
Por um momento, pode parecer que estamos nos referindo exclusivamente à planta fabril e que temos que nos atentar ao controle e à automação desta como um todo, porém um processo produtivo não necessariamente se refere à indústria completa, uma vez que pode ser de processos de qualquer magnitude, indo de um sistema de produção complexo até um simples controle de uma única válvula de pressão.

Tendo isso em mente, em um processo produtivo, podemos diferenciar duas características importantes para o entendimento da produção: uma é a continuidade do processo que visa manter seu funcionamento até que este tenha seu término, de forma a não apresentar paradas imprevistas. Há também a fluidez que visa o equilíbrio do processo para que este se mantenha o mais uniforme possível, fazendo que todas as partes envolvidas não fiquem ociosas. Podemos dizer, portanto, que, enquanto a continuidade evita interrupções durante o processo, a fluidez mantém cada parte deste funcionando, de forma a otimizar os tempos para que não existam falhas entre uma parte e outra do processo.

Aqui, o conceito de gargalo se faz muito útil para se determinar em que momento o processo tem sua fluidez comprometida, para que se possa reconfigurar o processo de forma a adequá-lo para reduzir o gargalo. Com tudo isto, o processo pode se apresentar mediante três princípios operacionais:

1) Empurra: é o tipo mais tradicional de operação. A matéria-prima passa por um processo de transformação e só depois é encaminhada para o próximo estágio de transformação e assim sucessivamente, até que o produto esteja concluído. A Figura 1.9 exemplifica um processo do tipo empurra. Podemos perceber que neste caso a matéria-prima é empurrada de forma a gerar uma demanda no processo.

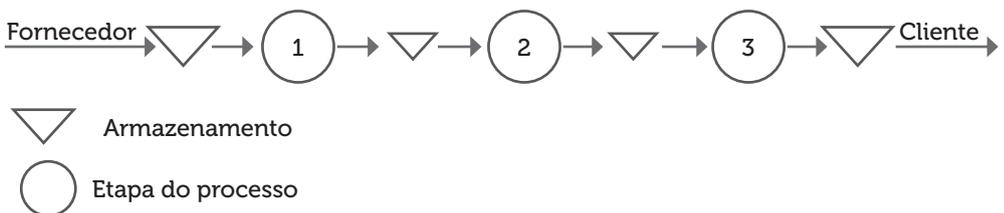
Figura 1.9 | Diagrama do método empurra de produção



Fonte: elaborada pelo autor.

2) Puxa: neste princípio operacional, o processo se inicia ao final da cadeia produtiva, levando em conta a demanda da próxima operação. Aplicam-se estoques em cada etapa do processo para que a matéria-prima chegue ao próximo estágio apenas quando este já terminou sua função. Veja na Figura 1.10 como um processo deste tipo se comporta. Podemos ver claramente que neste caso a demanda rege o processo, pedindo mais matéria-prima conforme a etapa é liberada.

Figura 1.10 | Diagrama do método puxa de produção

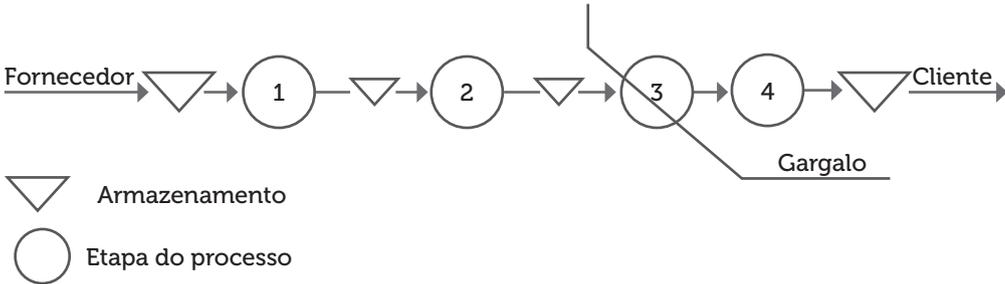


Fonte: elaborada pelo autor.

3) Misto (puxa-empurra): aqui os dois métodos se complementam para que o efeito do gargalo seja minimizado, sendo a forma mais moderna de gestão de produto. Geralmente, aplica-se o método puxa até o gargalo e, depois deste, aplica-se o método empurra, e a etapa do gargalo empurrará os demais passos do sistema. Como demonstrado na Figura 1.11, o processo misto reduz o efeito do gargalo, e

este gera a demanda. Depois disso o processo segue com a matéria-prima sendo empurrada até o final da linha.

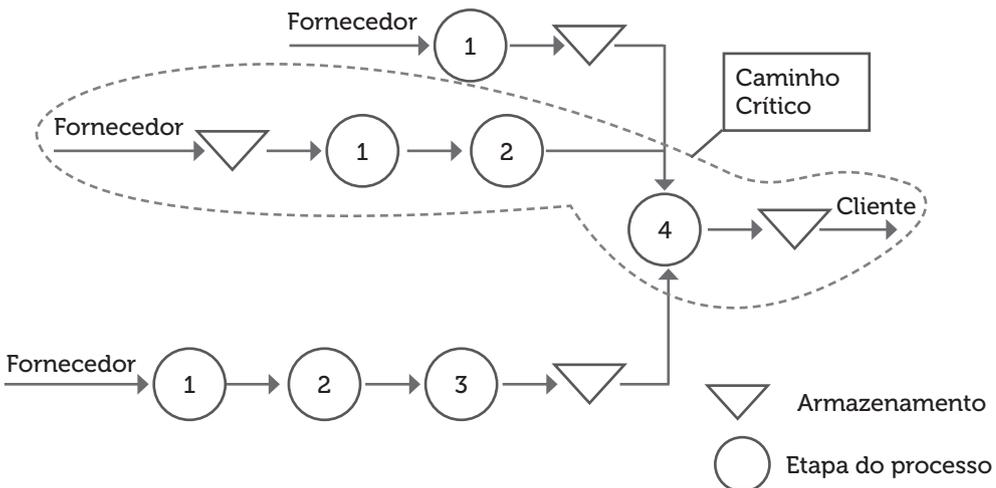
Figura 1.11 | Diagrama do método puxa-empurra de produção



Fonte: elaborada pelo autor.

Em processos mais complexos, temos que adequar o sistema misto para que possamos gerir uma linha com diversas sublinhas que realizam o trabalho de transformação. Neste caso, teremos diversos caminhos de etapas que visam entregar um produto para a próxima fase. Isso é bastante comum em linhas de montagem que necessitam de mais de uma matéria-prima para ser transformada em produto. O caminho que leva um período maior de tempo de processamento é conhecido como caminho crítico e deve ser gerenciado de modo separado do restante do processo. Geralmente, aplicamos o método empurra no caminho crítico e colocamos estoques antes da operação de ligação com outros caminhos, o que nos permite dar continuidade ao caminho crítico sem que prejudique a fluidez das demais sublinhas do processo. Veja um exemplo disto na Figura 1.12.

Figura 1.12 | Linha de produção complexa



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 1.12 deixa clara a utilização dos armazenamentos ao final das sublinhas, logo antes da etapa de ligação com o caminho crítico.

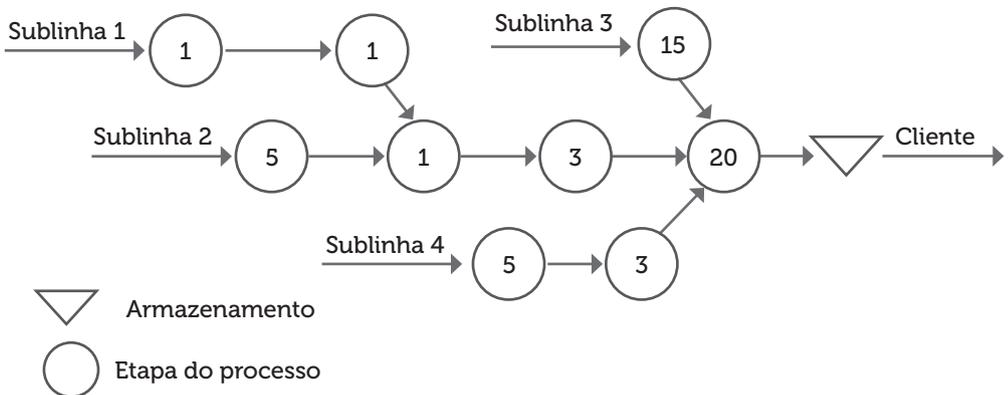
Com isso, podemos compreender melhor o processo de produção, ampliando nosso acervo de aplicações de controle e elevando a assertividade na hora da escolha dos métodos de controle e automação.



Exemplificando

Imagine uma empresa cuja linha de produção tenha sublinhas que deixam o processo de produção complexo. Isso nos diz que provavelmente a empresa adota o princípio operativo misto para controlar e gerenciar a produção. A figura a seguir ilustra essa linha de produção em que os números das operações são o tempo relativo de produção em minutos de operação.

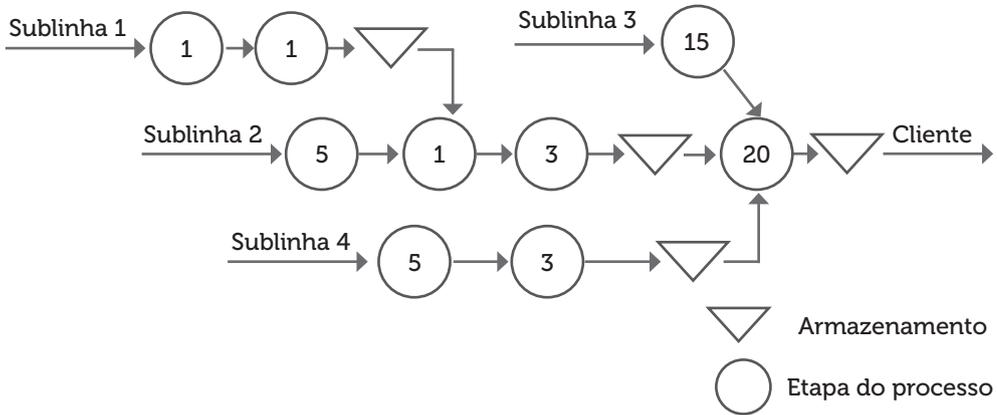
Figura 1.13 | Exemplo de linha produção complexa



Fonte: elaborada pelo autor.

Por esta linha de produção, podemos perceber que o gargalo está na etapa 20 e o caminho crítico parte da sublinha 3 para a etapa 20. Percebemos também que o tempo de operação da sublinha 1 é menor que o da sublinha 2 e elas se convergem no processo, razão pela qual devemos colocar um estoque após a sublinha 1. A sublinha 4 também possui tempo menor que o da sublinha 3, desse modo, também cabe um estoque ao final desta. O processo corrigido deve ficar parecido com o exemplificado na Figura 1.14.

Figura 1.14 | Exemplo de correção do processo



Fonte: elaborada pelo autor.

Princípios da prática industrial

Os conceitos apresentados até aqui são conhecidos como práticas industriais e foram desenvolvidos com base em experiência e intuição de gerentes ao longo dos anos. Essas práticas utilizam os sistemas produtivos do ponto de vista do cliente (demanda) e trabalham para maximizar a satisfação dele. Sendo assim, o gerente deve se atentar para os recursos da empresa logo que o pedido do cliente chega, para garantir a entrega do prazo acordado.

Nesse contexto, existem algumas dificuldades com os princípios operativos que complicam o processo de negociação com o cliente, por exemplo, quando adotamos o princípio puxa, a disponibilidade de matéria-prima não é avaliada, pois a produção parte da última etapa puxando a linha de produção. Já o princípio empurra não garante fidelidade na data de entrega, pois não leva em conta o tempo de produção, uma vez que processo se inicia na primeira etapa e só passa para a segunda quando a operação é finalizada. Essas duas práticas ainda impossibilitam a flexibilização da linha de produção, tornando-a extremamente rígida e não compatível com um sistema multiprodutos.



Refleta

Os princípios operacionais são vistos de três formas distintas. O princípio de empurra é o mais tradicional, mas apresenta problemas quanto ao tempo de fabricação, não levando em conta o prazo de entrega. Já o princípio de puxa visa dar prioridade à demanda, e esta garante o funcionamento das operações, porém deixa de lado os recursos operacionais, o que pode acarretar problemas para a produção. Tendo isto em mente, por que a forma puxa-empurra (misto) é a mais indicada para processos complexos?

O princípio misto garante uma maior flexibilidade do sistema e permite que tanto as necessidades do cliente, como qualidade de produto e rapidez de entrega, quanto as da empresa sejam satisfeitas da melhor maneira possível.

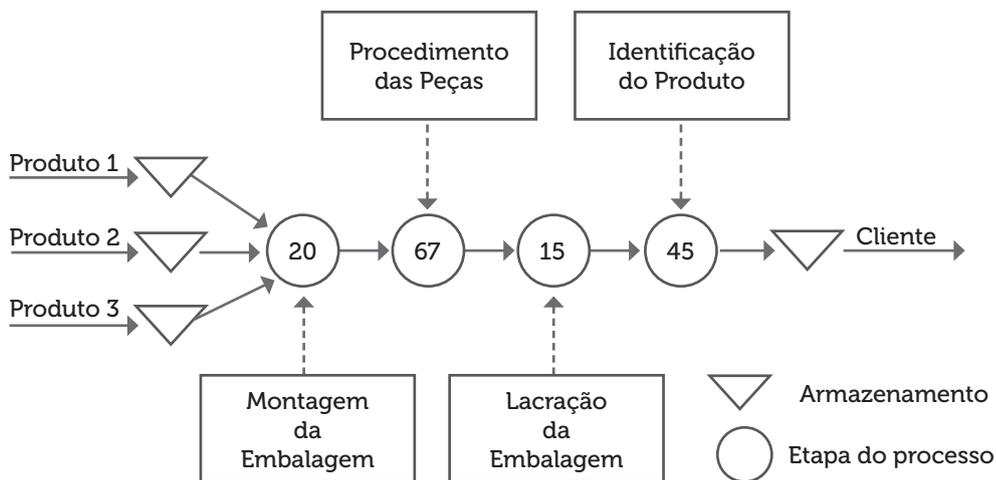
Sem medo de errar

Você se lembra da nossa pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis? Neste ponto do entendimento das necessidades do cliente, temos de entender o processo a ser automatizado. Portanto, o profissional deve ser capaz de elaborar um questionário direcionado à compreensão do processo que será abordado. Sendo assim, quais questões você aplicaria?

Pensando na linha em que estamos trabalhando, ou seja, na linha de empacotamento dos produtos, a questão mais importante para compreender as operações envolvidas nesta linha seria: qual o diagrama esquemático das operações envolvidas na linha de empacotamento?

A resposta que teremos que obter deve ser algo próximo ao que aparece na Figura 1.15 mostrada a seguir, em que é apresentado o tempo de operação em segundos.

Figura 1.15 | Diagrama de operações apresentado pela empresa

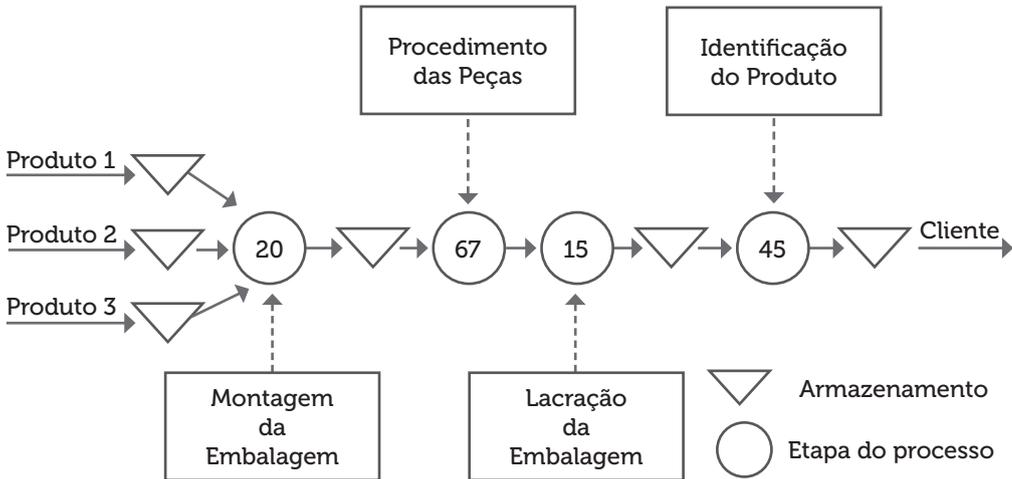


Fonte: elaborada pelo autor.

A primeira coisa que notamos é que o processo é do tipo empurra, pois não apresenta armazenamento ao longo da trajetória e não demonstra sublinhas, razão pela qual não tem caminho crítico. No entanto, podemos identificar dois gargalos, um na etapa de posicionamento das peças e outro na etapa de identificação, pois levam tempos consideravelmente maiores que os demais. Concluímos, então, que

o processo possui duas operações ociosas que podem ser facilmente remediadas aplicando-se armazenamentos entre as etapas de montagem e posicionamento e as etapas de lacração e identificação. Dessa forma, podemos apresentar um diagrama de correção conforme demonstrado na Figura 1.16.

Figura 1.16 | Correção das operações aplicadas à linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.



Atenção

Observe com cautela os tempos de operação, pois por meio deles podemos determinar o gargalo e o caminho crítico, lembrando que neste material não levamos em conta os tipos de operação, razão pela qual podemos descartar os riscos de cada uma delas.

Avançando na prática

Problemas no gerenciamento de operações

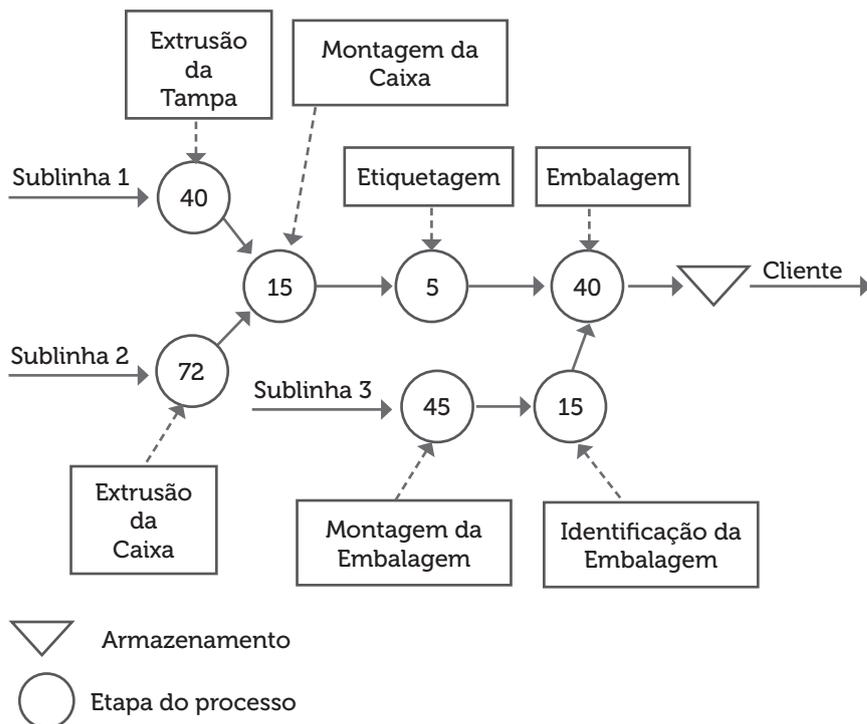
Descrição da situação-problema

Uma empresa que fabrica equipamentos elétricos residenciais contratou você para resolver um problema em suas linhas de produção. Ao ser recebido na empresa, o cliente o levou para uma visita ao “chão de fábrica” a fim de que tivesse um pouco de noção do problema que eles estão enfrentando. A linha de produção que mais lhe chamou a atenção foi a de caixas plásticas de disjuntores, pois tem uma complexidade razoável que ajudaria a iniciar o processo de identificação e solução do problema.

Após essa visita técnica, você solicitou um esquema operacional da linha de produção que havia escolhido.

O esquema que o gerente apresentou está demonstrado na figura a seguir:

Figura 1.17 | Esquema operacional apresentado



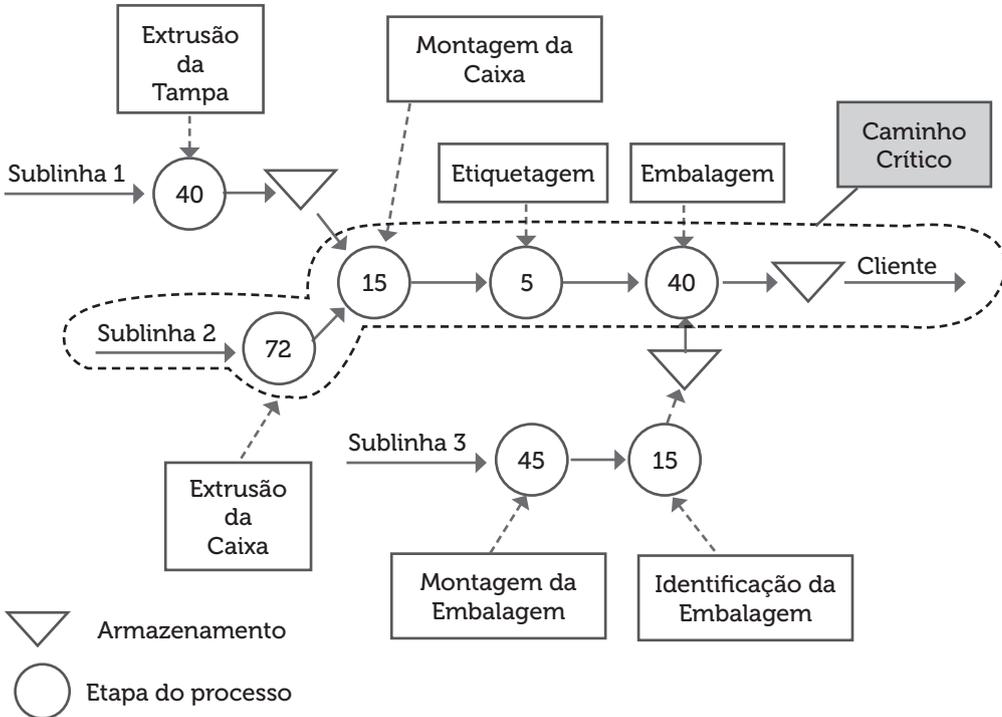
Fonte: elaborada pelo autor.

Quais problemas você poderá identificar analisando essa situação?

Resolução da Situação-Problema

Podemos identificar um caminho crítico neste processo, determinar que se trata de um princípio empurra e que este não é o ideal para essa operação. Dessa forma, a resolução utilizando os conceitos apresentados até aqui seria como o que se demonstra na figura a seguir:

Figura 1.18 | Esquema organizacional corrigido



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Processo de produção é a atividade de transformação de matéria-prima em algo útil para o consumidor, cliente ou interessado. Quando nos referimos à matéria-prima, não podemos pensar apenas em algo bruto e tangível, mas sim em algo mais amplo. Podemos dizer que em um processo aplicamos um trabalho sobre algo sem utilidade visível e isso o transforma em algo com determinada utilidade.

Com base nessas afirmações, assinale a alternativa que melhor exemplifica os conceitos de matéria-prima e produto, respectivamente.

- Capital e seguro de automóvel.
- Lanterna e copos descartáveis.
- Dinheiro e capital.
- Automóvel e peças de reposição.
- Minério de ferro e minério de alumínio.

2. O planejamento estratégico tem como objetivo adquirir e desenvolver os recursos de produção, definir novos produtos, políticas de atendimento e gerar planos de produção baseados nas previsões de demanda.

Qual é a alternativa que está diretamente relacionada a esse tipo de planejamento de produção?

a) Neste nível as decisões são tomadas com base em informações com reduzido grau de incerteza.

b) Visa alocar tarefas aos recursos disponíveis no sistema. As decisões neste nível de planejamento são tomadas com base em informações com alto grau de certeza (decisões de curto prazo).

c) É utilizado para tomada de decisões de curto prazo, o alto grau de incerteza caracteriza o problema com relação ao uso dos recursos.

d) Por se tratar de decisões de longo prazo, o alto grau de incerteza caracteriza o problema com relação ao uso futuro dos recursos da empresa.

e) Por se tratar de decisões de médio prazo, o alto grau de certeza é evidenciado por levar em consideração os recursos disponíveis da empresa.

3. Enquanto a continuidade evita interrupções durante o processo, a fluidez mantém cada parte deste funcionando, de forma a otimizar os tempos para que não existam falhas entre uma parte e outra do processo.

Com essa afirmação em mente, podemos dizer que a fluidez é:

a) Um método utilizado para se adquirir o melhor funcionamento das máquinas envolvidas no processo de produção.

b) O equilíbrio do processo para que este se mantenha uniforme, fazendo que todas as partes envolvidas tenham o mínimo de tempo de espera entre elas.

c) Princípio de aplicação de recursos para que se possa manter o devido funcionamento do processo por meio da automação.

d) Otimização do fluxo de operação para que o processo se mantenha o mais rápido possível.

e) Desempenho do processo em que este se mantenha funcionalmente até seu término, mas permitindo ocasionais paradas na produção.

Referências

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 199 p.

BAYER, F. M.; ARAÚJO, O. C. B. **Curso técnico em automação industrial: Controle automático de processos**. Escola Técnica Aberta do Brasil, Santa Maria, RS. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ctrl_auto_proc/161012_contr_aut_proc.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

BMW 3 Series Production BMW Munich Plant Full HD 1080i. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qhCXFsQ6kKQ>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

COMO os lápis são feitos. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=r2Pq6ucQObA>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

EXECUÇÃO do software para controle de processo no CLP Software A1 e Step 7 SIEMENS .1.1. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Da5YmlaQwlQ>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 348 p.

PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 190 p.

PCP: Introdução ao planejamento e controle da produção. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=z5cSJHhYGt4>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 515 p.

SILVA, M. M.; ASSUNÇÃO, R. B. A história do desenvolvimento da automação industrial. Disponível em: <<http://ohomempodetantodanosabemos.blogspot.com.br/2015/07/a-historia-do-desenvolvimento-da.html>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

SIMULAÇÃO de controle de processo industrial via MINDSTORMS NXT. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Gmp3fpMVjao>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

Principais sistemas de automação

Convite ao estudo

Caro aluno, na primeira unidade deste livro, vimos o que é automação, o que é controle e como são tomadas as decisões de uma empresa quanto às práticas industriais, e isso tudo foi de grande importância para definirmos o problema do cliente. Nesta unidade de ensino, veremos os equipamentos utilizados em automação e controle, os principais controladores de processos e, por fim, entraremos no mérito da prototipagem rápida em automação com conceitos de CAD e CAM para controle e automação de processos industriais, o que nos dará ainda mais ferramentas para determinar como será composto nosso sistema, a fim de resolvermos os problemas definidos pelas informações coletadas.

Esta unidade de ensino tem o objetivo de, além de inserir conhecimentos acerca da hierarquia que a automação segue, introduzir noções de equipamentos-chaves para o seu bom funcionamento e, ainda, compreender o conceito de prototipagem rápida e desenvolvimento de formas visuais, com auxílio de CAD e CAM, que facilitam a compreensão sobre o processo de automação. Nesta unidade, você, aluno, também desenvolverá o pensamento crítico, o raciocínio lógico e a criatividade para solução dos problemas de automação e controle de processos.

Seguindo com nossa pequena empresa: uma fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para tal, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Sendo o profissional enviado como responsável pelo projeto, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado.

Na primeira unidade, fomos capazes de compreender que apenas uma linha de produção seria automatizada e, por fim, definimos o tipo de automação mais adequada, o tipo de controle que seria aplicado e a forma como a linha se comportaria.

Ao final desta unidade, o profissional deverá ser capaz de elaborar um documento em forma de relatório, explicando como será realizada a automação, bem como os componentes e o tipo de controlador que serão empregados na solução do problema proposto.

Seção 2.1

Equipamentos utilizados na automação e no controle

Diálogo aberto

Uma fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para tal, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Sendo o responsável pelo projeto, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado. Anteriormente, fomos capazes de compreender que apenas uma linha de produção seria automatizada, a linha de empacotamento receberia uma automação do tipo rígida com controle PID e seguiria um princípio operacional do tipo PUXA para resolver alguns dos problemas existentes. Agora, definiremos alguns dos equipamentos que serão utilizados em nossa automação.

Com base nas informações obtidas da empresa, o profissional deve criar uma lista de equipamentos que deverão ser utilizados para a automação que será realizada. Essa lista deve responder aos seguintes questionamentos:

- Quais os níveis hierárquicos da automação nesse processo?
- Quais equipamentos já existem na empresa e quais deverão ser implementados?

Com esses questionamentos respondidos, você poderá compreender melhor o sistema a ser automatizado e tomar uma posição para solução do problema enfrentado pelo cliente.

Nesta seção de ensino, veremos os níveis de automação que são aplicados a qualquer empresa, cada nível com seus devidos equipamentos, e serão vistos, também, alguns conceitos de interface homem-máquina e sistemas supervisórios, que são de grande importância para que exista uma interação entre a automação e os operadores do processo. Assim, poderemos definir melhor o sistema de automação após a determinação de um problema.

Ao final desta seção, esperamos que você tenha compreendido a importância dos conceitos apresentados até esse momento e que tenha conhecimento dos níveis da

automação e os equipamentos que serão utilizados em cada um deles, de forma a conseguir elaborar um relatório que mostrará ao cliente a melhor forma e os melhores equipamentos para automatizar e controlar seus processos.

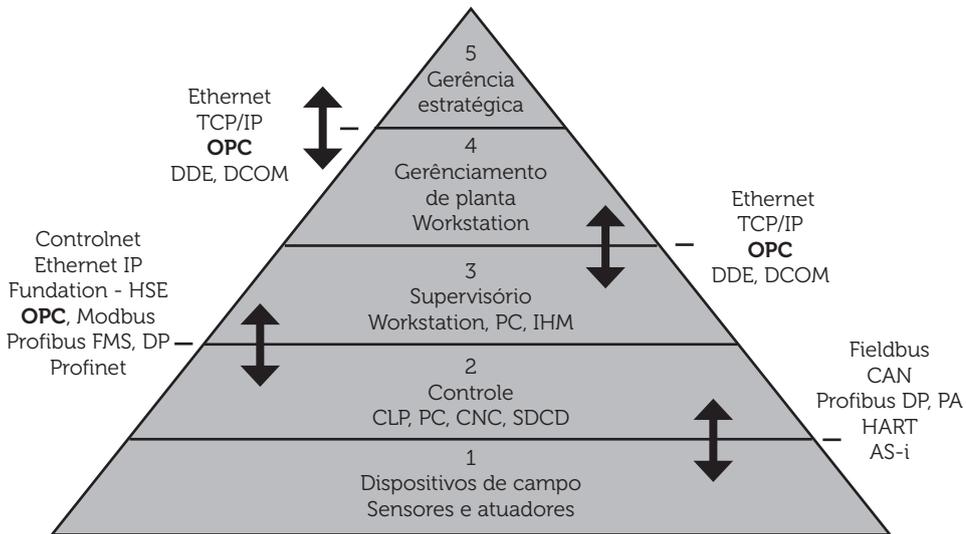
Não pode faltar

Hierarquia da automação

Vimos anteriormente uma introdução à automação industrial, controle e práticas industriais e, agora, veremos que a automação se apresenta diferentemente para os diversos níveis da cadeia industrial, desde o chão de fábrica até a diretoria.

