

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARTE 1

INTRODUÇÃO A AUTOMAÇÃO

FUNÇÕES LÓGICAS COMBINACIONAIS

Nestor Agostini
sibratec@sibratec.ind.br

Rio do Sul (SC), 12 de junho de 2017

1. GENERALIDADES

A série de apostilas didáticas denominadas de “Automação Industrial” são baseadas nas notas de aulas do Prof. Nestor Agostini em disciplinas relacionadas ao tema. Elas são aprimoradas sempre que necessário com a introdução de novos conteúdos e/ou atualização dos existentes. A partir deste ano (2012) há um importante conteúdo adicional publicado no site www.sibratec.ind.br que pode ser utilizado na parte prática relacionada ao tema “Programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLP)”. Trata-se de um curso específico para programação de CLPs que é disponibilizado gratuitamente no site citado. Este curso aborda o tema com muita clareza e com uma farta parte prática para melhor assimilação dos conteúdos.

O termo automação parece ser uma tradução do termo inglês *automation*, cuja tradução mais correta para o português seria automatização, visto que os termos têm sua raiz na palavra grega *autômatos*. Daí conclui-se que o termo automação tem o sentido de “mover-se por si próprio”.

Automação é um sistema de equipamentos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem.

Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo assim o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se regularem e se auto controlarem sozinhas.

As primeiras iniciativas do homem para mecanizar atividades manuais ocorreram na pré-história. Invenções como a roda, o moinho movido por vento ou força animal e as rodas d’água demonstram a criatividade do homem para poupar esforço. Porém, a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção agrário e artesanal transformou-se em industrial, a partir da segunda metade do século XVIII, inicialmente na Inglaterra. Os sistemas inteiramente automáticos surgiram no início do século XX. Entretanto, bem antes disso foram inventados dispositivos simples e semi-automáticos.

Ao longo do tempo a automação passou a se utilizar de diversos ramos da ciência para atingir seus propósitos, tais como: física, química, matemática, porém a eletricidade, através de suas diversas manifestações (circuitos elétricos, máquinas elétricas, eletrônica, computação, etc) domina amplamente os sistemas de automação. Além da eletricidade, também a pneumática e a hidráulica têm uma fatia considerável em sistemas de automação.

A utilização dos conhecimentos de diversas áreas do conhecimento transformou a automação numa disciplina extremamente heterogênea: o profissional da área precisa ter conhecimentos em uma ampla gama de ramos científicos.

1.1. IMPLICAÇÕES SOCIAIS DA AUTOMAÇÃO

Nos últimos tempos, através da automação, observou-se o decréscimo do nível de emprego nas atividades industriais. Em curto prazo, a automação traz a tona problemas como o emprego, necessidade de reconversão e treinamento pessoal, consequências da redução de horas de trabalho, questões de aumento de salários em atividades de maior produtividade.

Alguns aspectos do confronto operacional do homem contra os sistemas automatizados são apresentados abaixo.

Vantagens dos sistemas automatizados:

1. Não se cansam. Trabalham direto durante todo o expediente;
2. Não necessitam de salário;
3. Mantém uma qualidade uniforme na produção;
4. Não necessitam de condições ambientais especiais, tais como ar condicionado, luz e silêncio;

Desvantagens dos sistemas automatizados:

1. Não criam, apenas executam a tarefa programada;
2. Não tomam atitudes diante de imprevistos;

1.2. AUTOMAÇÃO NO FUTURO

A grande quantidade de recursos destinados ao desenvolvimento e pesquisa em automação já começou a dar frutos, e certamente conduzirá a grandes acontecimentos no futuro. Várias ferramentas têm sido desenvolvidas, e fontes de energia têm sido exploradas, para substituir o homem e ajudá-lo em seu trabalho. Atualmente o homem ainda é uma parte importante do sistema por ser responsável pela tomada de decisão.

O principal objetivo da automação é liberar o ser humano de tarefas difíceis e cansativas. Para atingir esta meta muita pesquisa deve ser realizada na área de Inteligência Artificial, para que os sistemas automáticos possam por si só tomar decisões e identificar os objetos ao seu redor.

A fábrica sem seres humanos:

Nos dias de hoje, o principal objetivo das indústrias é o desenvolvimento de plantas das linhas de produção que não requeiram a presença de pessoas. Toda a linha de produção seria controlada por computadores que estariam conectados às máquinas, robôs e sensores.

O computador central executando planejamento de processos, fazendo a identificação e correção de falhas. Uma ordem de produção vinda do departamento de vendas ou diretamente dos clientes poderá ser iniciada imediatamente, de modo que as interferências humanas serão mínimas. Esta fábrica será capaz de trabalhar continuamente, dispensando iluminação, exceto na sala de controle central, onde algumas pessoas estarão gerenciando o funcionamento de toda fábrica.

Comunicação Homem-Máquina

Atualmente os robôs são programados para executar a mesma operação durante um longo período de tempo. Portanto, a programação via teclado é de acesso prático e satisfatória. No futuro, devido ao uso mais geral dos robôs e necessidade de maior flexibilidade, esta programação se tornará muito lenta e ineficiente.

O método que substituirá o teclado será a comunicação pela voz. Muitos esforços têm sido investidos no avanço da área de reconhecimento de linguagem e análise da informação transmitida pela voz.

Na área de biomedicina tem-se desenvolvido próteses para substituição de membros humanos, que, embora não seja considerada parte da robótica, futuramente poderão ser aproveitados para se construir um robô humanoide.

1.3. EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO E DO CONTROLE INDUSTRIAL

Acionamento Pneumático Tipo de acionamento que se utiliza da energia do ar comprimido. Foi utilizado a partir de 1950 e hoje é largamente difundido no setor industrial. O controlador Pneumático possui elevado tempo de resposta e baixa controlabilidade.

Acionamento Hidráulico Tipo de acionamento que se utiliza do escoamento de fluidos e possui alto torque de saída. O controlador Hidráulico possui elevado tempo de resposta e baixa controlabilidade.

Máquinas Ferramentas ou Máquinas operatrizes: São máquinas que dão a forma aos materiais por corte, furação, soldagem, polimento, fresagem, etc.

Acionamento elétrico: São dispositivos cuja fonte de energia é a eletricidade. Possuem resposta muito rápida e facilidade de controle, motivos pelos quais dominam amplamente os sistemas de controle e automação.

1.3.1. O controle numérico

O controle numérico foi empregado para o aperfeiçoamento das Máquinas-ferramentas. Hoje se fala em COMANDO NUMÉRICO ou COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO, para designar as máquinas que são controladas por computadores e que através do hardware e software apresentam facilidade de ajustes e precisão de processo.

1.3.2. Os robôs

Os robôs industriais são peças fundamentais nos processos de automação. Geralmente são constituídos de um único braço mecânico operando em locais fixos e substituindo atividades antes realizadas pelo ser humano. Os robôs são dispositivos eletromecânicos com sistemas de controles complexos, constituídos de unidade de comando (computador industrial); atuadores (dispositivos que transformam sinais elétricos em movimentos) e estrutura mecânica.

1.3.3. Automação industrial

“A Automação é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam.”

Na Automação Industrial se reúnem três grandes áreas da engenharia:

- A mecânica, através das máquinas que possibilitam transformar matérias primas em produtos “acabados”.
- A engenharia elétrica que disponibiliza os motores, seus acionamentos e a eletrônica indispensável para o controle e automação das malhas de produção;
- A informática que através das arquiteturas de bancos de dados e redes de comunicação permitem disponibilizar as informações a todos os níveis de uma empresa.

1.3.4. Os três níveis da automação

A Figura 1 mostra os três níveis hierárquicos de um processo de automação industrial.

No topo da pirâmide encontra-se o nível de informação da rede (gerenciamento). Este nível é gerenciado por um computador central que processa o escalonamento da produção da planta e permite operações de monitoramento estatístico da planta sendo implementado, na sua maioria, por softwares gerenciais/corporativos.

No nível intermediário localiza-se a rede central, a qual incorpora os DCSs (Sistemas de Controle Discreto) e PCs. A informação trafega em tempo real para garantir a atualização dos dados nos softwares que realizam a supervisão da aplicação.

Na base da pirâmide tem-se o nível responsável pelas ligações físicas da rede ou o nível de E/S. Neste nível encontram-se os sensores discretos, as bombas, as válvulas, os contadores, os CLPs e os blocos de E/S. O principal objetivo é o de transferir dados entre o processo e o sistema de controle. Estes dados podem ser binários ou analógicos e a comunicação pode ser feita horizontalmente (entre os dispositivos de campo) e verticalmente, em direção ao nível superior. É neste nível, comumente referenciado como chão de fábrica, que as redes industriais têm provocado grandes revoluções.

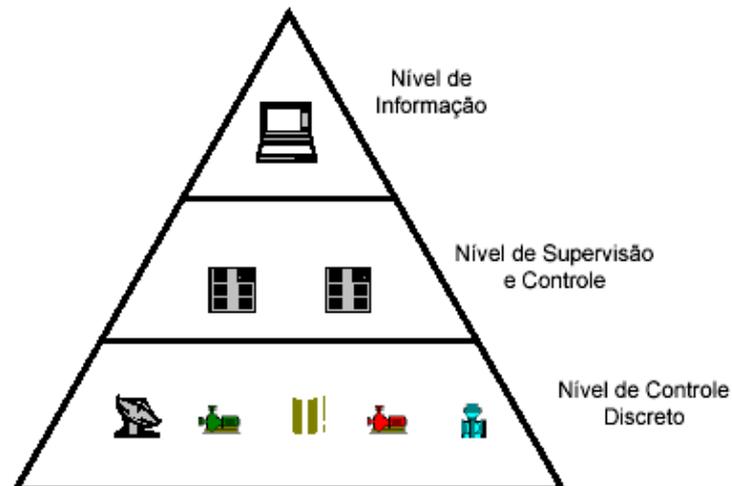


Figura 1.1: Níveis hierárquicos da automação

Uma das dificuldades dos primeiros processos de automação industrial era que as informações eram “ilhadas” dentro do seu respectivo nível da pirâmide. Poucas informações fluíam do nível de supervisão e controle para o nível de controle discreto e praticamente nenhuma informação fluía para o topo da pirâmide, onde se encontram os softwares de gerenciamento da empresa. Nos projetos de automação modernos as informações fluem entre todas as camadas. Esta característica é tão importante para as indústrias, hoje em dia, que muitas delas estão atualizando suas plantas industriais, ou incorporando novas tecnologias em sistemas antigos (RETROFIT).

2. TECNOLOGIA DOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

2.1. DEFINIÇÕES BÁSICAS

Sistema: Interconexão de dispositivos e elementos para cumprir um objetivo desejado.

Existem algumas definições clássicas de sistema que são:

“Uma agregação ou montagem de coisas de tal forma combinada pela natureza ou pelo homem que forma um todo integral ou complexo.” [Enciclopédia Americana]

“Um grupo de coisas inter atuantes e interdependentes que formam um todo unificado.” [Dicionário Webster's]

“Uma combinação de componentes que agem conjuntamente para completar uma função não possível para quaisquer das partes individuais.” [Dicionário Padrão da IEEE de Termos Elétricos e Eletrônicos].

Evento: Na análise dos sistemas é de fundamental importância o conceito de evento. Um evento é por definição um acontecimento sem duração temporal que altera o estado do sistema. Pode ser programado por outro evento ou aleatoriamente, e, num mesmo sistema, é possível haver vários tipos de evento. Esta multiplicidade de tipos e causas de eventos é que, em geral, leva um sistema discreto a apresentar grande complexidade. Num sistema com dinâmica discreta o estado só se altera pela ocorrência de um evento.

Modelo: O estudo de um sistema, qualquer que seja, se dá pela constituição de um modelo, definido como um dispositivo que de alguma maneira descreve o comportamento de um sistema.

Em geral definimos para o modelo variáveis de entrada e variáveis de saída, esperando-se dele estabelecer relações entre estas variáveis.

Do ponto de vista da engenharia, é interessante classificar os modelos da seguinte forma:

- Físicos ou Matemáticos
- Estáticos ou Dinâmicos
- Analíticos ou Numéricos

Por modelo físico entende-se a construção de outro sistema, de fácil manipulação, cujo comportamento é análogo ao do sistema em estudo. Casos típicos são as maquetes e os computadores analógicos.

O modelo matemático estabelece equações relacionando as grandezas do sistema, de modo a permitir previsões de comportamento em situações diversas.

Como exemplo absolutamente familiar aos engenheiros pode-se citar as equações diferenciais como modelo para sistemas dinâmicos.

A distinção entre modelo estático ou dinâmico é análoga à estabelecida anteriormente para sistemas. Nos modelos estáticos, as variáveis de saída dependem exclusivamente das variáveis de entrada, ao passo que nos modelos dinâmicos há também a dependência dos valores passados das variáveis do sistema.

Finalmente, pode-se distinguir entre modelos numéricos, que são capazes de reproduzir o comportamento dos sistemas através de modelos simples, e.g. simuladores implementados em computadores digitais, e modelos analíticos, que representam de maneira abstrata e sintética (em geral através de equações) as relações entre as variáveis do sistema.

No estudo de sistemas a eventos discretos são importantes os modelos matemáticos e dinâmicos capazes de descrever sistemas lineares ou não. Embora nesta área o conhecimento disponível até o momento seja privilegiadamente numérico, há um grande esforço da comunidade científica no sentido de se desenvolver modelos analíticos.

Estado: O conceito de estado é fundamental para o estudo de sistemas dinâmicos. De uma maneira genérica, constitui a informação necessária para se conhecer o valor futuro das variáveis do modelo, desde que se conheçam as entradas. Esta definição, embora qualitativa, é a mais conveniente para o estado. Outras definições de natureza mais quantitativa mostram-se excessivamente restritivas ou aplicáveis a sistemas muito particulares. Um exemplo de tal particularização é a tentativa de definir estado como sendo associado aos acumuladores de energia do sistema. Esta definição, embora conveniente para a descrição de sistemas mecânicos, elétricos e outros de natureza contínua, não é adequada para os sistemas abordados neste trabalho. Conforme se verá posteriormente, a informação correspondente ao estado num sistema a eventos discretos pode ser de natureza muito variada podendo se constituir, por exemplo, simultaneamente de números inteiros, números reais e variáveis booleanas, não tendo de maneira geral nenhuma relação com o conceito de energia. Para ilustrar o conceito de estado num sistema contínuo, pode-se citar o caso de um circuito elétrico simples constituído de uma fonte de tensão, um resistor e um capacitor ligados em série (circuito RC). Neste circuito o estado está obviamente associado à tensão no capacitor, que por sua vez está diretamente ligada à energia acumulada no seu campo elétrico. Note-se que para se conhecer o comportamento do circuito em qualquer instante, basta conhecer a evolução da fonte de tensão e o valor da tensão no capacitor em algum instante.

Dentro do contexto da teoria de controle, é comum que se represente um sistema através do esquema da figura.

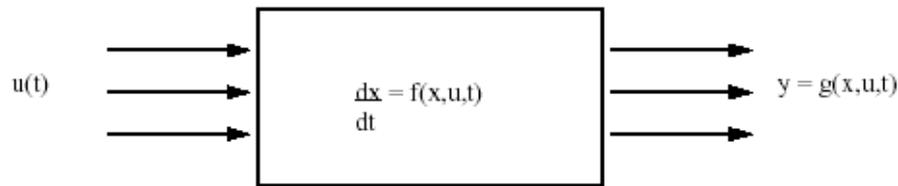


Figura 2.1: Modelo de sistema

Esta representação contém os principais elementos de representação de um sistema dinâmico, a saber, as variáveis de entrada, de saída e de estado, além da equação que descreve a evolução dinâmica do estado. Note-se que a representação ilustrada é conveniente para um sistema que mais tarde será definido como sistema a dinâmica contínua. Num contexto mais genérico, a representação do estado e suas relações dinâmicas podem não ser adequadamente modeladas por uma equação diferencial (ou mesmo a diferenças) e este fato determina uma ruptura entre os modelos utilizados para a descrição dos sistemas contínuos e discretos.

Processo: São sequências de eventos e de atividades independentes. Por exemplo, um evento provoca uma atividade, que provoca uma atividade, que provoca um evento de fim de atividade, que, por sua vez, pode provocar outra atividade e assim por diante.

Sistema de controle: Interconexão de componentes formando um sistema que fornecerá uma resposta desejada em função das entradas.

Perturbação: Sinal de entrada indesejado que afeta a saída do sistema. As perturbações podem fazer com o sistema passe a se comportar de modo bem diferente do que era o esperado. É necessário que o projetista do sistema tenha em mente as possíveis perturbações e que faça simulações para ver o que pode ocorrer em cada situação. Veja algumas perturbações típicas que podem afetar um sistema de automação: variação da voltagem de alimentação, ruídos sobre a rede de alimentação, surtos de tensão na alimentação, perturbações eletromagnéticas, variações excessivas de temperatura, etc.

Realimentação: Operação que visa corrigir (automática ou manualmente) certas variáveis (grandezas físicas) de um processo. Diminui o efeito de perturbações. A realimentação é uma operação em que é tomada uma amostra do sinal de saída e nessa amostra são feitas as operações matemáticas necessárias. O sinal resultante é aplicado à entrada para corrigir eventuais desvios. Sistemas realimentados são sistemas com controle em malha fechada.

Especificações: Declarações explícitas de critérios de desempenho que um sistema ou dispositivo que deve ser cumprido. As especificações técnicas corretas são a garantia de que o resultado será o esperado. Muitos projetos de automação não funcionam como esperado justamente devido a especificações incorretas ou esquecidas. Em geral aqui nas especificações está a origem de muitos problemas que fazem com que o sistema não funciona adequadamente.

Servomecanismo: Sistema de controle realimentado para controle automático de posição, velocidade ou aceleração. Muito empregado na indústria. Os servomecanismos deram origem aos robôs.

