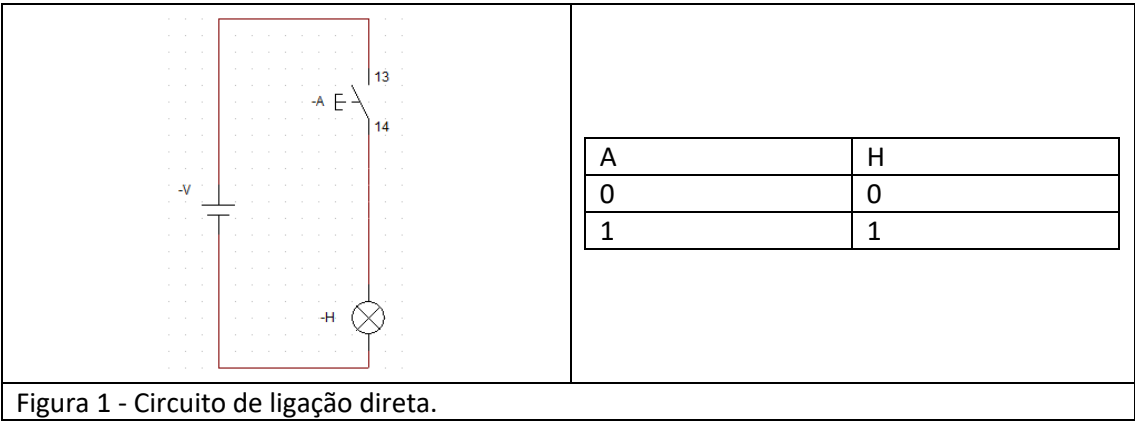


1. Circuitos Digitais

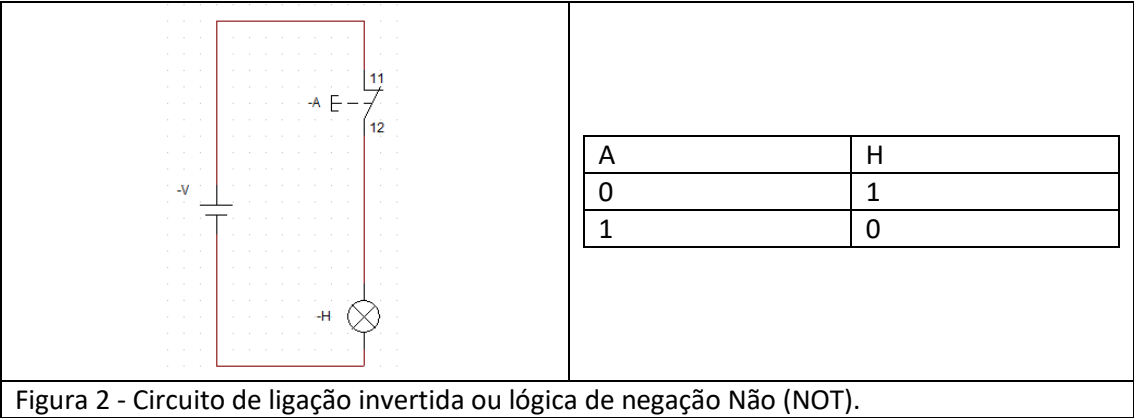
Os sistemas desenvolvidos para a automação industrial têm sua base fundamentada nos circuitos digitais. Com o auxílio da álgebra de Boole, problemas associados à natureza lógica puderam ser solucionados de forma matemática. Basicamente, o conceito lógico se dá pela definição de dois estados, 0 (zero) e 1 (um), os quais estão intimamente correlacionados com o sistema binário de numeração. Qualquer variável booleana somente poderá assumir um desses estados. Vale ressaltar que o valor do estado não representa um dado quantitativo, e sim, a situação na qual a variável se encontra. Em outras palavras, o estado lógico 0 representa um contato aberto, um relé não energizado, um transistor em corte (não condução), etc.; em contrapartida, o estado lógico 1 representa um contato fechado, um relé energizado, um transistor em saturação (em condução).