Podemos dividir uma indústria em cinco níveis básicos e, com isso, montar uma pirâmide corporativa que chamaremos de "pirâmide da automação", que está demonstrada na Figura 2.1, em conjunto com a rede de comunicação aplicada a cada nível.

Figura 2.1 | Pirâmide dos níveis da automação



Fonte: <<https://goo.gl/nTQA0G>> Acesso em: 8 ago. 2016.

Podemos perceber pela pirâmide que existe uma ligação entre os níveis, e essa ligação acontece com base na rede de dados corporativa, sendo que, para cada nível existe um tipo de rede, pois os equipamentos de rede dos níveis mais altos são também mais sensíveis e sofrem interferências dos equipamentos nos níveis mais baixos. Portanto, para esses devem ser empregados equipamentos de rede mais robustos e que garantam a transmissão de dados independentemente da insalubridade do ambiente. Segundo a pirâmide, temos cinco níveis, que são:

1. Nível 1 – dispositivos de campo, conhecido como “chão de fábrica”, é o nível mais baixo do processo produtivo, engloba todo o maquinário da indústria, é caracterizado por ser composto por relés, conversores, sensores digitais e analógicos, inversores de frequência, sistemas de partida.
2. Nível 2 – controle de processos, é responsável por todo o controle dos elementos da automação empregados no Nível 1, onde podemos encontrar os controladores digitais, lógicos e dinâmicos, e os dispositivos de supervisão associados ao processo fabril. Esses equipamentos são responsáveis, também, por passar os comandos dos níveis superiores para as máquinas da planta da fábrica.
3. Nível 3 – supervisor, é o nível responsável pela supervisão da automação e, geralmente, apresenta um banco de dados relativos ao processo. Podemos encontrar aqui amplas quantidades de dados relativos à qualidade da produção, relatórios e estatísticas. Os sistemas supervisórios sintetizam as informações obtidas dos equipamentos dos níveis 1 e 2 e as repassam para os níveis administrativos (4 e 5).
4. Nível 4 – gerenciamento de planta, é o nível conhecido pela programação e pelo planejamento da planta fabril, passando as tarefas a serem implementadas para o nível 3, que as distribui para os níveis inferiores (1 e 2). Também é responsável pela logística e pelo controle de suprimentos. Podemos dizer que aqui ocorre o alinhamento entre as estratégias e as diretrizes da empresa com o nível de tecnologia empregada, tipos de processos e capacidade produtiva.
5. Nível 5 – direção da fábrica, é o nível que representa a gestão da fábrica, onde são montadas as estratégias de comércio, como marketing e vendas, além de delimitar a visão e missão da empresa.

As tecnologias mais recentes para automação, do nível 3 em diante, podem ser consideradas como o MES (*Manufacturing Execution System*), software responsável pelo planejamento da execução dos processos, e o ERP (*Enterprise Resource Planning*), programa que realiza o planejamento de negócios e logística.



Refleta

Podemos perceber que a automação pode se tornar cada vez mais complexa dependendo de sua utilização, mas o que nos leva a diferenciar os níveis da automação?

Será que é mesmo necessário dar níveis ao processo, isso realmente ajuda a descomplicar a automação ou só piora a situação?

Os equipamentos utilizados em cada nível do processo

Para compreendermos melhor o conceito de automação, devemos ter conhecimento dos equipamentos utilizados em cada nível da pirâmide mostrada na Figura 2.1. Aqui serão mostrados os equipamentos mais relevantes em cada um dos níveis da automação e uma breve caracterização de cada um deles.

Equipamentos e dispositivos do nível 1:

- **Sensores:** são elementos eletroeletrônicos sensíveis a alguma forma de energia física ou química que quando captam essa energia, emitem um sinal elétrico ou bloqueiam o sinal de saída. Existem diversos tipos de sensores. Podemos citar os fotodiodos (converte sinal luminoso para elétrico), os microfones (sinal sonoro para elétrico) e os termistores (sinal térmico para elétrico).
- **Soft-Starters:** são acionadores de partida para motores de indução de corrente alternada (motores AC), em substituição aos métodos chave compensadora, estrela-triângulo ou partida direta. Leva esse nome por não provocar golpes de aríete (os famosos "trancos") no sistema. Além disso, limita a corrente de partida, evita picos de corrente e incorpora parada suave e proteções ao sistema acionado pelo motor.
- **Inversores de frequência:** são usados para controlar a rotação de motores assíncronos. Controlando a rotação do motor, aumentamos a flexibilidade da produção de máquinas que são acionadas por motores de indução.
- **Motores:** são destinados a converter energia elétrica em energia mecânica, são utilizados na maioria das máquinas para acionamento de bombas, válvulas, compressores, entre outros. Vale ressaltar que os motores devem ser identificados e tratados como máquinas motrizes, sendo que devemos dar importância especial para sua instalação e manutenção, portanto devem ser instalados de maneira que permitam fácil acesso para manutenção e checagem.
- **Válvulas de controle:** têm a função de executar o movimento que controlará o processo, de acordo com a malha de controle e seu ajuste. Podemos dizer que uma válvula manipula a variável de entrada para mantê-la controlada o mais próximo possível de seu valor de *setpoint*.
- **Bombas:** são equipamentos rotativos usados para converter energia mecânica em energia hidráulica, com o objetivo de aumentar a velocidade do fluido para efetuar o deslocamento de um líquido por escoamento.
- **Compressores:** são equipamentos eletromecânicos, capazes de comprimir o ar que está no meio ambiente, armazenando-o com alta pressão em um reservatório específico. Os equipamentos industriais que fazem uso de ar comprimido são conhecidos como equipamentos pneumáticos. Um benefício

do ar comprimido é que ele pode ser liberado na atmosfera depois de utilizado, sem maiores problemas. O ar comprimido pode ter as mais diversas aplicações, por exemplo, nas indústrias farmacêuticas, químicas, alimentícias, automotiva, elétrica etc.

Equipamentos e dispositivos do nível 2:

- Controladores: são equipamentos utilizados para controlar um processo ou parte dele por meio de algoritmos lógicos ou matemáticos, compostos basicamente de um microprocessador e memórias para armazenar dados relevantes ao cálculo do procedimento de controle a ser realizado.
- IHM (interface homem-máquina): pode ser encontrado como HMI, que, em inglês significa *human-machine interface*. É uma forma de visualização simplificada do processo da máquina que visa à interação entre o homem e a máquina. Dessa forma, o IHM é um componente da máquina, podendo ser composto de visor, painéis de botoeiras, tela, entre outros, que facilita a interação do operador com a máquina a ser operada.
- Computadores: são utilizados no controle de processos, mas não são simplesmente modelos que encontramos em casa. São modelos industriais que podem ser incorporados em painéis de controle.
- CNC (comando numérico computadorizado): é a evolução dos antigos NCs (*numeric comand*). Esse termo refere-se a um tipo de controle individual utilizado em máquinas-ferramenta que podem ser programadas por computador. Podemos encontrar modelos de tornos, fresas, prensas, máquinas de corte, entre outros maquinários que utilizam o método CNC para controle individual.

Equipamentos e dispositivos de nível 3:

Nesse nível do processo, sendo caracterizado pela sua supervisão, alocam-se apenas computadores e *hubs* para comunicação e captação de dados dos controladores do nível 2, além de softwares específicos para supervisão de processos, tornando possível visualizar todo o processo industrial e interferir nos processos à distância, caso seja necessário.

Equipamentos e dispositivos dos níveis 4 e 5:

Esses dois níveis administrativos são compostos por computadores de alta performance, pois precisam ser altamente confiáveis e ter muita memória para o armazenamento massivo de dados, além de grande capacidade de processamento para algoritmos de gestão de dados. Deve contar com redundância de máquina e de disco rígido entre os níveis 4 e 5, além de acesso restrito, o que garante a segurança de todo o sistema de automação.



Exemplificando

Uma empresa fabricante de rolos de papel para editoras de jornal tem uma linha de produção automatizada, dividida da seguinte forma:

Nível 1 – Maquinários para manufatura de rolos plásticos, maquinários para enrolar o papel nos rolos, empacotamento e etiquetagem dos rolos prontos.

Nível 2 – Sistema de controle dos maquinários e rede industrial para aquisição de dados no nível 1 e transmissão de dados para o nível 3.

Nível 3 – Sistema de supervisão do controle, envio e recebimento de dados, algoritmos de controle e órgãos de manobra de proteção do chão de fábrica.

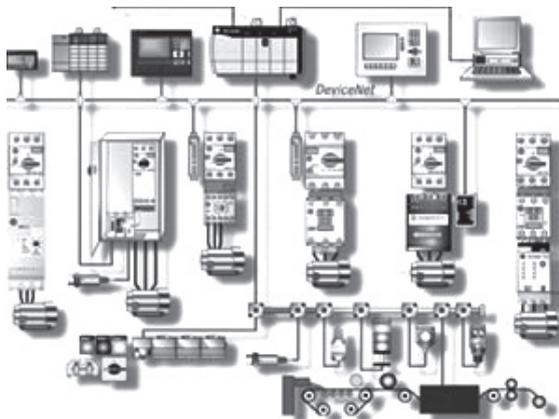
Nível 4 – Aquisição de dados do nível 3 e algoritmos de gestão de dados.

Nível 5 – Backup do nível 4 e sistema de gestão e atribuição de políticas empresariais.

Diferentes tipos de equipamentos

De acordo com Prudente (2011), cada ciclo automatizado, independentemente de ser simples ou complexo, tem duas partes: o bloco de potência e o bloco de comando. O bloco de potência pode ser considerado os músculos do sistema, pois é composto pelos elementos de acionamento, ou seja, o órgão que movimenta o sistema. Já o bloco de comando é a parte inteligente do sistema, sendo composto por computadores industriais e elementos detectores. A Figura 2.2 demonstra a correlação entre as partes do sistema de automação.

Figura 2.2 | Exemplo de correlação de equipamentos em automação



Fonte: <<https://goo.gl/Sv7JzS>>. Acesso em: 19 set. 2016.

Os equipamentos utilizados nessas duas partes do sistema são:

1) O bloco de potência, que transforma sinais elétricos, pneumáticos ou hidráulicos em deslocamento mecânico, dando o efeito necessário para o elemento automatizado.

Os atuadores elétricos podem ser encontrados das mais diversas formas, sendo os mais comuns: os motores de corrente contínua, solenoides, motores brushless, motores de passo, motores lineares e motores de indução ou assíncronos.

Os elementos pneumáticos e hidráulicos têm princípios de funcionamento parecidos, diferenciando-se em relação à velocidade e à força de acionamento. Os cilindros pneumáticos têm alta velocidade e pequena força. Já os hidráulicos têm elevada força de acionamento, porém baixa velocidade.

2) O bloco de comando é formado por computadores e elementos detectores, porém ainda é responsável pela aquisição e transmissão de dados do sistema, interface, supervisor e órgão de manobra de proteção.

Os elementos detectores podem ser encontrados em dois tipos: os analógicos (transdutores) e os digitais (sensores). Os transdutores transformam uma grandeza de entrada em uma saída do tipo elétrico ou pneumático, sendo chaves, potenciômetros, transdutores de temperatura, pressão e força, entre outros. Os sensores têm uma saída do tipo *on/off* (liga e desliga) e recebem um sinal de entrada que, ao ultrapassar um valor pré-determinado para o sensor, gera um sinal de saída ou bloqueia o sinal do sensor fazendo com que o controlador saiba como deve prosseguir. Podemos encontrar sensores dos mais diversos possíveis: luminosidade, proximidade, presença, cor, entre outros. Além disso, ainda há os órgãos de manobra e proteção responsáveis por intervir diretamente no sistema em caso de falhas e que podem ser controlados em conjunto com o sistema ou, também, manualmente, para que o operador realize a manobra, caso necessário.



Pesquise mais

Para saber mais sobre os diversos equipamentos utilizados em automação e controle, estude o primeiro capítulo do livro:

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

Sistemas supervisórios

Sistemas supervisórios são softwares que permitem a comunicação entre um computador e uma rede de automação, trazendo ferramentas padronizadas para a construção de interfaces entre o operador e o processo. Esses sistemas são utilizados para automatizar a monitoração e o controle de sistemas por meio de recolhimento

de dados em ambientes complexos e utiliza de interface homem-máquina sofisticada para apresentar uma visualização amigável do processo monitorado.



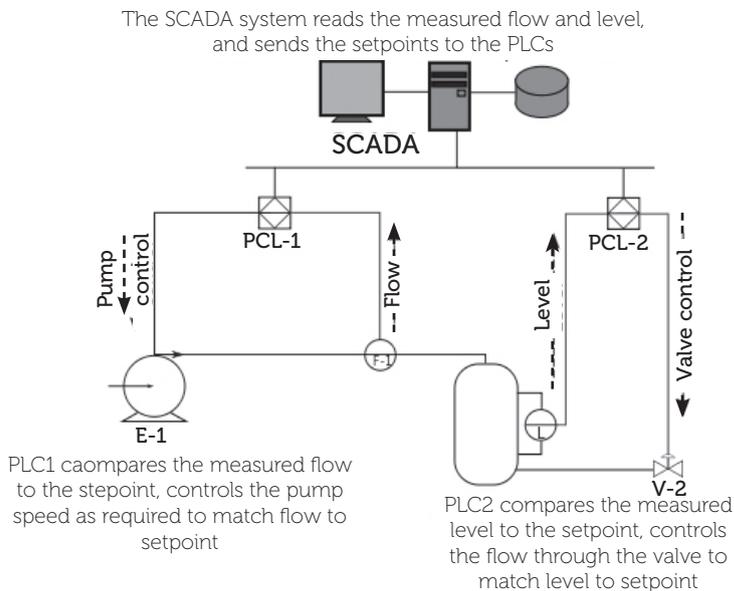
Assimile

Sistemas supervisórios são sistemas baseados em interfaces homem-máquina, com o objetivo de facilitar a visualização por meio de diagramas, gráficos e desenhos. Representam o funcionamento de um sistema real, de maneira virtual para que seja monitorado externamente, o que permite maior segurança durante o processo e em caso de falhas do sistema.

O sistema supervisório mais conhecido e difundido no meio industrial é o sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), que permite a comunicação entre os níveis superiores (níveis 4 e 5) da empresa e os níveis inferiores (níveis 1 e 2).

Seu funcionamento começa com a aquisição de dados dos controladores do processo, então ele lê essas medidas dos controladores e, por meio de algoritmos, determina o *setpoint* que será enviado ao controlador que, por sua vez, realiza os cálculos necessários para adequar as saídas do sistema ao *setpoint* e envia os dados ao supervisório, que realiza novos cálculos para, caso necessário, adequar o *setpoint* novamente. A Figura 2.3 ilustra o diagrama de funcionamento do sistema SCADA.

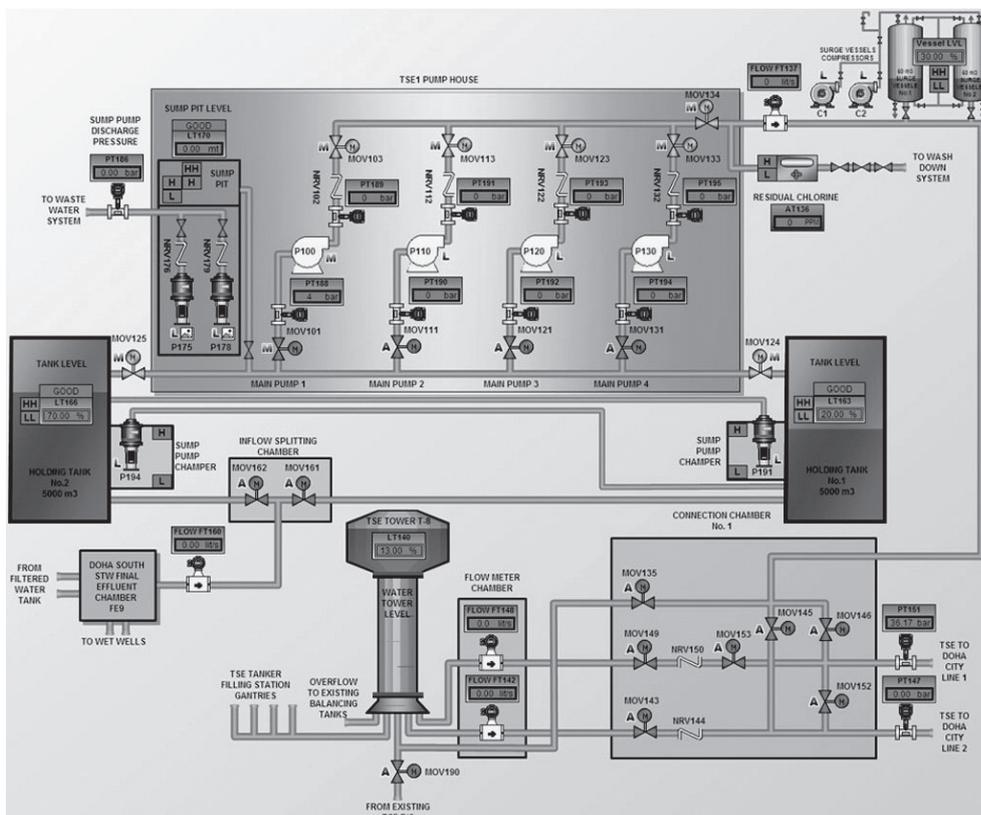
Figura 2.3 | Diagrama de funcionamento de supervisão por sistema SCADA



Fonte: <<https://goo.gl/pXBCz2>>. Acesso em: 13 set. 2016.

Como já vimos, o sistema SCADA é um software que tem o objetivo de transformar o processo em uma visualização amigável ao operador, além de permitir que interfira diretamente no sistema, caso necessário. A Figura 2.4 nos traz um exemplo de visualização de sistema SCADA.

Figura 2.4 | Exemplo de tela supervisória de uma estação de bombeamento



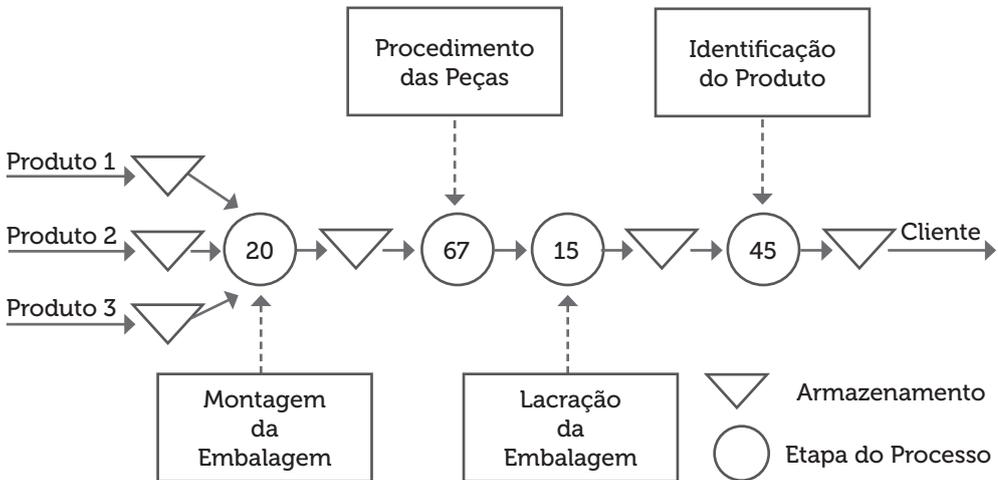
Fonte: <<https://goo.gl/Kfst3y>>. Acesso em: 13 set. 2016.

Sem medo de errar

Lembrando da fabricante de peças de reposição para automóveis que estávamos trabalhando anteriormente, ela deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para isso, resolveu contratar uma empresa especializada que, por sua vez, enviou você ao local para definir os parâmetros do sistema de automação.

Sendo o responsável pelo projeto de automação, você realizou uma série de questionamentos que o ajudaram a compreender melhor o problema que a empresa vinha enfrentando. Conseguiu definir que apenas uma linha de produção seria automatizada e que receberia uma automação do tipo rígida com controle PID, seguindo um princípio operacional do tipo PUXA. A Figura 2.5 relembra como foi definida a linha de produção para essa empresa.

Figura 2.5 | Correção das operações aplicadas à linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Agora, você deve analisar essa linha de produção e definir por meio dela quais níveis de hierarquia serão aplicados e determinar quais equipamentos aplicarão em cada nível. Sabendo que os maquinários já fazem parte do leiaute da empresa, quais são os níveis de automação? E quais são os equipamentos que devem ser empregados em cada um desses níveis?

Resolução do problema

Para solucionar esse problema, podemos dividi-lo em duas partes: a análise das informações do cliente e a conclusão tida a partir dessa análise.

Análise

Para nossa linha de produção, devemos, primeiramente, definir os níveis da automação, sendo que o nível 1 é o próprio chão de fábrica que, sabemos, já foi definido pela empresa, pois já possuía os maquinários, e o nível 2, que tem o

objetivo de controlar o processo e fazer a comunicação do nível 1 com o nível 3. Ainda, o nível 3 deve supervisionar o sistema e transmitir as informações dos níveis inferiores para os níveis superiores. O nível 4 permite a gestão do chão de fábrica, e o nível 5 tem o backup do 4 e proporciona a gestão da empresa como um todo.

Conclusão

Com essa análise em mãos, podemos tirar as seguintes conclusões:

- Partindo pelo nível 1, sabemos que os maquinários serão os mesmos, portanto ficará a cabo de aplicar os sensores e transdutores para que o controle possa adquirir dados relativos ao chão de fábrica.
- Já no nível 2, devemos aplicar controladores ao sistema e redes de comunicação que farão o intercâmbio de dados entre os níveis 1 e 3.
- Aplicamos uma sala de supervisão do processo com computadores industriais e softwares de supervisão para o nível 3, além de implantar órgãos de proteção ao sistema, permitindo que o operador interfira sempre que necessário.
- O nível 4 deve ter um computador de alta performance para garantir o bom funcionamento e a captação de dados dos supervisórios.
- Já o nível 5 provavelmente necessitará de atualizações em seus computadores para suportar a massiva quantidade de dados que receberá dos processos.

Com essas considerações, podemos determinar os melhores equipamentos para cada nível, mediante análise de disponibilidade no mercado.

Por exemplo, no primeiro nível, podemos aplicar sensores de presença para determinar se as caixas estão presentes na esteira, sensores fotocromáticos, que são sensíveis a cores para determinar os produtos que vão em cada embalagem. Podemos aplicar, no segundo nível, controladores individuais para cada maquinário, ou um computador industrial para todos os maquinários à linha de produção como um todo. No terceiro nível, pode-se desenvolver um sistema supervisório com auxílio de softwares específicos como o SCADA. E nos dois últimos níveis, por serem administrativos, devemos implementar computadores de alto desempenho, como os workstations, que são computadores de tamanho inferior, parecidos com os desktops caseiros, porém de fácil modulação e grande poder de processamento e memória ou, ainda, os clusters, que são estações computacionais modulares de grande porte. Ainda nesses níveis, pode-se fazer uso de equipamentos de backup, como HDs (*hard disks*) externos codificados.

Avançando na prática

Caro aluno, nesta nova situação-problema, aprofundaremos o conhecimento sobre os níveis de automação e suas aplicações, a fim de complementar ainda mais o estudo proposto nesta unidade de ensino.

Automação de calhas

Descrição da situação-problema

Uma empresa de calhas quer realizar uma automação de seu sistema de dobra de chapas de aço galvanizadas e, para isso, contratou uma empresa de automação que à qual enviou a planta da fábrica para expor melhor o processo por trás da fabricação das calhas. Na empresa, ficou claro para você que o processo a ser automatizado era simples, pois o chão de fábrica era composto por duas máquinas, uma para cortar as chapas e outra para dobrá-las, porém necessitava de uma melhora na rede de comunicação entre os níveis da empresa, visto que, apesar de o nível 1 estar com os maquinários em bom estado, o nível 2 tinha bons controladores, porém incompatíveis com a aquisição de dados do nível 3, que também carecia de supervisórios e não apresentava formas de intervenção direta do sistema. Os níveis 4 e 5 não necessitavam de melhorias.

O que deve ser feito para melhorar a automação da empresa? Quais as implementações nos níveis de automação que devem ser feitas para garantir o bom funcionamento do sistema?

Resolução da situação-problema

Sabemos que o nível 1 não precisa de melhorias, portanto partiremos diretamente para uma análise do nível 2. Nesse nível, percebemos que os controladores estão de acordo com o sistema, porém são deficitários para uma rede de comunicação eficiente, portanto devemos atribuir melhores computadores para esse nível com software que faça a ligação entre os níveis 2 e 3. Posteriormente, o nível 3 deve receber um software supervisório da linha de produção para garantir uma melhor visualização e operação do chão de fábrica, e ainda devemos atribuir alguns órgãos de proteção para garantir a segurança do sistema. Nos níveis 4 e 5, não há necessidade de intervenção, a não ser que as modificações nos níveis 2 e 3 exijam atualizações nos componentes dos níveis superiores.

Dessa forma, podemos garantir o pleno funcionamento da empresa como um todo.

Faça valer a pena

1. _____ é uma forma de visualização simplificada do processo que visa à interação entre o homem e a máquina. Dessa forma, é um componente composto de visor, painéis de botoeiras, tela, entre outros, que facilita a interação do operador com a máquina a ser operada.

Qual a alternativa que completa a lacuna apresentada no texto, de forma a lhe dar o devido contexto?

- a) Sistema supervisório.
- b) Painel de visualização.
- c) Tela.
- d) Interface homem-máquina.
- e) Interface controlador-supervisor.

2. O primeiro nível é chamado “chão de fábrica”, sendo o nível mais baixo do processo produtivo, que engloba todo o maquinário da indústria e é composto, principalmente, por relés, conversores, sensores digitais e analógicos, inversores de frequência, sistemas de partida e centro de controle de motores (CCM).

O primeiro nível pode ser comparado ao nível dos músculos da indústria. Qual das alternativas a seguir mostra alguns dos equipamentos desse nível?

- a) Motores, atuadores e cilindros pneumáticos.
- b) Motores, controladores e sistemas supervisórios.
- c) Computadores, controladores e motores.
- d) Computadores, softwares de gestão e rede de dados.
- e) Órgãos de proteção, computadores e softwares.

3. Sistemas supervisórios são softwares que permitem a comunicação entre um computador e uma rede de automação, trazendo ferramentas padronizadas para a construção de interfaces entre o operador e o processo. Esses sistemas são utilizados para automatizar a monitoração e o controle de sistemas por meio de recolhimento de dados em ambientes complexos.

Assinale a alternativa que melhor denota um sistema supervisorio.

- a) Utiliza de dados gestão para solucionar problemas do chão de fábrica.
- b) Faz aquisição de dados de ambiente complexo e os transforma em uma visualização amigável para os controladores.
- c) É um sistema que previne perdas do processo por meio de dados recolhidos dos órgão de proteção do sistema.
- d) Utiliza de interface homem-máquina sofisticada para apresentar uma visualização amigável do processo monitorado.
- e) Recolhe dados do chão de fábrica para os reproduzir nos sistemas de gestão.

Seção 2.2

Alguns tipos de controladores

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção veremos alguns dos tipos mais comuns de controladores, destacaremos suas vantagens e desvantagens e, ainda, introduziremos o controlador lógico programável (CLP), sendo o mais comum dos controladores de processos industriais, além das vantagens e desvantagens de sua aplicação.

Lembra-se da empresa que estávamos estudando?

Uma fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para tal, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Sendo o supervisor responsável pelo projeto, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado. Na primeira Unidade de ensino, fomos capazes de compreender que apenas uma linha de produção seria automatizada e, por fim, definimos o tipo de automação que seria feita, o tipo de controle que seria aplicado e a forma como a linha se comportaria.

Na seção anterior, vimos quais equipamentos seriam utilizados na linha e, com os equipamentos determinados, devemos partir para o tipo de controlador que iremos empregar para controlar nosso sistema. A essa altura, o profissional deve ser capaz de compor um breve relatório para justificar a escolha do controlador.

Nesta seção, veremos alguns tipos de controladores que estão disponíveis no mercado, suas principais vantagens e desvantagens. Essas informações o levarão à escolha de um controlador que irá sanar os problemas da automação da melhor forma possível, portanto saber qual tipo de controlador empregar nos permitirá controlar com maestria o processo industrial. E, conhecendo o tipo de controlador, também definiremos o tipo de algoritmo a ser utilizado e a linguagem empregada, que serão os temas abordados nas próximas unidades de ensino.

Ao final desta seção, esperamos que você tenha o conhecimento sobre os diversos tipos de controladores e suas principais vantagens e desvantagens, para que, dessa forma, possa determinar qual é o melhor tipo de controlador para cada tipo de processo.

Não pode faltar

Tipos de controladores

Iniciamos esse tema definindo os controladores, que são dispositivos que recebem informações do processo e, por meio de algoritmos pré-definidos, realizam cálculos e emitem sinais para modificar as variáveis do sistema, fazendo com que o processo funcione adequadamente, ou seja, da forma esperada e estipulada durante o desenvolvimento de tal sistema.

De maneira geral, podemos dividir os controladores em dois grandes grupos: os analógicos e os digitais.

Os controladores analógicos do tipo pneumático foram aplicados na indústria de forma massiva até a década de 1970, quando foram substituídos pelos analógicos eletrônicos na década de 1980. Esse tipo de controlador utiliza sinais contínuos para calcular a saída do sistema. Apresenta uma grande vantagem: seu baixo custo é um atrativo para processos simples e que não têm necessidade de captação de dados para gestão. Porém, apresenta uma desvantagem quanto ao desvio de controle, pois as variáveis medidas e manipuladas apresentavam uma grande discrepância, que poderia ser maior ou menor, dependendo da técnica de controle empregada. Por exemplo, o tempo de banda proporcional poderia variar de 0 a 25% a mais do valor indicado e, ainda, o tempo derivativo pode chegar a 100% a mais que o esperado.

Os controladores digitais começaram a ser implantados nas indústrias a partir da década de 1980 e são os mais aplicados até hoje, tendo uma vasta gama de produtos no mercado atual. Os computadores digitais são intensivamente utilizados no controle distribuído, no controle por realimentação de variável simples (*single loop*), em controle lógico, na transmissão de dados e, principalmente, no controle lógico programável, sendo que também podem ser utilizados em conjunto com controladores analógicos para medição de variáveis. Apesar dos processos serem contínuos no tempo, os controladores digitais são discretos, pois levam em consideração somente as saídas do processo em pontos discretos no tempo. Podemos destacar as seguintes tarefas dos controladores digitais, de acordo com Ribeiro et al (2001):

1. Obtêm um valor amostrado de saída do processo.
2. Calculam o erro entre a medida e o ponto de referência armazenado no computador.
3. Computam o valor apropriado para a entrada manipulada do processo.
4. Geram um sinal de saída para o elemento final de controle.
5. Continuam a mesma operação com a próxima variável controlada.