Automação: Processo com controle automático.

Sistemas Reguladores Automáticos: Sistema de controle cujo objetivo é manter constante alguma variável do processo, tais como: nível, posição, velocidade, etc.

Sistemas de Controle em Malha Aberta: Sistemas em que a variável a ser controlada (saída) não interfere na ação de controle (entrada).

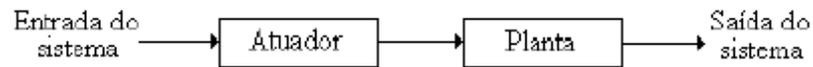


Figura 2.2: Sistema de controle em malha aberta

Problemas dos sistemas em malha aberta:

A saída é sensível a fenômenos indesejáveis que podem atuar sobre o processo (perturbações, variações nos parâmetros).

Sistemas de Controle em Malha Fechada: Sistemas em que a variável de controle (entrada) depende direta ou indiretamente da variável a ser controlada (saída).

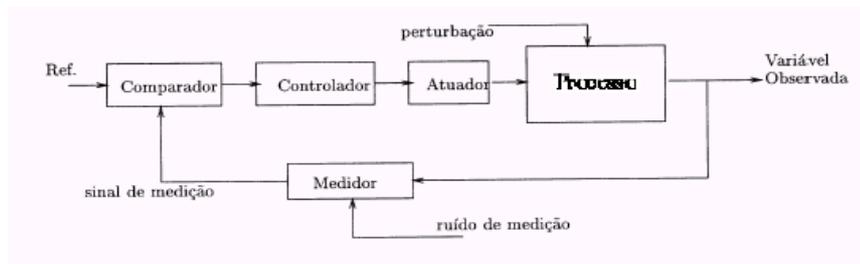


Figura 2.3: Sistema de controle em malha fechada

Vantagens:

- Possíveis distorções na variável controlada provocadas por perturbações são automaticamente corrigidas;
- Menor sensibilidade a variações nos parâmetros do sistema;
- Melhor precisão em regime permanente.

Desvantagens:

- Sendo mais complexos, têm custo superior aos sistemas em malha aberta;
- Apresentam maior tendência à oscilação e instabilidade.

Exemplo de sistema em malha fechada: Servomotor para posicionamento de antena

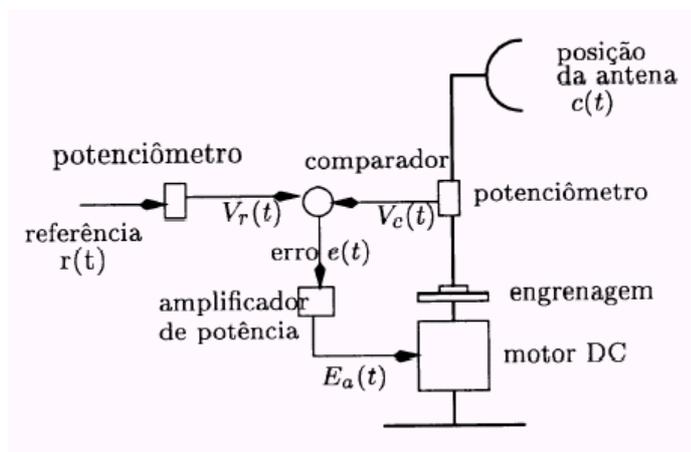


Figura 2.4: Exemplo de sistema em malha fechada

Neste sistema é escolhido um ângulo através do potenciômetro de referência. O motor começa a girar e o ângulo de giro é comparado com o ângulo escolhido. Quando os dois ângulos forem iguais o movimento cessa.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

Os sistemas podem ser classificados sob diversos pontos de vista, de acordo com a conveniência. A seguir são apresentadas algumas classificações.

2.2.1. Considerando o fluxo de produção

Do ponto de vista do fluxo de produção, podem ser enquadrados em contínuos e discretos, porém, esta é uma classificação que depende da interpretação do que seja um sistema. Por exemplo, supondo-se um sistema de manufatura de móveis, onde várias peças de madeira devem ser beneficiadas em máquinas diferentes, de modo a formarem um conjunto de peças do qual se consiga construir um móvel completo. Do ponto de vista macro o sistema é contínuo, visto que a produção de móveis é contínua ao longo do dia, porém, do ponto de vista, micro, analisando-se as operações em cada máquina o sistema é discreto, visto que cada máquina realiza operações bem definidas para atingir o objetivo, que é obter a peça pronta.

Outro exemplo é o da fabricação de papel. Neste caso o sistema é contínuo em toda sua extensão, visto que o papel é fabricado continuamente durante o período.

Dinâmica Contínua

Estes sistemas são caracterizados por apresentarem variáveis de estado contínuas, serem dirigidos pelo tempo (ou seja, o passar do tempo determina a evolução da dinâmica do sistema) e terem sua dinâmica descritível por relações algébricas entre suas variáveis e respectivas derivadas sendo portanto passíveis de descrição por Equações Diferenciais ou Equações a Diferenças (quando o tempo for discretizado). Desde sua invenção o Cálculo Diferencial tornou-se um dos mais bem sucedidos exemplos de paradigma na história da Ciência. De fato, virtualmente todos os modelos dinâmicos conhecidos e manipulados pela grande maioria dos engenheiros são fundamentados nestes modelos e sua eficiência para um grande número de problemas é incontestável. Contudo, existem sistemas que não se enquadram neste contexto teórico, constituindo o que se convencionou chamar de sistemas discretos ou sistemas dinâmicos a eventos discretos. São eles o objeto deste estudo.

Em relação às comparações entre sistemas a dinâmica contínua e discreta, é interessante citar a distinção proposta por Ho (1989) na qual os sistemas a dinâmica contínua são associados à Natureza, onde existem leis de conservação, e os sistemas a dinâmica discreta aos sistemas construídos pelo Homem, caracterizados pela ausência de leis de conservação, interface com seres humanos e explosão combinacional. Resta, portanto a excitante e intrigante questão sobre a possibilidade de se obter um dia um quadro teórico unificador para a descrição dos sistemas dinâmicos.

Dinâmica Discreta (ou Sistemas a Eventos Discretos)

Em oposição aos sistemas contínuos pode-se considerar os Sistemas a Dinâmica Discreta ou Sistemas a Eventos Discretos ou ainda Sistemas Discretos. São caracterizados por apresentarem variáveis de estado discretas, serem dirigidos a Eventos e não serem descritíveis por equações diferenciais (ou a diferenças). A rigor, a primeira condição relacionada acima não caracteriza propriamente um sistema discreto, visto que sua inobservância não impede que um sistema

apresente dinâmica discreta. Contudo na maioria dos casos estudados na Engenharia esta característica está presente. O segundo ponto é talvez o mais importante da caracterização dos sistemas discretos. Sua dinâmica é dirigida a eventos, ou seja, o que determina a evolução do sistema é a ocorrência

de eventos e não simplesmente o passar do tempo. É óbvio que, embora o tempo continue sendo um parâmetro importante na caracterização da dinâmica do sistema, ele agora não é tão determinante, havendo inclusive, como veremos a seguir, modelos para sistemas discretizados não temporizados.

Um exemplo simples é o sistema de estocagem representado na figura 2.5. Neste caso, observe-se que o estado do sistema, dado pelo número de itens estocados, varia discretamente e só é alterado quando há a ocorrência de um dos dois tipos de eventos possíveis neste sistema: chegada ou saída de um item.

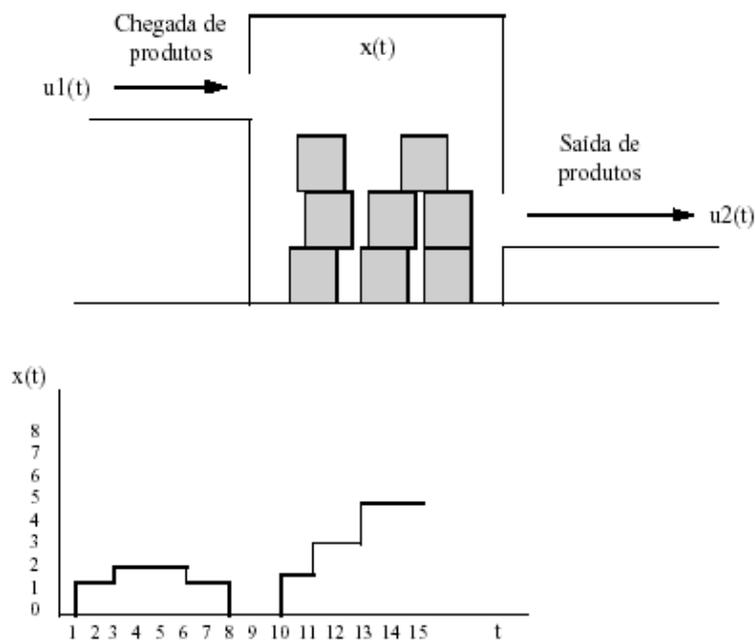


Figura 2.5: Sistema de estocagem

Este exemplo permite compreender o fato de os sistemas discretos serem dirigidos a eventos. Contudo, há outros aspectos que, embora não estejam presentes neste sistema, também fazem parte de uma descrição mais ampla dos sistemas discretos. Considere-se a representação, dada na figura, de uma fila simples. Esta representação, consagrada nos textos de Teoria de Filas, é também conveniente para o sistema de estocagem da figura 2.6 se considerar os parâmetros adequados e pode ser utilizada para um grande número de sistemas discretos. Basicamente, uma fila simples é formada por um conjunto de servidores e clientes, sendo caracterizada por quatro parâmetros:

- disciplina de chegada dos clientes
- disciplina de serviço do servidor
- número de servidores presentes
- capacidade de armazenamento da fila.

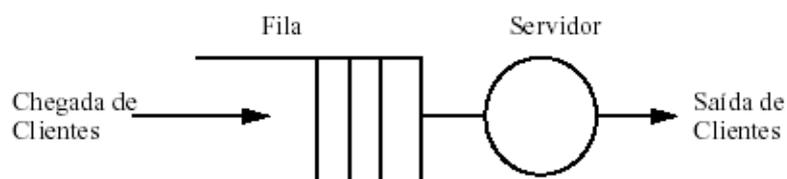


Figura 2.6: Fila de entrada e saída de um sistema

Considere-se agora a conexão de algumas filas simples, constituindo a rede de filas representada na figura 2.7. Pode-se observar que alguns aspectos ausentes nos sistemas das figuras 2.5 e 2.6 aparecem neste sistema. É possível através deste exemplo, ilustrar o conceito de concorrência, se se imaginar que as duas filas associadas ao servidor 1 concorrem para utilizá-lo. Pode-se também compreender o conceito de sincronismo, supondo-se que um servidor necessita de mais de um cliente oriundos de outros servidores para realizar seu processamento. Um caso típico é encontrado em sistemas de manufatura, onde frequentemente a montagem de uma peça depende do processamento prévio de duas ou mais de suas partes constituintes.

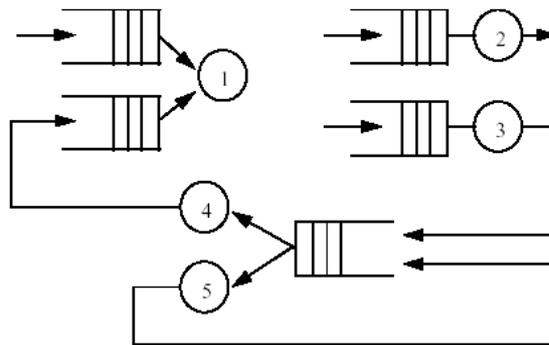


Figura 2.7: Interconexão de filas

Pode-se, finalmente, relacionar algumas características que, de maneira essencial ou acessória, encontram-se presentes nos sistemas discretos:

- estado discreto
- sincronismo
- concorrência
- dinâmica dirigida a eventos

É importante ressaltar que parte dos sistemas de interesse em Engenharia apresenta os elementos acima descritos e desafortunadamente não podem ser descritos pelos métodos tradicionais utilizando equações diferenciais. Torna-se assim de fundamental importância a construção de ferramentas teóricas para sua análise e para a síntese de procedimentos de decisão relativos ao seu controle.

Exemplo prático 1: Temperatura da água em um aquário.

Num aquário deve-se manter a água em torno da temperatura ambiente (25°C). Não é necessário ser muito rigoroso sendo que a temperatura pode variar de 23°C a 28°C.

Nota-se que a temperatura da água pode variar e deve ser ajustada de acordo com a necessidade.

Considere o esquema a seguir:

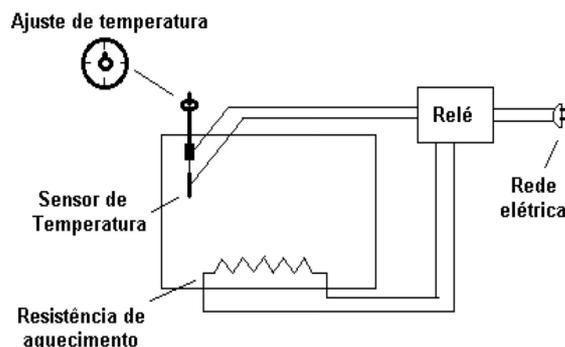


Figura 2.8 – Controle de temperatura automatizado em um aquário

Neste exemplo podem ser identificados os componentes básicos da automação (processo, sensor, atuador, controle e distúrbio):

- O processo (aquário), que requer o controle da temperatura.
- O sensor de temperatura, constituído pelo termômetro de mercúrio;
- O controlador, estabelecido pelo acoplamento de um sistema mecânico de ajuste ao termômetro. Este sistema mecânico movimenta um contato metálico ao longo do corpo do termômetro. Ele permite ao controlador, fazer uma comparação com um valor pré-ajustado (ponto de ajuste) e tomar a decisão de ligar ou desligar o atuador (resistência), mantendo a temperatura dentro de um limite considerado aceitável.
- O distúrbio é representado pelas condições externas que podem influenciar na temperatura da água. A temperatura do ambiente externo influencia diretamente no controle, determinando uma condição diferente de atuação no processo.
- O atuador formado pelo rele elétrico e a resistência. Quando o deslocamento do mercúrio alcança o ponto de ajuste, um contato elétrico é fechado, sendo ele ligado ao rele que, usando a alimentação da rede, desliga a resistência responsável pelo aquecimento da água. Então, em forma de diagrama, nesse sistema temos:

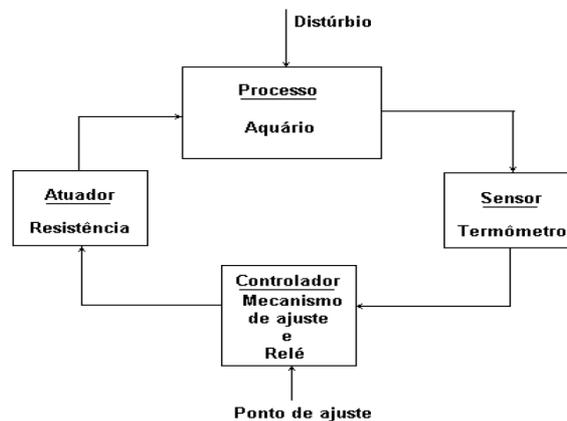


Figura 2.9 – Diagrama em blocos do controle do processo

Observa-se que existe uma influência da ação de aquecimento da água no valor medido pelo sensor de temperatura. Este ciclo fechado é chamado de malha fechada de controle, ou sistema de realimentação, no qual a saída do sistema influencia diretamente na situação de sua entrada.

Em alguns processos, não existe a realimentação, isto é, a ação do atuador comandada pelo controlador não é observada por um sensor que realimenta o sistema. Um exemplo típico é o de uma máquina de lavar roupa, que por não possuir um sensor de roupa limpa, funciona em um ciclo aberto de controle, chamado de malha aberta.

O controle apresentado neste exemplo não possui precisão, isto é, nada garante que a temperatura permaneça exatamente no ponto ajustado, ou que fique oscilando em torno do valor ajustado. Este tipo de controle é chamado de Liga/Desliga (ou ON/OFF). O atuador (resistência) permanece em dois estados bem definidos (nenhuma corrente = desligado e máxima corrente = ligado). É considerado então um controle descontínuo.

A quantidade de informações e conceitos que podem ser retirados de um sistema tão simples como esse é muito grande, sendo que elas resumem os conhecimentos necessários para o entendimento de um sistema automatizado.

Exemplo prático 2 - Um tanque de combustível e seu nível.

Neste caso, pode-se abordar duas situações de controle automatizado:

Medição descontínua: para garantir segurança evitando o transbordamento ou esvaziamento abaixo de determinada posição mínima.

A medição descontínua normalmente é feita por sensores do tipo chave com dois estados, ativo ou não ativo. Considerando um contato elétrico, esse poderá estar aberto (possibilitando passagem de corrente) ou fechado (impedindo a passagem de corrente).

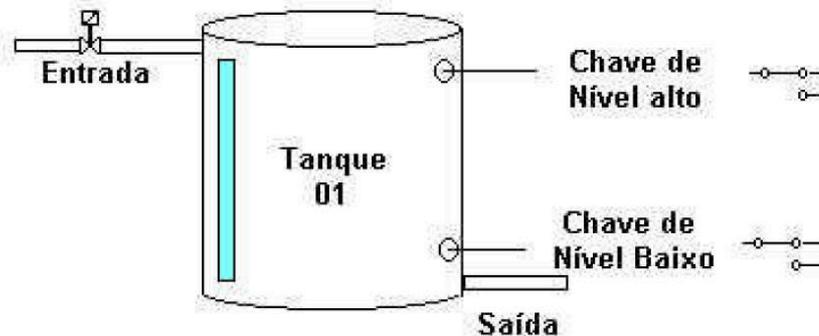


Figura 2.10 – Controle de nível de líquido em um tanque

Medição contínua: para determinar a quantidade de combustível armazenado. Além do sistema de segurança mostrado anteriormente, tem-se a necessidade de determinar a quantidade armazenada de um certo combustível dentro deste tanque. Nesse caso é necessário empregar um medidor que "observe" continuamente as variações da altura da coluna líquida no interior do tanque. Este medidor deve fornecer um sinal de saída contínuo, proporcional a altura do tanque.