Basicamente, um circuito digital é definido pela combinação lógica de três portas lógicas básicas: E (AND), OU (OR), Não (NOT). Elas serão detalhadas na sequência enfatizando sua representação através de diagramas de contato e de montagem.

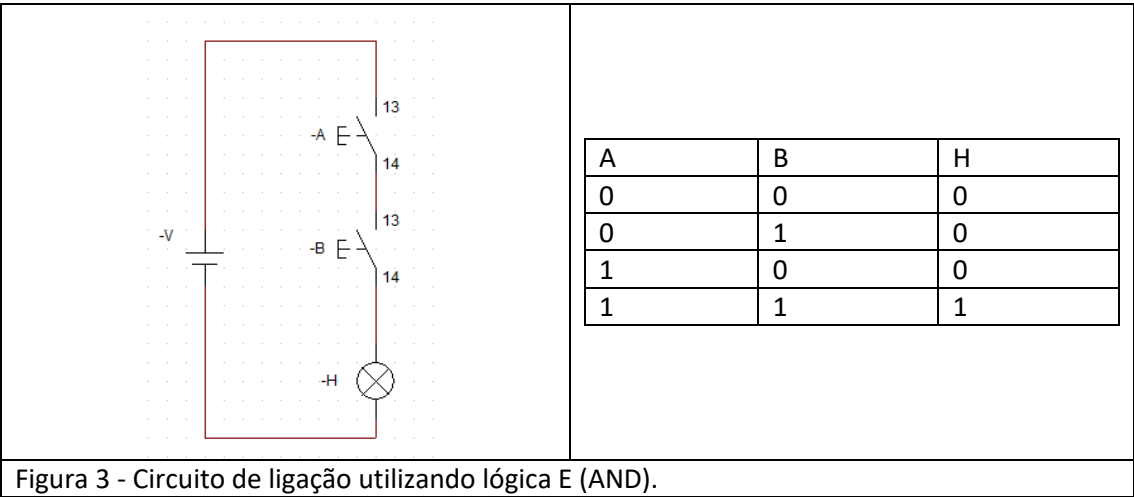
Um circuito direto de acionamento de uma carga é apresentado na Figura 1. Verifique que ao acionar a chave A, faz-se o acionamento da lâmpada H. Quando a chave está aberta, o estado lógico é 0, e a lâmpada está apagada. Quando a chave é fechada, a lâmpada é ligada e sua estado lógico passa a ser 1. Pode-se concluir que o estado da saída é diretamente igual ao estado da entrada.



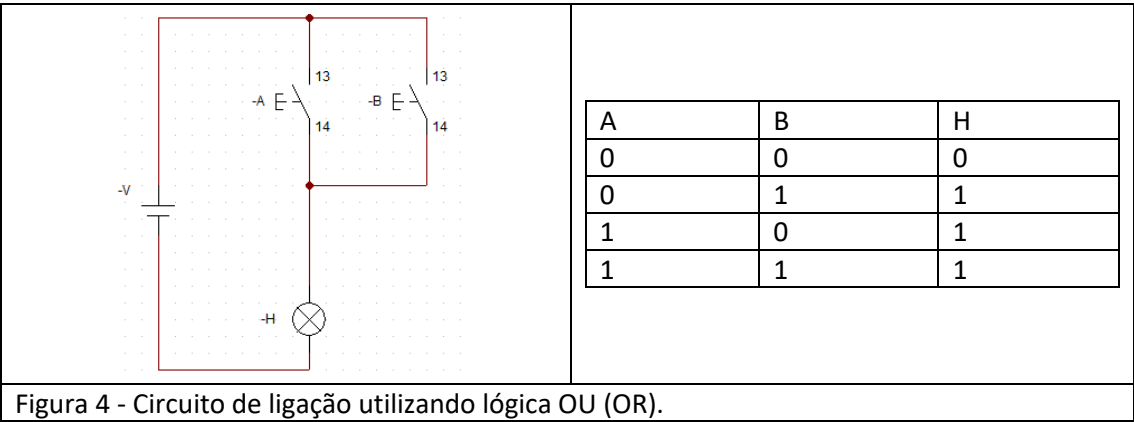
Na Figura 2, verifica-se um circuito de desligamento da saída através do acionamento da entrada. Nesse caso, ao acionar a chave A (estado 1), a lâmpada desliga (estado 0). Por sua vez, enquanto a chave não é acionada (estado 0), a lâmpada permanece ligada (estado 1). Portanto, o estado da saída é inverso ao estado da entrada. Entende-se tal circuito com um circuito de negação ou lógica Não (NOT).