Basicamente, a maior desvantagem dos controladores digitais é o surgimento de tempo morto no controle, que é causado por tempo de amostragem, computação matemática, filtro analógico das harmônicas de amostragem, caracterização do modo derivativo, entre outros. Portanto não se deve utilizar esse tipo de controlador indiscriminadamente em processos críticos, onde a rapidez é extremamente importante. Ainda, como todos os processos são analógicos em sua essência, o recebimento de amostragem de forma digital, ou seja, de modo discreto é um distúrbio na ação derivativa e pode desestabilizar o sistema, podendo gerar impulsos na entrada (positivo) e saída de amostra (negativo). Assim, devemos evitar o uso de ação derivativa com controladores digitais ou elevar o custo de aplicação empregando algoritmos de alto desempenho (RIBEIRO, 2001).

Já as principais vantagens dos controladores digitais são a alta capacidade de processamento, dessa forma, sendo mais adequados para controles avançados, além de serem superiores aos controladores analógicos nos quesitos precisão, resolução de ajustes em seus modos de controle, linearização e caracterização de sinal, maior flexibilização de programação e comunicação.



Refleta

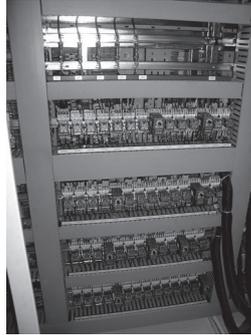
Devido à quantidade de controladores existentes no mercado atual e considerando-se as suas possibilidades de aplicação, será que podemos utilizar qualquer tipo de controlador para controlar qualquer tipo de processo?

Vantagens e desvantagens dos controladores

Os principais tipos de controladores digitais são:

- Relés eletromecânicos (Figura 2.6): como o próprio nome diz, são controladores baseados em painéis de relés, sendo conhecidos por sua operação e manutenção. Suas principais vantagens são o baixo custo e, por operar com alta corrente elétrica, devem ser resistentes a variações térmicas e eletromagnéticas. Porém, suas desvantagens são vastas. Podemos destacar a baixa confiabilidade e o pequeno tempo de vida útil e, ainda, por serem baseados em relés, a configuração e a reprogramação são altamente complexas visto que dependem da fiação que interliga os relés. São painéis que ocupam grande espaço e, dependendo do tamanho e da complexidade, a manutenção se torna árdua pela dificuldade de identificação dos defeitos na caixa de relés. Além do mais, podemos destacar a impossibilidade de emissão de relatórios, devido à incapacidade de aquisição de dados inerente a esse sistema.

Figura 2.6 | Painel de relês



Fonte: <<https://goo.gl/5gvUVT>>. Acesso em: 28 set. 2016.

- Circuitos eletrônicos com lógica fixa: esse tipo de controlador é uma alternativa tecnológica para o controle de processos industriais, por serem avançados e de baixo custo. Porém, por ser inflexível, ou seja, desenvolvido basicamente para o processo em questão, apresenta refinado detalhe de concepção, sendo necessários profissionais mais específicos para o desenvolvimento desse tipo de controlador. Dessa forma, o tempo de parada para manutenção e reprogramação inviabiliza sua aplicação.
- Computadores de processo (PC industrial): sua maior vantagem é em relação à quantidade de tarefas que pode realizar ao mesmo tempo (*multitasking*), sendo de grande versatilidade e fácil reprogramação. O principal problema nesses robustos computadores é a complexidade de programação. Por realizar diversas tarefas como controle do processo, análise e armazenamento de dados referentes ao sistema, pode apresentar falhas por, muitas vezes, sofrer com conflitos de dados e sobrecarga de informações. Devido a isso, é frequentemente utilizado para programação *multitasking*, em que seu foco é monitorar e gerar relatórios em conjunto com outros controladores. A Figura 2.7 ilustra um computador desse tipo.

Figura 2.7 | Computador industrial



Fonte: <<https://goo.gl/l76oi6>>. Acesso em: 28 set 2016.

- Microcontroladores: esses controladores são amplamente utilizados em controle periférico de acessórios, como motores automotivos, brinquedos, relógios digitais, micro-ondas, entre diversas outras aplicações. Por serem de baixo custo e apresentarem grande flexibilidade, ainda estão em pleno desenvolvimento e são utilizados como “cérebro” para outros controladores. Sua maior vantagem, além da flexibilidade, é o tamanho reduzido. Sua principal desvantagem é a interferência eletromagnética.
- Unidades terminais remotas: são o mais baixo nível de controle e supervisão, sua principal aplicação é a interface dos sinais de controle do processo e o canal de comunicação com o centro de operações. Sua principal vantagem é a interface homem-máquina amigável e sistema de supervisão completa, fazendo a comunicação entre as partes operativas e de gestão da indústria. Sua desvantagem está na especificidade em sua aplicação e desenvolvimento.



Pesquise mais

Para compreender um pouco mais sobre controladores, leia este artigo, que expõe de forma simples e didática os principais controladores suas aplicações, vantagens e desvantagens:

ALBUQUERQUE, P. U. B. **Controladores industriais**. Fortaleza, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/5022396/CONTROLADORES_INDUSTRIAIS. Acesso em: 29 set. 2016.

Uma introdução ao CLP

Os controladores lógicos programáveis (CLPs), ou PLC, que têm seu significado do inglês *Programmable Logic Controller*, são definidos por Prudente (2011) como sendo um complexo sistema eletrônico para uso industrial capaz de gerir qualquer operação de controle industrial de maneira flexível. Esses controladores fazem uso de microprocessadores para realizar suas tarefas de cálculo e processamento de sinais, portanto apresentam grande agilidade na resposta de controle, além de terem memória interna, o que os permite armazenar dados e algoritmos. Essas vantagens, aliadas à tecnologia eletrônica, tornam-o capaz de realizar trabalhos como: elaboração de sinais analógicos, visualização e transferência de dados, conexão em rede com computadores, CNCs e outros equipamentos.

Os primeiros CLPs eram baseados em sistemas eletromecânicos que apenas permitiam sinais binários. Portanto, eram conhecidos por lógica *on/off*, uma vez que atuavam no sistema emitindo sinais de ligar ou desligar e abrir ou fechar. Com a evolução, esses controladores foram ganhando novos recursos e, hoje em dia, são operados por microprocessadores de alto desempenho. Pela sua complexidade e sofisticação,

um controlador desse tipo pode apresentar alto custo, e isso é erroneamente visto como desvantagem, mas ao adotá-lo como solução, pode-se perceber uma melhora no desempenho, na qualidade e no custo de operação, de forma a tornar seu custo relativamente ótimo se comparado aos benefícios que traz ao sistema.



Assimile

Os CLPs são dispositivos de alta sofisticação que fazem uso de recursos eletroeletrônicos para desenvolver tarefas inimagináveis para outros tipos de controladores, pois englobam várias estratégias de controle distintas.

Vantagens e desvantagens do CLP

Podemos destacar basicamente três tipos de CLPs:

1) CLP compacto: são montados em uma caixa única, o CPU (unidade central de processamento), algumas entradas e saídas digitais e, em alguns casos, entradas e saídas analógicas. Esses CLPs têm uma capacidade de memória limitada e, para determinados fabricantes, não existe a possibilidade de expansão remota. Apesar da aparente limitação desse tipo de CLP, eles são muito utilizados, pois atendem à grande maioria das aplicações. Podemos ver um exemplo na Figura 2.8.

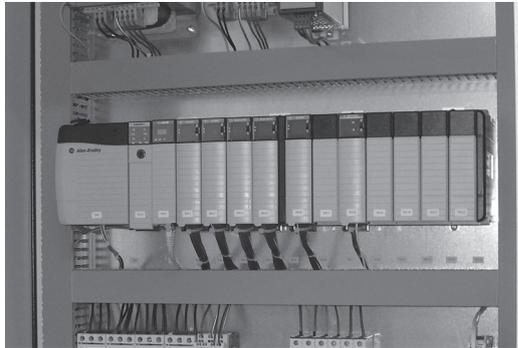
Figura 2.8 | CLP compacto com visor



Fonte: <<https://goo.gl/T9Nn7G>>. Acesso em: 29 set. 2016.

2) CLPs modulares de pequeno porte: são montados em racks, onde são inseridos os cartões separadamente. Para cada dispositivo existe um módulo específico. Quando existe a necessidade de uma maior capacidade, velocidade de processamento e número de entradas e saídas, pode-se aplicar mais módulos. Outro critério que leva à escolha de CLPs modulares é quando existe necessidade de troca de algum módulo de entradas e saídas. A Figura 2.9 mostra um CLP do tipo modular.

Figura 2.9 | CLP modular



Fonte: <<https://goo.gl/fdWhrM>>. Acesso em: 29 set 2016.

3) CLPs modulares de grande porte: são equipamentos com grande capacidade de processamento e memória, que podem controlar milhares de entradas e saídas (locais ou remotas), e alguns fabricantes disponibilizam CPUs que podem trabalhar em redundância via hardware, em sistemas tolerantes a falhas. Na Figura 2.10, podemos ver um CLP desse tipo, percebendo a quantidade de módulos e seu tamanho considerável.

Figura 2.10 | CLP modular de grande porte



Fonte: <<https://goo.gl/FO9VyE>>. Acesso em: 29 set. 2016.



Exemplificando

Uma empresa que controla a temperatura de sua caldeira utilizando um termostato analógico deseja melhorar seu sistema de segurança, automatizando seus processos. A caldeira apresenta um sistema de segurança que força a sua parada quando uma botoeira é acionada manualmente pelo responsável pela caldeiraria. Porém, por várias vezes,

essa forma se mostrou ineficaz, causando paradas imprevistas nas linhas de produção.

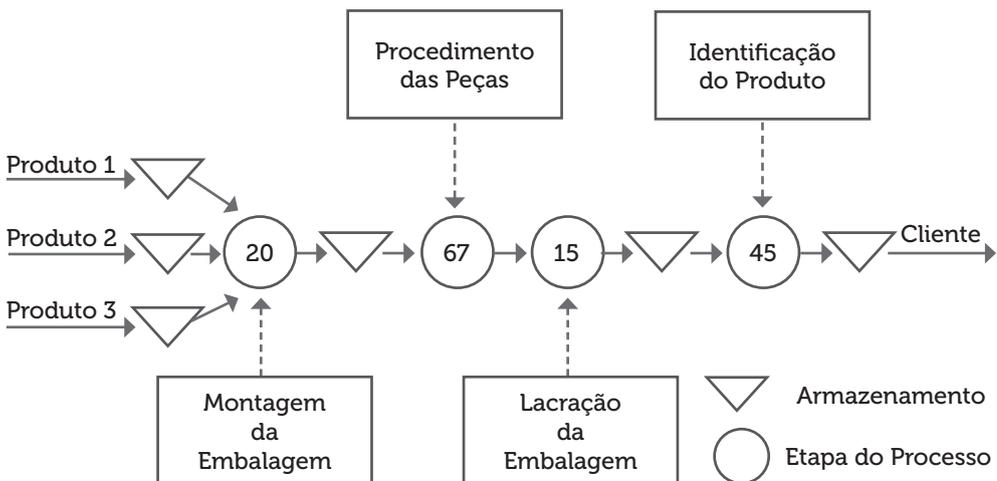
Sabendo-se que a empresa quer melhorar sua segurança, deve-se obter informações dos processos a todo momento, algo que um controlador analógico não é capaz de oferecer, portanto a empresa deve priorizar o uso de um controlador digital para a caldeira, capaz de adquirir dados e enviá-los ao supervisórios que acionarão a parada do sistema em caso de falha.

Sem medo de errar

Uma fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para isso, contratou uma empresa de automação que enviou seu profissional ao local. Sendo o supervisor responsável pelo projeto, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado.

Dessa forma, ficou definido que apenas uma linha de produção seria automatizada, e que essa linha teria um sistema rígido com controle PID. Ainda, foi determinado que teria um princípio operacional do tipo PUXA, conforme o diagrama da Figura 2.11.

Figura 2.11 | Correção das operações aplicadas à linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.



Atenção

Para um problema de definição de controladores para um determinado processo, devemos, primeiramente, analisar o contexto como um todo e observar o tipo de processo para perceber quais são as necessidades, pois, assim, podemos determinar o melhor controlador, sendo suficiente para o trabalho e não excedendo o que é preciso.

Ainda na Seção 2.1, vimos os níveis da indústria e seus equipamentos e, olhando de forma razoável, podemos perceber que iremos tratar do nível 2 da hierarquia da automação, pois é nesse nível que são empregados os controladores. Ficou definido, também, que deveríamos utilizar um controlador capaz de executar tarefas do chão de fábrica e que permita a comunicação entre os níveis 1 e 3. Dessa forma, qual é o tipo de controlador que seria mais indicado para esse processo?

Resolução da situação-problema

Com as informações provenientes das análises anteriores, percebemos que podemos empregar um PC industrial, ou um CLP, a esse processo de automação, por ser capaz de realizar as tarefas de forma ótima.

Porém um PC industrial é complexo e caro para uma aplicação de controle em somente uma linha, sendo que ela pode ser controlada apenas por um CLP que é capaz de realizar a transferência de dados e tem um custo bem mais acessível.

Dessa forma, podemos definir que o melhor controlador para esse processo de produção é um CLP, assim, sabemos que, a partir desse ponto, poderemos definir a linguagem de programação que será aplicada a esse controlador, bem como sua estrutura de funcionamento. Tal linguagem e estrutura serão abordadas na próxima unidade de ensino.

Avançando na prática

Controle em uma indústria de doces

Descrição da situação-problema

Uma fábrica de doces limpa seus tonéis de mistura com um processo de limpeza automático de forma que o sistema os enche com uma solução líquida de compostos químicos, após 20 minutos, eles são esvaziados e, em seguida, enxaguados por meio de jatos multidirecionais de água aquecida a 97°C por cerca de 10 minutos.

A empresa vem percebendo que os doces estão apresentando traços de produtos químicos de limpeza em sua composição e decide contratar um profissional para propor uma melhora no controle de detecção desses resíduos. Até o momento, a empresa apenas controla o tempo de enxágue dos tonéis, mas não apresenta controle de resíduos. Sendo o gerente de projetos, qual controlador você aplicaria para tal processo?

Resolução da situação-problema

Vendo que a empresa apenas possui um sistema de enxágue com tempo monitorado, ou seja, assim que se passam 10 minutos, os jatos de água são desligados e o processo de fabricação é reiniciado, podemos perceber que se trata de um sistema de controle um tanto quanto simples e impreciso.

Para resolver esse problema, podemos aplicar um CLP, com sensores químicos que medirão se a água que passa por eles apresenta esse tipo de composto, assim, os jatos de água serão desligados quando ela não mais apresentar tais resíduos.



Faça você mesmo

Caro aluno, a fim de estimulá-lo a utilizar os conhecimentos desenvolvidos nessa seção, sugerimos que você resolva a seguinte situação-problema:

Você foi contratado por uma empresa fabricante de televisores para gerenciar um projeto de automação, sabendo que o processo a ser automatizado é o de extrusão de plástico da carcaça dos televisores fabricados. Qual é o controlador que você, como gerente do projeto, escolheria para controlar o sistema, sabendo que a temperatura deve ser mantida entre 130° e 140° e que o sistema supervisor monitorará todo esse processo?

Faça valer a pena

1. Os controladores são dispositivos que recebem informações do processo e, por meio de algoritmos pré-definidos, realiza cálculos e emite sinais para modificar as variáveis do sistema de forma a fazer com que funcione adequadamente, ou seja, da forma esperada e estipulada durante o desenvolvimento de tal sistema.

De maneira geral, podemos dividir os controladores em dois grandes grupos. Quais são eles?

- a) Controlador analógico e controlador digital.
- b) Controlador analógico e controlador automático.
- c) Controlador digital e controlador eletroeletrônico.
- d) Controlador manual e controlador automático.
- e) Controlador analógico e controlador pneumático.

2. Estes controladores começaram a ser implantados nas indústrias a partir da década de 1980 e são os mais aplicados até hoje, tendo uma vasta gama de produtos no mercado atual. Também são intensivamente utilizados no controle distribuído, no controle por realimentação de variável simples (*single loop*), em controle lógico, na transmissão de dados e, principalmente, no controle lógico programável.

Assinale a alternativa que melhor denota o tipo de controlador a que o texto se refere:

- a) Controlador digital.
- b) Controlador lógico programável.
- c) Controlador analógico.
- d) Controlador pneumático.
- e) Controlador hidráulico.

3. Uma empresa quer melhorar o desempenho de segurança em um maquinário responsável por estampar chapas de aço. Para isso, contratou um profissional da área de controle e automação que optou por empregar um CLP para esse controle.

Com base no texto, por qual motivo o CLP é o controlador mais indicado para tal tarefa?

- a) Por ser de custo razoável e por fornecer dados ao supervisor, sendo, assim, o mais indicado para a tarefa.
- b) Por ser o controlador mais presente na indústria, que pode ser atribuído a qualquer trabalho.
- c) Por ser o controlador mais barato do mercado, devendo ser empregado de qualquer forma.

- d) Por ser um controlador simples e eficaz, que pode ser empregado em sistemas de segurança.
- e) Para essa tarefa, poderia ser utilizado um PC industrial, mas o CLP é mais rápido de implementar.

Seção 3.3

Do que a automação é feita?

Diálogo aberto

Mais uma vez, estamos trabalhando com a fabricante de peças de reposição para automóveis que deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, a fabricante contratou uma empresa de automação que enviou você, um profissional dessa área, ao local. Para iniciar, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado. Com esses questionamentos, foram definidos o processo a ser automatizado, como deveria ser feita essa automação, o tipo de controle que iria utilizar e como a linha de produção se comporta. Assim, foram determinados os equipamentos que seriam utilizados em cada nível dessa automação e, na seção anterior, você concluiu o controlador mais adequado para o processo.

A partir do momento em que a automação foi definida, podemos, então, modelar o conceito para deixar claro e visível a proposta. Neste ponto do projeto, você deve ser capaz de gerar um relatório contendo todas as especificações do projeto, realizando a elaboração de uma proposta para o cliente, com base nas informações adquiridas até este ponto e com as informações que serão adquiridas com as ferramentas apresentadas nesta seção.

Nesta seção, veremos algumas ferramentas de modelagem e simulação que permitirão reduzir custos de projeto e torná-lo mais seguro. Com essas ferramentas, os protótipos físicos, que são extremamente caros, podem ser parcial ou inteiramente removidos, o que acarretará em grandes benefícios para o projeto.

Neste momento, veremos uma introdução sobre os conceitos de estrutura de automação, CAD (*Computer Aided Design*), HIL (*Hardware In the Loop*) e CAM (*Computer Aided Manufacture*). O conhecimento sobre esses conceitos o ajudarão a definir melhores formas de aplicar os componentes em um sistema de automação, lembrando que este livro não visa transmitir conhecimentos específicos sobre softwares dedicados a CAD e CAM, mas apenas levar ao seu conhecimento as ferramentas para auxílio de resolução de problemas.

Ao final desta seção, você deverá ser capaz de determinar quais são as ferramentas que devem ser utilizadas para elaborar uma estrutura de processo de automação, com o objetivo de facilitar o entendimento de sua proposta de sistema automatizado por parte do cliente.

Não pode faltar

Arquitetura da automação industrial

Vimos, anteriormente, a hierarquia que compõe a automação. Em algumas literaturas, essa hierarquia é chamada de estrutura da automação, pois é como o sistema é estruturado dentro do contexto da indústria. Apesar dos dois termos estarem corretos para esse caso, neste livro veremos outro conceito de estrutura da automação.

Nesse conceito, não estruturaremos a automação dividindo-a em níveis, mas sim, aplicando os conceitos de automação de forma virtual para facilitar a visualização e testar seu funcionamento antes de sua implementação. Portanto a estrutura da automação será feita, primeiramente, de forma virtual para que seja permitida a simulação do sistema e para que, com isso, possamos sanar grande parte dos problemas virtualmente.



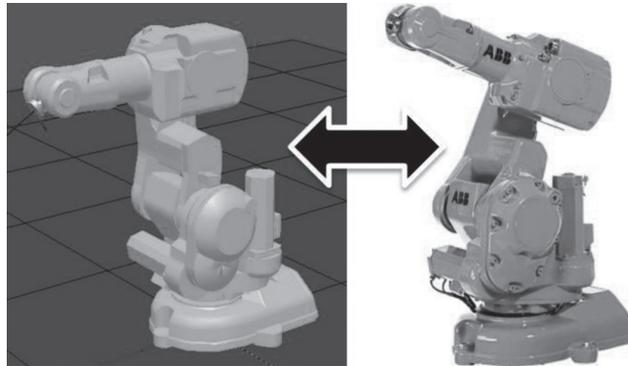
Refleta

O conceito de estrutura da automação é relevante ao modo como um sistema automatizado é estruturado, mas esse conceito deve ser ampliado para um novo patamar de conhecimento. É correto apenas dizer que a estrutura de automação é baseada em uma hierarquia em que cada nível tem seu próprio equipamento?

De acordo com Rosário (2005), o desenvolvimento do sistema digital envolve a busca de uma solução otimizada entre a estrutura mecânica básica, o sistema de sensoriamento e o elemento de atuação e de controle, por meio do processamento automatizado de informações e do controle global do sistema.

Dessa forma, o principal objetivo passa a ser a eliminação de protótipos intermediários e a geração de sistemas e componentes integrados de controle. Para tanto, existe um conceito conhecido como prototipagem rápida, que tem em vista a construção de protótipos de maneira segura e econômica, envolvendo a concepção de todo o projeto desde as fases de modelagem, simulação e arquitetura de controle até a implantação em hardware dedicado. A Figura 2.12 representa a forma aplicada de desenvolvimento de componentes nos dias de hoje, iniciando com a representação virtual e, só então, trazendo-o para a realidade.

Figura 2.12 | Desenvolvimento virtual de robô industrial



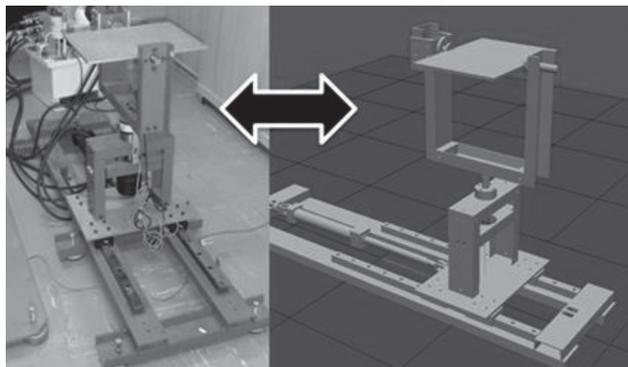
Fonte: adaptada de Quesada (2014).

Sistemas CAD de manufatura

A primeira ferramenta utilizada pelo conceito de prototipagem rápida é o CAD (*Computer Aided Design*, ou Desenho Auxiliado por Computador), pois permite a elaboração de projetos de mecânica, elétrica e eletrônica, deixando o projeto próximo do real e facilitando a simulação dos componentes da automação. A Figura 2.13 representa uma mesa utilizada em uma célula robotizada de teste e demonstra o componente real e a sua representação virtual por meio do CAD.

O projeto em CAD permite que se otimize o sistema sem a necessidade de protótipos reais, o que simplifica o processo de desenvolvimento e o torna mais seguro, além de reduzir o custo com construção de protótipos.

Figura 2.13 | Plataforma robótica real versus virtual



Fonte: adaptada de Quesada (2014).

Com a criação do programa pelo sistema CAM, pode-se implementá-lo diretamente no dispositivo, o que permite seu controle correto. Esse método reduz drasticamente o tempo de implantação ou de substituição de componentes do sistema, pois todo o desenvolvimento e os testes são feitos virtualmente, assim, quando o novo dispositivo é instalado já está pronto para realizar o trabalho desejado.

Alguns softwares de simulação em CAM permitem a visualização do comportamento dos componentes do sistema. Alguns outros permitem o link entre o componente virtual e o real, possibilitando sua supervisão em tempo real. Esse sistema é amplamente utilizado para desenvolvimento de peças mecânicas, na geração de programação de máquinas CNC e em programação de robôs industriais.



Pesquise mais

Para compreender um pouco mais sobre o conceito de CAM, assista a este vídeo, que apresenta uma demonstração de CAM em uma máquina CNC de bancada. Trata-se de uma demonstração simples, porém que facilitará a sua compreensão acerca dessa ferramenta:

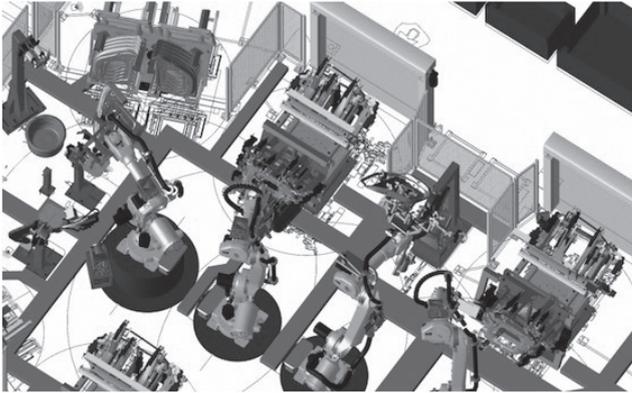
COMPUTER Aided Manufacturing Demonstration. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qjc1WEDDPhI>. Acesso em: 10 out. 2016.

Como se compõe na arquitetura da automação

A arquitetura da automação é composta, como foi discutido anteriormente, por níveis hierárquicos que determinam os componentes e as diretrizes do sistema automatizado. Porém devemos atribuir aqui a estrutura da automação da forma como a pensamos. O sistema CAD pode contribuir para o desenvolvimento dos protótipos de forma simples e barata, enquanto o CAM resolve os testes e garante que grande parte dos problemas sejam resolvidos antes de se implantar o sistema de automação.

Assim sendo, podemos determinar que a estrutura da automação toma uma nova forma por se tratar da estrutura real do processo e não apenas de conceitos de níveis. As ferramentas de CAD e CAM permitem que se monte a estrutura do sistema de forma fiel e que se apliquem as simulações do processo, podendo, ainda, ser realizado o sistema supervisor com base nessas ferramentas. A Figura 2.15 mostra um sistema automatizado virtual.

Figura 2.15 | Processo virtualizado de automação



Fonte: <<https://goo.gl/KPpApZ>>. Acesso em: 10 out. 2016.

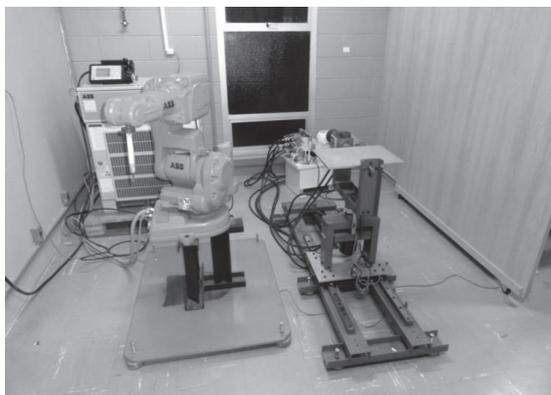


Exemplificando

Vejam os exemplos de uma aplicação do sistema de CAD e CAM em uma célula robotizada pequena. Essa célula industrial, representada na Figura 2.16, é uma plataforma de testes utilizada para o desenvolvimento de programas para controle e sincronização de robôs industriais com dispositivos periféricos. Apesar de ser apenas uma plataforma didática, representa uma célula robótica industrial real, porém em proporções reduzidas.

Antes de gerar a programação dos componentes do sistema por meio do sistema CAM, a modelagem do sistema em CAD é necessária.

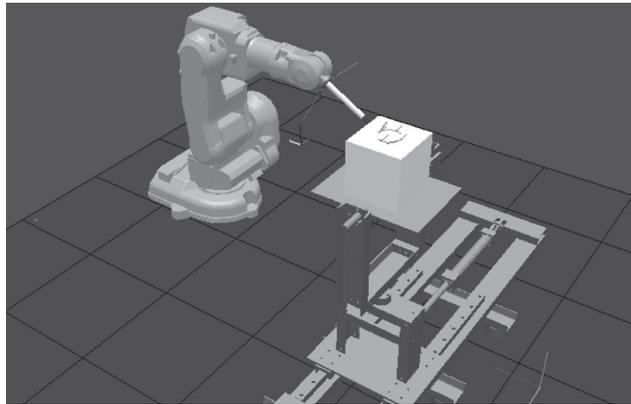
Figura 2.16 | Célula robótica didática



Fonte: arquivo pessoal do autor.

A plataforma (dispositivo ao lado do robô) representada na Figura 2.16 foi representada virtualmente por meio do software de modelagem CAD (SolidWorks) e alimentou um software específico que contém um modelo virtual dos robôs dessa marca. A representação da célula robotizada é demonstrada na Figura 2.17.

Figura 2.17 | Representação virtual da célula robótica



Fonte: Quesada (2014).

Sem medo de errar

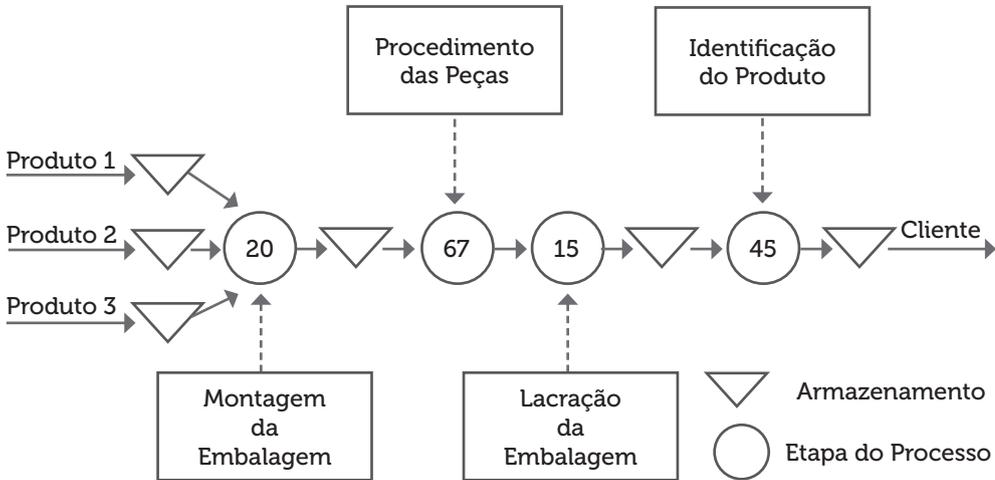
Descrição da situação-problema

Continuamos trabalhando com a fabricante de peças de reposição para automóveis que deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, a fabricante contratou uma empresa de automação que enviou você, um profissional dessa área, ao local. Como supervisor do projeto de automação, você realizou uma série de questionamentos para compreender as necessidades do cliente e o processo a ser automatizado.