Tendo o valor da altura dada pelo medidor e conhecendo a capacidade do tanque dada pelo formato do próprio tanque, é possível calcular a quantidade de combustível do tanque para cada condição de nível.

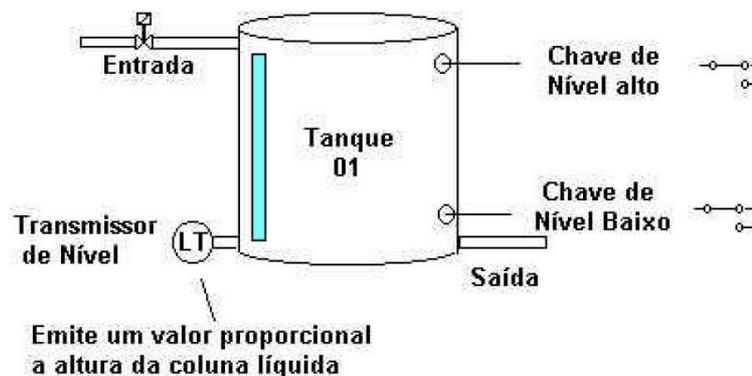


Figura 2.10 – Controle com transmissor de nível

Observando os exemplos acima, conclui-se que é possível ter sensores descontínuos (Liga/Desliga) e contínuos (chamados analógicos). A escolha do tipo de medição vai depender do que se pretende na automação. No caso do tanque, os dois controles podem estar presentes, cada um cuidando de sua parte no controle do sistema como um todo.

2.2.2. Considerando a linearidade da resposta

Um sistema é considerado linear se obedecer as seguintes propriedades:

- **Propriedade da Aditividade:** quando submetido a uma entrada $u_1(t) + u_2(t)$, o

sistema fornece como resposta $y_1(t) + y_2(t)$, e

- **Propriedade da Homogeneidade:** quando submetido a uma entrada $\otimes u_1(t)$, onde \otimes é um número real, o sistema fornece como resposta $\otimes y_1(t)$.

Praticamente todos os sistemas físicos existentes na prática são *não-lineares*. Entretanto, quando os módulos dos sinais dos sistemas de controle são limitados a certa faixa de valores, na qual os componentes do sistema exibem características lineares, o sistema é dito *linear*. Quando os módulos dos sinais se estendem fora da faixa linear de operação, o sistema deverá ser considerado como *não-linear*.

2.2.3. Considerando o comportamento temporal

Um sistema de controle é dito *invariante no tempo* quando seus parâmetros são estacionários com relação ao tempo, isto é, não variam com o tempo. A resposta do sistema independe do instante de tempo no qual a entrada é aplicada.

Por outro lado, um sistema de controle é dito *variante no tempo*, quando um ou mais parâmetros variam com o tempo e a resposta do sistema depende do instante de tempo no qual a entrada é aplicada. Um exemplo de um sistema de controle variante no tempo é o controle de um míssil teleguiado, no qual a massa do mesmo diminui com o tempo, já que combustível é consumido durante o voo

2.2.4. Sistemas de Controle “uma entrada - uma saída” e “várias entradas - várias saídas”

Um exemplo claro de um sistema “*uma entrada - uma saída*” é o sistema de controle de velocidade de um motor elétrico, onde a entrada é a velocidade desejada e a saída é a velocidade atual.

Como exemplo de sistemas “*várias entradas - várias saídas*” pode-se citar o controle de pressão e temperatura de uma caldeira, que apresenta duas grandezas de entrada e de saída (pressão e temperatura).

2.2.5. Sistemas de Controle Clássico e Sistemas de Controle Moderno

A teoria de controle *clássico* utiliza exaustivamente o conceito de *função de transferência*, onde a análise e o projeto de um sistema são feitos no domínio de frequência, isto é, no domínio “S”.

Esta teoria fornece resultados satisfatórios somente para sistemas do tipo “*uma entrada - uma saída*”.

A teoria de *controle moderno* é baseado na abordagem de *espaço de estado*, que utiliza exaustivamente os conceitos de matriz de transferência e a análise e o projeto de um sistema são feitos no domínio do tempo.

3. TÉCNICAS DE MODELAGEM DE SISTEMAS

Conforme discutido anteriormente, há décadas os sistemas discretos são conhecidos dos engenheiros e seu estudo, embora restrito a alguns aspectos, é igualmente antigo. Assim, os problemas práticos tem sido manipulados através do uso intensivo de simulação, das técnicas da Pesquisa Operacional e, mais recentemente, através de técnicas da Inteligência Artificial. Desde a década de 80, tem-se observado um esforço da comunidade científica no sentido de estabelecer uma teoria mais consistente para estes sistemas. Esta teoria deve permitir a análise dos sistemas, tais como previsibilidade dos comportamentos dinâmicos, permitir o desenvolvimento de técnicas de síntese de controladores e ainda lidar adequadamente com a complexidade dos sistemas encontrados na prática. Alguns autores propõem um conjunto de características para os modelos a serem desenvolvidos, em função dos aspectos práticos que eles devem atender:

- Natureza descontínua dos estados
- Natureza contínua das medidas de desempenho

- Importância da formulação probabilística
- Necessidade de análise hierárquica
- Presença de dinâmica
- Realizabilidade do esforço computacional

Até o presente, entretanto, nenhum modelo proposto na literatura reúne todas estas características. O que há é um grande número de linhas teóricas concorrentes cada uma delas descrevendo adequadamente alguns aspectos (e sendo portanto útil em algumas aplicações), mas sendo insuficiente em relação a outros. Não há paradigma. Esta é uma situação similar àquela classificada por Kuhn (1962) como revolucionária no desenvolvimento de uma teoria científica, dela podendo advir uma situação caracterizada pela síntese das correntes competidoras ou uma situação de ruptura de áreas de conhecimento. Em qualquer caso entrar-se-ia no que Kuhn chama de período regular caracterizado pela existência de um paradigma e no qual a principal função dos pesquisadores é articulá-lo.

De uma maneira geral, os modelos existentes podem ser classificados segundo algumas características, descritas a seguir:

Temporizados:

Levam em conta o tempo de permanência nos estados.

Não-temporizados:

Interessam-se apenas pela sequência de estados.

Lógicos:

Analisam o comportamento lógico do sistema, respondendo a questões qualitativas. Em geral se preocupam com a estrutura lógica da evolução dinâmica do sistema. Podem ou não utilizar como ferramenta formal algum sistema lógico (em geral não-clássico) havendo alguns modelos baseados em lógica temporal.

Algébricos:

Descrição através de equações algébricas, ou seja, buscam a obtenção de modelos para os sistemas discretos com as propriedades de síntese características dos modelos algébricos.

Análise de Desempenho:

Tentam responder questões relacionadas ao desempenho (em geral temporizados). A maioria dos modelos mais antigos para sistema discretos, ou seja, aqueles baseados em simulação e em Teoria de Filas podem ser classificados desta maneira.

A tabela a seguir, proposta por Ho (1989), apresenta um resumo dos modelos existentes e os classifica segundo os critérios apresentados:

	Temporizados	Não Temporizados
Lógicos	Lógica Temporal Rêdes de Petri Temporizadas	Máquinas de Estados Finitos Rêdes de Petri
Algébricos	Álgebra Min-Max	Processos Finitamente Recursivos Processos de Comunicação Sequencial
Desempenho	Cadeias de Markov Rêdes de Filas GSMPSimulação	

3.2. CONTROLE SUPERVISÓRIO

A abordagem conhecida como controle supervisório foi originalmente proposta por Ramadge e Wonham (1989) e por este motivo também é conhecida como abordagem R-W. Constitui-se uma das poucas abordagens em que existem propostas de técnicas de síntese de controladores e é baseada em teoria de autômatos e linguagens. Uma visão ampla da teoria envolvida é dada por Cassandras (1993).

Considere-se o exemplo da seção anterior com as seguintes modificações:

- Tamanho do buffer limitado a 1
- Máquina 1 com tempo de serviço exponencial, λ
- Máquina 2 com tempo de serviço exponencial, μ

O sistema proposto é composto por três subsistemas (duas máquinas e o buffer) e os estados admissíveis para cada subsistema são:

- Máqs. 1 e 2:
Livre (I)
Trabalhando(W)
Quebrada(D)

- Buffer:
Vazio (E)
Cheio (F)

A extensão do espaço de estados do sistema é finita e é dada por todas as combinações possíveis de estados dos três subsistemas.

As transições de estado são provocadas pelos seguintes eventos (com respectivos rótulos):

- início de trabalho na máq. i : si
- final de trabalho na máq. i : fi
- reparação da máq. i : ri
- quebra da máq. i : bi

Vai-se supor que os eventos si e ri podem ser inibidos respectivamente pelos sinais ui e vi que serão considerados como sendo as variáveis de controle do sistema.

Na figura 3.2 é apresentado o diagrama de transição de estados do sistema proposto:

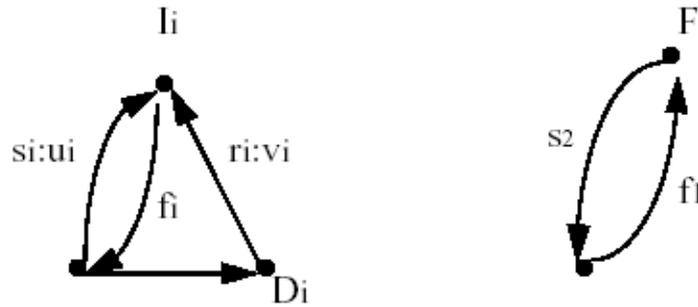


Figura 3.2: Diagrama de transição de estado em um sistema genérico

Supõe-se finalmente, que os objetivos de controle são dados pelas especificações a seguir:

- M1 só é autorizada a iniciar o trabalho se B está vazio
- M2 só pode iniciar se B está cheia
- M1 não pode iniciar quando M2 está quebrada
- Se ambas as máqs. estão quebradas então M2 deve ser reparada antes. Estas regras eliminam 6 dos 18 estados possíveis do sistema e equivalem a especificações em malha fechada na teoria de controle. Em outras palavras, o controle deve garantir uma limitação no espaço de estados (habilitando ou inibindo as quatro variáveis ui e vi)

Em malha fechada, (sob a ação do controle) o sistema deverá evoluir segundo o diagrama de transição mostrado na figura 3.5:

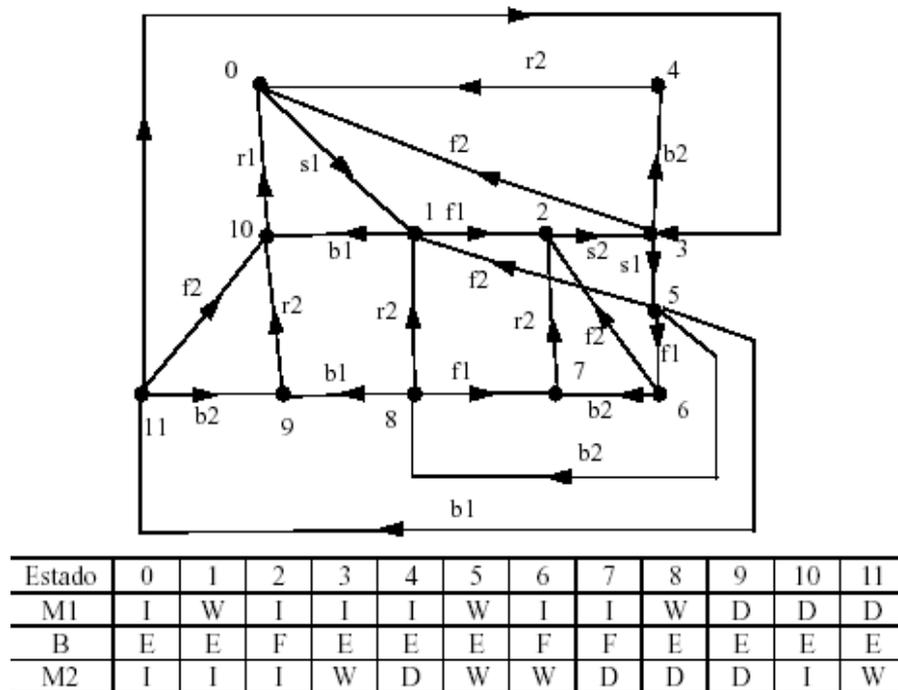


Figura 3.5: Diagrama dos estados de transição de um sistema

Supondo que o estado completo do sistema é observável, não é difícil definir a lei de controle. Para cada estado, basta decidir quais próximos estados devem ser evitados e inibir a transição correspondente. Para este sistema simples este procedimento pode ser feito diretamente e a tabela a seguir dá um controlador por realimentação de estado:

Controle/estado	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
u1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	-	-
v1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1	1
u2	0	0	1	0	0	0	1	-	0	0	0	0
v2	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	-	-
Estado Reduz.	0	0	1	0	3	0	1	2	3	4	5	5

Legenda: 1 = habilitado; 0 = desabilitado; - = irrelevante

Da tabela anterior, observa-se que para muitos estados a função de controle é a mesma, sendo possível trabalhar com o conceito de estado reduzido. Se os estados não são observáveis, mas a sequência de eventos o é, a solução é criar uma "cópia" do sistema, que a partir da sequência de eventos, produza a sequência de estados correta.

O controle então é exercido da seguinte maneira. Os eventos observados são lidos pela "cópia" do sistema que gera então uma sequência de estados. Esta "cópia" pode ou não ser a do sistema reduzido. Em seguida esta sequência de estados (reduzidos ou não) é enviada ao controlador que gera os sinais de controle adequados. É usual a adoção da seguinte nomenclatura:

Cópia + controle = supervisor

Cópia reduzida + controle = supervisor quociente

Pode-se observar a grande analogia que existe entre os conceitos aqui propostos e aqueles da teoria de controle tradicional. A chamada "cópia" do sistema cumpre claramente o papel que os observadores de estado cumprem no quadro clássico e o que se chamou aqui de controlador reproduz a função da realimentação de estado. A figura 3.7 mostra a analogia entre esta abordagem e o controle ótimo estocástico LQG:

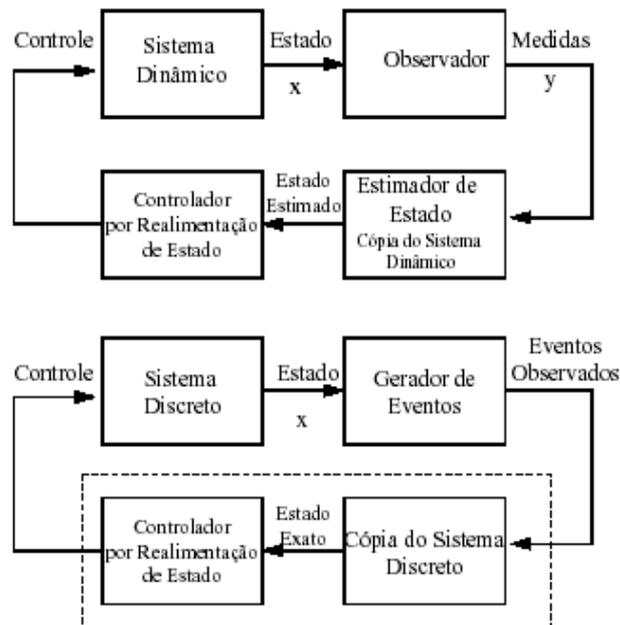


Figura 3.7: Diagrama de estado de um sistema

4. SISTEMAS DE NUMERAÇÃO

4.1. INTRODUÇÃO

A moderna automação é, em geral, feita por sistemas digitais. A automação analógica vai sendo transferidas cada vez mais para aplicações específicas e cada vez mais restritas. Isso se deve à grande evolução que os sistemas digitais, especialmente os conversores analógico digitais tiveram nesses últimos anos. O primeiro passo para entender de forma clara como funciona a automação digital é conhecer os sistemas de numeração, especialmente o sistema binário que é a base de todos os sistemas digitais.

A familiaridade que se possui em lidar com números no formato decimal, às vezes, nos impede de perceber que o sistema decimal é apenas uma das várias formas possíveis de numerar elementos. A representação do número pode ser feita através de palavras, sinais ou símbolos que são chamados numerais. Assim, quando se quer representar a quantidade de elementos de um conjunto, pode-se utilizar uma representação qualquer, desde que esta representação seja conhecida e traduza para o cérebro a real quantidade que ela representa.

Exemplos de conjuntos numéricos:

- Os elementos do conjunto de letras do alfabeto (a, b, c, ..., x, z) são 23 ou 26;
- O conjunto das notas musicais (dor, ré, mi, fa, sol, lá, si) são 7.

Conclui-se que certo conjunto pode ser representado por diversos numerais.

O numeral é a maneira de representar um conjunto de elementos, ao passo que o número nos dá uma ideia de quantidade.

4.2. SISTEMAS NUMÉRICOS

Os sistemas de numeração têm por objetivo prover símbolos e convenções para representar quantidades, de forma a registrar a informação quantitativa e poder processá-la. A representação de quantidades se faz com os **números**. Na antiguidade, duas formas de representar quantidades foram inventadas. Inicialmente, os egípcios, criaram um sistema em que cada dezena era representada por um símbolo diferente. Usando por exemplo os símbolos # para representar uma centena, & para representar uma dezena e @ representando uma unidade (símbolos escolhidos ao acaso), teríamos que ###&&@ representaria 321.