A lógica E (AND) é apresentada na Figura 3. Nela somente é possível ativar a lâmpada (estado 1), quando ambas as chaves A e B estiverem ativadas. Qualquer outra combinação faz com que a saída permaneça em estado desligado.



Na Figura X, pode-se verificar que o acionamento da lâmpada se dá tanto pelo acionamento da chave A, quanto da chave B. Em outras palavras, ao ativar a chave A ou a B, a lâmpada assume estado lógico 1. Portanto, a figura ilustra um circuito lógico OU (OR).



1.1. Circuitos Lógicos

A associação de chaves é utilizada para a criação de circuitos lógicos. A Figura 5 ilustra uma combinação de chave, que apresenta lógica em redundância. Ao utilizar os conceitos da álgebra de Boole, pode-se fazer uma simplificação dos contatos. Em suma, a expressão lógica é dada por $L = A + (A + B).(\bar{A} + \bar{B})$, cuja simplificação resulta em $L = A + B$. As etapas intermediárias são

$$L = A + A.\bar{A} + B.\bar{A} + A.\bar{B} + B.\bar{B} = A + A.\bar{B} + B.\bar{A} = A + B.$$

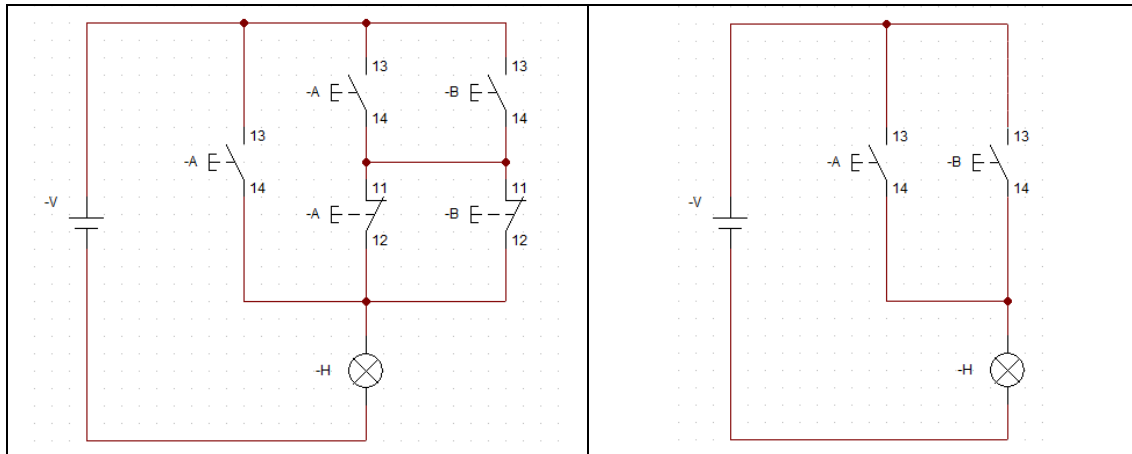


Figura 5 - Circuito lógico representado por associação de contatos.