Pensando de forma mais analítica, o problema do cliente já foi quase completamente resolvido. O que deve ser feito nesta etapa de resolução é sintetizar todas as informações definidas até agora em um formato de relatório técnico. Vamos revisar todas as informações que adquirimos ao longo dessas duas unidades de ensino.

Ficou definido que apenas uma linha de produção seria automatizada, e que essa linha teria um sistema de automação rígida, com controle PID. Ainda, determinamos que teria um princípio operacional do tipo PUXA, conforme o diagrama da Figura 2.18.

Figura 2.18 | Correção das operações aplicadas à linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor

Sabemos, também, os níveis da automação e que foi determinado que deveríamos utilizar um controlador capaz de executar tarefas do chão de fábrica que permitam comunicação entre os níveis 1 e 3. Assim sendo, o CLP foi definido como o controlador ideal para o processo, por ser capaz de realizar a transferência de dados e por ter um custo-benefício atraente.

Com essas informações em mãos, o que falta para o relatório técnico é um atrativo para “vender” sua ideia de automação para o cliente. Como você, sendo o responsável, faria essa estruturação do projeto, de forma a expor suas ideias e explicar para o cliente que seu projeto irá funcionar? Em que você basearia suas conclusões?

Resolução da situação-problema

Finalmente, com as considerações desta seção, podemos determinar que é possível elaborar uma forma visual sobre a linha de produção do cliente para que, além de deixar sua solução mais atrativa para ele, ainda possam ser feitas considerações e adequações no sistema antes da sua implementação. A Figura 2.19 mostra um exemplo de uma linha automatizada de empacotamento de produtos. Podemos, a partir daí, definir uma forma de representar e testar os métodos de controle para essa linha.

Figura 2.19 | Exemplo de linha de produção automatizada

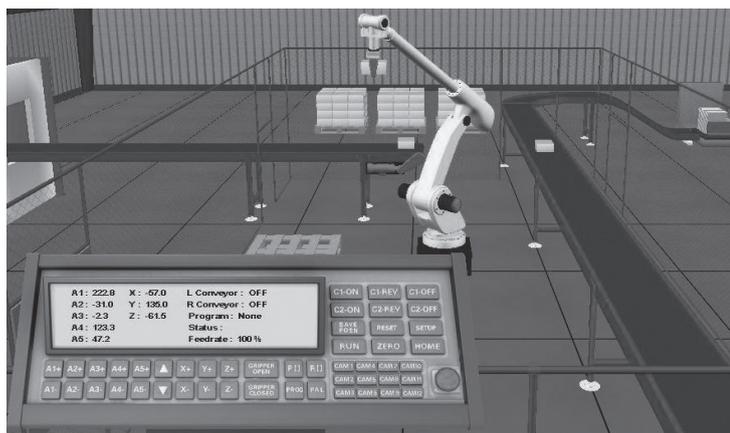


Fonte: <<https://goo.gl/xd7NJQ>>. Acesso em: 10 out. 2016.

Utilizando-se das ferramentas de CAD, podemos representar a linha de produção do cliente da forma mais real possível e definir alguns parâmetros, além de pré-programar as linhas para testes virtuais, o que nos permitiria resolver grande parte dos problemas antes do processo para atualizações, tornando o custo de adequação razoavelmente menor. A Figura 2.20 mostra um exemplo de visualização virtual da linha de produção.

Com as informações que já temos pela análise das necessidades do cliente e as que serão adquiridas com base na estrutura em CAD e nos testes e simulações em CAM, poderemos apresentar um relatório técnico ao cliente, contendo toda a estruturação da automação e prevendo como será feito esse controle e como o sistema se comportará. Por meio das simulações, poderemos apresentar conclusões, abordando o problema da empresa da melhor forma, e deixar clara sua solução.

Figura 2.20 | Exemplo de ambiente virtual



Fonte: <<https://goo.gl/7NbRdK>>. Acesso em: 10 out. 2016.

Avançando na prática

Pensando virtualmente

Descrição da situação-problema

Uma empresa que fabrica janelas de alumínio deseja automatizar uma célula de estampagem e dobra das placas de alumínio que compõem as folhas dos quadros das janelas. Essa célula automatizada deverá ser composta por máquinas CNCs e robôs de posicionamento, sendo controlada por CLPs, que farão o controle dos acionamentos das máquinas e dos robôs, para sincronizar e enviar dados ao sistema supervisor da indústria.

Sendo o gerente de projetos da empresa e sabendo dessas informações:

- Como você faria para estruturar essa linha de produção?
- Após a estruturação, qual seria o próximo passo para validar essa estrutura e apresentar as conclusões para a diretoria da empresa?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, sabendo que já estão definidas as formas para a automação e que teremos que estruturar a automação dessa linha de produção, podemos aplicar a ferramenta CAD para elaborar virtualmente a arquitetura da linha, deixando seus maquinários e componentes de acionamento e controle posicionados de forma a seguir rigorosamente a linha real.

Após a elaboração da arquitetura em ambiente CAD, podemos aplicar o sistema CAM para simular o funcionamento da linha de produção e, a partir disso, elaborar a programação dos componentes dessa célula.

Sabendo que o processo será controlado por um CLP, que sincronizará todas as partes envolvidas, podemos aplicar o CLP real em ambiente virtualizado, para testar seu funcionamento e verificar como se comportará diante do processo, utilizando o método HIL.

Assim, podemos tirar as conclusões que são cruciais para o desenvolvimento dessa automação, levando em conta todos os detalhes do processo de uma forma fiel, sem que seja necessária a utilização de protótipos físicos que têm um custo elevado, economizando tempo de desenvolvimento e dinheiro do orçamento do projeto.

Faça valer a pena

1. Uma das maiores vantagens da criação do programa pelo sistema CAM é que pode-se implementá-lo diretamente no dispositivo. Esse método reduz drasticamente o tempo de implantação ou de substituição de componentes do sistema, pois todo o desenvolvimento e os testes são feitos virtualmente, assim, quando o novo dispositivo é instalado, já está pronto para realizar o trabalho desejado.

Existe uma ferramenta que é responsável pela elaboração do sistema virtual, antes que se possa utilizar o CAM. Qual seria essa ferramenta?

- a) Desenho auxiliado por computador.
- b) Manufatura assistida por computador.
- c) *Hardware in the loop*.
- d) Engenharia assistida por computador.
- e) Diagramação lógica.

2. Um conceito conhecido como _____, é possibilitado pelo CAD do sistema, em que, aliado a um ambiente de simulação, o hardware de controle pode ser programado e testado virtualmente, resolvendo seus problemas antes de sua implantação no sistema real. Esse método pode ser aplicado, também, em caso de necessidade de substituição de hardware de controle.

Indique a alternativa que melhor preenche a lacuna trazida pelo texto:

- a) HIL (*hardware in the loop*).
- b) CAD (desenho auxiliado por computador).
- c) CAM (manufatura assistida por computador).
- d) CAE (engenharia assistida por computador).
- e) PID (proporcional integral derivativo).

3. Alguns softwares de simulação em CAM permitem a visualização do comportamento dos componentes do sistema. Alguns outros permitem o link entre o componente virtual e o real, possibilitando a sua supervisão em tempo real. Esse sistema é amplamente utilizado para o desenvolvimento de peças mecânicas, na geração de programação de máquinas CNC e em programação de robôs industriais.

De acordo com o texto, podemos dizer que o sistema CAM de manufatura traz benefícios, pois:

- a) Agiliza o processo de manufatura, permitindo que se realizem testes e programações com base em representações em CAD.
- b) Agiliza o processo de programação por resolver problemas dos modelos de CAE, antes de implementar a simulação.
- c) Resolve todos os problemas dos dispositivos antes de implantar o sistema no chão de fábrica.
- d) Determina os problemas inerentes ao processo antes de se modelar o sistema com a ferramenta CAD.
- e) Permite a aplicação real dos componentes sem testes, garantindo sua melhor aplicabilidade.

Referências

ALBUQUERQUE, P. U. B. **Controladores industriais**. Fortaleza, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/5022396/CONTROLADORES_INDUSTRIAIS. Acesso em: 29 set. 2016.

COMPUTER Aided Manufacturing Demonstration. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qjc1WEDDPhI>. Acesso em: 10 out. 2016.

PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC**: teoria e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 190 p.

QUESADA, R. C. **Projeto e concepção de células robotizadas para aplicações em automação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM, Universidade Estadual de Campinas, 2014.

RIBEIRO, M. A. **Controle de processos: teoria e aplicação**. 7. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 515 p.

Integração de componentes para automação de um sistema

Convite ao estudo

Bem-vindo de volta aos estudos! Na unidade passada, vimos alguns conceitos sobre a hierarquia da automação industrial e os equipamentos utilizados em cada nível dessa hierarquia, conhecemos alguns tipos de controladores e suas aplicações, vantagens e desvantagens e, por fim, discutimos a importância da utilização de ferramentas, como CAD, CAM e IHL, para estruturar o sistema de automação e tornar o projeto mais rápido e seguro.

Nesta terceira unidade, estudaremos as variáveis de programação e sua relação direta com as entradas e saídas do sistema. Veremos como estruturar a lógica de programação por meio de diagrama de blocos e veremos uma das linguagens de programação mais comuns no meio tecnológico, a linguagem textual.

Com esses conceitos, entenderemos a correlação entre os equipamentos, formando lógicas de programação para sua interação. Portanto, esta unidade de ensino almeja que você, aluno, obtenha conhecimentos ligados ao seu futuro profissional na área de automação, para que você possa elaborar programas de controle, integrando todos os equipamentos em seu devido funcionamento.

Desde o início deste livro, trabalhamos com a automação de uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis. Essa empresa contratou os serviços de uma especializada em automação, que lhe enviou para ser o responsável técnico do projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, o controle e o controlador já foram definidos, bem como os testes virtuais já foram feitos. Portanto, nesta unidade, iremos estruturar o software que será utilizado pelo controlador, para integrar os componentes do sistema por meio de variáveis de entrada e saída, controlando, assim, o processo.

Como você acredita que são realizadas essas correlações?

Tem alguma ideia de como estruturar uma lógica de programação?

Para sanar essas dúvidas e muitas outras, primeiramente abordaremos os conceitos de variáveis, entradas e saídas do sistema, para que possamos entender como relacionar as partes deste. Depois, veremos como estruturar a lógica de programação, utilizando o diagrama de blocos. E, finalmente, terminaremos a unidade, apresentando o tipo mais comum de programação, o programa baseado em texto estruturado, que pode até ser aplicado na maioria dos controladores digitais modernos.

Seção 3.1

A programação e suas variáveis

Diálogo aberto

Nesta seção, continuaremos trabalhando com a fabricante de peças de reposição para automóveis, que deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade. Para isso, a fabricante contratou uma empresa de automação, que enviou você, um profissional dessa área, ao local. Como supervisor do projeto de automação, você definiu que seria realizada uma automação do tipo flexível, com controle PID, utilizando um CLP como controlador do processo.

Agora, está na hora de determinarmos as variáveis do problema, identificando as entradas e saídas do sistema, para que possamos elaborar um algoritmo de controle em que o CLP se baseará, para controlar a automação desse processo. Mas como devemos fazer isso?

Para fazermos o que nos foi proposto, teremos que, primeiramente, compreender o que são variáveis do sistema, o que são entradas e saídas e quais são os dispositivos relativos a elas. E, ainda, neste momento, teremos que saber correlacionar as variáveis às entradas e saídas e como são importantes para a programação do controlador. Essas informações só nos serão possíveis por conhecermos o processo e como ele se comporta, portanto, devemos definir o funcionamento ideal desse sistema, para que possamos programá-lo.

Dessa forma, esta seção será responsável por fazer a ligação necessária entre a elaboração do escopo do projeto que foi visto nas unidades anteriores, com o devido funcionamento do sistema, que será definido nas próximas seções deste livro.

Ao final desta seção de estudo, você deverá ser capaz de determinar as variáveis do sistema, de forma a correlacioná-las às entradas e saídas, para então poder estruturar a lógica de programação.

Está preparado para desenvolver esse projeto?

Bons estudos!

Não pode faltar

O que são variáveis do sistema

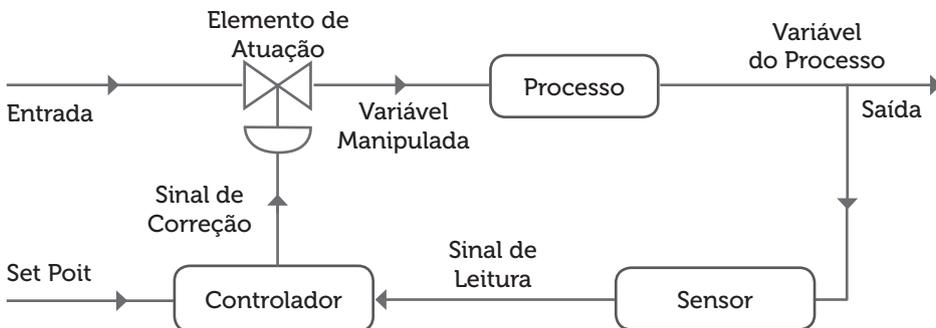
Com certeza, a parte mais importante da automação é a integração dos componentes que serão automatizados, pois, sem essa integração, o sistema não funcionará de forma autônoma, portanto, não aplicará os conceitos de automação. Sendo assim, teríamos um “amontoado” de componentes automáticos ou manuais sendo utilizados para realizar trabalhos de forma ineficiente.

Podemos dizer que a automação requer a devida interação entre as partes envolvidas. Para tanto, o órgão responsável por isso é o sistema de controle e supervisão, que realiza seu trabalho baseado em diretrizes e algoritmos que ditam como e onde agir, com referência em informações obtidas a partir do sistema. Essas diretrizes são programadas nos controladores por meio de linguagens de programação que são, por assim dizer, a forma como nós, humanos, nos comunicamos com as máquinas.

Essas linguagens de programação serão abordadas mais à frente nesta unidade de ensino. Por enquanto, nos atentaremos para os elementos que são importantes para a criação eficaz de uma programação de controle eficiente.

Um sistema de automação apresenta alguns instrumentos de medição que servem para adquirir dados do sistema de forma que possam ser controlados e monitorados. Essas medições são conhecidas como variáveis. Em um sistema de controle por malha fechada, podemos encontrar dois tipos de variáveis. A primeira é a variável do processo (VP), ou variável medida, que é obtida a partir de instrumentos de medição diretamente do processo e enviadas para o controlador. Também temos a variável manipulada (VM), que é a variável após o controlador adequá-la ao setpoint do sistema. Dessa forma, a Figura 3.1 mostra um sistema de controle por malha fechada, destacando o posicionamento das variáveis VP e VM.

Figura 3.1 | Sistema de controle por malha fechada



Fonte: elaborada pelo autor.



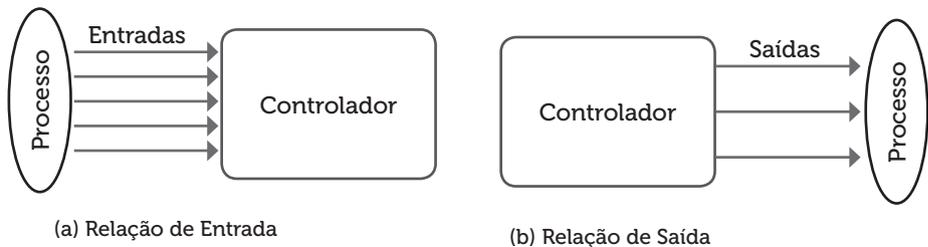
Refleta

As variáveis são elementos medidos e manipulados pelo sistema, para que possamos garantir seu funcionamento. Mas será que as variáveis estão diretamente relacionadas com as entradas e saídas do controlador?

Introdução a entradas e saídas (I/O)

Os controladores necessitam de dados para poder calcular as ações a serem tomadas. Os dados que o controlador recebe são conhecidos como entradas do sistema, que, após serem recebidas, darão origem aos cálculos baseados nos algoritmos internos. Esses cálculos gerarão uma resposta do sistema, que emitirá um sinal conhecido como saída. Essa relação entre entradas e saídas dá origem ao conceito E/S (Entrada/Saída), ou do inglês I/O (*In/Out*). Na Figura 3.2 (a), podemos ver a relação entre as entradas e o sistema, enquanto na 3.2 (b), podemos perceber a relação das saídas com o sistema.

Figura 3.2 | Relação entre entradas e saídas do sistema



Fonte: elaborada pelo autor.

Um exemplo muito comum desse conceito seria um computador. Quando estamos digitando no teclado, este envia um sinal de entrada para o computador que, por sua vez, realiza uma série de cálculos e emite um sinal de saída para a tela, que nos mostra as letras. Portanto, o teclado é um dispositivo de entrada, o PC é o controlador e a tela é o dispositivo de saída.



Pesquise mais

Para se lembrar de alguns conceitos de controle e ver um pouco mais sobre variáveis e entradas e saídas do sistema, dê uma olhada neste material:

Sistemas de controle I. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Centro de Tecnologia. Departamento de Eng. de Computação e Automação. Natal, mar. 2003. Disponível em: http://www.netsoft.inf.br/aulas/7_EAC_Sistemas_Realimentados/8_resumo_sistemas_controle.pdf. Acesso em: 3 nov. 2016.

Conforme vimos nas seções anteriores, um controlador é responsável por realizar cálculos, baseados em algoritmos internos, e tomar decisões com base nesses cálculos, de forma a resolver um problema. Agora, sabemos da existência de dispositivos de entrada e saída, sendo que o primeiro é responsável por captar sinais do processo e enviar para o controlador e o segundo realiza as ações sobre o processo que está sendo controlado.

Pensando em controle industrial, os dispositivos de entrada podem ser sensores e transdutores, que captam informações do processo e enviam essas informações ao controlador, que realiza os cálculos e emite um sinal aos dispositivos de saída, que realizam a ação desejada. Esses dispositivos podem ser motores, bombas, atuadores, entre outros.



Assimile

Podemos perceber que, em um sistema de controle, tudo gira em torno do processo. As entradas do controlador saem do processo e as saídas do controlador voltam para o processo, portanto as entradas e saídas são invertidas do ponto de vista do controlador ou do ponto de vista do processo.

Comparando entradas e saídas do sistema

Podemos dizer que, quando admitimos uma entrada no controlador, teremos obrigatoriamente uma saída. Isso mostra que um sistema controlado obedece à lei de ação e reação, portanto, caso não haja uma reação do sistema de controle, de nada adiantaria um sistema de automação. A Figura 3.3 mostra a relação entre entradas, saídas com o controlador e o processo.

Figura 3.3 | Relação das I/O com o processo



Fonte: elaborada pelo autor.

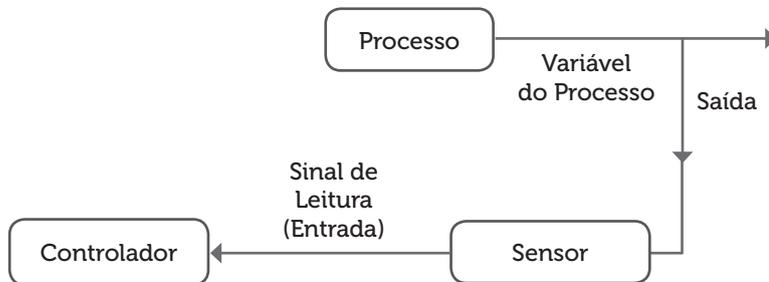
Pensando dessa forma, podemos observar que, em um processo qualquer no qual tenhamos controle e monitoração de dados, veremos uma relação direta entre as entradas e saídas desse sistema. Por exemplo, em um processo de controle de temperatura, aplicamos um sensor de temperatura, que medirá a variável de processo,

nesse caso a própria temperatura, e enviar essa informação para o controlador. Este, por sua vez, analisa a medida e a compara com um valor de setpoint predeterminado pelo processo, elaborando um sinal de saída, que é enviado para um dispositivo de ação (como um atuador, motor, entre outros), que realizará a tarefa de adequar a variável, aproximando-a o máximo possível do *setpoint*. Essa variável é conhecida como variável manipulada, que retorna para o processo, conforme vimos na Figura 3.3.

Correlacionando variáveis as I/O do sistema

No exemplo anterior, podemos perceber que as variáveis estão intimamente relacionadas às entradas e saídas do sistema. Podemos concluir com isso que as variáveis são a mesma coisa que entradas e saídas? Para responder a essa pergunta, temos que analisar nossos conhecimentos até aqui. Uma entrada é um sinal recebido pelo controlador, que tornará possível seus cálculos para controlar o sistema, mas isso não significa que uma variável é uma entrada; apenas quer dizer que a variável de processo permite a geração de um sinal de entrada pelo instrumento de medição. Portanto, podemos dizer que a variável é um elemento intrínseco do processo, enquanto que a entrada é um elemento gerado. A mesma coisa vale para a saída, que não é exatamente a variável manipulada. Tem-se que o sinal de saída é um sinal gerado, enquanto que a variável manipulada faz parte do sistema. Vejamos a Figura 3.4, que mostra uma parte do sistema de controle.

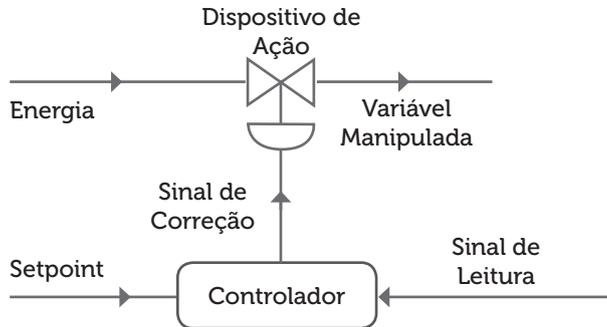
Figura 3.4 | Aquisição do sinal de entrada



Fonte: elaborada pelo autor.

Perceba que a variável do processo existe, independentemente deste ser controlado ou não. Essa variável é medida por um sensor, que gera um dado relacionado a ela, este é o valor da variável, que é a informação que importa para o controlador, sendo admitida como o sinal de entrada. Agora, vejamos a Figura 3.5, que mostra a próxima parte do sistema de controle, em relação à Figura 3.4.

Figura 3.5 | Elaboração da variável manipulada



Fonte: elaborada pelo autor.

Perceba que agora o sinal de saída (indicado na Figura 3.5 como sinal de correção) é proveniente do sinal de leitura (entrada), que é comparado com o setpoint no controlador. Esse sinal de saída é enviado para o dispositivo de ação, que atua sobre a variável do processo, manipulando-a. Dessa forma, teremos a variável adequada para as necessidades do processo, sendo esta conhecida como variável manipulada.

Note que, no processo como um todo, mostrado na Figura 3.1, os sinais de entrada e de saída são relativos ao controlador. Isso é de suma importância, pois gera grande confusão quando trabalhamos com um sistema de controle. Temos que o sinal emitido pelo sensor é um sinal de entrada para o controlador, porém, este é um sinal de saída do sensor, enquanto que o sinal de saída do controlador é também um sinal de entrada para o atuador, e assim por diante. Portanto, uma confusão pode ser feita, se tomarmos o ponto de vista errado. O correto é sempre pensar do ponto de vista do controlador, pois ele é nosso elemento que usará as entradas e saídas.



Exemplificando

Uma fabricante de lápis de cor automatizou seu processo de resfriamento dos grafites coloridos, que são feitos à base de cera e pigmento. Esse processo deve ser mantido a 15°C para o devido resfriamento, sem que acarrete em trincas nos grafites. Para manter o processo nessa temperatura, o sistema utiliza um sensor termossensível, conectado a um controlador que liga e desliga o sistema de refrigeração. Vamos analisar quais são as variáveis do sistema e quais são as entradas e saídas?

A variável do sistema é a temperatura, e esta é a variável do processo que será medida. O sistema de refrigeração é o dispositivo de ação que gerará a variável manipulada, ou seja, a variável adequada de acordo com o *setpoint* de 15°C. A entrada do sistema será o valor da variável: suponhamos que o sensor meça 18°C, o controlador irá comparar com o *setpoint* de 15°C

e chegará à conclusão de que está 3°C acima do *setpoint*. Isso fará com que emita um sinal de saída que ligará o refrigerador. Este, por sua vez, fará com que a variável diminua 3°C , para que o sistema volte ao *setpoint* de 15°C . Assim, o controle funcionará de forma ideal.

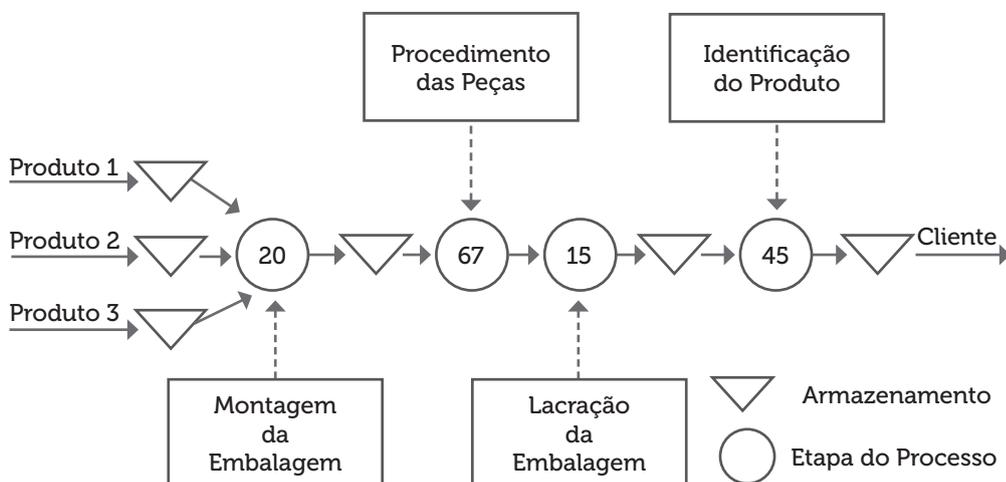
Sem medo de errar

Caro aluno, estamos trabalhando com a automação de uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis, que contratou os serviços de uma especializada em automação, que, por sua vez, lhe enviou para ser o responsável técnico do projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, o controle e o controlador já foram definidos e os testes virtuais já foram feitos. Agora, resta-nos estabelecer alguns detalhes do processo, para que possamos definir a programação do controlador.

Descrição da situação-problema

Relembrando do que já foi feito nas seções anteriores, a automação é do tipo flexível, com controle PID, que será realizado por meio do uso de um CLP. Definimos ainda que a operação é do tipo puxa, que está demonstrada na Figura 3.6.

Figura 3.6 | Princípio operacional da linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Agora, vamos entender as variáveis do sistema e definir as entradas e saídas. Essa parte do processo de automação exige um pouco de observação, conhecimento do processo e discernimento. Primeiramente, vamos admitir algumas características desse sistema:

- Na montagem da embalagem, existe um sensor que determinará qual produto está chegando. Com base nisso, saberemos qual embalagem será montada. Após saber qual é o produto, o dispositivo de montagem realiza o trabalho.
- Para realizar o posicionamento das peças, temos um sensor de presença, que tem a função de saber se a embalagem se encontra no local adequado para receber os produtos. Quando a embalagem está no lugar, o dispositivo de posicionamento entra em ação, utilizando um contador para saber quantas peças foram posicionadas. Tem-se que, quando atingir o número estipulado, o dispositivo para.
- A lacração de embalagem tem um sensor de presença, para saber se a embalagem está posicionada, e um sensor de peso, para saber se a embalagem está cheia.
- A identificação do produto depende diretamente da embalagem que foi montada e, para isso, utilizamos um outro sensor que determina qual embalagem de qual produto se encontra no estágio de produção.

Resolução da situação-problema

Com essas informações, podemos definir todas as entradas e saídas do sistema. Para isso, montaremos uma tabela com os dispositivos e suas descrições.

Tabela 3.1 | Relação de entradas e saídas do sistema

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Dispositivo de transporte de peças		X
2	Sensor para identificação de produto na montagem de embalagens	X	
3	Dispositivo de montagem de embalagens		X
4	Sensor de presença do posicionamento de peças	X	
5	Contador de peças	X	
6	Dispositivo de posicionamento das peças na embalagem		X
7	Sensor de presença para lacre da embalagem	X	
8	Sensor de peso para lacre de embalagem	X	
9	Dispositivo de lacre		X
10	Sensor de identificação de embalagem para etiqueta de identificação	X	
11	Dispositivo de etiquetagem		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Com essa tabela, podemos determinar qual variável é a entrada e qual é a saída do sistema e, com isso, podemos definir a estrutura de funcionamento do sistema de controle, que será o foco da próxima seção.

Avançando na prática

Automação de um sistema de segurança

Descrição da situação-problema

Uma empresa do ramo de tubulações está com um problema em um de seus maquinários de dobra de tubos metálicos, pois é extremamente perigoso aos operadores de máquina, pela forma como ele opera. Por isso, a empresa contratou os seus serviços de automação, pois quer que você resolva esse problema de segurança.

Para solucioná-lo, você reuniu sua equipe, definindo que iriam inserir um sistema que impedisse o operador de ficar no mesmo ambiente que a máquina, quando esta realiza as dobras. Para tanto, ficou estipulado que isolariam a área de trabalho e inseririam dois sensores de presença: um para a pessoa e um para o tubo que será trabalhado, certificando que não exista ninguém na área delimitada e que a peça se encontre posicionada. Também fecharam tal área com uma tela de proteção, com um sensor de fechamento da porta e, ainda, para que a máquina realize o trabalho, o operador teria que pressionar um botão que fica na parte externa da tela. Assim, o operador deverá posicionar o tubo para dobra e terá que sair da área de trabalho da máquina para poder operá-la, impedindo que acidentes aconteçam.

Agora, quais são as entradas e as saídas desse projeto estipulado pela sua equipe?

Resolução da situação-problema

Para resolver o problema da empresa, ficou estipulado um meio de segurança que garantirá o funcionamento seguro do maquinário de dobra de tubos. Para definirmos as entradas e saídas do sistema, podemos montar uma tabela de correlação.

Tabela 3.2 | Correlação de I/O do sistema de segurança

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Sensor de presença de peça	X	
2	Sensor de presença de pessoas	X	
3	Sensor de porta aberta/fechada	X	
4	Botão de acionamento	X	
5	Máquina (operação)		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Essa tabela nos fornece as correlações necessárias para que possamos elaborar a estrutura do programa que utilizaremos no controlador estudado na próxima seção.

Faça valer a pena

1. Um sistema de automação apresenta alguns instrumentos de medição, que são responsáveis por obter informações referentes ao processo. Essas informações, que podem sofrer alterações com o tempo, são conhecidas como variáveis do sistema.