Outro um sistema de numeração que se popularizou na antiguidade e hoje ainda utilizado em várias funções, é o sistema de numeração romano. Eram usados símbolos (letras) que representavam as quantidades, como por exemplo: I (valendo 1), V (valendo 5), X (valendo 10), C (valendo 100), etc. A regra de posicionamento determinava que as letras que representavam quantidades menores e precediam as que representavam quantidades maiores, seriam somadas; se o inverso ocorresse, o menor valor era subtraído do maior (e não somado).

Assim, a quantidade 128 era representada por CXXIII (100+10+10+5+1+1+1). Por outro lado, a quantidade 94 era representada por XCIV = (-10 + 100) + (-1 + 5) = 94.

Nesses sistemas, os símbolos tinham um valor intrínseco, independente da posição que ocupavam na representação (sistema numérico não-posicional). Um grande problema desse sistema é a dificuldade de realizar operações com essa representação. Experimente multiplicar CXXVIII por XCIV! Assim, posteriormente, foram criados sistemas em que a posição dos algarismos no número passou a alterar seu valor (sistemas de numeração posicionais).

Nos sistemas de numeração posicionais, o valor representado pelo algarismo no número depende da posição em que ele aparece na representação. O primeiro sistema desse tipo foi inventado pelos chineses. Eram usados palitos, sendo 1 a 5 palitos dispostos na vertical para representar os números 1 a 5; de 6 a 9 eram representados por 1 a 4 palitos na vertical, mais um palito na horizontal (valendo 5) sobre os demais. Cada número era então representado por uma pilha de palitos, sendo uma pilha de palitos para as unidades, outra para as dezenas, outra para as centenas, etc. Esse sistema, com as pilhas de palitos dispostas em um tabuleiro, permitia a realização das quatro operações aritméticas. Não existia representação para o zero (o espaço relativo ficava vazio). O tabuleiro aritmético (chamado *swan-pan*), além das quatro operações, era usado na álgebra e na solução de equações. Essa técnica era chamada de Método do Elemento Celestial.

No Oriente Médio, na mesma época em que os chineses desenvolviam o seu sistema de numeração, surgiu uma das mais importantes invenções da humanidade: o **alfabeto**. Na antiguidade, usava-se um símbolo para representar cada conceito ou palavra. Assim, eram necessários milhares de símbolos para representar todos os objetos, ações, sentimentos, etc - como são ainda hoje algumas linguagens. O grande achado foi decompor a linguagem em alguns poucos símbolos e regras básicas.

Por volta do ano de 650 dc, os hindus inventaram um método de produzir papel (que antes já fora inventado pelos chineses) e seus matemáticos criaram uma representação para os números em que existiam diferentes símbolos para as unidades, incluindo um símbolo para representar o zero. Essa simples criação permitiu que se processasse a aritmética decimal e se fizesse contas - no papel! Depois de milhares de anos em que todos os cálculos eram feitos com calculadoras (ábacos, swan-pan, etc) finalmente era possível calcular sem auxílio mecânico, usando um instrumento de escrita e papel. A matemática criada pelos hindus foi aprendida pelos árabes (que depois foram copiados pelos europeus). Por volta de 830 dc, um matemático persa (chamado Al-khwarismi, que inspirou o nome algarismo) escreveu um livro (Al-gebr we'l Mukabala, ou álgebra) em que apresentava os algarismos hindus. E esse livro, levado para a Europa e traduzido, foi a base da matemática do Renascimento. Atualmente todos os sistemas numéricos utilizados são do tipo posicional.

Os sistemas numéricos posicionais se caracterizam por possuírem um elemento chamado de **base**. Base é a quantidade de algarismos disponível na representação. A base 10 é hoje a mais usualmente empregada, embora não seja a única utilizada. No comércio pede-se uma dúzia de rosas ou uma grossa de parafusos (base 12) e também se marca o tempo em minutos e segundos (base 60).

Os computadores utilizam a base 2 (sistema binário) e os programadores, por facilidade, usam, em geral, uma base que seja uma potência de 2, tal como 2^4 (base 16 ou sistema hexadecimal) ou eventualmente ainda 2^3 (base 8 ou sistema octal).

Na base 10, dispõe-se de 10 algarismos para a representação do número: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Na base 2, são apenas 2 algarismos: 0 e 1. Na base 16, são 16: os 10 algarismos usuais da base 10, mais os símbolos A, B, C, D, E e F, representando respectivamente 10, 11, 12, 13, 14 e 15 unidades. Generalizando, temos que uma base **b** qualquer disporá de **b** algarismos, variando entre 0 e (b-1).

4.2.1. Formato polinomial dos números

Os números sempre podem ser representados por um polinômio formado da seguinte maneira:

$$N_b = a_n \cdot b^n + \dots + a_2 \cdot b^2 + a_1 \cdot b^1 + a_0 \cdot b^0 + a_{-1} \cdot b^{-1} + a_{-2} \cdot b^{-2} + \dots + a_{-n} \cdot b^{-n}$$

sendo que:

$a_n \cdot b^n + \dots + a_2 \cdot b^2 + a_1 \cdot b^1 + a_0 \cdot b^0$ é a parte inteira e

$a_{-1} \cdot b^{-1} + a_{-2} \cdot b^{-2} + \dots + a_{-n} \cdot b^{-n}$ é a parte fracionária.

Exemplo:

A representação $125,38_{10}$ (base 10) significa $1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$

Intuitivamente, sabe-se que o maior número que se pode representar, com n algarismos, na base b , será o número composto n vezes pelo maior algarismo disponível naquela base (ou seja, $b-1$). Por exemplo, o maior número que pode ser representado na base 10 usando 3 algarismos será 999 (ou seja, $10^3 - 1 = 999$).

Generalizando, pode-se notar que o maior número inteiro N que pode ser representado, em uma dada base b , com n algarismos (n "casas"), será $N = b^n - 1$. Assim, o maior número de 2 algarismos na base 16 será FF_{16} que, na base 10, equivale a $255_{10} = 16^2 - 1$.

4.2.2. O sistema numérico decimal

Entre os sistemas numéricos existentes, o sistema decimal é o mais utilizado. Os símbolos ou dígitos utilizados são os algarismos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Os elementos são agrupados de dez em dez e, por essa razão, os números podem ser expressos por intermédio de potência de dez e recebem o nome de sistema de numeração decimal.

Exemplo:

O número 586 na forma polinomial é escrito desta maneira:

$$586 = 5 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0$$

Observe que o número 5 está numa posição tal que seu peso é igual a 2 e que o número 6 por sua vez tem o peso igual a zero. Então se pode concluir que o algarismo ou dígito, dependendo do seu posicionamento, terá um peso diferente.

Notar que aquele situado na extrema esquerda do número está sendo multiplicado pela potência de dez maior, ou seja, é o dígito mais significativo (**most significant digit – MSD**).

Analogamente, o que está situado na extrema direita será multiplicado pela menor potência, ou seja, é o dígito menos significativo (**least significant digit – LSD**).

Por ser o sistema padrão de uso (é o sistema que utilizamos em nosso dia-a-dia), o sistema decimal não necessita de representação de base, a fim de simplificar de escrita.

4.2.3. O sistema numérico binário

Como o próprio nome já indica, tem base 2, ou seja, os números são formados a partir de grupos de dois algarismos. É o sistema de numeração mais utilizado em processamento de dados digitais, pois utiliza apenas dois símbolos ou algarismos 0 e 1. Também vale ressaltar, que em processamentos digitais, que o dígito 1 também é conhecido por nível lógico 1, nível lógico alto, ligado, verdadeiro e energizado. Já o dígito 0 poder ser nível lógico 0, nível lógico baixo, desligado, falso e desenergizado.

Assim, a cada posição de cada algarismo corresponde uma potência de 2, como foi exposto para número decimal ao qual correspondia uma potência de 10.

Exemplo:

A representação em forma polinomial do número binário 1110011 é dada por:

$$1110011 = 1x2^6 + 1x2^5 + 1x2^4 + 0x2^3 + 0x2^2 + 1x2^1 + 1x2^0$$

4.2.4. Sistema numérico octal

Este sistema possui base 8 e é composto por oito símbolos ou dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7. Este sistema surgiu devido ao fato dos números binários, serem longos demais para serem

manipulados, então, procurou-se um sistema numérico que compactasse os números e que tivesse como base um múltiplo de dois. São muito apropriados para as máquinas ou computadores, mas para seres humanos são muito trabalhosos.

Exemplo:

A representação em forma polinomial do número octal 712 é:

$$712 = 7x8^2 + 1x8^1 + 1x8^0$$

Se forem considerados três dígitos binários, o maior que pode ser expresso por esses três dígitos é 111 ou em decimal 7. Como o 7 é também o algarismo mais significativo do sistema octal, conclui-se que com a combinação de três dígitos binários pode-se ter um algarismo octal correspondente; daí também poder dizer que os números octais têm um terço do comprimento de um número binário e fornecem a mesma informação.

4.2.5. Sistema numérico hexadecimal

O sistema hexadecimal (hexa) foi criado com o mesmo propósito do sistema octal, para minimizar a representação de um número binário que é o utilizado em processamento de dados digitais.

Tanto os números em hexa como em octal são de difícil manipulação, porém, foram desenvolvidos conversores internos à máquina que efetua as conversões automaticamente. Analogamente, se considerarmos quatro dígitos ou bits binários, o maior número que se pode ser expresso por esses quatro dígitos é 1111 ou em decimal 15, da mesma forma que 15 é o algarismo mais significativo do sistema hexadecimal, portanto com a combinação de 4 bits ou dígitos binários pode-se ter o algarismo hexadecimal correspondente.

Assim, com esse agrupamento de 4 bits ou dígitos, podem-se definir 16 símbolos iniciando do 0 (zero).

Contudo, como não existem símbolos dentro do sistema arábico que possam representar os

números decimais entre 10 e 15 sem repetir os símbolos anteriores, foram usados os símbolos A, B, C, D, E e F, portanto o sistema hexadecimal será formado por 16 símbolos alfanuméricos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E e F.

Exemplo resolvido:

A representação em forma polinomial do número hexadecimal A1D é:

$$A1D = 10 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + D \times 16^0$$

Os quatro sistemas de numeração apresentados, decimal, binário, octal e hexadecimal são de uso corrente, por isso convém compreender como números escritos em um sistema podem ser escritos em outro sistema. As conversões podem ser divididas em três tipos:

- Conversão de um número em uma base qualquer para a decimal;
- Conversão de um número na base decimal em qualquer outra base;
- Conversão entre números com bases diferentes da decimal.

4.2.6. Conversão de um número em uma base qualquer para a decimal

A técnica a ser utilizada é a mesma para qualquer conversão. Dado um número em uma base qualquer basta representá-lo na forma polinomial e resolver a equação.

Exemplo resolvido:

Dado o número binário 1110011, convertê-lo para a base decimal:

A representação polinomial do número é dada por

$$1110011 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

Resolvendo, tem-se:

$1110011 = 1 \times 64 + 1 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = 115$ em base decimal, ou seja: a quantidade representada por 115 em algarismos decimais é igual a representada em binário por 1110011.

Este procedimento é válido para qualquer conversão para a base decimal.

NOTA: Todos os números binários que possuem o bit LSB igual a 1 representam quantidades ímpares, se for 0 representam quantidades pares. Esta peculiaridade é utilizada em procedimentos de testes nos sistemas de automação.

4.2.7. Conversão de um número na base decimal para qualquer outra base

A conversão de um número decimal para outra base segue a ideia de criação de conjuntos onde cada conjunto contém uma quantidade de unidades igual a base numérica, ou seja, a ideia básica é verificar quantas vezes a base numérica cabe no número a ser convertido. Na prática esse

procedimento é feito por divisões sucessivas, visto que estas divisões representam justamente a ideia dos conjuntos citados acima.

Exemplo resolvido:

Converter o número decimal 21 para o sistema de numeração binário

$$\begin{array}{r}
 21 \div 2 \\
 10 : 2 \\
 \text{LSB} \quad 0 \quad 5 : 2 \\
 \quad \quad 1 \quad 2 : 2 \\
 \quad \quad \quad 1 \quad 1 : 2 \\
 \quad \quad \quad \quad 1 \quad 0 \\
 \text{MSB} \quad \quad \quad 1 \quad 0
 \end{array}$$

O número 21 na base 10 é igual ao número binário 11101.

O mesmo procedimento pode ser utilizado para qualquer base.

4.2.8. Conversão da base binária para octal e hexadecimal e vice-versa

As únicas conversões de base que não envolvem a base decimal de interesse são as da base binária para octal e vice-versa. Esta conversão é muito simples e é baseada na tabela abaixo. Notar que para a base octal são sempre tomados grupos de três dígitos binários e para a base hexadecimal são grupos de quatro dígitos binários. A conversão é feita efetuando esta divisão em grupos, começando da direita para a esquerda e convertendo cada grupo em separado. Caso o último grupo da esquerda não fique completo basta completá-lo com zeros à esquerda.

CONVERSÃO DE VALORES DA BASE BINÁRIA PARA A OCTAL E VICE VERSA	
BINÁRIO	OCTAL
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Exemplo resolvido:

- Converter o número binário 1110011 para octal.

Divide-se o número em blocos de três dígitos, começando da direita

Bloco 1: $011_2 = 3_8$

Bloco 2: $110_2 = 6_8$

Bloco 3: $001_2 = 1_8$

Assim, $1110011_2 = 163_8$

A conversão para a base hexadecimal segue o mesmo princípio, apenas que são tomados grupos de 4 dígitos binários em vez de três.

Tomando o mesmo número binário do exemplo anterior, 1110011, divide-se assim:

Bloco 1: $0011_2 = 3_{16}$

Bloco 2: $0111_2 = 7_{16}$

E, conclui-se que: $1110011_2 = 73_{16}$

Nota: para a base 16 convencionou-se representar os números sem o indicativo da base, porém com um H maiúsculo a direita. O número $73_{16} = 73 H$

A conversão inversa segue o mesmo princípio. Cada dígito das bases octal ou hexadecimal é convertido em três ou quatro dígitos binários.

Exemplo resolvido:

Converter o número octal 523 para o binário.

Bloco 1: $3_8 = 011_2$

Bloco 2: $2_8 = 010_2$

Bloco 3: $5_8 = 101_2$

E o número binário fica assim: 101010011_2

Para o hexadecimal o procedimento é o mesmo.

4.2.9. Exercícios

1. Converter os números seguintes da base 10 para a base 2 e 16:
10 25 33 33 5575

2. Converter os números seguintes da base 2 para a base 10:

1001 11011 10101 10101 110111

3. Converter os números seguintes da base 16 para a base 10:

14H A2H EAFH ABH 1ACH

4. Converter os números seguintes da base 2 para a base 16:

5. LÓGICA MATEMÁTICA E BINÁRIA

A técnica da automação industrial é praticamente toda baseada na lógica, especialmente na lógica binária, onde um enunciado só pode ser verdadeiro ou falso. O presente capítulo apresenta alguns conceitos básicos de lógica e sua forma de aplicação em automação.

Não há consenso quanto à definição da lógica. Alguns autores definem-na *como o estudo dos processos válidos e gerais pelos quais atingimos a verdade*, outros *como a ciência das leis do pensamento, ou somente como o estudo dos princípios da inferência válida*. Outros ainda citam *lógica como sendo a ciência do raciocínio e do pensamento*. Esta pluralidade de definições provém da diversidade de estudos que são abrangidos pela Lógica.

A lógica foi criada por Aristóteles, no século IV a.C., como uma ciência autônoma que se dedica ao estudo dos atos do pensamento - Conceitos, Juízos, Raciocínios, Demonstrações - do ponto de vista da sua estrutura ou forma lógica, sem ter em conta qualquer conteúdo material. É por esta razão que esta lógica aristotélica se designa também por lógica formal.

Em contraposição a este conceito de lógica formal, surgiu outro - o de lógica material - para designar o estudo do raciocínio no que ele depende quanto ao seu conteúdo ou matéria. Esta distinção entre lógica formal e lógica material permite perceber que:

- Tendo em conta a sua forma, o raciocínio é correto ou incorreto (válido ou inválido). Mas se for atendido o fato ao qual o raciocínio se refere, a conclusão pode ser verdadeira ou falsa.

5.1. RACIOCÍNIO

5.1.1. Raciocínio Dedutivo

Dedução é um tipo de raciocínio que parte de uma proposição geral (referente a todos os elementos de um conjunto) e conclui outra proposição geral ou particular (referente à parte dos elementos de um conjunto), que se apresenta como necessária, ou seja, que deriva logicamente das premissas.

Exemplo: Todo brasileiro é sul-americano.

Todo paulista é brasileiro.

Todo paulista é sul-americano.

Aristóteles chamava o raciocínio dedutivo de silogismo (dedução formal tal que, postas duas premissas, delas, por inferência, se tira uma terceira, chamada conclusão) e o considerava um modelo de rigor lógico. Entretanto, deve-se frisar que a dedução não oferece conhecimento novo, uma vez que a conclusão sempre se apresenta como um caso particular da lei geral. A dedução organiza e especifica o conhecimento que já se tem, mas não é geradora de conhecimentos novos. Ela tem como ponto de partida o plano do inteligível, ou seja, da verdade geral, já estabelecida.

5.1.2. Raciocínio Indutivo

Indução é o raciocínio que, após considerar um suficiente número de casos particulares, conclui uma verdade geral. A indução, ao contrário da dedução, parte da experiência sensível, dos dados particulares.

Exemplo: O cobre é condutor de eletricidade, e a prata, e o ouro, e o ferro, e o zinco...

Logo, todo metal é condutor de eletricidade.

É importante que a enumeração de dados (que correspondem a tantas experiências feitas) seja suficiente para permitir a passagem do particular para o geral. Entretanto, a indução sempre supõe a probabilidade, isto é, já que tantos se comportam de tal forma, é muito provável que todos se comportem assim.