Uma forma de auxiliar na solução de problemas complexos com lógica digital é a utilização de variáveis auxiliares. Na Figura 6, as variáveis auxiliares são representadas pelos relés X e Y. A lógica de acionamento da lâmpada L é fracionada em três circuitos, que interagem entre si. As expressões parciais são $X = A + \bar{B}$, $Y = \bar{A}.B$ e $L = C.\bar{X} + \bar{Y}$. Ao substituir X e Y em L, tem-se

$$L = C.\overline{A + \bar{B}} + \overline{\bar{A}.B} = C.(A + \bar{B}) + A + \bar{B} = A + A.C + \bar{B} + \bar{B}.C = A + \bar{B} + C.$$

A álgebra de Boole é utilizada para simplificação de circuitos digitais, porém não se tem a garantia de uma expressão final na forma mais minimizada. Para tal, faz-se a utilização de mapas de Karnaugh, os quais são vistos no conteúdo de sistemas digitais, para simplificação de um conjunto de N variáveis de entrada.

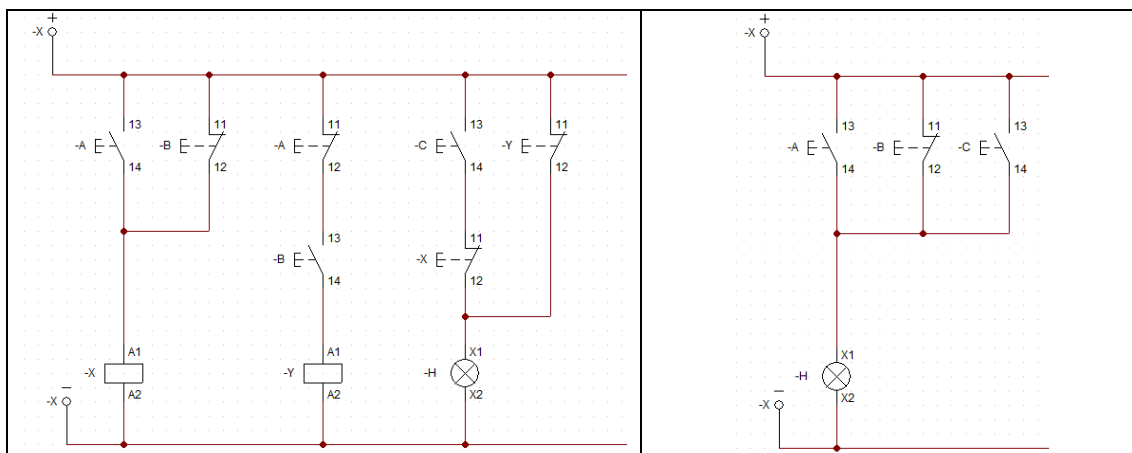


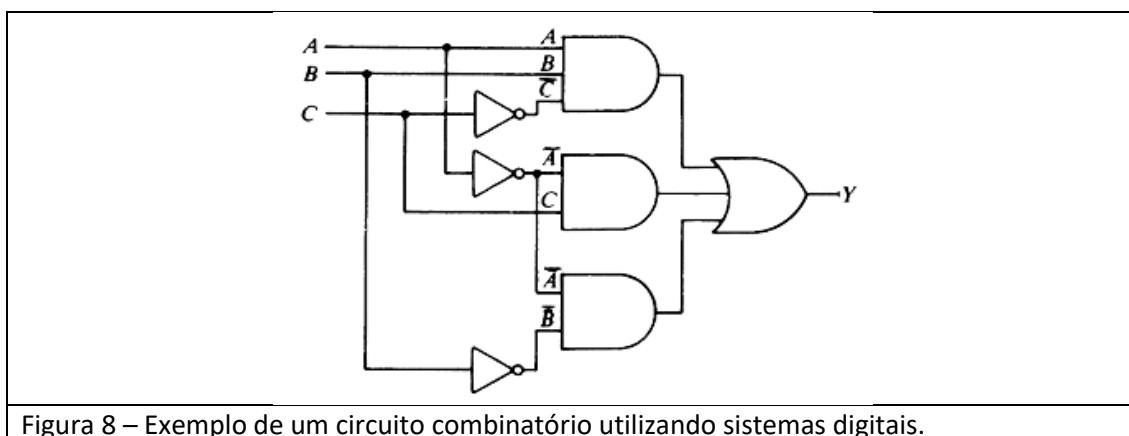
Figura 6 – Circuito lógico com a presença de contatos auxiliares.