Assinale a alternativa que mostra como é conhecida uma variável medida diretamente do processo:

- a) Variável medida (VM).
- b) Variável do processo (VP).
- c) Variável manipulada (VM).
- d) Variável proporcional (VP).
- e) Variável de produto (VP).

2. Um sistema de controle exige que tenhamos informações para poder, a partir delas, calcular o que deve ser feito. Essas informações que vêm do processo e são recebidas pelo controlador são conhecidas como entradas, enquanto que os sinais que são emitidos pelo controlador para que seja realizado o controle do sistema são as saídas.

Baseie-se no texto e suponha que tenhamos um processo onde dois sensores atuam para: (1) detectar presença de peças e (2) medir a temperatura da máquina. Essas informações serão usadas para determinar o que deve ser feito: (a) parar o processo ou (b) continuar o processo.

Assinale a alternativa que apresenta as entradas do sistema:

- a) Os sensores são as entradas do sistema, pois um entra com a presença de peças e o outro com a temperatura.
- b) Apenas o sensor de presença é uma entrada desse sistema, pois apenas ele fornece informações úteis.
- c) Apenas o sensor de temperatura é uma entrada desse sistema, pois somente esse sensor emite informações úteis.
- d) A entrada desse sistema é a informação de parada ou não da máquina, pois são essas as informações que entram no processo.
- e) As entradas são o sensor de temperatura e a informação de parada da máquina, pois são as informações pertinentes ao processo.

3. Podemos dizer que uma variável do sistema é um elemento intrínseco dele, pois, independentemente de ser medida ou não, ela está presente, enquanto uma entrada é um elemento gerado, já que, sem um instrumento de medida capaz de captar a variável e gerar um sinal, a entrada não existiria.

O texto nos diz sobre a correlação entre variáveis e entradas do sistema, mas será que podemos dizer o mesmo de variáveis e saídas?

Assinale a alternativa correta:

- a) Sim, uma vez que as variáveis são saídas do controlador.
- b) Não, pois as saídas são elementos intrínsecos do sistema, assim como as variáveis.
- c) Sim, já que as variáveis manipuladas e as saídas são a mesma coisa.
- d) Sim, pois as saídas do sistema são elementos gerados pelo controlador.
- e) Não, pois variáveis e saídas não podem ser relacionadas.

Seção 3.2

Estruturando o funcionamento do sistema

Diálogo aberto

Na seção anterior, vimos como identificar e correlacionar as variáveis do sistema com as entradas e saídas que serão usadas para a programação do algoritmo de controle. Agora, focaremos em estruturar o funcionamento do sistema de forma a deixar visível como o processo deve ocorrer.

Vamos lembrar da empresa em que estamos trabalhando: uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis. A fabricante contratou os serviços de uma empresa especializada em automação, que lhe enviou para ser o responsável técnico do projeto de automação. Tem-se que a automação, o processo, o controle e o controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas. Nesta unidade, desenvolveremos as habilidades para estruturar o software que será utilizado pelo controlador para controlar o processo, integrando os componentes do sistema por meio de variáveis de entrada e saída.

Nesta seção de ensino, vamos nos apoiar no conceito de diagrama de blocos para estruturar a lógica de programação, de forma a definir o funcionamento do sistema e representar visualmente como o processo deve se comportar.

Ao final desta seção, você deverá ser capaz de elaborar um diagrama de blocos de um processo que exija algum tipo de controle, seja simples ou complexo. Isso lhe garantirá um melhor desenvolvimento do algoritmo do sistema.

Não pode faltar

Introdução à diagramação

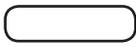
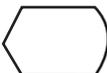
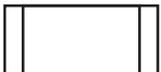
Uma das partes mais importantes no desenvolvimento de um sistema de controle é a programação do controlador. Para que isso seja possível, primeiramente, deve-se estruturar o funcionamento do sistema que será controlado. Dessa forma, podemos visualizar como o processo deve se comportar, possibilitando a criação de um

algoritmo de controle, sendo que esse algoritmo deve ser a sequência lógica de comandos que o controlador deve seguir para o devido funcionamento do sistema.

Para estruturar essa lógica, chamada lógica de programação, faremos uso de uma ferramenta conhecida como diagrama de blocos, que é uma linguagem padrão para estruturas lógicas. A partir dessa linguagem, a estrutura terá um fluxo de informações e, por isso, recebe também o nome de fluxograma. Para a elaboração desses diagramas, utilizaremos um software gratuito e muito útil chamado DIA-Diagram Editor.

Durante esta seção de ensino, apresentaremos o diagrama de blocos passo a passo, com o intuito de criar um diagrama confiável. A Tabela 3.3 mostra os principais símbolos utilizados para diagramação lógica.

Tabela 3.3 | Principais símbolos usados em diagramas de blocos

Símbolo:	Descrição:	Símbolo:	Descrição:
	Indica o início e fim de um fluxo		Saída de dados de impressora
	Entrada de dados manual		Exibir dados em tela
	Indica um processo ou etapa de fluxo		Conexão de fluxos
	Condições a serem seguidas		Leitura e Gravação de arquivos
	Chamada de uma subrotina		Dado em arquivo

Fonte: elaborada pelo autor.

Utilizando esses símbolos, poderemos trabalhar para estruturar o funcionamento de nosso sistema de controle e muitos outros sistemas, visto que essa é uma ferramenta abrangente que pode ser usada em qualquer área de conhecimento.



Refleta

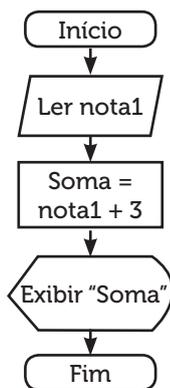
O fluxograma é uma ferramenta poderosa para a estrutura e o entendimento da lógica do funcionamento de um sistema. Mas será que é simples usá-la? Ou ainda, será que podemos fazer uso dessa ferramenta em qualquer caso que queremos estudar?

Estruturando a lógica com diagramas de blocos

Antes mesmo de podermos criar um diagrama lógico de blocos, precisamos aprender como essa ferramenta funciona. Vimos na Tabela 3.3 quais são os símbolos principais e para que são utilizados, mas ainda necessitamos saber como usá-los. Vamos começar do princípio:

Para se iniciar ou finalizar um fluxo de qualquer diagrama, deve-se usar o bloco de início e fim, seguido de um outro bloco, podendo ser um bloco de etapa, de leitura, de chamada ou até mesmo de inserção manual de dados. Vejamos o diagrama mostrado pela Figura 3.7.

Figura 3.7 | Exemplo de diagrama de blocos



Fonte: elaborada pelo autor.

Nesse fluxograma, podemos ver o uso de alguns símbolos e visualizar o início e o fim do fluxograma, além de notarmos que o segundo bloco corresponde a uma leitura de dado. Sendo a "nota1" uma variável, seu valor se torna uma entrada para o controlador, que realiza o cálculo "soma=nota1+3", que está disposto no bloco de processo, e, finalizando, "exibir soma" é um bloco que mostra o valor na tela. Portanto, nesse exemplo, podemos ver como o diagrama de blocos pode ser aplicado a um sistema de controle.



Assimile

Lembre-se de que o diagrama de blocos é uma linguagem padronizada e, portanto, segue algumas premissas em sua estrutura. Para isso, temos os símbolos de início e fim, símbolos para leitura de dados, exibição de arquivos etc.

Tem-se que a lógica de funcionamento do sistema deve ser estruturada por um diagrama. Essa lógica é relativa a cada sistema, portanto, sempre existirão diferenças entre processos. Imagine que sua empresa de automação foi contatada para

automatizar dois processos distintos: um processo de uma grande linha de produção de lâmpadas e um de uma máquina de estampa de camisetas. Podemos perceber que, por um processo ser muito maior que o outro, os fluxogramas serão bem diferentes. Nota-se que a complexidade do sistema também gera grande influência sobre a estruturação lógica, pois, se o processo é complexo, a lógica de programação será igualmente complexa. Vale ressaltar que um processo grande nem sempre é complexo, fazendo com que tenha um fluxograma pequeno e simples. Tem-se, portanto, que um fluxograma toma a dimensão da complexidade do sistema e não de seu tamanho físico.



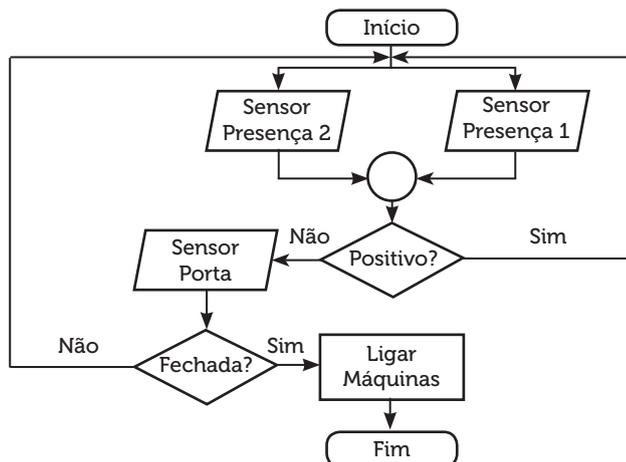
Exemplificando

A fim de exemplificar a teoria apresentada, vamos comparar dois sistemas de diferente complexidade, usando os diagramas de blocos, para perceber a diferença entre eles.

O primeiro é um sistema de segurança de uma grande linha de produção de uma empresa. Esse processo é formado por 13 máquinas em sequência. A segurança dessa linha é realizada por meio do isolamento da área dos maquinários, utilizando-se uma grade de proteção com apenas uma entrada. O sistema contém três sensores: dois de presenças e um da porta. Caso os dois sensores de presença indiquem que não há ninguém no local e o sensor da porta indique que a porta está fechada, as máquinas são ligadas e o processo se inicia.

Esse processo, apesar de ter um tamanho considerável, tem três entradas e uma saída. Vejamos como é seu diagrama (Figura 3.8):

Figura 3.8 | Diagrama de processo de segurança

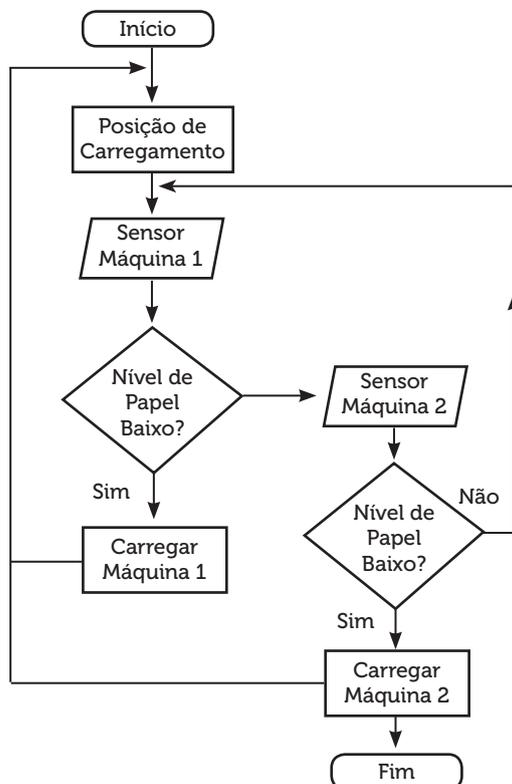


Fonte: elaborada pelo autor.

Já o segundo sistema é uma pequena linha de transporte de rolos de papel de jornal para as máquinas gráficas que imprimem os jornais de uma pequena cidade no interior do estado. Esse processo utiliza uma empilhadeira robótica para o transporte e é composto por duas máquinas de impressão, em que cada uma delas tem um sensor que indica se o papel está em um ponto crítico. A empilhadeira se mantém sempre carregada para que possa recarregar a máquina com rapidez, portanto sempre retorna ao seu ponto de carregamento.

Temos um processo relativamente pequeno, mas que é composto por duas entradas (medidas dos sensores) e duas saídas, pois o robô pode tomar dois caminhos distintos. O diagrama de lógica de programação está mostrado na Figura 3.9.

Figura 3.9 | Diagrama do processo de transporte



Fonte: elaborada pelo autor.

Podemos perceber pelo exemplo que o primeiro sistema, apesar de ser um processo de grande porte, tem um fluxograma relativamente simples se comparado ao seu tamanho. Já no segundo, em um sistema simples, temos um fluxograma complexo. Portanto, isso nos mostra claramente que o tamanho do processo não necessariamente indica maior complexidade.

Estruturação da programação

Agora, por que a estruturação do funcionamento é tão importante para a programação do controlador?

Veremos os tipos de linguagem de programação na próxima seção, mas vejamos uma breve introdução: existem diversos tipos de forma de programação, sendo a mais conhecida o texto estruturado, que é utilizado desde a elaboração de websites até na programação de uma calculadora para a realização de cálculos complexos. Também temos a programação por blocos e por lógica de relês, que é o caso do LADDER, que é uma programação baseada na lógica de controle por relês e é a mais usada em CLPs.

Com essa breve introdução às linguagens de programação, podemos dizer que a estruturação do funcionamento tornará a etapa de escrita do programa mais fácil, pois teremos um ponto de referência. Sem essa estrutura prévia, teríamos muita dificuldade para manter a fluidez da programação, já que esta, dependendo da complexidade do sistema, pode ultrapassar centenas de linhas de comandos. Portanto, podemos assumir que o diagrama de blocos é um rascunho muito bem elaborado de como deve ficar o programa depois de concluído.

De acordo com Alves (2014), o estágio inicial de projeto e definição do sistema é a fase em que os diagramas de blocos são mais úteis. Programadores mais experientes nem sempre fazem uso intenso dos diagramas, como ocorre com programadores iniciantes, utilizando-os mais como uma forma de documentação. Uma desvantagem no uso de diagramas de blocos é que nem sempre é possível representar todas as operações de uma maneira gráfica. Em sistemas de complexidade mais elevada, o diagrama de bloco pode tornar-se muito extenso.



Pesquise mais

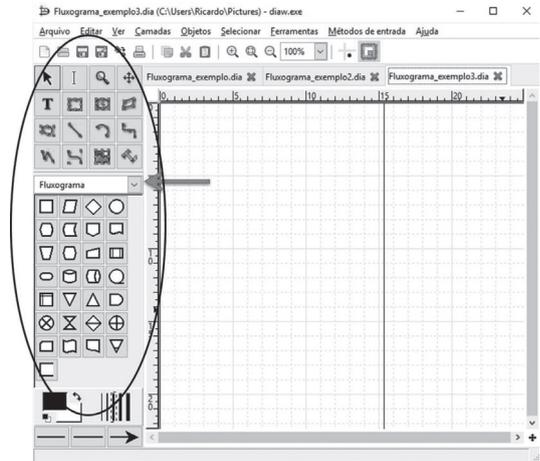
Para se aprofundar um pouco mais no estudo sobre diagramas e sua relação com a programação, dê uma olhada no seguinte material:

MORAES, P. S. **Lógica de programação**. Unicamp - Centro de Computação – DSC, abr. 2000. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~vania.bogorny/teaching/ine5231/Logica.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2016.

Criando um diagrama de blocos

Agora que já compreendemos os sistemas, seu funcionamento e sua complexidade e sabemos sobre como se estrutura isso por meio de diagrama de blocos, podemos ver como criar um fluxograma pelo software que foi apresentado nesta seção. Refere-se a um programa para criação de diversos tipos de diagramas, mas vamos focar nosso estudo no fluxograma, que apresenta uma interface bem simples e intuitiva. A Figura 3.10 mostra a interface do DIA.

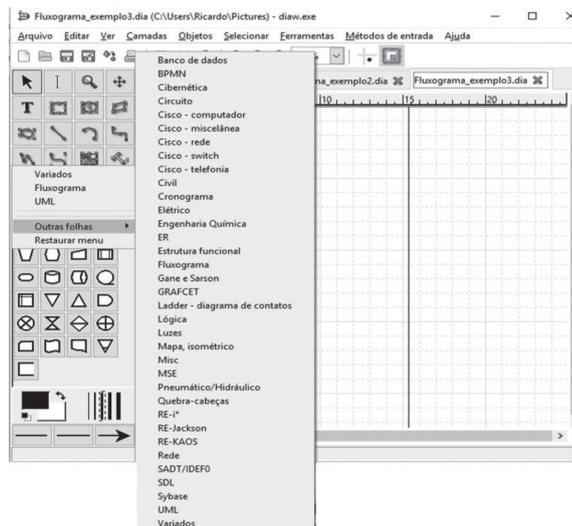
Figura 3.10 | Interface do software DIA



Fonte: elaborada pelo autor.

Com base nessa figura, nota-se que, na lateral esquerda da tela, se encontram todas as ferramentas do sistema e do fluxograma (parte circulado). Clicando na seta ao lado da caixa onde está escrito fluxograma (indicado pela seta vermelha), podemos escolher os tipos de diagramas, como mostrado na Figura 3.11.

Figura 3.11 | Como selecionar entre tipos de diagrama



Fonte: elaborada pelo autor.

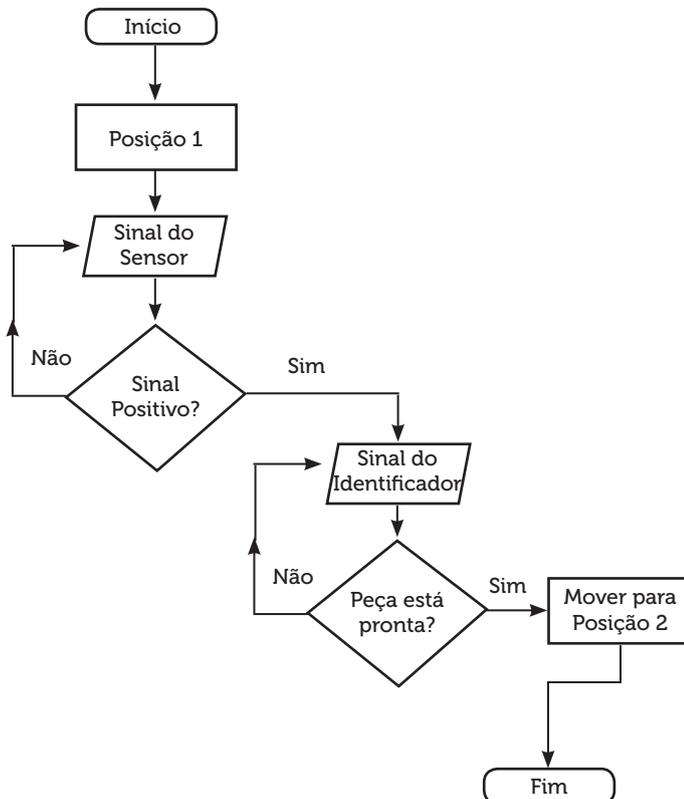


Exemplificando

Um processo de transporte de peças por esteira rolante pode ser diagramado como mostrado na Figura 3.12. Tem-se que esse processo tem um sensor de presença da peça e um leitor de identificação da peça pronta ou não. Caso os dois elementos enviem sinal positivo ao controlador, este enviará um sinal para a esteira ir da posição 1 para a posição 2 e, em caso de um dos sinais serem negativos, o controlador permanece em espera.

Portanto sabemos que o sistema tem duas entradas e uma saída, tornando o diagrama da seguinte forma:

Figura 3.12 | Fluxograma do processo proposto



Fonte: elaborada pelo autor.

No último exemplo, percebemos o uso do processamento do sinal, da leitura dos sinais do sensor e do identificador de peças, seguidos da condição de presente ou não presente, e peça pronta ou não acabada. Isso nos leva ao processamento ou a um ciclo do sistema até que as duas condições sejam verdadeiras. As setas do diagrama indicam o fluxo do processo, portanto, podem estar seguindo em uma linha ou retornando a algum ponto de interesse do sistema.

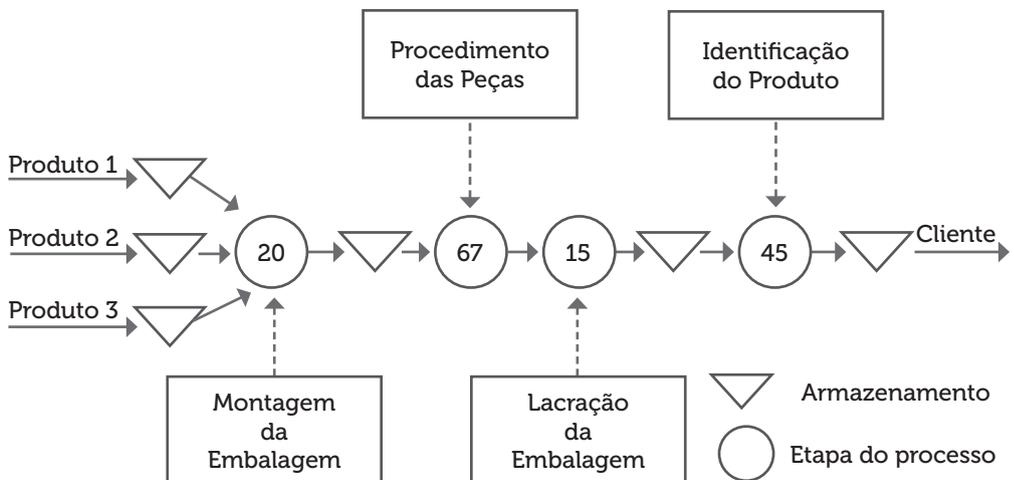
Sem medo de errar

Retomando o contexto de aprendizagem, estamos trabalhando com uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis, que contratou seus serviços de automação para automatizar uma linha de produção. Você, como responsável técnico do projeto, realizou várias análises no processo da fábrica e tirou diversas conclusões nas unidades e seções anteriores.

Descrição da situação-problema

Portanto, sabemos que a automação é do tipo flexível, realizada através de um CLP. O princípio operacional está demonstrado pela Figura 3.13.

Figura 3.13 | Princípio operacional da linha de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Sabemos ainda que, na seção anterior, conseguimos realizar a tabela de correlação das entradas e saídas do sistema proposto. A Tabela 3.4 elucida o funcionamento do sistema:

Tabela 3.4 | Relação de entradas e saídas do sistema

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Dispositivo de transporte de peças		X
2	Sensor da montagem de embalagens para identificação de produto	X	
3	Dispositivo de montagem de embalagens		X
4	Sensor de presença do posicionamento de peças	X	
5	Contador de peças	X	
6	Dispositivo de posicionamento das peças na embalagem		X
7	Sensor de presença para lacre da embalagem	X	
8	Sensor de peso para lacre de embalagem	X	
9	Dispositivo de lacre		X
10	Sensor de identificação de embalagem para etiqueta de identificação	X	
11	Dispositivo de etiquetagem		X

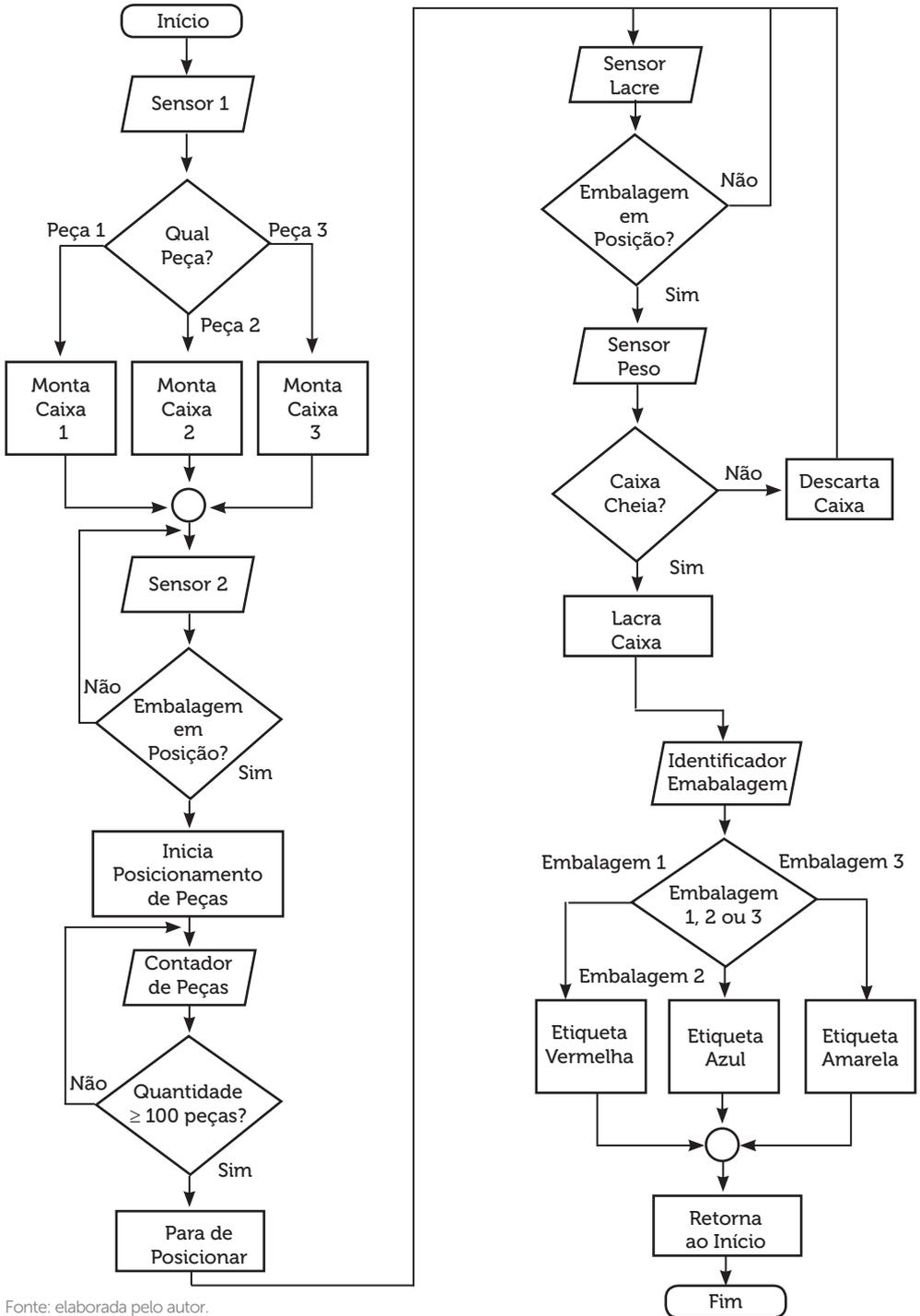
Fonte: elaborada pelo autor.

Agora, com base nessa tabela e nas informações que já temos sobre o processo, podemos elaborar o diagrama de blocos do sistema.

Resolução da situação-problema

Para resolver esse problema, teremos que empregar os conhecimentos dos símbolos e da lógica do funcionamento do sistema. Isso nos permitirá criar um diagrama de blocos que é mostrado na Figura 3.14.

Figura 3.14 | Fluxograma do processo de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Diagramando um sistema químico

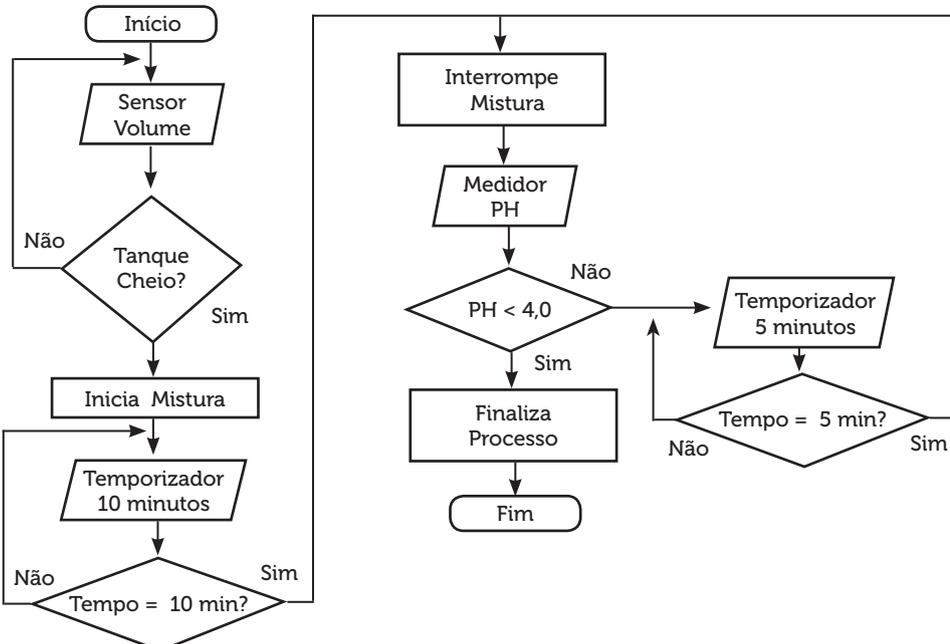
Descrição da situação-problema

Um misturador de reagentes é automatizado para fazer a homogeneização de um composto químico à base de três elementos. O sistema é iniciado quando o sensor de volume indica que o tanque do misturador está completamente cheio. A mistura é agitada por cerca de dez minutos e, então, o misturador cessa o trabalho, para que seja feita uma medição de PH. Caso o PH esteja acima de 4,0, o sistema volta a funcionar por mais cinco minutos, e assim sucessivamente, até que a mistura tenha o $\text{PH} \leq 4,0$. Portanto, tendo essas informações como base, como deveríamos compor o diagrama do sistema?

Resolução da situação-problema

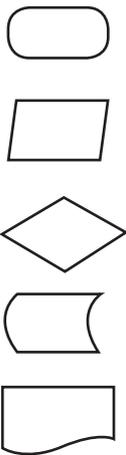
Para resolver esse sistema, podemos dizer que temos duas entradas e uma saída: a primeira entrada é o sensor que mede o nível do tanque, a segunda entrada é o medidor de PH e a saída é o motor do misturador. A Figura 3.15 mostra uma solução para o problema.

Figura 3.15 | Diagrama de blocos do sistema misturador



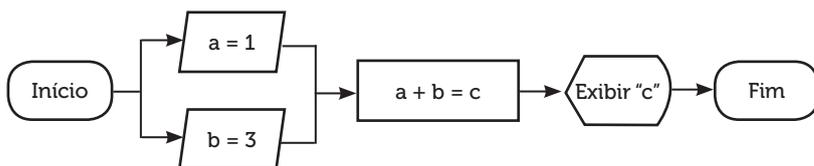
Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena



2. Programadores mais experientes nem sempre fazem uso intenso dos diagramas, como ocorre com programadores iniciantes, utilizando-os mais como forma de documentação. Um problema no uso de diagramas de blocos é que nem sempre é possível representar todas as operações de uma maneira gráfica. Em sistemas de complexidade mais elevada, o diagrama de blocos pode tornar-se muito extenso.

No caso de um diagrama de blocos usado para estruturar uma simples soma algébrica, como demonstrado na figura, o que o bloco de exibição deverá mostrar ao operador?



- a) O bloco de exibição mostrará a soma " $a+b=c$ ".
- b) O bloco de exibição deve exibir " $a+b$ ", pois não interessa o resultado.
- c) De acordo com o diagrama, o bloco de exibição mostrará o resultado " c ", que, nesse caso, seria igual a 4 (quatro).
- d) De acordo com o diagrama, a exibição de " c " será interna.
- e) Como o sistema não apresenta tela, o bloco de exibição não conseguirá exercer seu papel.