Em função desse "salto", há maior possibilidade de erro nos raciocínios indutivos, uma vez que basta encontrar uma exceção para invalidar a regra geral. Por outro lado, é esse mesmo "salto", em direção ao provável que torna possível a descoberta, a proposta de novos modos de compreender o mundo. Por isso, a indução é o tipo de raciocínio mais usado em ciências experimentais.

5.1.3. Raciocínio Analógico

Analogia é o raciocínio que se desenvolve a partir da semelhança entre casos particulares. Através dele não se chega a uma conclusão geral, mas só a outra proposição particular.

As analogias podem ser fortes ou fracas, dependendo das semelhanças entre os dois tipos de objetos comparados. Quando a semelhança entre os objetos se manifesta em áreas relevantes para o argumento, a analogia tem mais força do que quando os objetos apresentam semelhanças não relevantes para a conclusão. Por exemplo, o fato de uma pessoa ter olhos azuis não justifica que uma minissaia fique bem em outra pessoa de olhos azuis, mas fique bem em alguém que não tenha semelhança de idade ou de físico.

Assim, o raciocínio analógico não oferece certeza, mas, tão-somente, certa dose de probabilidade. Por outro lado, porque exige um salto muito grande, é onde se abre o espaço para a invenção, tanto artística quanto científica. Gutenberg inventa a imprensa a partir da impressão de pegadas deixadas no chão por pés sujos de suco de uva. Fleming inventa a penicilina ao ver que bactérias cultivadas em laboratório morriam em contato com o bolor que se formara por acaso. Raciocinando analogicamente, supõe que bactérias que causavam doenças ao corpo humano também pudessem ser destruídas por bolor.

Assim, procurando saber como podemos conhecer e o que garante a verdade do conhecimento, percebemos que o homem constrói o seu conhecimento de vários modos, que cada um depende de um tipo de raciocínio diferente e chega a um tipo específico de verdade, ou seja, a verdade mítica, científica, filosófica e artística são bastante diferentes umas das outras.

5.1.4. Análise de raciocínio lógico:

Primeira afirmação: Nenhum homem sabe cozinhar.

Segunda afirmação: Este cozinheiro é homem.

Conclusão: Este cozinheiro não sabe cozinhar.

Este raciocínio é formalmente correto, uma vez que a conclusão está corretamente deduzida. Mas a conclusão é falsa, uma vez que é falsa a primeira afirmação (Nenhum homem sabe cozinhar), visto ser de conhecimento público que existem homens que sabem cozinhar. Logo: o raciocínio tem validade formal, mas não tem validade material. Portanto: formalmente está tudo correto, porém materialmente a conclusão é falsa. Assim, a lógica, em determinado momento se dividiu como mostrado na Figura 5.1.

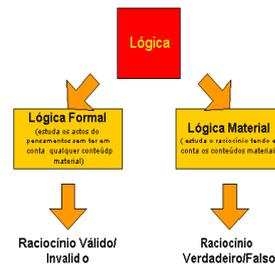


Figura 5.1: Ramos da lógica

Nos sistemas de automação a lógica aplicada deve ser aquela que apresenta resultados materiais corretos, visto que os sistemas de automação são físicos.

5.2. LÓGICA FORMAL - PROPOSIÇÕES

A lógica formal, cujo desenvolvimento vem desde os mais remotos tempos, está fundamentada nas chamadas *proposições*. Proposição é uma frase que admite apenas uma das seguintes respostas: Verdadeiro (V) ou Falso (F).

Exemplos de proposições:

- A lua é o único satélite do planeta terra (V)
- A cidade de Salvador é a capital do estado do Amazonas (F)
- O número 712 é ímpar (F)
- Raiz quadrada de dois é um número irracional (V)

5.2.1. Composição de proposições

É possível construir proposições a partir de proposições já existentes. Este processo é conhecido por **Composição de Proposições**. Suponha as seguintes proposições:

1. **A = "Maria tem 23 anos"**
2. **B = "Maria é menor de idade"**

Supor que a legislação corrente do país fictício em que estas proposições foram enunciadas, uma pessoa é considerada de menor idade caso tenha menos que 18 anos, o que faz com que a proposição **B** seja **F**, na interpretação da proposição **A** ser **V**. A seguir algumas reflexões a respeito destas duas proposições:

1. **"Maria não tem 23 anos" (nãoA)**
2. **"Maria não é menor" (não(B))**
3. **"Maria tem 23 anos" e "Maria é menor" (A e B)**
4. **"Maria tem 23 anos" ou "Maria é menor" (A ou B)**
5. **"Maria não tem 23 anos" e "Maria é menor" (não(A) e B)**
6. **"Maria não tem 23 anos" ou "Maria é menor" (não(A) ou B)**
7. **"Maria tem 23 anos" ou "Maria não é menor" (A ou não(B))**

8. "Maria tem 23 anos" e "Maria não é menor" (A e não(B))
9. Se "Maria tem 23 anos" então "Maria é menor" (A => B)
10. Se "Maria não tem 23 anos" então "Maria é menor" (não(A) => B)
11. "Maria não tem 23 anos" e "Maria é menor" (não(A) e B)
12. "Maria tem 18 anos" é equivalente a "Maria não é menor" (C <=> não(B))

Notar que, para compor proposições usou-se os símbolos **não (negação)**, e (**conjunção**), ou (**disjunção**).

A solução de problemas lógicos se dá através da determinação de quais são as proposições presentes no mesmo e a construção da tabela verdade para a situação proposta. Esta tabela verdade será então utilizada para avaliar qual é a resposta correta ou que atende as determinações do problema.

Por exemplo, considere o seguinte problema: Sabendo da existência de três camisas Ca, Cb e Cc e que elas tem uma das seguintes cores: verde, branco e azul, atribua uma cor a cada uma delas de acordo com as afirmações a seguir. Atenção: apenas uma das afirmações pode ser considerada verdadeira.

Afirmações:

- a) Ca é verde;
- b) Cb não é verde;
- c) Cc não é azul;

Distribuição das cores Avaliação das alternativas

Ca	Cb	Cc	Afirmativa a	Afirmativa b	Afirmativa c
Verde	Branco	Azul	V	V	F
Verde	Azul	Branco	V	V	V
Branco	Verde	Azul	F	F	F
Branco	Azul	Verde	F	V	V
Azul	Verde	Branco	F	F	V
Azul	Branco	Verde	F	V	V

Na primeira parte desta tabela (três colunas à esquerda) estão listadas todas as possibilidades de atribuição de cores às camisas. Nas outras três colunas, a distribuição daquela linha foi confrontada com as sentenças das afirmativas a, b e c para classificá-las como verdadeiras ou falsas. Uma vez feito isto, note que a definição da questão prevê que a resposta correta é dada pela distribuição de cores que faz com que apenas uma das alternativas seja verdade. Isto acontece apenas na quinta distribuição (Azul, Verde e Branco) que é, então, considerada a alternativa correta para a solução do problema.

5.3. LÓGICA DIGITAL

A lógica digital pertence ao ramo da lógica que deve satisfazer condições materiais, portanto, deve apresentar resultados consistentes com o meio físico.

Ao contrário da lógica formal, a lógica digital pode ser implementada fisicamente de várias maneiras: com chaves mecânicas, com circuitos eletrônicos ou software utilizando computadores ou

controladores lógicos programáveis (CLPs). Na sequência as três formas serão mostradas paralelamente com ênfase maior na parte de software e CLPs.

A lógica digital compreende os conceitos da lógica formal aplicados a sistemas de automação. Esta lógica é baseada em um postulado clássico, que pode ser enunciado da seguinte maneira:

“Qualquer evento só pode ser verdadeiro ou falso”.

Se for verdadeiro não pode ser falso e vice-versa. Também não pode ser verdadeiro e/ou falso ao mesmo tempo.

Os sistemas lógicos são estudados pela álgebra de chaveamentos, um ramo da álgebra moderna ou álgebra de Boole, conceituada pelo matemático inglês George Boole (1815 - 1864). Boole construiu sua lógica a partir de símbolos, representando as expressões por letras e ligando-as através de conectivos.

A álgebra de Boole trabalha com apenas duas grandezas: falso ou verdadeiro. As duas grandezas são representadas por 0 e 1. Em geral, 0 indica falso e 1 indica verdadeiro, porém existe a lógica inversa em que 0 indica verdadeira e 1 indica falso. Fisicamente, esses dois estados lógicos podem ser representados por:

- Chaves mecânicas: aberta = falso e fechada = verdadeira ou vice-versa;
- 2 níveis de tensão: um representa verdadeiro e outro falso;
- Qualquer outro sistema representado por dois estados diferentes.

5.3.1. Operadores lógicos

Por volta de 1850, o matemático inglês George Boole propôs através da publicação do trabalho intitulado “An investigation of the laws of thought”, numa notação numérica e algébrica, aquilo que até aquele momento somente era tratado de modo discursivo: a lógica.

Somente em 1938, essa álgebra passou a ser utilizada na análise de circuitos com relés, na área de telefonia por Claude Shannon.

A álgebra de Boole é caracterizada por uma estrutura muito simples, que consiste em atribuir o valor 1 a uma proposição verdadeira e o valor 0, a uma proposição falsa.

Aplicando-se esse conceito a um circuito elétrico por exemplo, pode-se associar:

Tabela 5.1: Níveis lógicos

Nível lógico 0	Nível lógico 1
aberto	fechado
sem tensão	com tensão
desligado	ligado
apagado	aceso

Quando ocorre uma associação desse tipo, com a tensão ou corrente associada ao valor 1, maior que a associada ao valor zero, dizemos que a lógica é positiva. Em caso contrário, temos lógica negativa.

5.3.2. Variáveis e funções booleanas

Qualquer sistema digital é definido por uma série de variáveis e funções booleanas, que correspondem as suas saídas e entradas. Essas variáveis são indicadas utilizando-se letras do alfabeto (A,B,C.....) e admitem somente os dois valores binários 0 e 1.

As variáveis que correspondem às saídas do sistema são uma consequência ou função das entradas.

Funções booleanas E, OU e NÃO

Todas as complexas operações de um sistema digital acabam sendo combinações de simples operações aritméticas e lógicas básicas, como soma, complementação, comparação, movimentação de bits. Estas operações são fisicamente realizadas por circuitos eletrônicos, chamados circuitos lógicos, constituídos de portas lógicas e outros dispositivos.

As três funções básicas conhecidas como E(AND),OR(OU) e NÃO(NOT) serão apresentadas a seguir através da análise de um circuito elétrico bastante simples.

Convém lembrar que toda a eletrônica digital está baseada nas três funções básicas: E, OU e NÃO. Todas as outras funções são, na verdade, composições baseadas nessas três.

Função lógica E(AND)

No circuito a lâmpada acende quando a chave A e a chave B estiverem fechadas.

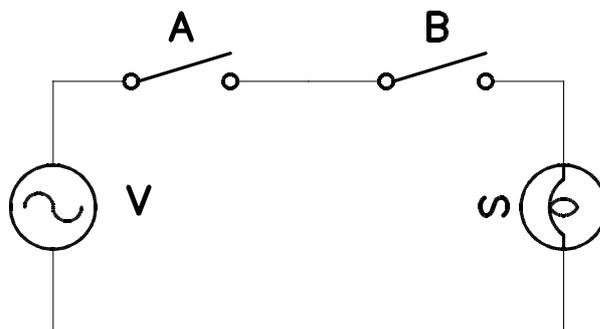


Figura 5.1: Função lógica E com chaves mecânicas

Tabela de combinações ou tabela verdade

Uma tabela de combinações ou tabela verdade é um quadro onde todas as situações possíveis são analisadas. O número de combinações possíveis é igual a 2^n onde n é igual ao número de entradas (variáveis de entrada) do sistema analisado.

Considerando o circuito analisado, suponha as seguintes situações possíveis, associadas aos valores binários 0 e 1.

Chave aberta = 0	lâmpada apagada = 0
Chave fechada = 1	lâmpada acesa = 1

A tabela verdade do circuito elétrico mostrado, fica apresentada da seguinte maneira:

Tabela 5.2.: Tabela verdade da função lógica E (aberta/fechada)

Chave A	Chave B	lâmpada
aberta	aberta	apagada
aberta	Fechada	apagada
fechada	aberta	apagada
fechada	fechada	acesa

A tabela verdade montada com valores binários representa genericamente a função E associada às situações possíveis do sistema em estudo.

Tabela 5.3.: Tabela verdade da função lógica E (0/1)

A	B	X ou S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Dizemos que a função E(AND) realiza a operação de multiplicação lógica das variáveis de entrada. A expressão algébrica para a função, considerando duas variáveis A e B é escrita como: $S=(A.B)$. O operador lógico representado pelo símbolo (\cdot) deve ser lido como (e).

Porta lógica E

Nota: A simbologia utilizada pode parecer estranha, no entanto, trata-se dos modelos aprovados pela norma ANSI/IEEE std 91-1984 e IEC Publication 617-12. É conveniente deixar de utilizar a antiga simbologia.

A porta lógica é o sistema físico que realiza a operação dada pela função lógica, sendo representada por um bloco. A Figura 2.2 pode-se ver o símbolo utilizado para a representação da porta lógica E e sua expressão algébrica. Esta é uma montagem em forma de circuito eletrônico. Existem vários circuitos integrados que possuem internamente as portas lógicas E.

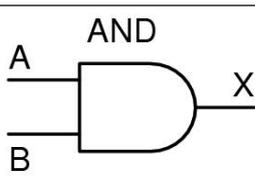
função lógica	porta lógica	expressão algébrica
E(AND)		$X = A.B$

Figura 5.2: Porta lógica E

Esta função pode ter quantas entradas forem necessárias (2, 3, 4, 5, etc). Independente do número de entradas vale a definição seguinte:

Definição clássica da função E: Esta função somente terá como resultado 1 se todas as entradas forem 1. Basta que uma das entradas seja 0 para que a saída também seja 0.

Função OU(OR)

No circuito apresentado abaixo, a lâmpada acende quando a chave A ou a chave B ou ambas estiverem fechadas.

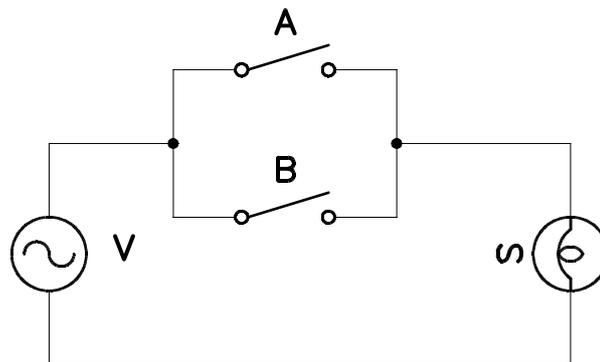


Figura 5.5: Função lógica OU com chaves mecânicas

A tabela verdade para o circuito da porta lógica OU é mostrada a seguir:

Tabela 5.4.: Tabela verdade da função lógica OU

A	B	X ou S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Dizemos que a função OU(OR) realiza a operação de adição lógica das variáveis de entrada. A expressão algébrica para a função, considerando duas variáveis A e B é escrita como: $S=(A+B)$. O operador lógico representado pelo símbolo (+) deve ser lido como (ou).

função lógica	porta lógica	expressão algébrica
OU(OR)		$X=A+B$

Figura 5.6: Porta lógica OU

Esta função pode ter quantas entradas forem necessárias (2, 3, 4, 5, etc). Independente do número de entradas vale a definição seguinte:

Definição clássica da função OU: Esta função somente terá como resultado 0 se todas as entradas forem 0. Basta que uma das entradas seja 1 para que a saída também seja 1.

Função NÃO (NOT)

No circuito apresentado a abaixo a lâmpada acende somente quando a chave A estiver desligada.

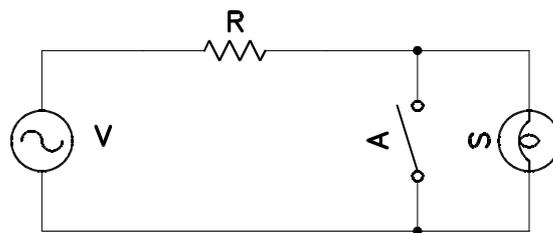


Figura 5.9: Função lógica NÃO com chaves mecânicas

Nota: O resistor R é colocado no circuito para evitar um curto circuito. Não tem ação

Uma outra maneira de simular mecanicamente a função lógica NÃO é através da utilização de um relé com 1 contato normalmente fechado. Neste caso o circuito fica assim:

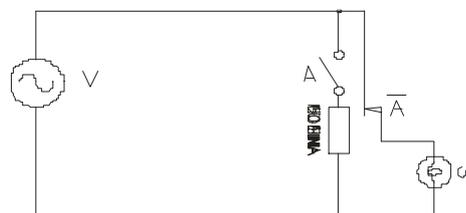


Figura 5.10: Função lógica NÃO com relé

O relé possui um contato normalmente fechado (A). Quando a chave A é acionada o contato abre, fazendo assim a função inversa.

A tabela verdade para o circuito da porta lógica OU é mostrada a seguir:

Tabela 5.5.: Tabela verdade da função lógica NÃO

A	X ou S
0	1
1	0

Dizemos que a função NÃO(NOT) realiza a operação de inversão ou complementação lógica da variável de entrada. A expressão algébrica para a função, considerando a variável A é escrita como:
 O operador lógico representado pelo símbolo (--) deve ser lido como (NÃO),ou simplesmente complemento.

função lógica	porta lógica	expressão algébrica
Não (NOT)		$\overline{X} = A$

Figura 5.11: Porta lógica NÃO

Algumas construções baseadas nas três funções básicas apresentadas passaram a ter uma grande utilização prática, a tal ponto de receberem nomes e símbolos específicos. As principais funções derivadas das básicas são as seguintes:

Esta função só pode ter uma entrada. Não existe a função NÃO com mais de uma entrada.