1.2. Circuitos Combinatórios

Entende-se por circuitos combinatórios, aqueles cujas saídas dependem somente das entradas no instante de tempo observado. Em outras palavras, um circuito sequencial não possui com entrada uma realimentação de uma saída. Tal característica indica um circuito com memória de estado. A Figura 7 ilustra um sistema combinatório.

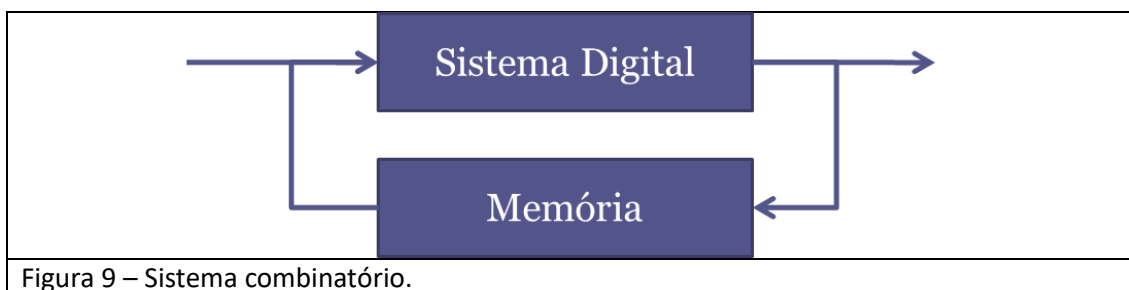


O sistema digital apresentado na Figura 8 é também um exemplo de um circuito combinatório. Note que para tal sistema, é possível determinar uma expressão de saída, a qual depende exclusivamente das entradas previamente estabelecidas. Em outras palavras, a saída Y é uma combinação lógica direta das entradas A, B e C.



1.3. Circuitos Sequenciais

Em contraste com os circuitos explanados na seção anterior, os circuitos sequenciais são aqueles cujas saídas não dependem exclusivamente das entradas no instante de tempo observado, mas também das saídas no instante anterior. A Figura 9 ilustra um sistema sequencial. Note que há uma realimentação de estados, o que caracteriza a existência de algum elemento de memória no circuito.



Em sistemas digitais, os elementos biestáveis são considerados dispositivos de memória. Eles possuem dois estados estáveis na saída, os quais são alterados pela ação de um pulso externo em sua entrada. O pulso altera o estado lógico de um para outro. É importante mencionar que ao ser alterado, o elemento retém tal estado, ou seja, o biestável permanece em tal estado

lógico até que outro estímulo seja dado em sua outra entrada. A Figura 10 ilustra um elemento biestável genérico. Para um biestável tipo RS (Set/Reset), entende-se que as entradas E1 e E2 sejam reset (R) e set (S), respectivamente.



A Tabela 1 demonstra as possibilidades de entradas e saídas de um biestável tipo RS. Quando a entrada S é acionada, a saída Q é imediatamente habilitada. Ao acionar somente a entrada R, a saída Q é instantaneamente desabilitada. Caso ambas as entradas não sejam acionadas, a saída Q apresentará o valor observado anteriormente. Note para a situação de ambas as entradas acionadas não é permitida para este elemento. Caso tal situação, não será possível determinar o estado da saída Q.

Tabela 1 – Tabela verdade de um biestável tipo RS.

R	S	Q[n+1]	Estado
0	0	Q[n]	Retém estado anterior
0	1	1	Seta
1	0	0	Reseta
1	1	X	Não permitido

2. Controle Sequencial

Em automação industrial, o conceito de controle sequencial é estabelecido a todo e qualquer sistema, cujo funcionamento segue uma sequência de passos em um tempo e uma ordem predeterminada. Ao tomar o exemplo de um sistema de aquecimento mostrado na Figura 11, tem-se a seguinte sequência de eventos para seu devido funcionamento:

- i. Encher o tanque com matéria-prima até o nível predefinido;
- ii. Aquecer o conteúdo do tanque, com uso de vapor, agitando até uma dada temperatura;
- iii. Dar vazão à matéria aquecida.