3. Nem todos os símbolos utilizados em fluxograma são úteis o tempo todo, enquanto muitos podem ser utilizados em raras ocasiões, porém não deixam de ser úteis. Um desses símbolos é o símbolo de chamada, que é amplamente usado em diagramas com alto grau de complexidade, pois visa chamar um segundo fluxograma previamente estipulado, o que reduz o tamanho de diagramas complexos.

Qual das alternativas a seguir apresenta esse símbolo de chamada, usado em diagramas com alto grau de complexidade?

- a) Chamada de exibição em tela:



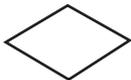
- b) Chamada de sub-rotina, representada por:



- c) Chamada de entradas e saídas:



- d) Chamada de comparação:



- e) Chamada de sub-rotina, representada por:



Seção 3.3

Criando um software

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo a mais uma etapa de aprendizado. Você se lembra da empresa com que estamos trabalhando? Uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis contratou os serviços de uma empresa especializada em automação, que lhe enviou para ser o responsável técnico do projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, controle e controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas. Nesta unidade, estaremos desenvolvendo as habilidades para estruturar o software que será utilizado pelo controlador para controlar o processo e integrar os componentes do sistema por meio de variáveis de entrada e saída. Com tantas informações em mãos, já podemos definir qual é o tipo de linguagem que será utilizada para programar o controle do sistema.

Na seção anterior, vimos como podemos estruturar a lógica de funcionamento de um sistema, para que possamos visualizar a forma como iremos programá-lo, reduzindo as chances de se cometer erros na programação. Mas como devemos prosseguir com a programação, quais são os tipos de linguagens que podemos usar e qual é a mais indicada para nossa necessidade?

Nesta seção, daremos início aos conceitos de programação, os tipos de linguagens e como determinar qual é o tipo mais indicado para cada sistema, dependendo das necessidades e dos componentes. Ao final desta seção, você deverá ser capaz de definir todos os parâmetros do sistema para programação dos algoritmos de controle.

Não pode faltar

Introdução à linguagem de programação

Primeiramente, devemos deixar clara a importância de se estruturar a lógica da programação anteriormente ao início dela, pois isso, além de facilitar a visualização do funcionamento do sistema, ainda ajuda a reduzir erros de programação causados pela

falta de sequenciamento lógico. Uma vez feita a estrutura lógica do sistema, podemos iniciar a elaboração do algoritmo que conduzirá o controle. Porém, qual é o tipo de linguagem que utilizaremos para tanto?

Diferentes tipos de linguagem

Tem-se que a programação é dividida nos seguintes tipos de linguagem usada para sistemas de controle:

1. A linguagem de alto nível, que se assemelha com a linguagem humana, fazendo uso de softwares que convertem a linguagem humana em linguagem de máquina, o que facilita a programação, porém a compilação do programa é mais lenta, portanto, a máquina demora mais tempo para responder.

2. A linguagem de baixo nível é a que mais se assemelha com a linguagem da máquina, sendo extremamente complexa para ser utilizada, porém, é rapidamente compilada e tem um tempo de resposta quase instantâneo.

Tendo conhecimento desses dois tipos básicos de programação, podemos estudar os diversos subtipos de programação existentes e que podem ser usados em controladores. Na automação, geralmente utilizamos linguagens de alto nível para a programação, pois isso permite que se façam modificações nos algoritmos sem grandes problemas ou complicações, além de facilitar a interpretação dos programas por outras pessoas, portanto, o programa deve ser de fácil compreensão para não acarretar em dificuldades posteriores.

Pensando nisso, devemos fazer uso de linguagens que não necessitem de grandes especializações para serem desenvolvidas, possibilitando, dessa forma, o descarte das linguagens de baixo nível, como hexadecimal e binário, partindo, assim, das linguagens mais comuns, como o texto estruturado, as listas de comando e as linguagens gráficas.



Refleta

Mesmo sendo linguagens mais lentas, as linguagens de alto nível são mais utilizadas, por serem de fácil programação e entendimento, mas quantos tipos de programação existem? Qual dessas linguagens seria a mais indicada para programação de sistemas de controle?

Comandos importantes

A linguagem de texto estruturado, que está exemplificada pela Figura 3.16, é conhecida como a mais utilizada em programação de uma forma geral, pois proporciona uma certa facilidade de trabalho. Por se tratar de uma linguagem bem próxima da

humana, tem-se uma linguagem muito poderosa para programar controladores, sendo compatível com quase todas as aplicações, porém pode ser complexa e muito extensa, em alguns casos. O texto estruturado não leva consigo a ordem de ação do sistema, não sendo necessariamente baseado na lógica de funcionamento, o que o leva a seguir uma lógica de programação distinta do fluxograma do processo e, apesar de ser muito útil para aplicações em controle de processos, é evitada pela complexidade de utilização.

Figura 3.16 | Exemplo de programação por texto estruturado

```

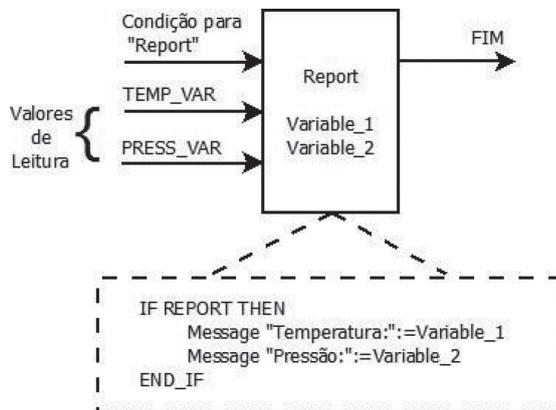
IF Manual AND NOT Alarm THEN
    Level:=Manual_Level;
    Mixer:=Start AND NOT Reset
ELSE_IF Other_Mode THEN
    Level:=Max_Level;
ELSE Level:=(Level_Indic ' 100)/Scale;
END_IF;

```

Fonte: adaptada de Controladores... (2016, p. 24).

Esse tipo de linguagem é baseado em sub-rotinas, que são empregadas em forma de loops no sistema, por isso é geralmente empregada para programar blocos funcionais utilizados para programação gráfica de controladores, sendo apresentados mais à frente nesta seção. A figura 3.17 mostra um exemplo de utilização das linguagens de texto estruturado e blocos funcionais em conjunto.

Figura 3.17 | Texto estruturado usado em blocos funcionais



Fonte: adaptada de Controladores... (2016, p. 25).

Já a linguagem de lista de instruções é complexa se comparada ao texto estruturado, pois ainda se assemelha à linguagem da máquina, não sendo muito intuitiva para se trabalhar. Apesar disso, é considerada de alto nível, por utilizar termos simples. Sua principal vantagem é a agilidade de processamento, porém, traz dificuldade de entendimento. Além dessas características, é estruturada de acordo com o funcionamento da máquina, ou seja, podemos dizer que é uma programação linear. A Figura 3.18 mostra um exemplo de utilização da linguagem de lista de instruções.

Figura 3.18 | Exemplo de programação por lista de instruções

Instruções		Comentários
LD	b1	(*resultado corrente:=TRUE*)
AND	b2	(*resultado corrente:=b1 AND b2*)
ANDN	b3	(*resultado corrente:=b1 AND b2 AND NOT b3*)
ST	b0	(*b0:=resultado corrente*)

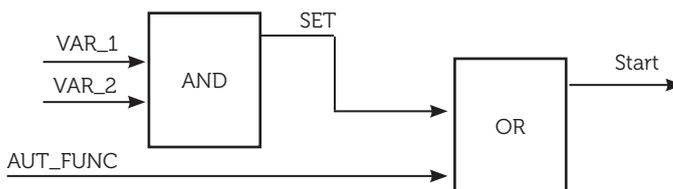
Fonte: adaptada de Controladores... (2016, p. 23).

Esses tipos de programação textual podem ser aplicados a diversos tipos de controladores digitais, por exemplo, painéis de relês, CLPs, computadores industriais, entre outros. São tipos de linguagens mais completas, porém que necessitam de certo nível de especialização para serem utilizados. Pensando nisso, criaram-se alguns tipos de programação de ainda mais alto nível, como os programas baseados em diagramas gráficos. Os principais tipos de programação nesse estilo são:

1) O FBD, sigla em inglês que significa “diagrama de blocos funcionais” (mostrado na Figura 3.19), é uma linguagem gráfica que permite a criação de programas utilizando blocos pré-programados.

A norma IEC 61131-3 padroniza essa linguagem e determina diversos blocos para serem disponibilizados por qualquer plataforma que permita esse tipo de programação. Além disso, a norma deixa livre para que os fabricantes de controladores disponibilizem blocos não padrões para o controle de recursos específicos de seus produtos.

Figura 3.19 | Exemplo de bloco funcional



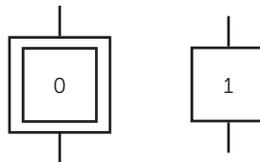
Fonte: elaborada pelo autor.

Apesar da biblioteca de blocos ser extensa, ainda é possível que o usuário crie seus próprios blocos, que geralmente são programados com texto estruturado ou lista de instruções, assim como o mostrado pela Figura 3.17.

2) GRAFCET ou G7 é uma norma francesa que permite a organização completa e a programação de sistemas de controle de forma simples e gráfica. É um método baseado em sequenciamento lógico que se aproxima bastante do fluxograma. O G7 é formado por basicamente quatro elementos:

- Etapas (Figura 3.20) – determinam onde o processo se encontra em um determinado momento, são representadas por um quadrado, sendo que obrigatoriamente temos uma etapa inicial que é formada por dois quadrados.

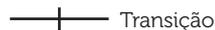
Figura 3.20 | Blocos de etapas



Fonte: elaborada pelo autor.

- Transições – que são as passagens de uma etapa para outra, representadas por uma barra horizontal, conforme mostrado pela Figura 3.21.

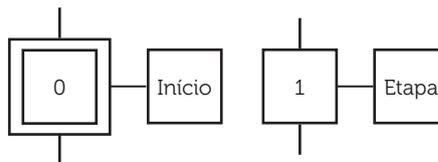
Figura 3.21 | Bloco de transição



Fonte: elaborada pelo autor.

- As ações do sistema são demonstradas em caixas de texto e mostram o que o sistema fará na etapa em que se encontra. Eles estão representados na Figura 3.22

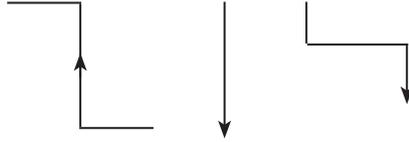
Figura 3.22 | Blocos de ação



Fonte: elaborada pelo autor.

- Os elementos de ligação, geralmente representados por setas (Figura 3.23), são responsáveis por indicar o fluxo lógico do sistema.

Figura 3.23 | Linhas de ligação

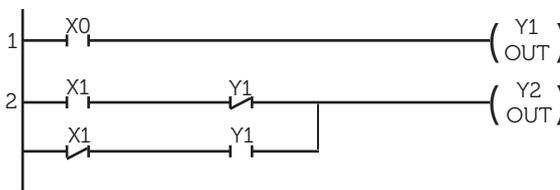


Fonte: elaborada pelo autor.

Esse é um tipo de linguagem importante para organização da programação de CLPs, que será abordado com mais detalhes na próxima unidade de ensino deste livro didático.

3) Diagrama lógico de relés é uma linguagem gráfica conhecida como LADDER, na qual controladores baseados em relés podem ser facilmente programados. Porém, nos dias atuais, essa linguagem se difundiu a ponto de poder ser utilizada em outros tipos de controladores, como microcontroladores e unidades terminais remotas. A Figura 3.24 mostra um exemplo de aplicação de uma programação LADDER que consiste em um botão de segurança, no qual a ação Y2 só será acionada quando os botões X0 e X1 forem acionados ao mesmo tempo. Por ser a principal linguagem dos CLPs, voltaremos a estudá-la na próxima unidade de ensino.

Figura 3.24 | Exemplo de programação por LADDER



Fonte: elaborada pelo autor.



Assimile

Os CLPs são os principais controladores utilizados na indústria, o que nos leva a utilizar primordialmente as linguagens GRAFCET e LADDER para programação desses controladores.

Como iniciar e terminar um código

Basicamente, todos os tipos de linguagem de programação seguem certos protocolos que podem variar para cada tipo de programação ou de fabricante. De qualquer forma, o protocolo mais importante, que é seguido por todas as

programações, é o início e fim de um código, seja ele formado por texto ou gráfico. Tem-se que um programa sempre se iniciará com um comando específico e terminará com outro, permitindo que, quando o algoritmo entrar em execução, o controlador saiba a hora de reiniciar um ciclo de funcionamento, uma vez que os sistemas de programação funcionam em *loops*.

Alguns fabricantes de controladores desenvolvem seus próprios softwares de programação e baseiam seus controladores em uma ou mais linguagens. Por exemplo, os CLPs da Siemens podem ser programados via LADDER, G7 ou lista de instruções, possibilitando uma programação mais rápida e prática ou mais completa e complexa. Ainda existem fabricantes que criam híbridos de linguagens, que utilizam mais de um tipo de linguagem de programação ao mesmo tempo, como é o caso dos CLPs da Koyo, que utilizam um tipo de programação baseado em LADDER e estruturado com GRAFCET.



Pesquise mais

Para compreender um pouco mais sobre a programação de controladores, principalmente de CLPs, acesse a apostila:

Controladores lógicos programáveis – parte 2: software. Disponível em: http://www.micronic.xpg.com.br/5SEM_arquivos/CLP%20II/ApostilaCLPs-Partell.pdf. Acesso em: 18 dez. 2016.

Quando falamos de controle industrial, nos referimos a controladores analógicos, para processos individuais, e CLPs, para controle geral e interligação de componentes do sistema. Isso nos leva à escolha, na maior parte dos casos, das linguagens G7 e LADDER, em que, geralmente, a primeira é usada para organizar a lógica funcional do sistema e a segunda, para a programação em si.



Exemplificando

Imagine que você seja um profissional especializado em programação de controladores e uma empresa o contrata para fazer a programação de um sistema simples para um lavador automático de carros, controlado por um CLP compacto.

- A primeira ação que você deve tomar é identificar o tipo de controle empregado e o controlador utilizado para a função desejada.
- Em seguida, você deve determinar qual é a complexidade do funcionamento do sistema.

- E, finalizando, você pode determinar o tipo de programação, levando em conta sua especialização e funcionamento.

Quando temos um sistema complexo, que terá seu funcionamento determinado por controladores, como computadores industriais ou controladores desenvolvidos para o sistema, deveremos utilizar uma linguagem de mais baixo nível, por exemplo, texto estruturado ou lista de instruções, podendo atribuir uma linguagem por blocos funcionais. Já, se o sistema for controlado por um CLP, a programação pode ser realizada por linguagem LADDER.

Pensando no sistema de lavagem de carros, visto que se trata de um sistema simples, porém que será controlado por um CLP compacto, podemos desenvolver a lógica de funcionamento em GRAFCET e elaborar a programação em LADDER.

Sem medo de errar

Descrição da situação-problema

Lembre-se de que estamos trabalhando com a automação de uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis. Essa empresa contratou os serviços de uma especializada em automação, que o enviou para ser o responsável técnico do projeto.

Nas seções anteriores, já definimos a automação, o processo, controle e controlador, os testes virtuais já foram feitos, já sabemos qual é o tipo de operação e, nesta unidade, já definimos uma tabela de elementos e estruturamos o funcionamento do sistema utilizando um fluxograma. Com todas essas informações, resta-nos, para fechar esta unidade, definir qual é o tipo de programação que será usado para elaborar o algoritmo de funcionamento do controle.

Resolução da situação-problema

Lembrando que o sistema fará uso de um CLP para controlar seu funcionamento, podemos fazer uso de vários tipos de programação, uma vez que os CLPs aceitam tanto programações por texto quanto programações gráficas.

Isso faz com que a escolha de um sistema se torne complexa. Para facilitar nossa escolha, podemos determinar o tipo de programação, levando em consideração a sua facilidade, sendo que, na maior parte dos casos, um sistema controlado por CLP aceitará uma programação em LADDER.

Como LADDER é uma programação realizada por sequenciamento lógico, podemos assumir que ela sempre será usada em sistemas que seguem uma determinada ordem de funcionamento. Já em outros casos, devemos usar uma programação mais complexa, como o diagrama de blocos funcionais ou a programação via textos.

Lembrando que sempre devemos organizar o funcionamento do sistema. No caso de CLPs, primeiro devemos estruturar a lógica do algoritmo, utilizando a linguagem GRAFCET, e só então passaremos a realizar a programação em LADDER.



Atenção

Sempre devemos primar pela simplicidade, portanto sempre partiremos do princípio de que devemos elaborar uma programação que poderá ser melhorada e utilizada por qualquer pessoa da área.

Só então, em caso de complexidade do sistema, faremos uso de linguagens mais complexas, que exijam mais especialização por parte do usuário.

Avançando na prática

Programação de um controlador complexo

Descrição da situação-problema

Caro aluno, você é dono de uma empresa de consultoria em automação de processos, e seus serviços foram contratados por uma grande fabricante de barras de chocolate para realizar a programação de um computador industrial que fará a comunicação de todo o chão de fábrica da empresa. Antes de tudo, você precisa determinar qual é o tipo de linguagem de programação que deverá ser empregado no sistema, para que ele funcione perfeitamente. Qual linguagem você aplicaria nesse tipo de controlador e por quê?

Resolução da situação-problema

Primeiramente, devemos analisar o sistema:

- Sistema extenso.
- Programação para computador industrial.
- Comunicação de todo o chão de fábrica.

Sabendo disso, podemos assumir que esse sistema necessitará de um tipo de programação mais completa, algo que não poderemos alcançar utilizando linguagens gráficas. Portanto, devemos utilizar uma linguagem textual, como o texto estruturado ou a lista de instruções, pois essas linguagens garantirão um ótimo funcionamento do sistema.

Faça valer a pena

1. É de grande importância estruturar a lógica da programação antes do início da programação, pois isso, além de facilitar a visualização do funcionamento do sistema, ainda ajuda a reduzir erros de programação causados pela falta de sequenciamento lógico. Uma vez estruturada a lógica de funcionamento, podemos realizar a programação do sistema.

O texto-base nos traz a importância de se estruturar a lógica de programação, mas como isso pode ajudar a evitar erros de programação?

a) Quando se estrutura a lógica de funcionamento, estrutura-se também a lógica de programação, o que permite que o programa seja executado sem conflitos.

b) Quando pensamos em estrutura lógica, pensamos no funcionamento do sistema, o que permite que o programa funcione corretamente.

c) Ao pensar em estruturar o programa, podemos realizar uma estrutura do sistema, mais facilitada.

d) Estruturando a lógica de funcionamento do sistema, podemos instalar os maquinários de forma a obedecer a programação corretamente.

e) Quando estruturamos a lógica do sistema, estamos estruturando também a instalação dos componentes de forma a correlacionar a programação aos controladores.

2. Todos os tipos de linguagem de programação seguem certos protocolos que podem variar para cada tipo de programação ou de fabricante. De qualquer forma, existe um protocolo mais importante, que é seguido por todas as programações igualmente, embora difiram na forma como é realizado.

O texto-base apresenta a existência de certos padrões seguidos pela programação, mas existe um tipo de protocolo que é apresentado igualmente em todas as programações, mesmo que de formas distintas.

Assinale a alternativa que mostra qual é esse protocolo.

- a) Um programa deve apresentar partes que explicam seu funcionamento.
- b) Todo programa deve demonstrar em seu corpo funções que resolvam equações matemáticas.
- c) Um programa, independente de qual tipo, tem início e fim, o que possibilita o loop do programa.
- d) Todo programa tem em seu início um bloco de iniciação e termina com uma frase de encerramento.
- e) Um programa deve ser iniciado com uma função específica, mas não precisa ter um fim determinado.

3. Um sistema de controle deve ser desenvolvido da forma mais simples possível, pois isso permite que seja programado de uma forma que qualquer usuário o entenda. Em alguns casos, essa premissa não é viável, o que nos obriga a utilizar ferramentas de programação mais complexas.

O texto nos mostra a necessidade de simplificação do sistema, mas ainda traz a inviabilidade ocasional de um sistema complexo. Sabendo que utilizamos dois tipos básicos de programação, o textual e o gráfico, qual das alternativas melhor expressa o sistema mais complexo que pode ser usado?

- a) A linguagem gráfica é a mais complexa, pois usa termos mais próximos à linguagem das máquinas.
- b) A linguagem textual se torna mais complexa, por poder ser usada em quase todos os tipos de controle.
- c) Por ser mais completa, a linguagem gráfica também se torna mais complexa.
- d) Os dois tipos são extremamente complexos, pois podem ser associados e usados em conjunto para resolver problemas complexos.
- e) O tipo textual é mais complexo, pois, apesar de trazer uma linguagem mais parecida com a humana, em alguns casos, pode resultar em grandes algoritmos, que podem ser confusos.

Referências

ALVES, W. P. **Linguagem e lógica de programação**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

CONTROLADORES lógicos programáveis – parte II: software. Disponível em: <http://www.micronic.xpg.com.br/5SEM_arquivos/CLP%20II/ApostilaCLPs-Partell.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2016.

LINGUAGENS de programação: bloco de função, SFC e texto estruturado. 2015. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/tergolina/Automacao_e_Control/APRESENTACAO_-_Aula_05_Linguagens_de_Programacao_FB_SFC_ST.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2016.

MORAES, P. S. **Lógica de programação**. Unicamp - Centro de Computação – DSC, abr. 2000. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~vania.bogorny/teaching/ine5231/Logica.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2016.

PEREIRA, A. L. S. **Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)**: linguagem de lista de instruções. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Campus Jataí, 2014.

PLC PROGRAMMING: structured text tutorial to expand your PLC programming skills. Disponível em: <<http://www.plcademy.com/structured-text-tutorial/>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC: teoria e aplicações**. 2. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2011. 190 p.

RIBEIRO, M. A. **Controle de processos**: teoria e aplicação. 7. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 515 p.

SISTEMAS de controle I. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Centro de Tecnologia. Departamento de Eng. de Computação e Automação. Natal, mar. 2003. Disponível em: <http://www.netsoft.inf.br/aulas/7_EAC_Sistemas_Realimentados/8_resumo_sistemas_controle.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2016.

O CLP e a linguagem LADDER

Convite ao estudo

Voltando ao que foi visto na segunda unidade de ensino deste livro didático, tem-se que algumas informações são muito importantes, como a estrutura da automação, alguns equipamentos utilizados em controle e os tipos de controladores. Na terceira unidade, tivemos contato com alguns elementos importantes para a compreensão e estruturação de um sistema de controle e, dessa forma, vimos algumas ferramentas úteis para a programação de algoritmos de controle.

Isso nos permitiu chegar no conteúdo desta última unidade, na qual veremos o CLP, que pode ser considerado o controlador mais importante e mais conhecido no meio industrial nos dias atuais. Aprenderemos sobre sua estrutura interna, instalação e programação. Portanto, esperamos que, ao término de seus estudos, você seja capaz de estruturar um sistema, instalar um CLP, programá-lo e fazer com que o sistema funcione para seu empregador.

Vamos relembrar o problema que viemos trabalhando até este momento: uma pequena empresa fabricante de peças de reposição para automóveis deseja automatizar uma de suas linhas de produção para ampliar sua produtividade e, para tal, contratou uma empresa de automação que enviou seu engenheiro ao local. Durante uma breve reunião para discussão das necessidades da linha de produção, ficou evidente que o responsável não conseguiria explicar como deveria ser feita essa automação.

Em um primeiro momento, fomos capazes de compreender o problema da empresa, determinar o tipo de solução a ser aplicada e, com isso, definir os equipamentos e elementos a serem usados para tanto.

Mas você imagina como deve ser feita a instalação de um controlador, neste caso, do CLP? Consegue pensar em uma forma de estruturar a lógica de programação para este CLP ou, até mesmo, como programá-lo?

Nesta última etapa, faremos a instalação do CLP, realizaremos as devidas estruturas da lógica de programação, fazendo uso da ferramenta GRAFCET (G7) e, por fim, programaremos o CLP usando linguagem LADDER.

Seção 4.1

Entendendo o controlador lógico programável (CLP)

Diálogo aberto

Nesta seção, veremos como funciona um CLP, entenderemos sua instalação por meio de suas características internas, unidade de entradas e saídas e aplicações. Dessa forma, você se tornará capaz de realizar a instalação correta de um controlador lógico programável.

Continuaremos trabalhando com nossa pequena fabricante de peças de reposição para automóveis, que contratou os serviços de sua empresa especializada em automação, sendo você o responsável técnico do projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, controle e controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas e, ao final da seção anterior, definimos o tipo de programação que iremos utilizar. Mas, antes de programarmos o controlador, precisamos compreender como ele funciona e como devemos instalá-lo, caso contrário, de nada adiantará a programação.

Então, como será feita a instalação do CLP? E onde serão usadas as entradas e saídas que definimos anteriormente?

Para responder a essas perguntas, veremos primeiramente o que é um controlador lógico programável, conhecendo suas características e como devemos lidar com suas entradas e saídas, com o intuito de aprendermos mais sobre a aplicabilidade de um CLP.

Ao final desta seção, esperamos que você se torne capaz de determinar a instalação de um CLP, fazendo as ligações necessárias para seu funcionamento e empregando corretamente as variáveis do sistema ao controlador.

Não pode faltar

O que é o CLP

De acordo com a norma IEC 61131-1, um controlador lógico programável é um equipamento composto de componentes eletrônicos e de uma memória programável, que contém dados e programas com finalidade de ler e executar instruções, interagindo com um sistema que deve ser controlado por dispositivos de input e output do tipo digital ou analógico (PRUDENTE, 2013).

Figura 4.1 | Exemplo de CLP compacto



Fonte: <<https://goo.gl/Yejkgw>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

Portanto, podemos dizer que um CLP, exemplificado na Figura 4.1, é um computador compacto que realiza ações de controle em diversos níveis de complexidade. Uma das maiores vantagens na aplicação de um CLP é que ele pode ser programado e utilizado por pessoas sem grande conhecimento em computação. Além disso, esse pequeno computador foi projetado para trabalhar em ambientes hostis, como chão de fábrica, que apresenta grande variação de temperatura, umidade, vibração, distúrbios eletromagnéticos, entre outras variantes do ambiente industrial.

Características de um CLP

Nestes últimos tempos em que o CLP vem sendo amplamente utilizado, ele se mostrou com um grau mais elevado de confiabilidade do que em um sistema com lógica eletromecânica. E graças ao software de controle de autodiagnóstico, que se encontra presente nos CLPs modernos, algum defeito de funcionamento pode ser facilmente identificado e corrigido.

Apesar da confiabilidade trazida pelo controlador lógico programável, é importante deixar clara a necessidade do uso de um dispositivo eletromecânico para garantir a segurança do sistema, uma vez que um CLP, quando sofre uma avaria ou apresenta algum defeito, torna o processo incontrolável. Já o dispositivo eletromecânico, quando detecta um defeito no processo, libera o contato elétrico que faz com que o sistema desligue, o que garante a segurança para todos os envolvidos no processo e para o próprio sistema.



Assimile

Um CLP nunca é usado isoladamente como um dispositivo de segurança, pois seus aspectos construtivos e característica puramente eletrônica não garantem a segurança do sistema, uma vez que, em caso de falhas, torna o processo incontrolável. Sendo assim, faz-se necessário o uso de dispositivos eletromecânicos que, quando apresentam erros, desativam o sistema, garantindo sua integridade.

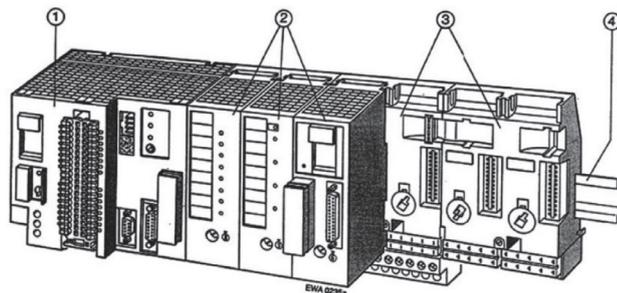
O CLP é composto por duas partes importantes: o hardware, que é a parte física do controlador, e o software, que é a parte virtual. Esta última é muito importante, pois é dividida em duas outras partes: a primeira é um software desenvolvido pelo fabricante do controlador, que determina seu funcionamento e geralmente não é acessível para os usuários em geral. Já segunda parte do software define como o CLP controlará o sistema. Esse programa ou algoritmo é desenvolvido e implementado pelo usuário, sendo nessa etapa que apresentaremos o LADDER.

Anteriormente à elaboração do programa de controle, precisamos nos preocupar em como instalar o CLP no processo a ser controlado e, para isso, nos atentaremos ao seu hardware, que é dividido em três unidades:

- Unidade central – responsável por organizar todas as funções de controle. É composta por microprocessador, memórias e fonte de alimentação.
- Unidade de programação – esta unidade é a interface entre homem e máquina, que permite escrever o programa na memória do CLP. É formada geralmente por um computador ou um teclado, dependendo do tipo de CLP.
- Unidade de entrada e saída (I/O).

Nessas unidades podemos perceber os aspectos construtivos de um CLP, observando a Figura 4.2:

Figura 4.2 | Composição construtiva de CLP modular



Fonte: Prudente (2013, p.282).



Refleta

Compreendemos as características de um controlador lógico programável e como ele opera no sistema, além de ter compreendido o sistema e seu funcionamento nas seções e unidades anteriores. Mas como fazemos para inserir um CLP no processo e fazê-lo funcionar?

Aplicações de um CLP

Podemos perceber pela Figura 4.1 que o CLP apresentado demonstra alguns itens em sua carcaça - na parte superior vemos I1, I2, I3 etc. e na parte inferior percebemos Q1, Q2, Q3, Q4. Estes são símbolos padronizados de entradas e saídas digitais do controlador, sendo os "Is" relativos a entradas e os "Qs" relativos a saídas, mais especificamente as portas que recebem informações dos sensores e transdutores e as portas que emitem sinais de saída para os atuadores, respectivamente.

Vejamos o exemplo da lâmpada, novamente: o interruptor seria ligado ao I1, por exemplo, e a lâmpada seria conectada ao Q1, o que permitiria ao CLP receber um sinal do interruptor no sentido de interromper ou não a passagem de tensão, sendo que on(1) acende a lâmpada e off(0) desliga. Com essa informação de entrada, o controlador emitiria um sinal que acenderia ou apagaria a lâmpada.

Podemos, portanto, perceber como são feitas as ligações de um controlador lógico programável, para que ele controle um sistema simples. Compreendendo essa relação entre entradas e saídas, podemos entender o seu funcionamento em sistemas mais complexos, por analogia, sendo que as entradas de dados para cálculo do CLP sempre estarão nos Is e o CLP sempre mandará sinais de saída para ação no processo através dos Qs.