Função Não E (NAND):

função lógica	porta lógica	expressão algébrica
Não E (NAND)		$\overline{X} = A.B$

Figura 5.12: Porta lógica NÃO E (NAND)

A função NÃO E(NAND) corresponde ao complemento da função E, cuja tabela verdade apresentada a seguir:

Tabela 5.6.: Tabela verdade da função lógica NÃO E

A	B	X ou S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A função lógica NÃO E é também obtida através do circuito equivalente apresentado a seguir:

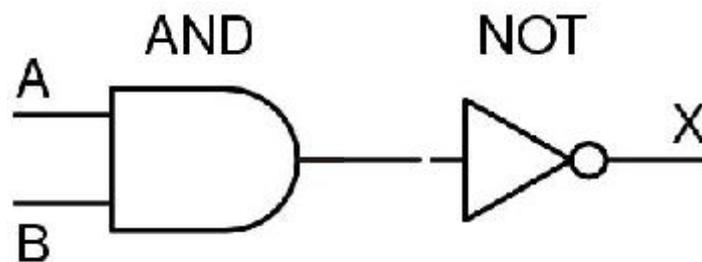


Figura 5.13: Porta lógica NÃO E utilizando E e NÃO

Esta função pode ter quantas entradas forem necessárias (2, 3, 4, 5, etc). Independente do número de entradas vale a definição seguinte:

Definição clássica da função NÃO E: Esta função somente terá como resultado 0 se todas as entradas forem 1. Basta que uma das entradas seja 0 para que a saída seja 1.

Função Não Ou (NOR):

Outro arranjo bem conhecido é a função Não OU (NOR), cuja tabela verdade é:

Tabela 5.7.: Tabela verdade da função lógica NÃO OU

	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Seu símbolo e sua expressão lógica são:

função lógica	porta lógica	expressão algébrica
---------------	--------------	---------------------

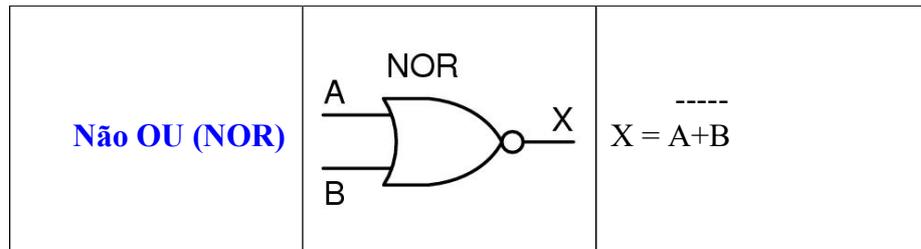


Figura 5.14: Porta lógica NÃO OU (NOR)

A função lógica NÃO OU é também obtida através do circuito equivalente apresentado a seguir:

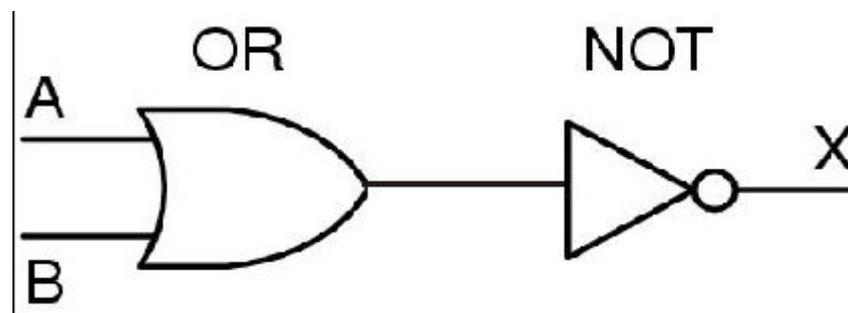


Figura 5.15: Porta lógica NÃO OU utilizando OU e NÃO

Esta função pode ter quantas entradas forem necessárias (2, 3, 4, 5, etc). Independente do número de entradas vale a definição seguinte:

Definição clássica da função NÃO OU: Esta função somente terá como resultado 1 se todas as entradas forem 0. Basta que uma das entradas seja 1 para que a saída seja 0.

Função OU Exclusivo (XOR):

Esta função é de suma importância dentro do processamento matemática digital. A tabela verdade é a seguinte:

Tabela 5.8.: Tabela verdade da função lógica OU Exclusivo

A	B	X ou S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Notar que só tem-se 1 na saída se as duas entradas forem diferentes entre si. Entradas iguais produzem 0 na saída.

A simbologia e a função lógica estão apresentados abaixo:

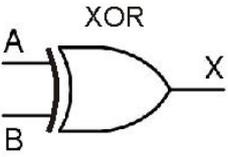
função lógica	porta lógica	expressão algébrica
OU Exclusivo(XOR)		$X = A \oplus B$

Figura 5.16: Porta lógica OU Exclusivo (XOR)

A importância desta função está no fato de que ela representa a soma binária de números. Analise a tabela verdade e note que o resultado é a soma das duas entradas. No caso das duas entradas serem 1, a saída será 0 com transporte (carry) de 1.

Esta função só pode ter 2 entradas. Não existe o OU Exclusivo para mais de duas entradas.

Definição clássica da função OU Exclusivo: Esta função terá como resultado 1 se as duas entradas apresentarem valores diferentes. Se as duas entradas forem iguais o resultado será 0.

Função Coincidência (XNOR):

A última função de uso consagrado é a Coincidência (XNOR), cuja tabela verdade é:

Tabela 5.9.: Tabela verdade da função lógica Coincidência

A	B	X ou S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Observar que esta função é o complemento da função XOR.

A simbologia e a função lógica estão apresentados abaixo:

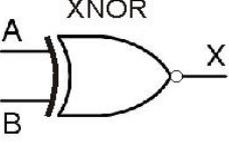
função lógica	porta lógica	expressão algébrica
Coincidência(XNOR)	 <p>Diagrama de uma porta lógica XNOR. Duas entradas, A e B, entram por um lado da porta. A saída, X, sai por outro lado. O símbolo da porta é um triângulo com uma linha curva na entrada e um círculo na saída.</p>	$X = \overline{A \oplus B}$

Figura 5.17: Porta lógica Coincidência (XNOR)

A função coincidência pode ser utilizada para comparar duas entradas: caso as duas entradas sejam iguais a saída será 1.

Esta função só pode ter 2 entradas. Não existe a função coincidência para mais de duas entradas.

Definição clássica da função Coincidência: Esta função terá como resultado 1 se as duas entradas tiverem o mesmo valor. Do contrário será 0.

A tabela seguinte é um resumo geral das funções lógicas.

SÍMBOLO	TABELA	FUNÇÃO	DEFINIÇÃO															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$S = A \cdot B$	Só teremos 1 na saída se todas as entradas estiverem em 1
A	B	S																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$S = A + B$	Só teremos 0 na saída se todas as entradas estiverem em 0
A	B	S																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	S	0	1	1	0	$S = \bar{A}$	A saída é sempre o inverso da entrada									
A	S																	
0	1																	
1	0																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$S = \overline{A \cdot B}$	É a função AND invertida
A	B	S																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$S = \overline{A + B}$	É a função OR invertida
A	B	S																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$S = A \oplus B$	Se as duas entradas forem iguais a saída será 0. Se diferentes será 1
A	B	S																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$S = \overline{A \oplus B}$	É a função XOR invertida
A	B	S																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

Tabela 5.10: Resumo geral das funções lógicas – Simbologia IEEE

As portas lógicas possuem dois tipos de símbolos de uso corrente: o americano (tradicional) e o IEEE. A tabela seguinte mostra a equivalência das duas simbologias.

	AMERICANA	IEEE
NOT		
AND		
NAND		
OR		
NOR		
XOR		
XNOR		

Tabela 5.11: Simbologias das portas lógicas

Exemplo resolvido: Encontrar a função lógica realizada pelo circuito abaixo. Depois apresentar o software de CLP e de computador que realiza a mesma função.

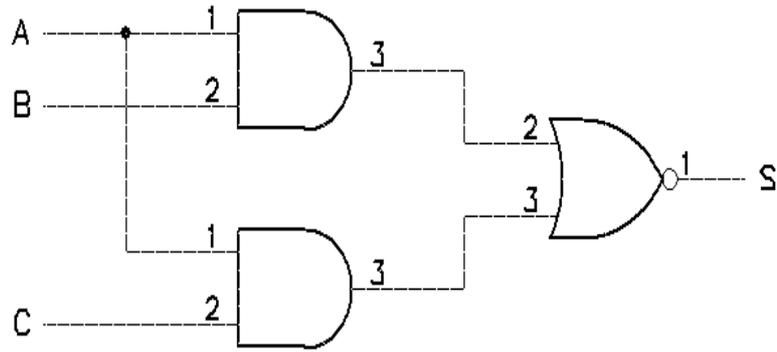


Figura 5.18: Solução de problema com funções lógicas

O procedimento para buscar a função lógica de um circuito consiste em analisar o circuito parte a parte. No circuito, quando as entradas A e B passam pela porta E obtém-se como resultado A.B. Passando pela outra porta E obtém-se A.C. Observe o circuito já com esses passos aplicados.

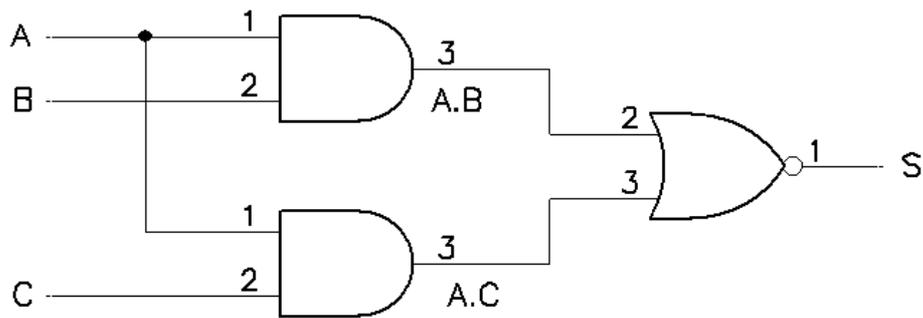


Figura 5.19: Exercício com funções lógicas

O próximo passo é a passagem dos dois resultados intermediários, A.B e A.C pela porta Não OU. Nesta etapa já é resultado final. O mesmo procedimento pode ser utilizado para qualquer circuito combinacional.

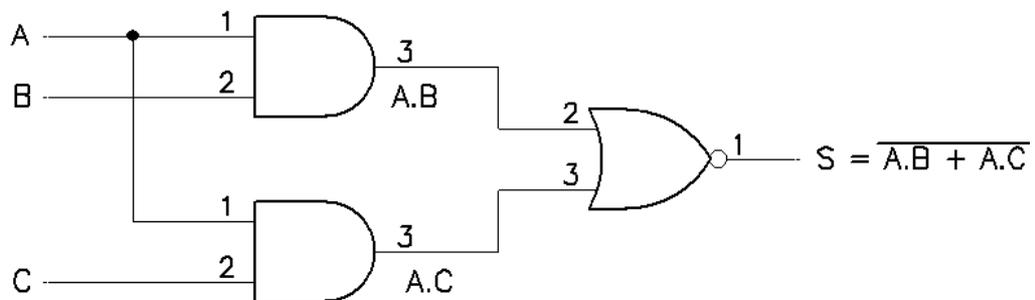


Figura 5.20: Exercício com funções lógicas

A função lógica do circuito é

O mesmo esquema poderia ser montado com contatos mecânicos como mostrado abaixo. A, B e C são chaves liga/desliga. A BOBINA pertence a um relé que possui um contato NF. Quando ela for energizada o CONTATO NF abre e a lâmpada S desliga. Note que a lâmpada desliga somente se A estiver fechada junto com B ou com C.

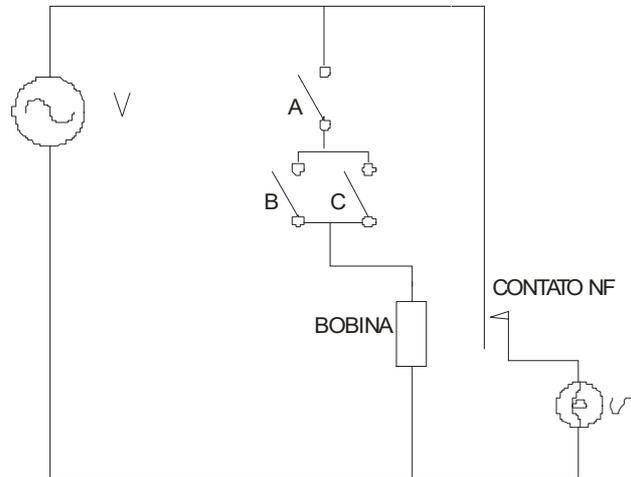
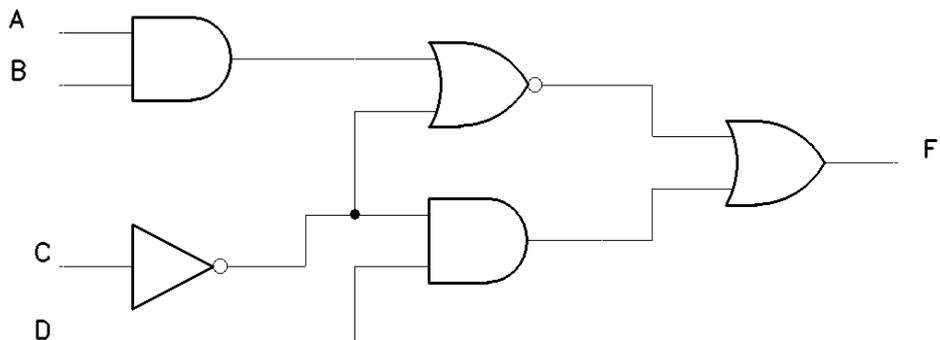
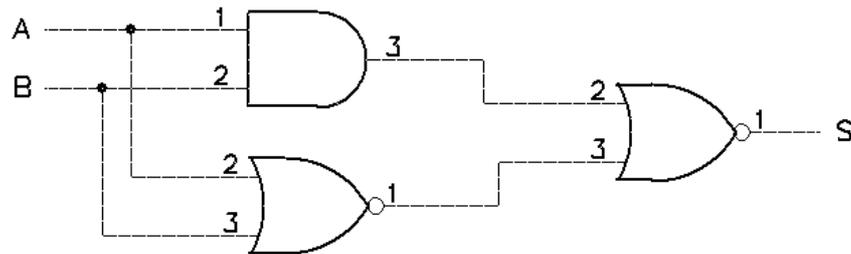


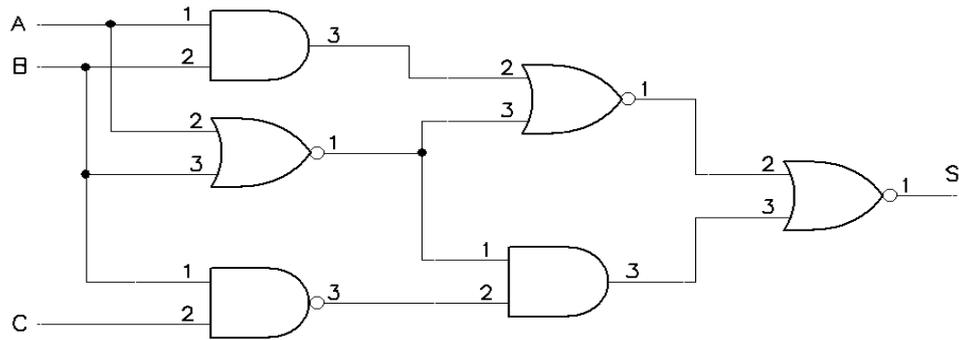
Figura 5.21: Circuito lógico da figura 5.20 com contatos mecânicos

5.3.3. Exercícios

Encontre a função lógica realizada pelos circuitos abaixo depois faça um programa de CLP e um de computador que realiza a mesma função lógica:

1.





2.3.

5.3.4. Equivalência de funções lógicas

Duas funções Booleanas são equivalentes se - e somente se - para a mesma entrada, produzirem iguais valores de saída .

Portanto, duas funções lógicas equivalentes tem a mesma tabela verdade.

Exercícios: Verifique se as funções lógicas a seguir representam funções equivalentes:

a) $\overline{\overline{X+Y} + \overline{X.Z}}$ e $X.Y.\bar{Z} + X.Y.Z$

b) $\overline{\overline{X+Y} + \overline{X.Y}}$ e $X.Y.\bar{Z} + X.Y.Z$

c) $X.Y + Z$ e $X.(Y + Z)$

A álgebra de Boole possui um conjunto de propriedades, que são os postulados e teoremas fundamentais. A tabela abaixo apresenta as propriedades fundamentais. X, Y e Z são variáveis booleanas.

5.3.5. Propriedades da álgebra de boole

ITEM	PROPRIEDADE	VERSÃO OU	VERSÃO E
01	Reflexão	$X+X=X$	$X.X=X$
02	Identidade	$X+0=X$	$X.1=X$
03	Elemento Nulo	$X+1=1$	$X.0=0$
04	Complemento	$X+\bar{X}=1$	$X.\bar{X}=0$
05	Involução	$\overline{\overline{X}}=X$	$\overline{\overline{X}}=X$
06	Comutativa	$X+Y = Y+X$	$X.Y=Y.X$

07	Associativa	$(X+Y)+Z=X+(Y+Z)$	$(X.Y).Z=X.(Y.Z)$
08	Distributiva	$X+Y.Z=(X+Y).(X+Z)$	$X.(Y+Z)=X.Y+X.Z$
09	Absorção 1	$X+X.Y=X$	$X.(X+Y)=X$
10	Absorção 2	$X+\overline{X}.Y=X+Y$	$X.(\overline{X}+Y)=X.Y$
11	De Morgan	$\overline{X+Y}=\overline{X}.\overline{Y}$	$\overline{X.Y}=\overline{X}+\overline{Y}$

Com base nas propriedades é possível simplificar funções lógicas. O objetivo da simplificação é a obtenção de circuitos mais simples e mais baratos.

Exemplo resolvido:

Simplifique a seguinte expressão:

$$\overline{B+D} . \overline{(B.C)} . (\overline{A}.B)$$

SOLUÇÃO:

$$\begin{aligned} \overline{B+D} . \overline{(B.C)} . (\overline{A}.B) &= \overline{B+D} + \overline{B.C} + \overline{A}.B = \\ &= B + D + B.C + \overline{A} + \overline{B} = D + B.C + A + 1 = 1 \end{aligned}$$

A função XOR possui algumas propriedades fundamentais, própria dela mesma, conforme mostrado abaixo.

5.3.6. Propriedades da função exclusive or (xor)

A	B	$A \oplus B$	$\overline{A \oplus B}$	Soma dos minitermos:	Outras propriedades:
0	0	0	1	$A \oplus B = \overline{A}.B + A.\overline{B}$	$A \oplus A = 0$
0	1	1	0		
1	0	1	0	$\overline{A \oplus B} = A.B + \overline{A}.\overline{B}$	$A \oplus \overline{A} = 1$
1	1	0	1		

5.3.7. Funções lógicas utilizando não e e não ou

Usando as propriedades apresentadas, todo e qualquer circuito pode ser representado usando exclusivamente a função NÃO E ou a função NÃO OU.

Há neste caso uma razão maior que a comodidade ou a aparente dificuldade: a razão econômica. por diversas razões construtivas, fica mais barato construir todos os circuitos de um computador usando apenas um único tipo de circuito. aceitando essa afirmação, vamos enfrentar a tarefa de representar os nossos circuitos já conhecidos usando apenas funções NÃO E ou os NÃO OU.

a) Circuito inversor

Observe abaixo como construir um inversor utilizando apenas um Não OU.

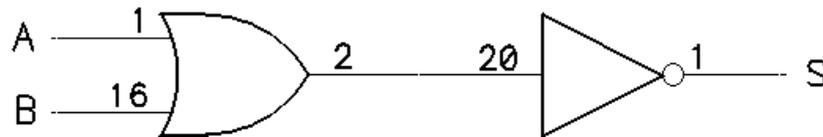


Figura 5.22: Construção de porta Não Ou

5.3.8. Exercícios:

1. Realize a porta lógica E, utilizando somente o Não E e o Não OU.
2. Realize a porta lógica OU, utilizando somente o Não E e o Não OU.
3. Realize a porta lógica OU Exclusivo, utilizando somente o Não E e o Não OU.
4. Realize a porta lógica Coincidência, utilizando somente o Não E e o Não OU.
5. Simplifique as funções lógicas apresentadas a seguir:

5.1. $F = A.(A+B') + A.B$

5.2. $F = A.B.C' + A.B'.C'$

5.3. $F = A.B.C + A'.B'.C + A.B$

6. Construa os circuitos que realizam as funções lógicas do exercício 5, de duas maneiras: como elas são apresentadas e após as simplificações. Depois faça o programa de CLP e de computador para realizar as mesmas funções.
7. Um sistema industrial é composto de 3 motores elétricos, M1, M2 e M3. Estes motores devem sempre ser ligados na seguinte ordem: $M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3$. Ou seja, M2, só pode ligar se M1 estiver ligado. M3 só liga se M1 e M2 estiverem ligados. No desligamento os 3 desligam juntos. Projete um circuito lógico de comando para comandar esses motores.
8. Uma máquina automática para fazer café realiza a mistura de água, pó de café, açúcar e leite na seguinte ordem: pó de café \rightarrow água \rightarrow açúcar e leite juntos. Projete um controle automático para realizar esta função.
9. No exercício anterior, suponha que o açúcar deva ser colocado antes do leite. Faça as alterações necessárias para que isso ocorra.
10. Análise o funcionamento do circuito abaixo. Sugira simplificações

5.4. FORMAS CANÔNICAS

Formas canônicas são formas padronizadas de apresentação das funções lógicas

Os circuitos lógicos realizam funções de grande complexidade, cuja representação geralmente não é óbvia. O processo para realização de uma função através de um circuito começa na descrição verbal

do circuito (descrição do comportamento de suas possíveis saídas, em função das diversas combinações possíveis de seus sinais de entrada), a partir do que é possível montar sua tabela verdade.

5.4.1. Exercícios:

1. Considere um circuito elétrico composto de uma fonte de energia comercial e um interruptor (nossas entradas) e uma lâmpada (nossa saída). A lâmpada acenderá se - e somente se - a) houver energia disponível (se não estiver "faltando luz") e b) o interruptor estiver ligado. Elabore a tabela verdade que representa esse circuito lógico.

2. Considere um sistema composto de duas caixas d'água (uma superior e uma cisterna). A cisterna é alimentada pela entrada de água da "rua", via empresa distribuidora. A caixa superior serve para distribuir a água, por gravidade, em todo o prédio: bicas, chuveiros, descargas sanitárias, circuitos anti-incêndio, etc, com a água sendo impulsionada por uma bomba hidráulica através de uma tubulação que liga a cisterna à caixa superior. Considerando que a bomba queimarão se for acionada sem haver água no circuito hidráulico, projete um circuito lógico para acionar a bomba sempre que a caixa superior estiver vazia, desde que tenha água na cisterna.

3. Considere um circuito elétrico composto de uma fonte de energia comercial , uma alimentação auxiliar (um gerador e um no-break, com bateria de acumulação) e um interruptor (as entradas) e um sistema de computadores (a saída). O computador poderá operar se: a) houver energia disponível (se não estiver "faltando luz") em um dos circuitos de alimentação e b) o interruptor estiver ligado. Elabore a tabela verdade que representa esse circuito lógico.

5.4.2. Representação Canônica

A partir da tabela verdade, é possível chegar à expressão que representa o comportamento do circuito, e em seguida construir o circuito, usando as portas lógicas já estudadas. O processo de elaboração da expressão usa as chamadas formas canônicas, que consistem em regras para representar as condições de entrada que:

a) produzirão saída 1 (e portanto as demais condições produzirão saída 0) ou alternativamente,

b) produzirão saída 0 (e portanto as demais condições produzirão saída 1).

São portanto duas as formas canônicas: uma representa as condições que produzem saída 1 (SOMA DOS MINITERMOS) , a outra representa as condições que produzirão saída 0 (PRODUTO DOS MAXITERMOS). Essas formas são alternativas, isto é, a expressão poderá ser encontrada aplicando-se alternativamente UMA ou OUTRA das formas.

MINITERMO - são termos somente com AND (termos PRODUTO)

MAXITERMO - são termos somente com OR (termos SOMA).

SOMA DOS MINITERMOS

É produzida construindo:

- um termo (uma sub-expressão) para cada linha da tabela verdade (que representa uma combinação de valores de entrada) em que a saída é 1,

- cada um desses termos é formado pelo PRODUTO (FUNÇÃO AND) das variáveis de entrada, sendo que:

----- quando a variável for 1, mantenha;

----- quando a variável for 0, complemente-a (função NOT).

- a função booleana será obtida unindo-se os termos PRODUTO (ou minitermos) por uma porta OR (ou seja, "forçando-se" a saída 1 caso qualquer minitermo resulte no valor 1).

Dessa forma, ligando os termos-produto (também chamados minitermos) pela porta OR, caso QUALQUER UM dos minitermos seja 1 (portanto, caso qualquer uma das condições de valores de entrada que produz saída 1 se verifique), a saída pela porta OR será também 1. Ou seja, basta que se verifique qualquer uma das alternativas de valores de entrada expressos em um dos minitermos, e a saída será também 1, forçada pelo OR. Caso nenhuma dessas alternativas se verifique, produz-se a saída 0.

Exemplo resolvido:

A	B	C	f	MINITERMOS
0	0	0	0	
0	0	1	1	$\bar{A}.\bar{B}.C +$
0	1	0	1	$\bar{A}.B.\bar{C} +$
0	1	1	0	
1	0	0	0	
1	0	1	0	
1	1	0	1	$A.B.\bar{C}$
1	1	1	0	

$$f = \bar{A}.\bar{B}.C + \bar{A}.B.\bar{C} + A.B.\bar{C}$$

PRODUTO DOS MAXITERMOS

É produzida construindo:

- um termo (uma sub-expressão) para cada linha da tabela verdade (que representa uma combinação de valores de entrada) em que a saída é 0,

- cada um desses termos é formado pela SOMA (FUNÇÃO OR) das variáveis de entrada, sendo que:

----- quando a variável for 0, mantenha;

----- quando a variável for 1, complemente-a (função NOT).

- a função booleana será obtida unindo-se os termos SOMA (ou maxitermos) por uma porta AND (ou seja, "forçando-se" a saída 0 caso qualquer minitermo resulte no valor 0).

Dessa forma, ligando os termos-soma (também chamados maxitermos) pela porta AND, caso QUALQUER UM dos minitermos seja 0 (portanto, caso qualquer uma das condições de valores de entrada que produz saída 0 se verifique), a saída pela porta AND será também 0. Ou seja, basta que se verifique qualquer uma das alternativas de valores de entrada 0 expressos em um dos maxitermos, e a saída será também 0, forçada pelo AND. Caso nenhuma dessas alternativas se verifique, produz-se a saída 1.

Exemplo resolvido:

A	B	C	f	MAXITERMOS
0	0	0	1	
0	0	1	0	$A+B+\bar{C}$
0	1	0	0	$A+\bar{B}+C$
0	1	1	1	
1	0	0	0	$\bar{A}+B+C$
1	0	1	1	
1	1	0	1	
1	1	1	1	

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

O mesmo comportamento (a mesma tabela verdade) pode ser igualmente representada por qualquer das formas canônicas.

Exemplo resolvido:

A	B	C	f	MINITERMOS	MAXITERMOS
0	0	0	1	$\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$	
0	0	1	0		$A+B+\bar{C}$
0	1	0	0		$A+\bar{B}+C$
0	1	1	1	$\bar{A} \cdot B \cdot C$	
1	0	0	0		$\bar{A}+B+C$
1	0	1	1	$A \cdot \bar{B} \cdot C$	
1	1	0	0		$\bar{A}+\bar{B}+C$
1	1	1	1	$A \cdot B \cdot C$	

Soma dos minitermos
 $f = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot C$

Produto dos maxitermos
 $f = (A+B+\bar{C}) \cdot (A+\bar{B}+C) \cdot (\bar{A}+B+C) \cdot (\bar{A}+\bar{B}+C)$

Se ambas as formas canônicas produzem expressões equivalentes, como escolher qual a representação a utilizar? Escolha a que resultar em menor número de termos, produzindo uma expressão mais simples.

Por esse método, pode-se encontrar a expressão que represente qualquer tabela verdade.

Após se encontrar uma expressão que represente o comportamento esperado, é possível que não seja uma expressão simples que possa ser construída com poucas portas lógicas. Antes de projetar o circuito, é útil SIMPLIFICAR a expressão, de forma a possibilitar construir um circuito mais simples e portanto mais barato.

5.4.3. Exercícios:

Represente as tabelas verdade abaixo em formas canônicas de Maxitermos e de Minitermos.

A	B	C	F
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Após faça as simplificações possíveis e construa o circuito lógico e o programa de CLP e de computador.

5.5. CIRCUITOS ESPECIAIS REALIZADOS COM DISPOSITIVOS DIGITAIS

5.5.1. Circuitos codificadores e decodificadores

Uma classe de dispositivos amplamente utilizados em automação é a dos codificadores e decodificadores. Esses circuitos apresentam, nas saídas, um conjunto de valores que indicam algum código lógico.

Os codificadores são os circuitos que transformam um conjunto de sinais de entrada com um determinado código em um conjunto de sinais de saída em outro código.

Exemplos:

- Um circuito que transforma um conjunto de 5 bits de entrada na ordem crescente em um conjunto de 5 bits na saída em ordem decrescente é um codificador.
- O teclado telefônico é um circuito codificador. Ele transforma os números digitados em sinais de frequência

O decodificador é um circuito lógico que faz a operação inversa da do codificador.

Qualquer sistema codificador ou decodificador pode ser construído em forma de circuito lógico, de chaves, programa de CLP ou programa de computador.

Nos sistemas de automação existem vários códigos de uso consagrado, a seguir são apresentados os principais.

a) Código Gray

A principal característica deste código é que de um número a outro apenas um bit varia. Sua formação é mostrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Código Gray

Decimal	Binário ABCD	Código Gray			
		G0	G1	G2	G3
0	0000	0	0	0	0
1	0001	0	0	0	1
2	0010	0	0	1	1
3	0011	0	0	1	0
4	0100	0	1	1	0
5	0101	0	1	1	1
6	0110	0	1	0	1
7	0111	0	1	0	0
8	1000	1	1	0	0
9	1001	1	1	0	1
10	1010	1	1	1	1
11	1011	1	1	1	0
12	1100	1	0	1	0
13	1101	1	0	1	1
14	1110	1	0	0	1
15	1111	1	0	0	0

O circuito lógico que representa o Código Gray é mostrado na Figura XX.

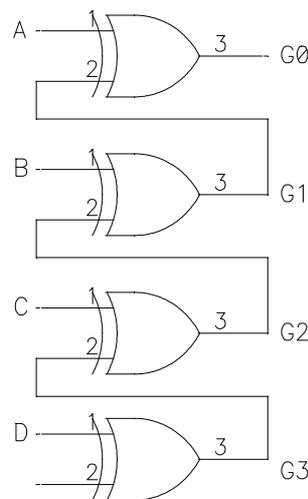


Figura 5.23: Implementação de circuito que produz o Código Gray

Exercício: Escreva um programa para CLP que realiza o Código Gray

b) Código BCD8421 (Binary Coded Decimal)

Este código é amplamente utilizado em sistemas de automação e controle. Ele transforma os 10 dígitos decimais em conjuntos de 4 bits binários.

Tabela 3.2: Código BCD8421

Decimal	Binário	BCD 8421			
0	0000	0	0	0	0
1	0001	0	0	0	1
2	0010	0	0	1	0
3	0011	0	0	1	1
4	0100	0	1	0	0
5	0101	0	1	0	1
6	0110	0	1	1	0
7	0111	0	1	1	1
8	1000	1	0	0	0
9	1001	1	0	0	1

A representação dos números decimais em binários BCD é feita, convertendo cada dígito decimal pelo valor equivalente mostrado na tabela acima.

Exemplo: o número decimal 370 é representado em binário por 0011 0111 0000

c) Código Johnson

Este código é utilizado para a implementação do Contador Johnson. A Tabela XX mostra sua formação.

Tabela 3.3: Código Johnson

Decimal	Binário	Código Johnson				
0	0000	0	0	0	0	0
1	0001	0	0	0	0	1
2	0010	0	0	0	1	1
3	0011	0	0	1	1	1
4	0100	0	1	1	1	1
5	0101	1	1	1	1	1
6	0110	1	1	1	1	0
7	0111	1	1	1	0	0
8	1000	1	1	0	0	0
9	1001	1	0	0	0	0

d) Decodificador BCD/Decimal

O decodificador BCD para decimal possui a seguinte tabela verdade:

BCD				Código decimal									
A	B	C	D	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

As linhas A, B, C e D são as entradas do decodificador e as linhas 'S' são as saídas.

Exercício: Construa um circuito lógico que faz a decodificação BCD/Decimal. Em seguida faça um programa de CLP que realiza a mesma função.

5.6. MULTIPLEXADORES E DEMULTIPLEXADORES

Os multiplexadores (MUX) são circuitos que disponibilizam na saída o valor contido em uma das entradas, segundo as variáveis de seleção. Observa na Figura XX o multiplexador de 2 para 1. Uma das entradas E₀ ou E₁ é disponibilizada na saída de acordo com nível lógico da entrada S₀. Seguindo o mesmo princípio pode-se construir MUX 4 para 1, 8 para 1, 16 para 1, etc. Notar que o número de linhas de controle está ligado ao número de saídas desejado, isto é, se tivermos 4 (2²) saídas serão necessárias 2 linhas de controle. Os circuitos MUX são amplamente utilizados em sistemas de comunicação e sistemas de troca de informações entre subsistemas.

Exemplo:

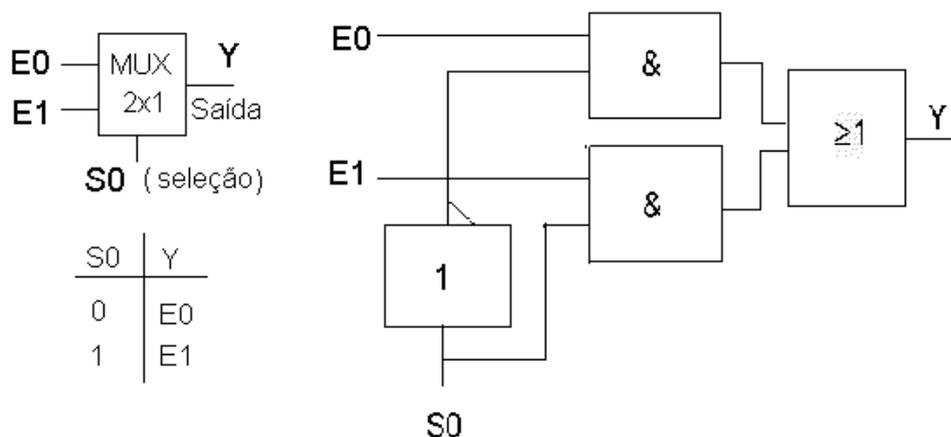


Figura 5.24: Multiplexadores e demultiplexadores 2x1

5.6.1. Exercícios multiplexadores:

1. Escrever um programa de CLP que realiza a função MUX 2 para 1.
2. Desenvolver um circuito lógico e um programa de CLP para implementar um MUX 4 para 1.

Os demultiplexadores (DEMUX) são circuitos que realizam a função inversa, ou seja, encaminham o conteúdo da entrada para uma saída, de acordo com as variáveis de seleção.