A Figura 4.3 mostra um esquema simplificado de um CLP modular que apresenta placas I/O digitais e analógicas separadas, mas, nos CLPs modernos, as entradas e saídas são híbridas, podendo ser usadas tanto para sinais digitais como para sinais analógicos. Porém, é muito importante ressaltar que essa característica não é presente em todos os controladores e, portanto, é crucial que as especificações técnicas dos CLPs sejam verificadas antes de sua aplicação, para que não ocorra problemas com os sinais e que não haja risco de danificar os equipamentos.



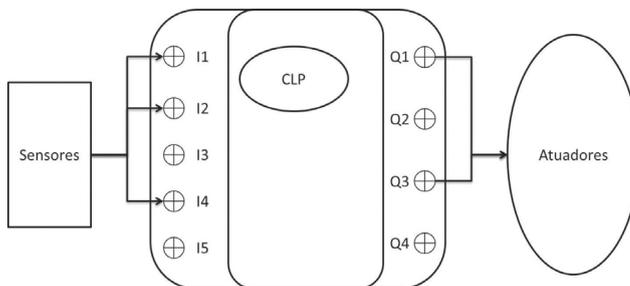
Pesquise mais

Para compreender melhor a instalação e o uso de um CLP, dê uma olhada neste material sobre CLPs:

SILVA, Gladimir Pinto da. **PLC - Controladores Lógicos Programáveis**. Curso Técnico de Eletromecânica - CEFET RS. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC_Gladimir.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017

Em um sistema qualquer, seja simples ou complexo, não existe a necessidade de utilizar todas as entradas e saídas do CLP, o que permite que se façam instalações mais compreensíveis e bem elaboradas. Dependendo do tipo de elemento e cabeamento utilizado, também podemos ter equipamentos que utilizam mais de uma entrada ou saída do controlador. Na Figura 4.4, temos um desenho esquemático que ilustra um CLP compacto com instalação intercalada.

Figura 4.4 | Exemplo de instalação de CLP



Fonte: elaborada pelo autor.



Exemplificando

Uma empresa de reciclagem de latas de alumínio tem uma esteira para transportar as latas dos caminhões para o segundo nível da produção. Essa esteira é movimentada por um motor elétrico e tem um sensor para detectar se existe algum caminhão na área de descarga esperando para descarregar, um sensor para a presença de caminhões que estão aguardando a liberação da esteira e um para presença de latas na esteira. O seu modo de funcionamento prevê que a esteira se movimente sempre que tiver latas na esteira. Quando tem caminhão posicionado, liga uma lâmpada vermelha e quando não tem caminhão presente, mas há algum em espera, acende uma luz verde.

Primeiramente, para compreender o sistema, vamos montar uma tabela de entradas e saídas, correlacionando às variáveis do sistema, como mostra a Tabela 4.1:

Tabela 4.1 | Correlação de variáveis do sistema as entradas e saídas

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Sensor Presença	X	
2	Sensor Espera	X	
3	Sensor Latas	X	
4	Motor Esteira		X
5	Luz VERDE		X
6	Luz VERMELHA		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Após representar as variáveis do sistema na Tabela 4.1, devemos determinar as entradas e saídas do CLP que serão usadas. Nesse exemplo, temos três entradas e três saídas, portanto, esse é um processo que pode ser controlado por qualquer CLP compacto moderno.

Vamos determinar uma segunda tabela, correlacionando as entradas e saídas do sistema com as I/O do CLP, conforme a Tabela 4.2:

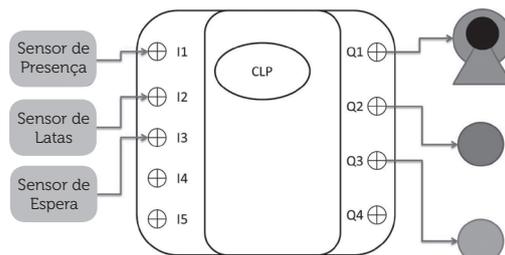
Tabela 4.2 | Correlação de I/O do sistema e I/O do CLP

Descrição	Tipo	Nome
Sensor Presença	Entrada	I1
Sensor Espera	Entrada	I2
Sensor Latas	Entrada	I3
Motor Esteira	Saída	Q1
Luz VERDE	Saída	Q2
Luz VERMELHA	Saída	Q3

Fonte: elaborada pelo autor.

Assim, podemos elaborar a instalação do CLP corretamente, como mostra a Figura 4.5.

Figura 4.5 | Aplicação de I/O diretamente no CLP



Fonte: elaborada pelo autor.

Sem medo de errar

Continuaremos trabalhando com nossa pequena fabricante de peças de reposição para automóveis que contratou os serviços de sua empresa especializada em automação, sendo que você é o responsável técnico do projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, controle e controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas e, ao final da seção anterior, definimos o tipo de programação que utilizaremos. Mas, antes de programarmos o controlador, precisamos compreender como ele funciona e como devemos instalá-lo, caso contrário, de nada adiantará a programação.

Então, como será feita a instalação do CLP? E onde serão usadas as entradas e saídas que definimos anteriormente?

Para responder a essas perguntas, teremos que relembrar a tabela de entradas e saídas do sistema, que foi definida na Seção 3.1 deste livro, mostrada nesta seção como a Tabela 4.3:

Tabela 4.3 | Relação de entradas e saídas do sistema

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Dispositivo de transporte de peças		X
2	Sensor da montagem de embalagens para identificação de produto	X	
3	Dispositivo de montagem de embalagens		X
4	Sensor de presença do posicionamento de peças	X	
5	Contador de peças	X	
6	Dispositivo de posicionamento das peças na embalagem		X
7	Sensor de presença para lacre da embalagem	X	
8	Sensor de peso para lacre de embalagem	X	
9	Dispositivo de lacre		X
10	Sensor de identificação de embalagem para etiqueta de identificação	X	
11	Dispositivo de etiquetagem		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema:

Com as informações do sistema em mãos, podemos estipular uma correlação entre as entradas e saídas do sistema, com as I/O do CLP, construindo uma segunda tabela que nos permitirá realizar a instalação do CLP. A correlação pode ser vista na Tabela 4.4, que nos gerará uma instalação como a mostrada pela Figura 4.6:

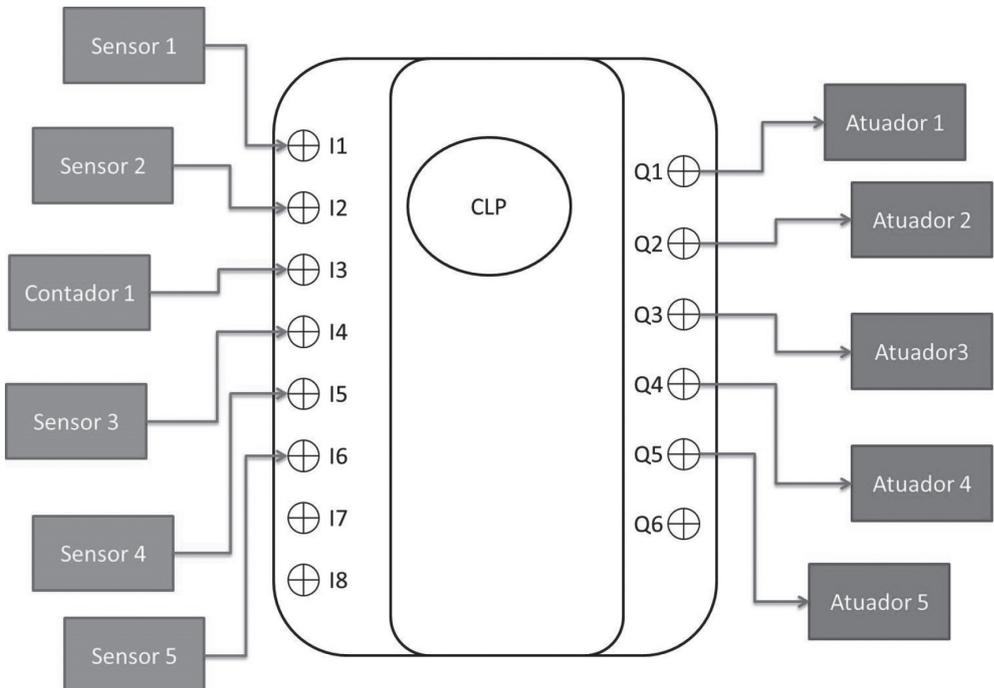
Tabela 4.4 | Comparativo das entradas e saídas do sistema com as I/O do CLP

Variável	Descrição	Tipo	Nome
Atuador 1	Dispositivo de transporte de peças	Saída	Q1
Sensor 1	Sensor da montagem de embalagens para identificação de produto	Entrada	I1
Atuador 2	Dispositivo de montagem de embalagens	Saída	Q2
Sensor 2	Sensor de presença do posicionamento de peças	Entrada	I2
Contador 1	Contador de peças	Entrada	I3
Atuador 3	Dispositivo de posicionamento das peças na embalagem	Saída	Q3
Sensor 3	Sensor de presença para lacre da embalagem	Entrada	I4
Sensor 4	Sensor de peso para lacre de embalagem	Entrada	I5
Atuador 4	Dispositivo de lacre	Saída	Q4
Sensor 5	Sensor de identificação de embalagem para etiqueta de identificação	Entrada	I6
Atuador 5	Dispositivo de etiquetagem	Saída	Q5

Fonte: elaborada pelo autor.

A Tabela 4.4 gerará uma instalação do CLP, como a mostrada pela Figura 4.6:

Figura 4.6 | Instalação das I/O do CLP



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Controle em um restaurante

Descrição da situação-problema

Caro aluno, neste novo contexto de aprendizagem, um restaurante o contrata para elaborar o sistema de controle de lavagem de pratos. Esse sistema consiste em um dispositivo que mostra quantos pratos existem na máquina, que é acionada automaticamente quando atinge a quantidade de 50 pratos, momento em que um LED vermelho fica aceso. Assim que a máquina termina o ciclo de lavagem, um sensor indica que os pratos estão prontos para serem transportados, acendendo um LED verde. Assim que a máquina é esvaziada, um LED amarelo permanece aceso até que tenha atingido novamente 50 pratos, momento em que o sistema recomeça. Como determinar os elementos e correlacionar as entradas e saídas do sistema? Como ficariam as tabelas de correlação para esse problema?

Resolução da situação-problema

Para resolver esse problema, podemos separar as variáveis e correlacioná-las com entradas e saídas, conforme mostrado pela Tabela 4.5:

Tabela 4.5 | Correlação de entradas e saídas do sistema

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Contador	X	
2	LED vermelho		X
3	Sensor de término	X	
4	LED amarelo		X
5	LED verde		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Assim, podemos perceber a correlação entre as variáveis do sistema e as entradas e saídas do controlador, tornando-nos capazes de montar a tabela de entradas e saídas do CLP, como mostrado pela Tabela 4.6:

Tabela 4.6 | Determinação das entradas e saídas do CLP

Variável	Descrição	Entrada	Saída
1	Contador	X	
2	LED vermelho		X
3	Sensor de término	X	
4	LED amarelo		X
5	LED verde		X

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. De acordo com a norma IEC 61131-1, um controlador lógico programável é um equipamento composto de componentes eletrônicos e de uma memória programável, que contém dados e programas com finalidade de ler e executar instruções, interagindo com um sistema que deve ser controlado por dispositivos de input e output do tipo digital ou analógico (PRUDENTE, 2013).

De acordo com o texto base, podemos dizer que o CLP é:

- a) Um controlador de ampla utilização, podendo ser aplicado a qualquer sistema.
- b) Um computador compacto que realiza ações de controle em diversos níveis de complexidade.
- c) Um controlador reprogramável que tem seus limites guiados pela capacidade do operador.
- d) Um computador complexo que tem uma pequena gama de aplicações.
- e) Um computador compacto e complexo que visa aprimorar e resolver problemas em indústrias mecânicas.

2. Um CLP apresenta dois aspectos principais, o hardware e o software, sendo que o primeiro é referente à construção física do controlador e o segundo encara o campo virtual, ou seja, os algoritmos que o fazem funcionar. O aspecto construtivo do CLP pode ser dividido em outras três partes.

O texto-base nos traz um conceito sobre as características construtivas do CLP. Qual das três partes do hardware é responsável por conectar as entradas e saídas ao CLP?

- a) Unidade de entradas e saídas.
- b) Unidade central.
- c) Placas de entradas.
- d) Unidade de programação.
- e) Placas de entradas e saídas.

3. A unidade de entradas e saídas é construída a partir de dispositivos conhecidos como Placas I/O. Essas placas são responsáveis por transformar os sinais do sistema em informações úteis ao CLP e adequar as informações que o CLP emite em sinais para os diversos dispositivos do sistema.

Sabemos que os processos emitem sinais de entrada para o controlador, que, por sua vez, emite sinais de saída para o processo. Portanto, quais os dois tipos de sinais que podemos encontrar em um sistema de controle?

- a) Sinais de entrada e de saída.
- b) Sinais de entrada e digitais.
- c) Sinais analógicos e digitais.
- d) Sinais analógicos e de saída.
- e) Sinais digitais e de entrada.

Seção 4.2

Estruturando a programação de um CLP

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! Nas seções e unidades anteriores, definimos diversos aspectos do controle e automação de processos industriais, vimos conceitos, aplicações, métodos para o desenvolvimento de um sistema de controle, como estruturar o funcionamento do sistema e ainda como instalar um CLP integrando as entradas e saídas aos dispositivos que geram as variáveis do processo. Agora, estamos chegando ao fim deste livro didático e, nesta nova seção, nos preocuparemos em estruturar a programação de um CLP, utilizando dos conhecimentos que adquirimos ao longo desta jornada de aprendizado.

Retomando o contexto de aprendizagem, temos que uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis contratou os serviços de sua empresa, sendo você o responsável técnico pelo projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, controle e controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas, o tipo de programação que utilizaremos e até como será feita a instalação dos equipamentos no CLP. Agora, nos resta definir a estrutura da programação do algoritmo que realizará o controle desse processo, para podermos, na próxima seção, realizar a programação em LADDER.

Mas, você sabe como estruturar essa programação? A estrutura funcional não é a mesma que a lógica de programação?

Para responder a esses questionamentos, veremos nesta seção uma ferramenta que já foi introduzida anteriormente: o GRAFCET (G7). Essa ferramenta é usada amplamente por desenvolvedores de CLP para realizar a estrutura lógica da programação do controlador e, em alguns casos, podemos realizar a própria programação através dessa ferramenta.

Portanto, ao final desta seção, acreditamos que você será capaz de resolver problemas ligados à lógica de programação e desenvolver a estrutura lógica dos algoritmos que regem o sistema de controle, tudo isso fazendo uso o GRAFCET como ferramenta de trabalho.

Não pode faltar

Introdução à linguagem de estruturação

Sabemos que a lógica de programação pode não ser estruturada da mesma forma ou com a mesma sequência que a lógica de funcionamento do sistema. Por isso, faz-se necessário que apresentemos uma diagramação do funcionamento e da lógica de programação. Mas a estrutura de programação geralmente é elaborada com outra ferramenta, não o fluxograma.

Também conhecido como Gráfico Sequencial de Funções (SFC), o GRAFCET é geralmente utilizado para criar diagramas que demonstram a lógica sequencial do funcionamento do algoritmo de controle. Além disso, é uma linguagem gráfica criada com o intuito de facilitar a programação de CLPs, sendo que alguns fabricantes de controladores lógicos programáveis até apresentam plataformas de programação utilizando diretamente o G7.



Assimile

O GRAFCET foi desenvolvido para ser utilizado com o intuito de simplificar e facilitar a visualização da programação de CLPs. Mas, por ser uma linguagem gráfica baseada em diagrama de blocos, pode ser empregado em diversos tipos de controladores que utilizam de lógica sequencial.

Linguagem com sequenciamento gráfico de funções (GRAFCET)

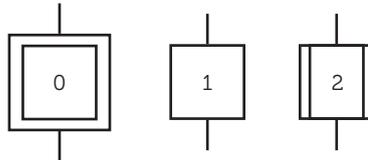
O G7 contém alguns componentes básicos que devem ser usados em sua construção, que são elementos padronizados, utilizados para auxiliar no entendimento do diagrama. Podemos dizer que o GRAFCET é composto por três elementos básicos que já foram apresentados anteriormente, mas vamos nos aprofundar um pouco mais nesse conhecimento:

1) Etapa: as etapas são subdivididas em três subtipos: etapas iniciais, etapas intermediárias e etapas globais.

- As etapas iniciais, como o próprio nome já denota, são etapas que iniciam o diagrama. São representadas através de um quadrado ou retângulo duplo, como está representado pela Figura 4.7 (a).
- As etapas regulares são aquelas que compõem o diagrama. São elas que formam o corpo lógico e determinam as ações que serão realizadas, aqui representadas pela Figura 4.7 (b).

- Já as etapas de chamada são menos usadas, mas não menos importantes. São utilizadas para facilitar a visualização de diagramas mais complexos ou muito extensos. Essas etapas são formadas por subdiagramas, representados pela Figura 4.7 (c).

Figura 4.7 | Etapas do GRAFCET

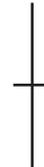


Fonte: elaborada pelo autor.

Devemos lembrar sempre que uma etapa nunca pode vir seguida diretamente de outra etapa, bem como uma transição também nunca deve vir seguida de outra.

2) Transição: a transição é a possibilidade de evolução de uma etapa para outra. É representada graficamente por uma linha cortada por um traço. Essa função lógica simboliza um ou mais elementos do dispositivo, como sensores, botões, leitores ou qualquer elemento que emita um sinal de confirmação para o sistema. Podemos ver uma transição representada na Figura 4.8.

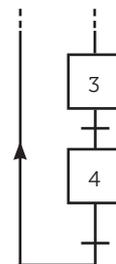
Figura 4.8 | Representação gráfica de transição



Fonte: elaborada pelo autor.

3) Ligações orientadas: tem-se que as etapas e transições são conectadas através de ligações orientadas, que geralmente têm o sentido de cima para baixo e, quando forem invertidas, devem ser acompanhadas de setas que indicarão a sua orientação. Perceba que, na Figura 4.9, a única ligação que tem a indicação de direção é a ligação de retorno.

Figura 4.9 | Exemplo de ligações orientadas

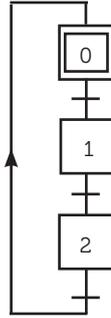


Fonte: elaborada pelo autor.

Os cruzamentos entre ligações devem ser evitados. O mais comum é, quando necessário, interromper o diagrama e continuá-lo em outra página ou, ainda, utilizar uma etapa de chamada que contém outra parte do diagrama em um bloco separado.

Os diagramas podem ser sequenciais, como mostrado pela Figura 4.10, que são aqueles que apresentam ligações simples. São comumente utilizados em lógicas básicas, nas quais a sequência de ações deve ser seguida à risca, sem intervenções externas ou devem dispensar escolhas feitas automática ou manualmente.

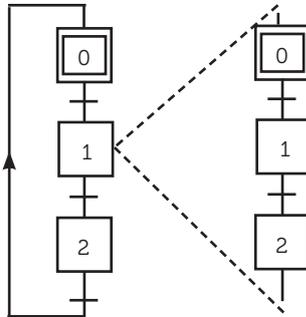
Figura 4.10 | Exemplo de GRAFCET sequencial



Fonte: elaborada pelo autor.

Um sistema muito extenso, que apresentaria um diagrama demasiado grande, pode fazer uso da etapa de chamada para reduzir seu tamanho e subdividir o gráfico em quantas etapas forem necessárias ao processo. Uma ilustração disso é mostrada pela Figura 4.11.

Figura 4.11 | Exemplo de aplicação de etapa de chamada

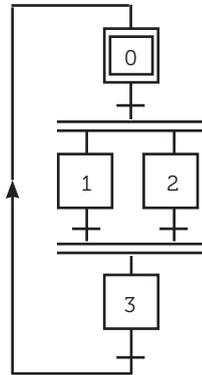


Fonte: elaborada pelo autor.

Os diagramas também podem ser ramificados onde as ligações são dispostas estrategicamente para evitar o cruzamento de linhas, para que não se complique a visualização.

Um diagrama ramificado pode ser "vergente" em E ou "vergente" em OU. "Vergente" em E, ou sequência simultânea (Figura 4.12), são diagramas nos quais as ações são iniciadas paralelamente, ou seja, todas as ações são realizadas simultaneamente com uma única transição. As barras paralelas que indicam esse estado são conhecidas como: superior, sendo divergente, e inferior, sendo convergente.

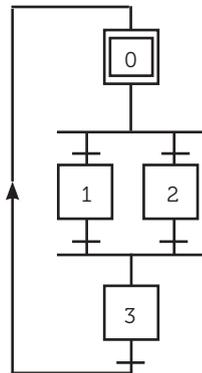
Figura 4.12 | Exemplo de diagrama com seqüência simultânea



Fonte: elaborada pelo autor.

“Vergente” em OU, ou seqüência seletiva (Figura 4.13), são diagramas nos quais as ações são iniciadas separadamente, a partir de uma escolha feita pelo sistema ou manualmente. São lógicas com uma complexidade mais elevada, requerendo mais tempo para seu desenvolvimento. Em um diagrama desse modo, o sistema só poderá avançar para a próxima seqüência quando a primeira for concluída e assim sucessivamente. Assim como a “vergente” em E, a barra superior é divergente e a inferior é convergente.

Figura 4.13 | Exemplo de diagrama com seqüência seletiva



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

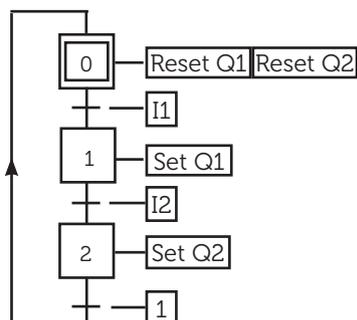
Aparentemente não é difícil criar um diagrama de GRAFET de um sistema, mas será que existe alguma informação importante para esse tipo de linguagem?

Como fazemos para demonstrar as ações do sistema?

Utilizando o GRAFCET como estrutura descritiva

Podemos usar dois tipos de GRAFCET: o descritivo e o funcional. O descritivo é usado para descrever o funcionamento do sistema com base nas variáveis, utilizando, assim, as nomenclaturas análogas às do programa. Dessa forma, podemos dizer que o G7 descritivo assemelha-se mais ao que a máquina vai compreender, o que torna esse tipo de diagrama recomendado para fins de programação. Podemos ver um exemplo desse GRAFCET na Figura 4.14, que mostra o acionamento das saídas Q1 e Q2, a partir do sinal I1 e I2.

Figura 4.14 | GRAFCET descritivo



Fonte: elaborada pelo autor.



Pesquise mais

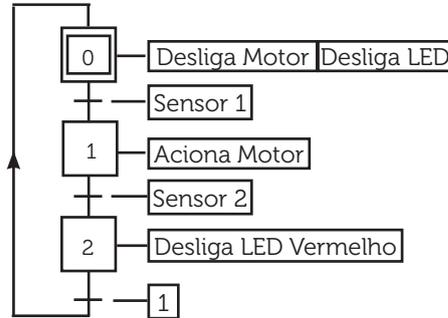
Para se aprofundar ainda mais nos estudos dessa ferramenta chamada GRAFCET, dê uma olhada neste material disponibilizado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), conteúdo da disciplina de princípios de Mecatrônica:

GRAFCET (Norma IEC 848). Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM265/GRAFCET_utfpr_iec_848.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2017.

Utilizando o GRAFCET como estrutura funcional

Por sua vez, o G7 funcional demonstra o funcionamento do algoritmo de forma mais visual e explicativa, permitindo um melhor entendimento por parte dos usuários. Dessa forma, podemos dizer que o GRAFCET funcional é mais voltado para a linguagem humana e mais distante da linguagem das máquinas. Esse é o tipo mais usado para estruturar a programação de CLPs. Podemos ver um exemplo desse diagrama na Figura 4.15, que nos mostra o funcionamento de um acionamento de motor atrelado a um LED demonstrativo.

Figura 4.15 | GRAFCET funcional



Fonte: elaborada pelo autor.



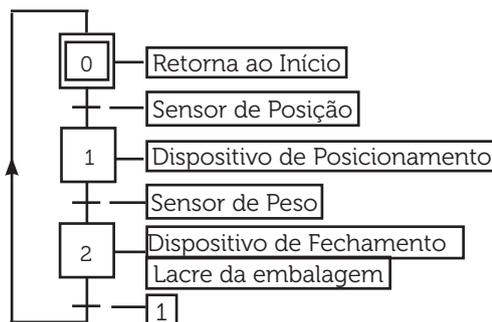
Exemplificando

Neste exemplo, temos uma máquina automática de embalar apontadores de lápis que contém um sistema que funciona com dois sensores: um para a posição da embalagem, que aciona o dispositivo de posicionamento dos apontadores, e outro para medir o peso da embalagem, que, quando atinge o peso correto, aciona um motor, responsável pela etapa de fechamento e lacre da caixa. Portanto, podemos ver que o sistema é composto por:

- 1 – Sensor de posição da embalagem.
- 2 – Dispositivo de posicionamento de produtos.
- 3 – Sensor de peso.
- 4 – Motor do dispositivo de fechamento e lacre da embalagem.

Dessa forma, se pensarmos um pouco sobre como deve ser feito o sequenciamento lógico do sistema, para que posteriormente seja feita a programação, teremos um GRAFCET como o demonstrado pela Figura 4.16:

Figura 4.16 | G7 do sistema de empacotamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Sem medo de errar

Descrição do problema

Temos que uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis contratou os serviços de sua empresa, sendo você o responsável técnico pelo projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, controle e controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas, o tipo de programação que utilizaremos e até como será feita a instalação dos equipamentos no CLP. Agora, resta-nos definir a estrutura da programação do algoritmo que realizará o controle desse processo, para podermos, na próxima seção, realizar a programação em LADDER.

Mas você sabe como estruturar essa programação? A estrutura funcional não é a mesma que a lógica de programação? Utilizaremos aqui a tabela que determinamos na seção anterior, mostrada na Tabela 4.7:

Tabela 4.7 | Comparativo das entradas e saídas do sistema com as I/O do CLP

Variável	Descrição	Tipo	Nome
Atuador 1	Dispositivo de transporte de peças	Saída	Q1
Sensor 1	Sensor da montagem de embalagens para identificação de produto	Entrada	I1
Atuador 2	Dispositivo de montagem de embalagens	Saída	Q2
Sensor 2	Sensor de presença do posicionamento de peças	Entrada	I2
Contador 1	Contador de peças	Entrada	I3
Atuador 3	Dispositivo de posicionamento das peças na embalagem	Saída	Q3
Sensor 3	Sensor de presença para lacre da embalagem	Entrada	I4
Sensor 4	Sensor de peso para lacre de embalagem	Entrada	I5
Atuador 4	Dispositivo de lacre	Saída	Q4
Sensor 5	Sensor de identificação de embalagem para etiqueta de identificação	Entrada	I6
Atuador 5	Dispositivo de etiquetagem	Saída	Q5

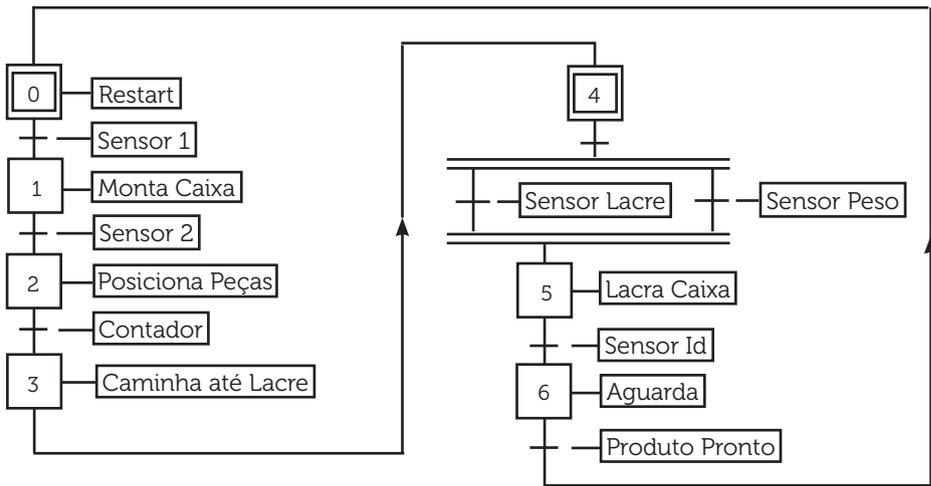
Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução do problema

Com base na Tabela 4.7 e de acordo com os conhecimentos adquiridos ao longo desta seção, poderemos montar a estrutura de sequenciamento lógico que será aplicada para a programação do CLP na próxima seção. O diagrama resultante é mostrado na Figura 4.17, no qual podemos ver claramente o uso das variáveis e das entradas e saídas, de forma a ser composto o corpo do diagrama.

Pela lógica mostrada no GRAFCET, quando o sensor 1 detecta o tipo de peça que será embalada, o dispositivo monta a embalagem correta, o sensor 2 diz que a embalagem está posicionada, o que aciona o mecanismo que posiciona as peças na embalagem, que são contadas por um contador que, quando atinge o número pré-determinado, fará com que o processo de posicionamento pare e a embalagem vá até a próxima estação, o sensor de lacre detecta a embalagem e o sensor de peso diz se a etapa anterior foi realmente realizada ou não. Caso esteja tudo como o planejado, o mecanismo lacra a embalagem e o sensor de identificação determina qual identificação deve ser inserida na caixa, o que faz com que o dispositivo de etiquetagem insira uma identificação na caixa e o processo seja finalizado.

Figura 4.17 | Diagrama G7 da lógica do problema proposto



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Automação de furos

Descrição da situação-problema

Uma pequena empresa que fabrica cadernos possuía uma máquina de furação automática, mas o equipamento começou a dar problemas e a máquina teve que ser reiniciada. Porém, como se trata de uma máquina antiga, acarretou em alguns problemas, pois não se consegue fazer a máquina voltar a operar corretamente, uma vez que esse modelo já não existe no mercado e não se encontram mais manuais disponíveis. Dessa forma, a empresa acabou por contratar seus serviços

como profissional da área de automação e controle. Uma vez estudada a máquina, você foi capaz de criar uma tabela de correlações, como mostra a Tabela 4.8:

Figura 4.18 | GRAFCET da lógica sequencial da máquina

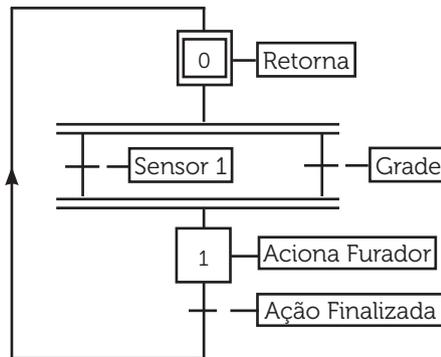
Variável	Descrição	Tipo	Nome
Sensor 1	Sensor de Presença de Cadernos	Entrada	I1
Sensor 2	Grade de Segurança	Entrada	I2
Dispositivo 1	Aciona Furador	Saída	Q1

Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Conforme podemos perceber pela tabela, essa é uma máquina bem simples, que apresenta características de segurança consoantes à sua função. Dessa forma, podemos concluir que, para que o dispositivo de furação seja acionado, o sensor 1 e o sensor 2 devem emitir sinais conjuntamente. Assim, podemos determinar um sistema como o mostrado pela Figura 4.18.

Tabela 4.18 | GRAFCET da lógica sequencial da máquina



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. A lógica de programação pode não ser estruturada da mesma forma ou com a mesma sequência que a lógica de funcionamento de um sistema. Por isso, faz-se necessária a apresentação de um diagrama do funcionamento e de um diagrama da lógica de programação.

Como é conhecida a ferramenta usada para essa diagramação da lógica de programação apresentada pelo texto-base?

- a) GRAFCET.
- b) LADDER.
- c) Diagrama de blocos.
- d) Fluxograma.
- e) Diagrama de blocos funcionais.

2. O G7 contém alguns componentes básicos que devem ser usados em sua construção, sendo elementos padronizados que auxiliam no entendimento do diagrama. Podemos dizer que o GRAFCET é composto por três elementos básicos que determinam a lógica da programação.

O texto-base nos traz uma informação crucial para a construção de um GRAFCET. Quais são os três elementos básicos a que o texto-base se refere?

- a) Etapa, transição e ligação orientada.
- b) Etapa, transitividade e ligação.
- c) Transição, blocos e conexões.
- d) Transições, blocos e ligação orientada.
- e) Etapa, blocos e ligação orientada.

3. A _____ é a possibilidade de evolução de uma etapa para outra, que é representada graficamente por uma linha cortada por um traço. Essa função lógica simboliza um ou mais elementos do dispositivo, como sensores, botões, leitores ou qualquer elemento que emita um sinal de confirmação para o sistema.

O texto-base nos traz um conceito claro de um dos elementos que constituem o GRAFCET. Qual é o elemento que completa a lacuna?

- a) Transição.
- b) Etapa inicial.
- c) Ligações orientadas.
- d) Etapa regular.
- e) Etapa de chamada.

Seção 4.3

Conversando com seu CLP

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à última seção de estudo deste livro didático! Esperamos que você tenha gostado do que aprendeu conosco e acreditamos que, mesmo com as dificuldades que possa ter enfrentado, o conteúdo deste livro tenha o ajudado em sua formação profissional. Mas, sem mais delongas, vamos para nossa última parte. Devemos nos lembrar da empresa para a qual viemos trabalhando até aqui: uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis que contratou os serviços de sua empresa, sendo você o responsável técnico pelo projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, o controle e o controlador já foram definidos, já foram feitos os testes virtuais e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas, do tipo de programação que utilizaremos e até como será feita a instalação dos equipamentos no CLP; por fim, definimos a estrutura da programação do algoritmo que realizará o controle desse processo. Agora devemos realizar a programação em LADDER para o algoritmo do controlador.

Mas você sabe como se realiza essa programação? Existe uma correlação entre a linguagem LADDER e a estrutura em GRAFCET?

Para responder a essas perguntas, devemos primeiramente ver como se estrutura um diagrama LADDER e como as estruturas que desenvolvemos em GRAFCET podem ser transcritas para LADDER. Isso nos possibilitará realizar a devida programação do CLP. Uma vez tomadas as ações referentes ao algoritmo de controle, devemos utilizar algumas ferramentas para testar o software, a fim de garantir seu devido funcionamento, como simulações virtuais com programas específicos.

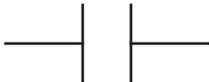
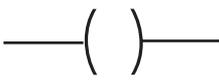
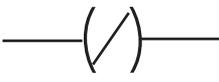
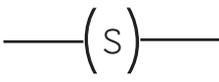
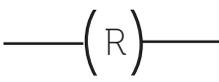
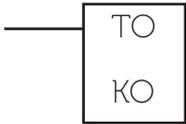
Ao final desta seção, você será capaz de desenvolver um algoritmo de controle em LADDER através da estrutura em GRAFCET, além de saber como realizar testes e simulações para validar seu programa e garantir o funcionamento do controlador.

Não pode faltar

Introduzindo o LADDER

A linguagem LADDER surgiu da ideia de criar uma forma simples de programar CLPs, utilizando expressões e símbolos dos diagramas lógicos de relês, possibilitando que pessoas sem grandes conhecimentos em programação pudessem aprender rapidamente essa linguagem, colocando-a em prática em sistemas complexos. A Tabela 4.9 mostra alguns dos símbolos básicos utilizados em programação LADDER:

Tabela 4.9 | Símbolos básicos de lógica em LADDER

Instrução	Símbolo:	Função
Contato normalmente aberto		Avalia por condição ON em um determinado endereço.
Contato normalmente fechado		Avalia por condição OFF em um determinado endereço.
Ativar bobina de saída		Liga uma saída quando a continuidade é verdadeira (TRUE).
Desativar bobina de saída		Desliga uma saída quando a continuidade é verdadeira (TRUE).
Ativar bobina de saída em retenção (SET)		Liga uma saída quando a continuidade é verdadeira (TRUE) e a mantém mesmo quando a condição torna-se false (FALSE).
Desativar bobina de saída em retenção (RESET)		Desliga a saída ativada pela condição SET, quando a continuidade é verdadeira (TRUE).
Temporizador		Ativa uma variável interna do CLP que conta tempo para tomada de decisão.

Fonte: elaborada pelo autor.



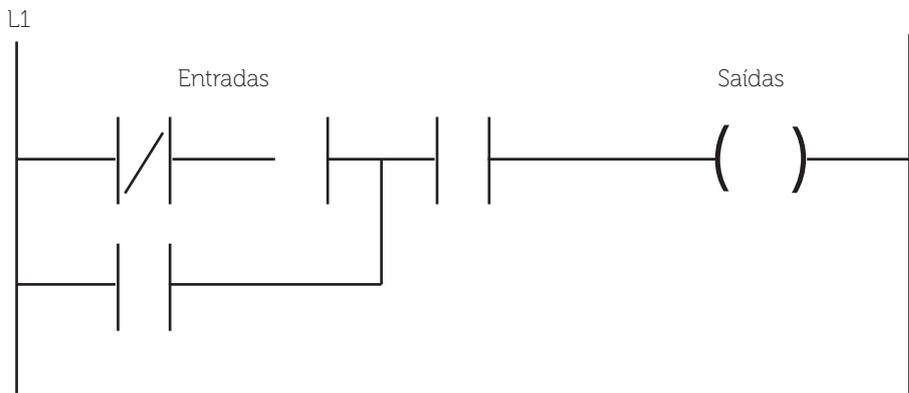
Assimile

Lembre-se que a linguagem LADDER foi desenvolvida para ser usada por qualquer pessoa que se interesse, uma vez que foi criada com o intuito de facilitar a programação de CLPs.

Estrutura da linguagem em LADDER

Esta linguagem é representada por símbolos gráficos estruturados para formar a lógica de controle que será inserida na memória do controlador. Basicamente o LADDER tem a função de fazer com que o CLP controle as saídas do sistema através da interpretação e análise das entradas. Esta linguagem usa degraus ou *rungs* para realizar as ações de controle, conforme podemos ver pela Figura 4.19.

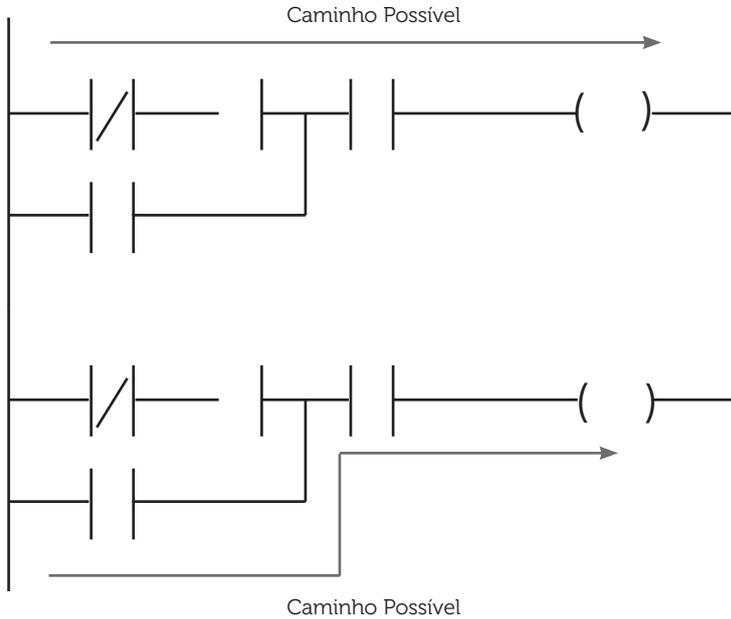
Figura 4.19 | Exemplo de *rung* em linguagem LADDER



Fonte: elaborada pelo autor.

Pense que a linha da esquerda (L1) representa uma linha de energia com potencial elétrico positivo e a linha da direita (L2) representa uma linha de energia com potencial elétrico negativo. Assim, quando as entradas permitem a passagem de energia da esquerda para a direita, a saída agirá sobre o sistema, portanto o *rung* é verdadeiro (TRUE) ou ativo e representa sua saída energizada quando temos o que chamamos de "continuidade lógica". Dessa forma, podemos dizer que a continuidade lógica é a passagem de energia de L1 para L2, conforme mostrado pela Figura 4.20:

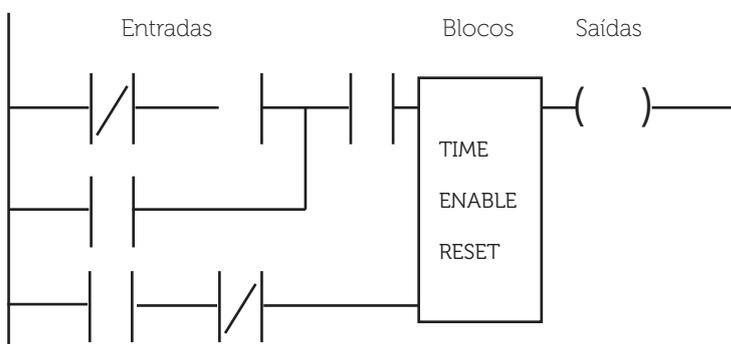
Figura 4.20 | Exemplo de continuidade lógica



Fonte: elaborada pelo autor.

Por ser uma linguagem simples e apresentar elementos da lógica de relês, o LADDER, apesar de ser uma ferramenta muito útil que possibilitava uma grande quantidade de soluções de problemas, começou a ficar muito restrito conforme os CLPs foram evoluindo e se atualizando. Assim, para suprir essa demanda, alguns blocos de comandos padronizados foram inseridos nessa linguagem de programação, o que a tornou muito mais versátil e ampliou sua usabilidade. A Figura 4.21 mostra um exemplo de LADDER em conjunto com blocos de função:

Figura 4.21 | Exemplo de lógica LADDER em conjunto com blocos de função



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

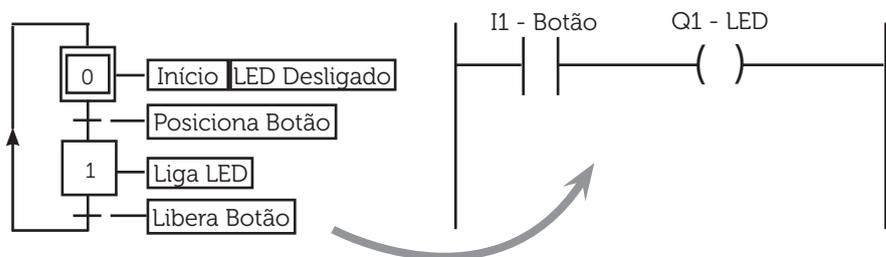
Sendo uma linguagem muito simples, de fácil utilização e implantação, podemos dizer que o LADDER pode e deve ser usado por qualquer pessoa ligada ao processo a ser controlado. Essa ferramenta conversa com outras ferramentas usadas anteriormente? Para que estudamos a forma de estruturar a lógica de programação?

Programando em LADDER

Anteriormente, vimos como estruturar um sistema e uma programação e isso não faria muito sentido se não fôssemos interpretar essa estrutura lógica na hora de programarmos o controlador. Portanto, temos que observar como pode ser interpretado o sistema elaborado em GRAFCET, para lógica LADDER ou, em outras palavras, devemos passar a lógica do G7 para LADDER.

Para isso, podemos dizer que as transições do GRAFCET são condições que o sistema deve respeitar para que possa passar para a próxima etapa, na qual se encontra a ação tomada pelo CLP para controlar o sistema. Dessa forma, consideramos as transições como entradas e as etapas como saídas a serem usadas no diagrama. Portanto, temos que um G7 pode ser transcrito para LADDER, como mostrado pela Figura 4.22.

Figura 4.22 | Exemplo de lógica LADDER em conjunto com blocos de função

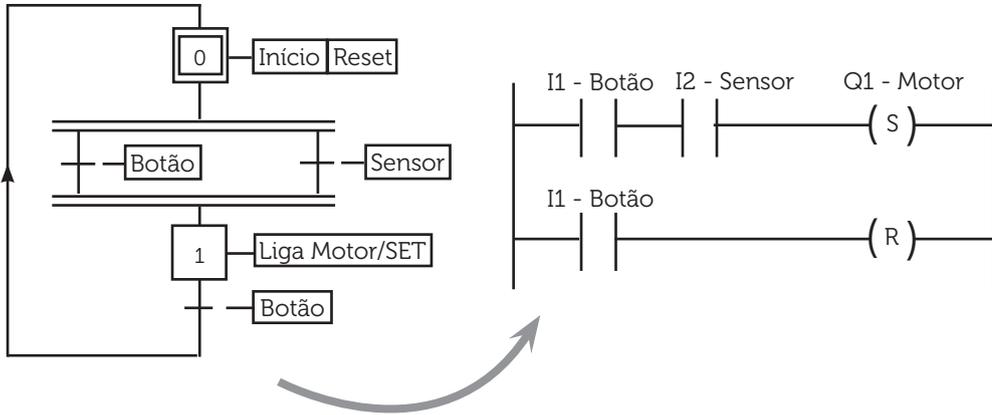


Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 4.22 mostra um exemplo muito simples de transcrição de GRAFCET para LADDER: o acionamento de um LED. Quando o botão (entrada I1) é pressionado, o LED (saída Q1) acende, e quando o botão é liberado, o LED apaga.

Podemos aplicar essa lógica em diversos níveis de complexidade. Vamos pensar de forma mais ampla, quando um GRAFCET apresenta “vergência em E” ou “vergência em OU”. Dessa forma, podemos aplicar o sistema, conforme mostrado pelas Figuras 4.23 e 4.24.

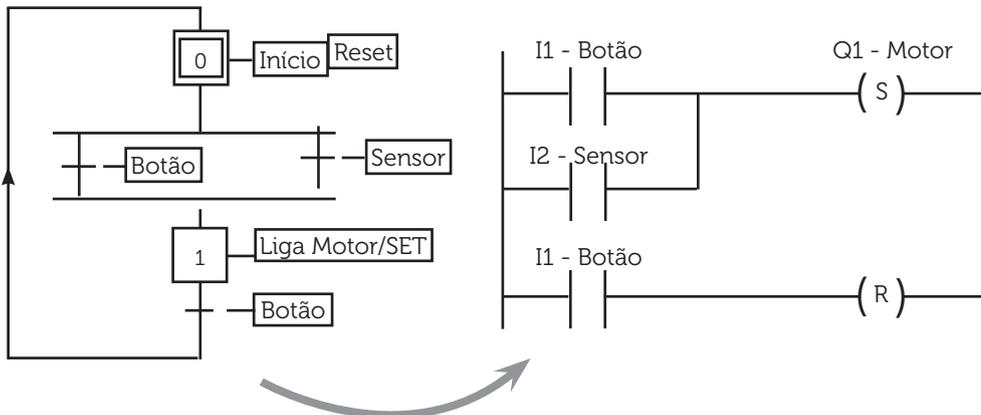
Figura 4.23 | Exemplo de lógica com “Vergências em E”



Fonte: elaborada pelo autor.

Podemos perceber que a vergência em E, representada por duas barras paralelas no GRAFCET, é o funcionamento de dois elementos em conjunto, apresentados paralelamente no corpo do LADDER, de forma a serem ativos conjuntamente para que a saída seja verdadeira. Já a vergência em OU, mostrada na Figura 4.24, é constituída por dois elementos em linhas separadas, mostrando que a saída pode ser verdadeira, quando acionada uma das linhas de entrada.

Figura 4.24 | Exemplo de lógica com “Vergências em OU”



Fonte: elaborada pelo autor.

Vale destacar que, apesar de a linguagem LADDER ser padronizada e conter seus símbolos determinados, cada fabricante de CLPs ou, mesmo, desenvolvedor de software para programação em LADDER pode dar suas próprias características à linguagem, o que permite que, mesmo sendo a mesma linguagem, possa ter formas diferentes e aparências distintas.



Pesquise mais

Para compreender melhor como se programa em LADDER utilizando o software "STEP-7", acesse esta apostila, que traz a programação de uma forma detalhada e didática:

SENAI. Escola de educação profissional. **Apostila CLP SIEMENS SIMATIC S7-200**. Disponível em: <http://files.moacirmachado.webnode.com.br/200000029d8d85d9d24/Apostila_SENAI%20SP%20S7-200.PDF>. Acesso em: 8 fev. 2017.

Simulando seu programa

Geralmente, dentro do próprio programa de desenvolvimento de LADDER, podemos fazer algumas simulações. Neste material utilizaremos o software da SIEMENS para programar em LADDER, podemos utilizar três programas para complementar a simulação das entradas e saídas e ainda veremos como o sistema se comportará após a programação, como segue:

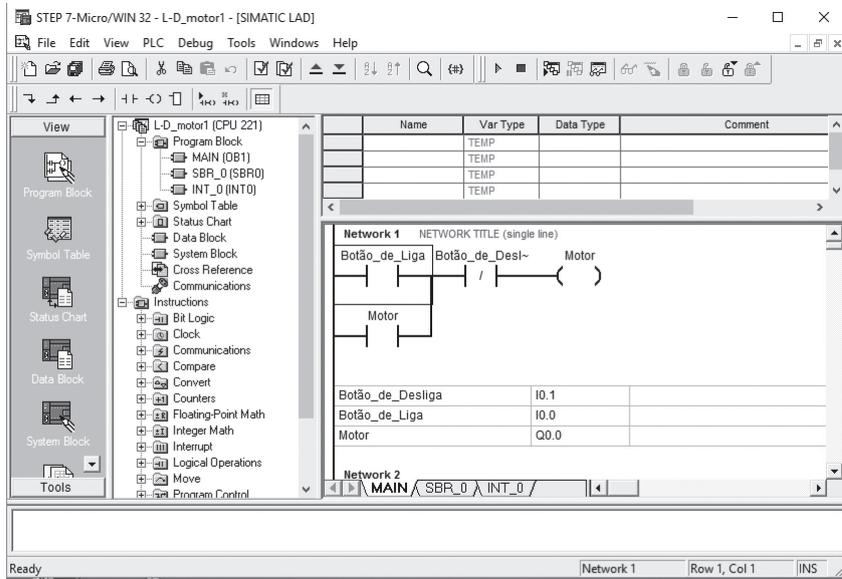
- Para programar em LADDER, faremos uso do software *STEP7 – MicroWIN*.
- Para fazer a simulação do CLP, usaremos o *S7-200 Simulator*.
- E, por fim, usaremos o *PC-SIMU* para simular o sistema.



Exemplificando

Para o acionamento direto de um motor elétrico, podemos elaborar um programa em LADDER como o mostrado na Figura 4.25, desenvolvido em STEP7.

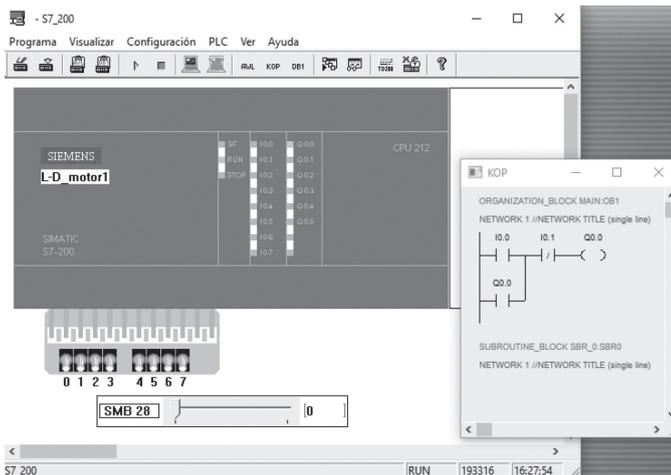
Figura 4.25 | LADDER de acionamento direto de motor elétrico



Fonte: elaborada pelo autor.

Após esse programa, podemos fazer uso do S7-200 simulator para simular o CLP. Para isso, carregamos o programa em LADDER e fazemos a ligação, como mostrado na Figura 4.26. A partir da figura, podemos perceber que as entradas e saídas do CLP virtual ficam verdes quando estão acionadas; isso mostra que o programa está se comportando como o esperado.

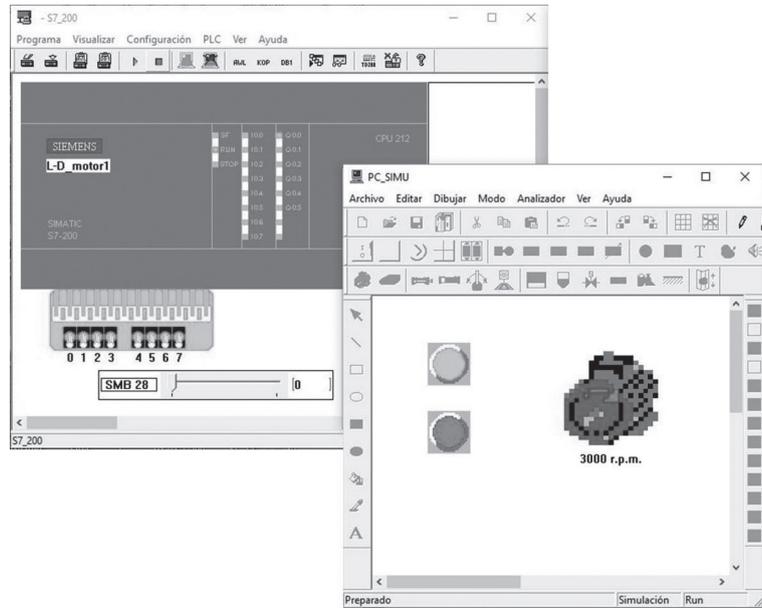
Figura 4.26 | Simulação do CLP pelo S7-200 *simulator*



Fonte: elaborada pelo autor.

Por fim, usamos o PC-SIMU para demonstrar o funcionamento do sistema. Apesar de ter um gráfico com definições bem simples, o simulador garante a funcionalidade e fácil usabilidade. A Figura 4.27 mostra o ambiente do software, para a simulação do sistema em conjunto com o S7-200.

Figura 4.27 | Simulação do sistema pelo *PC-SIMU*



Fonte: elaborada pelo autor.

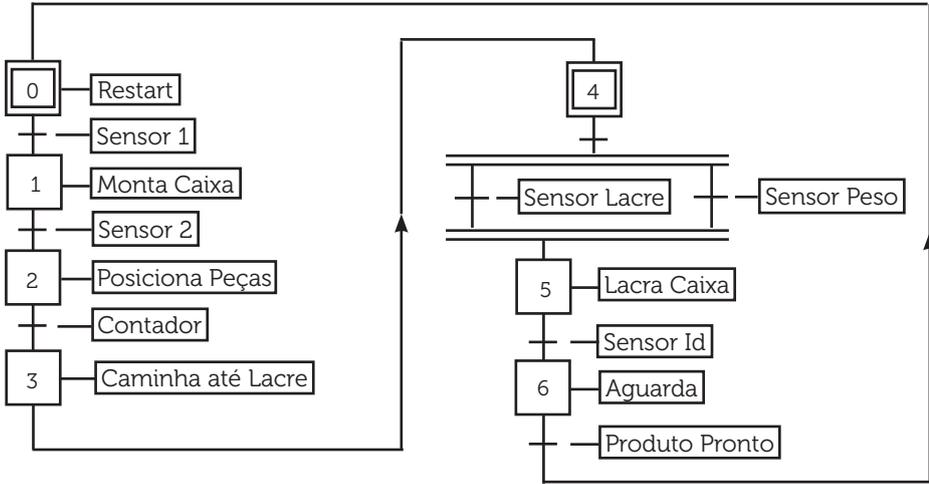
Sem medo de errar

Descrição da situação-problema

Uma pequena fabricante de peças de reposição para automóveis contratou os serviços de sua empresa, sendo você o responsável técnico pelo projeto de automação. Sabemos que a automação, o processo, o controle e o controlador já foram definidos, os testes virtuais já foram feitos e já identificamos as variáveis do sistema, além das entradas e saídas, do tipo de programação que iremos utilizar e até de como será feita a instalação dos equipamentos no CLP. Na última seção, ficou definida também a estrutura da programação do algoritmo que realizará o controle desse processo para podermos, agora, realizar a programação em LADDER.

Você já viu como se deve programar usando o LADDER, mas como ficará o algoritmo baseado no GRAFCET que está mostrado pela Figura 4.28?

Figura 4.28 | Diagrama G7 da lógica do problema proposto

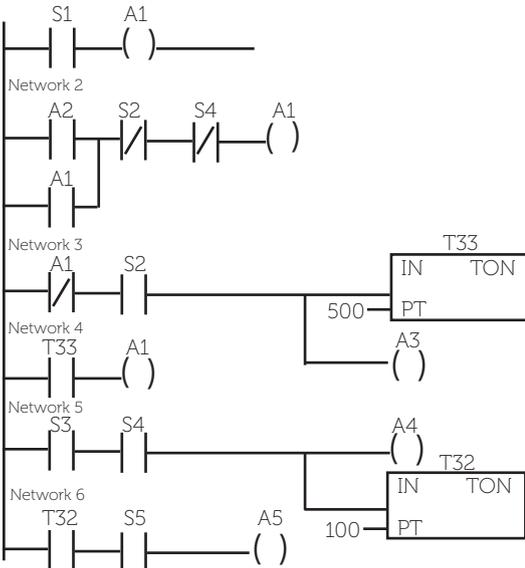


Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Utilizando a Tabela 4.9, apresentada nesta seção de ensino e lembrando como o sistema deve se comportar, podemos elaborar o diagrama LADDER para o funcionamento desse processo. Podemos visualizar como o algoritmo baseado no GRAFCET é apresentado em LADDER, através da Figura 4.29:

Figura 4.29 | LADDER do sistema proposto



Fonte: elaborada pelo autor.

Tem-se que o autor inseriu alguns componentes a mais no sistema, para fazê-lo funcional.

Avançando na prática

Automação residencial

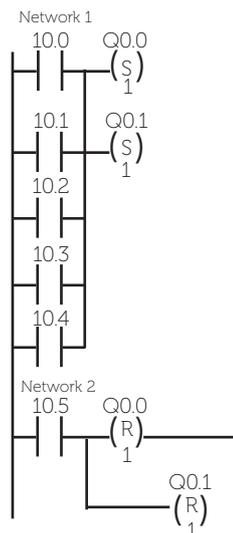
Descrição da situação-problema

Você foi contratado por uma empresa de construção civil para realizar a automação do sistema de segurança de uma casa inteligente. Basicamente, o sistema é composto por três sensores de presença e dois sensores magnéticos de porta. O processo é simples: quando qualquer um desses sensores fosse acionado, ligaria o alarme e acenderia todas as luzes da casa. Uma vez resolvido o problema com a segurança, um controle remoto desativaria o sistema.

Resolução da situação-problema

Para resolver esse problema, podemos desenvolver um algoritmo em LADDER, como o mostrado pela Figura 4.30. Podemos assumir que temos cinco sensores em paralelo, ligando um alarme e as luzes da casa. Como todas as luzes são acesas, vamos simplificar com uma única saída, já que podemos assumir que o sistema de iluminação deve ter uma central de comando, e podemos acionar essa central ao invés de uma lâmpada por vez.

Figura 4.30 | LADDER do sistema de segurança



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Quando vamos resolver um problema de controle por CLP, devemos primeiramente estruturar o sistema com uso de um _____. Em seguida, definimos as entradas e saídas e, com base na estrutura anterior, fazemos uma nova estrutura, conhecida como lógica de programação, que geralmente é elaborada em _____, para somente então realizar a programação usando a linguagem _____.

O texto nos define a estrutura funcional do sistema, a estrutura de programação e a linguagem usada para programar um CLP. Assinale a alternativa que completa as lacunas do texto respectivamente:

- a) Fluxograma, GRAFCET e LADDER.
- b) Fluxograma, GRAFCET e texto estruturado.
- c) GRAFCET, LADDER e fluxograma.
- d) LADDER, GRAFCET e fluxograma.
- e) Blocos funcionais, GRAFCET e LADDER.

2. Após elaborarmos a lógica do sistema em GRAFCET, podemos passá-la para LADDER, lembrando que as transições e etapas do G7 são entradas e saídas do sistema, respectivamente. Já do ponto de vista da estrutura da programação em LADDER, as entradas ficam na lateral esquerda e as saídas, na direita.

Com relação ao que foi explicitado no texto-base, assinale a alternativa que melhor mostra uma correlação entre GRAFCET e LADDER:

a)  

b)  

c)  

d)  

e)  

3. Uma parte muito útil na elaboração de um programa de controle para CLP é a _____, que permite que se perceba se a programação foi feita corretamente ou se apresenta passos errados e deve ser refeita, pois pode apresentar erros de execução.

Assinale a alternativa que apresenta a etapa do desenvolvimento do algoritmo que pode nos dizer se o programa está correto, preenchendo corretamente a lacuna do texto-base.

- a) Simulação virtual.
- b) Instalação do CLP.
- c) Teste do CLP.
- d) Instalação do controlador.
- e) Teste em controlador didático.

Referências

GRAFCET (Norma IEC 848). Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM265/GRAFCET_utfpr_iec_848.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2017.

PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC**: teoria e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 190 p.

_____. **Automação industrial PLC**: programação e instalação. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

QUESADA, R. C. **Projeto e concepção de células robotizadas para aplicações em automação**. 2014. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 515 p.

SENAI. Escola de educação profissional. **Apostila CLP SIEMENS SIMATIC S7-200**. Disponível em: <http://files.moacirmachado.webnode.com.br/200000029d8d85d9d24/Apostila_SENAI%20SP%20S7-200.PDF>. Acesso em: 8 fev. 2017.

SILVA, G. P. da. **PLC - Controladores Lógicos Programáveis**. Curso Técnico de Eletromecânica - CEFET RS. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC_Gladimir.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017.

ISBN 978-85-8482-820-3



9 788584 828203 >