Na Figura é mostrado um DEMUX 1 para 4. Notar a semelhança entre esse circuito e o MUX.

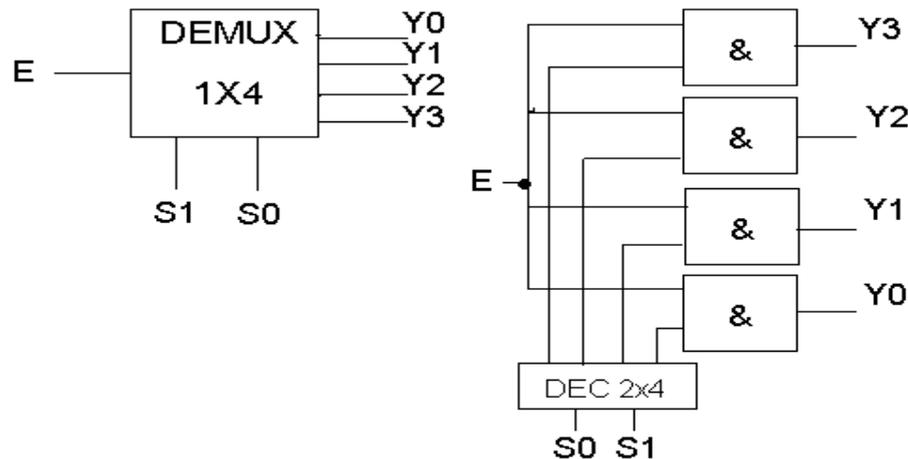


Figura 5.25: Multiplexadores e demultiplexadores 4x1

3. Escreva um programa de CLP que realiza o DEMUX 1 para 4.
4. Implemente um circuito lógico e um programa de CLP que realize a função de um DEMUX 1 para 8.
5. Um sistema composto de 6 motores precisa ser acionado não ordem M1, M2, M3, M4, M5, M6. O desligamento deve ser realizado ao mesmo tempo para todos os motores. Desenhe um diagrama de blocos para realizara esta função. Utilizar Mux/Demux adequados.

6. IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO COMBINACIONAIS

Os sistemas de automação industrial são compostos , basicamente, de:

- Sensores;
- Atuadores;
- Dispositivos de controle.

Os circuitos com contatos se comportam da mesma maneira que os circuitos lógicos com componentes eletrônicos. Em automação é usual o uso de contatos na elaboração de projetos. Todas as propriedades da lógica booleana são válidas para circuitos com chaves.

Exercício resolvido:

Um conjunto de 3 motores, A, B e C, deve possui um intertravamento de tal forma que prioridade de trabalho seja:

- O motor A deve ter prioridade sobre os motores B e C, ou seja, quando A é ligado os motores B e C são desligados automaticamente;

- O motor B possui prioridade sobre o motor C, isto é, quando B é ligado C é desligado;
- O motor C só pode estar ligado se A e B estiverem desligados.

Construa a tabela verdade para este sistema. Em seguida faça as simplificações possíveis e após construa um circuito com contatos representando o sistema. Fazer também um programa de CLP e de computador simulando o processo.

Solução:

Os problemas que envolvem lógica, primeiramente precisam ser criteriosamente analisados. O diagrama abaixo representa a situação do problema.

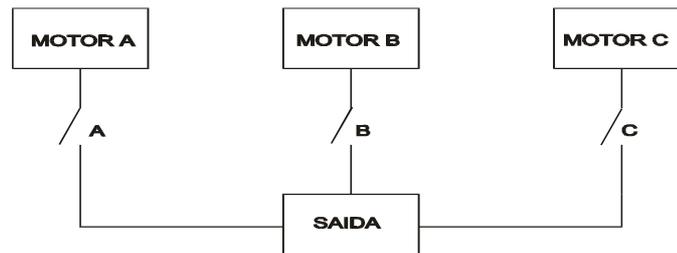


Figura 6.1: Diagrama de sistema de acionamento de máquinas

As seguintes convenções são feitas para análise deste problema:

- Variáveis de entrada (Motores A, B e C): desligado = 0 e ligado = 1;
- Saídas (A, B, C): Chave aberta = 0 e chave fechada = 1;

A tabela verdade do sistema pode ser feita assim:

Situação	M A	M B	M C	A	B	C
0	0	0	0			
1	0	0	1			
2	0	1	0			
3	0	1	1			
4	1	0	0			
5	1	0	1			
6	1	1	0			
7	1	1	1			

Falta preencher os campos referentes as saídas. Da análise do enunciado do problema a tabela completa fica da seguinte maneira:

Situação	M A	M B	M C	A	B	C
0	0	0	0	X	X	X
1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	0
3	0	1	1	0	1	0
4	1	0	0	1	0	0

5	1	0	1	1	0	0
6	1	1	0	1	0	0
7	1	1	1	1	0	0

Como 1 na saída representa motor ligado, nota-se claramente as prioridades solicitadas no problema: Se o Motor A estiver ligado, os outros dois devem estar desligados. Se o Motor B estiver ligado, desde que o Motor A esteja desligado, o Motor C não pode estar ligado. O Motor C só pode estar ligado se os outros dois estiverem ligados. A condição X é irrelevante, isto é, ela não é considerada porque nesta condição os três motores estão desligados.

O primeiro passo é a obtenção da função lógica do sistema para cada saída. Estas podem ser obtidas através dos minitermos ou maxitermos. Utilizando os minitermos tem-se:

Saída A:

$$A = MA.MB.MC + MA.MB.MC + MA.MB.MC + MA.MB.MC$$

Aplicando as propriedades para simplificação:

$$A = MA.MB.MC + MA.MB.MC + MA.MB.MC + MA.MB.MC$$

Resultado bastante óbvio, basta analisar a tabela verdade.

Saída B:

$$B = MA.MB.MC + MA.MB.MC$$

Simplificando:

$$B = MA.MB.MC + MA.MB.MC$$

Para a saída C:

$$C = MA.MB.MC$$

Sem nenhuma possibilidade de simplificação.

De posse das três equações de saída pode-se construir o circuito lógico.

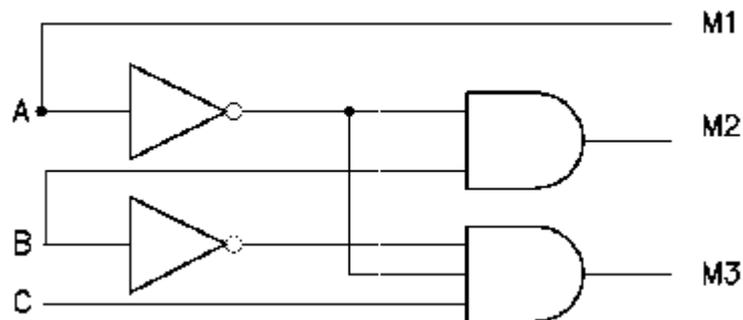


Figura 6.2: Diagrama lógico do sistema de acionamento de máquinas

O mesmo circuito poderia ser implementado com contatos mecânicos. Neste caso a resposta poderia ser essa:

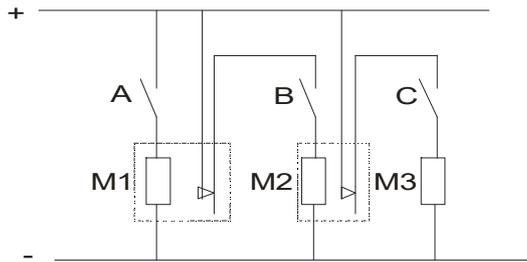


Figura 6.3: Diagrama lógico do sistema de acionamento de máquinas com contatos

Nota-se que as condições impostas no enunciado do problema estão cumpridas.

As chaves A, B e C poderiam ser de qualquer modelo com 1 contato normalmente aberto e do tipo liga desliga, tais como:

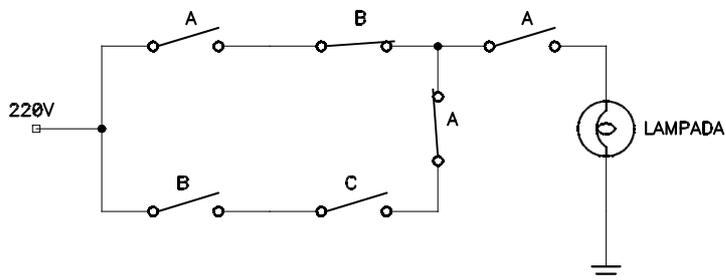


Os relés também poderiam ser de qualquer tipo, mas, usualmente poder-se-ia usar contatores com contatos normalmente fechados, tais como:



6.1. EXERCÍCIOS GERAIS DE AUTOMAÇÃO COMBINACIONAL

1. Construa a função lógica do circuito de contatos abaixo. Faça as possíveis simplificações e refaça o circuito simplificado. Notar que os contatos com a mesma designação pertencem ao mesmo componente, ou seja, são acionados todos em conjunto.



Solução:

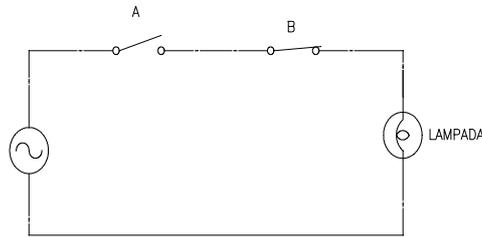
$$L = (A.B + A.B.C).A$$

$$L = A.A.B + A.A.B.C$$

$$L = A.B + 0$$

$$L = A.B$$

O novo circuito simplificado fica assim:



As duas chaves utilizadas, A e B poderiam ser, por exemplo, chaves dos seguintes tipos:



2. Determinar a função lógica, o circuito lógico e escrever o programa para CLP e para computador de um dispositivo de controle composto de três sensores A, B e C que deve ligar uma lâmpada quando apenas um dos canais emitir sinal.

3. Determinar a função lógica, o circuito lógico e escrever o programa, para CLP e computador, de um dispositivo de controle composto de três sensores A, B e C que deve ligar uma lâmpada somente quando houver um número par de sensores enviando sinal.

4. Desenvolva um circuito lógico, escreva um programa para CLP e outro para computador, depois, se possível faça simplificações e mostre o novo circuito lógico e os novos programas, de um sistema com 4 entradas, A, B, C e D e 2 saídas, F1 e F2 de forma que:

- A saída F1 esteja ativa somente se as entradas A, C e D estiverem ativas;
- A saída F2 esteja ativa somente se as entradas A, B e D estiverem ativas;
- Se ocorrer a condição de C e D estarem ativas ao mesmo tempo nenhuma das saídas pode estar ativa;
- Se as 4 entradas estiverem ativas ao mesmo tempo as duas saídas devem estar ativas.

5. Uma máquina possui 3 motores, M1, M2 e M3. Esses motores devem sempre ser ligados na ordem 1-2-3, ou seja, o M2 não liga se M1 não estiver ligado, M3 não liga se M2 não estiver ligado. No desligamento eles devem seguir sempre a sequência, primeiro desliga M3, depois M2 e finalmente M1.

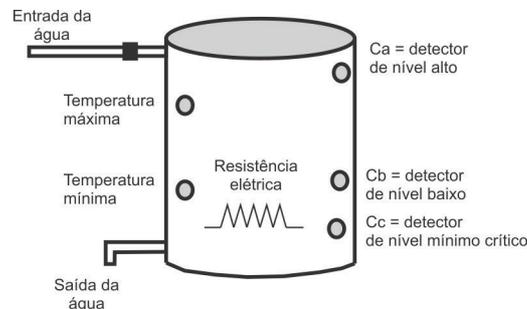
6. Dado o diagrama de contatos abaixo, explique o que ele realiza e após escreva um programa de CLP que realiza esta função.

7. Um técnico em laboratório químico possui quatro produtos químicos A, B, C e D, que devem ser guardados em um ou outro depósito. Por conveniência, é necessário mover um ou mais produtos de um depósito para o outro de tempos em tempos. A natureza dos produtos é tal que é perigoso guardar B e C juntos, a não ser que A esteja no mesmo depósito. Também é perigoso guardar C e D juntos se A não estiver no depósito. Escreva uma expressão para a variável lógica Z (suponha uma lâmpada) que seja adicionada sempre que exista uma situação perigosa em qualquer um dos depósitos. Projete o circuito equivalente.

8. Elaborar um diagrama de Contatos em que a saída seja 1 para números de 4 bits menores ou iguais a 5.
9. Em instalações elétricas, às vezes, há necessidade de comandar o acionamento de uma lâmpada em vários pontos diferentes. Neste caso, lança-se mão de um sistema múltiplo de interruptores paralelos e intermediários. Construa um diagrama de Contatos, oriundo de uma tabela-verdade, que irá comandar uma lâmpada por três pontos independentes.
10. Esquematizar um Diagrama de contatos capaz de detectar números binários de 4 bits, que sejam maiores do que 4 e menores do que 14.
11. Uma prova de Acionamentos Industriais é composta por três questões: A, B, e C, com os seguintes pesos: 30, 40 e 30%. A frequência do aluno em sala de aula também é necessária para sua aprovação. Construa um diagrama de contatos que indique se o aluno foi aprovado ou não. Para aprovação, é necessário que ele obtenha 75% de frequência nas aulas e 60% no referido teste.
12. Elabore um programa que simule um conversor de sinais BCD para sete segmentos, a fim de acionar um display de 1 dígito.
13. Em uma determinada empresa, os membros do Conselho de Administração detêm todo o capital que está assim distribuído: A detém 45%, B detém 30% , C detém 15% e D detém 5%. Cada membro tem um poder de voto igual a sua participação no capital. Para que uma moção (proposta) seja aprovada, é necessário que o total de votos seja superior a 50%. Pediram para projetar um sistema de votação eletrônico para a empresa. Cada membro deve possuir uma chave na mesa de reuniões, por meio da qual possa votar “sim” ou “não”. Se o total de votos ultrapassar 50%, uma lâmpada deverá acender, indicando que a medida em votação foi aprovada. Construa a tabela-verdade e o respectivo Diagrama de contratos para esse sistema.
14. Projete um circuito lógico para acionar um relé, sempre que uma ou as três chaves estiverem fechadas.
15. Elabore um circuito lógico para as combinações de quatro variáveis em que uma lâmpada seja acesa sempre que o número de bits corresponda a um decimal que somado a ele mesmo não exceda 21.
16. Um sinal lógico aceita como entrada dois números de dois bits $A = A_1A_0$ e $B = B_1B_0$ e gera, como saída, um número de 4 bits $P = P_3P_2P_1P_0$ que é o produto numérico de A e B. Monte a tabela-verdade e o respectivo diagrama lógico booleano para os 4 bits de P.
17. Os ônibus partem do terminal de hora em hora, a menos que o número de passageiros seja inferior a 10, ou o motorista chegue atrasado. Quando há menos de 10 passageiros, o ônibus espera 10 minutos ou até que o número de passageiros atinja 10. Se o ônibus partir na hora certa, poderá trafegar a 80km/h. Caso tenha que partir atrasado ou se chover, só poderá deslocar-se a 40km/h. Em que condições o ônibus poderá trafegar a 80km/h? Monte o Diagrama de Contatos.
18. Um investidor propôs a seguinte técnica para ganhar dinheiro no mercado de capitais: 1º - se o dividendo pago por uma ação for maior que o pago por um título de dívida, compre a ação; 2º - se o dividendo pago por um título de dívida for maior ou igual ao pago por uma ação, compre o título, a menos que a taxa de crescimento da ação tenha sido, no mínimo, de 25% ao ano, durante os últimos cinco anos; neste caso, adquira a ação. O investidor pediu um programa que lhe indicasse o que comprar. O programa deve ter três chaves: uma para a remuneração da ação maior, uma para a

remuneração do título e outra para a taxa de crescimento por 25%, e duas lâmpadas: uma para acender caso seja escolhida uma ação e outra para acender caso seja o título escolhido. Projete o programa utilizando um Diagrama de Contatos.

19. Um tanque de aquecimento de água possui um sistema de controle de nível e de temperatura automático que opera da seguinte maneira:



- A temperatura deve ser mantida sempre dentro da faixa de 95°C a 100°C.
- Existem dois sensores de temperatura que detectam os valores de temperatura mínimo e máximo, respectivamente.
- Sempre que o sensor de mínima temperatura for ativado, ele aciona um contator e este aciona uma resistência de aquecimento.
- Esse sensor de mínima só irá desligar quando a temperatura atingir o ponto de máxima temperatura.
- No ponto de máxima temperatura há outro sensor que quando ativado desliga a resistência de aquecimento ligada pelo sensor de mínima temperatura.
- O sensor de máxima temperatura ficará ativado até que a temperatura atinja o valor mínimo permitido.
- Quando isso acontecer o sensor de mínima temperatura ligará novamente a resistência e assim o ciclo se repetirá sempre.
- O nível de água no tanque é controlado por três sensores de nível. Dois deles são os de nível máximo e mínimo e operam de maneira análoga aos da temperatura, porém, considerando como parâmetro de controle o nível de água dentro da caldeira e não a temperatura.
- Sempre que o nível mínimo for atingido é aberta uma eletroválvula que permite a entrada de mais água.
- Caso o nível máximo for atingido, a eletroválvula de alimentação é fechada.
- O terceiro sensor de nível está instalado abaixo do sensor de nível mínimo. Se este nível, abaixo do mínimo permitido, for atingido, o sensor acionará um alarme alertando que não há água disponível para ajustar o nível.

Com base nas informações faça um dispositivo lógico para a caldeira de modo que a temperatura e o nível sejam controladas de forma correta.

7. BIBLIOGRAFIA:

Os textos apresentados neste trabalho são notas de aula do Curso de Engenharia de Produção da UNIDAVI (Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí – Rio do Sul (SC)) e complementados com textos retirados da internet.

Pedimos desculpas por não poder citar todos os autores.