É possível notar que a ocorrência do evento ii deve ser posterior à ocorrência de i e deve preceder iii. Logo, o funcionamento do sistema ocorre em função de um nível de precedência de ações.

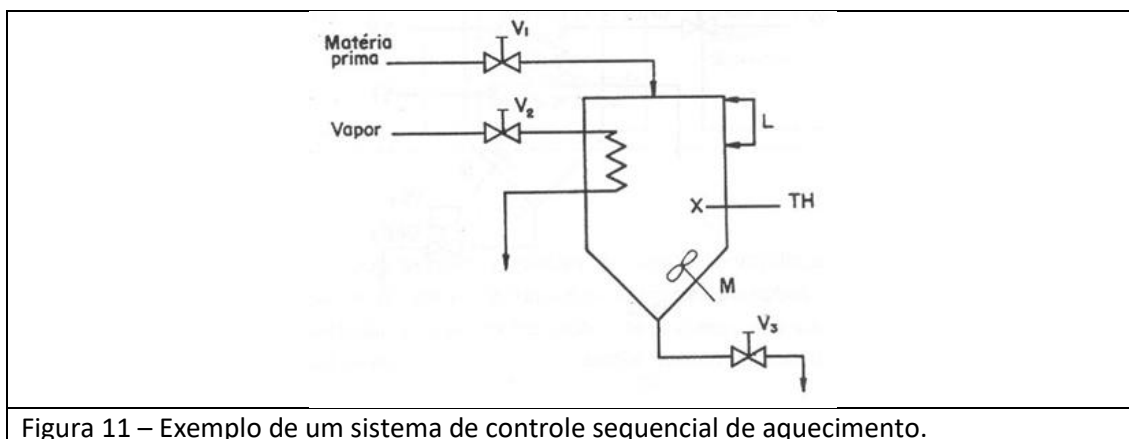


Figura 11 – Exemplo de um sistema de controle sequencial de aquecimento.

A sequência de eventos apresentada está dada em alto nível, ou seja, não se sabe a fundo o princípio operacional do sistema, o qual pode ser detalhado sequencialmente:

- i. Abrir a válvula manual V_1 , para que a matéria chegue ao tanque;
- ii. Fechar V_1 , quando a matéria atingir o nível predeterminado mostrado no indicador L;
- iii. Abrir a válvula manual V_2 para aquecimento com passagem de vapor pelo tubo e, simultaneamente, ligar o motor M fazendo girar o homogeneizador;
- iv. Quando a indicação do termômetro TH atingir certo valor, a passagem de vapor deve ser interrompida, ao fechar V_2 , e a agitação deve cessar, ao desabilitar M;
- v. Dar vazão à matéria aquecida abrindo a válvula V_3 ;
- vi. Quando o tanque esvaziar, fechar V_3 .

Para o princípio de funcionamento recém detalhado, são necessários os elementos indicados na Figura 11. Por sua vez, caso o controle sequencial seja realizado de forma automática, os elementos ilustrados na Figura 12 devem ser levados em consideração. Tendo os em mente, pode-se detalhar o funcionamento automatizado como:

- i. Apertando-se uma botoeira de partida, o processo inicia com abertura da válvula solenoide VS_1 e a chegada de matéria ao tanque;
- ii. Quando for atingido certo nível de matéria, VS_1 fecha devido à atuação do sensor de nível SN;
- iii. Fechando-se VS_1 , a chave de fluxo CFC1 abre VS_2 para aquecimento e também liga o motor M;
- iv. Quando atingir temperatura, VS_2 fecha e motor M para devido à atuação do sensor de temperatura ST;
- v. Fechando-se VS_2 , CFC2 abre VS_3 , dando vazão à matéria e acionando um temporizador;
- vi. Após certo tempo, VS_3 fecha e aciona CFC3 que irá abrir VS_1 , recomeçando o processo;
- vii. O processo será interrompido apertando uma botoeira de parada, quando VS_3 estiver terminando de fechar.

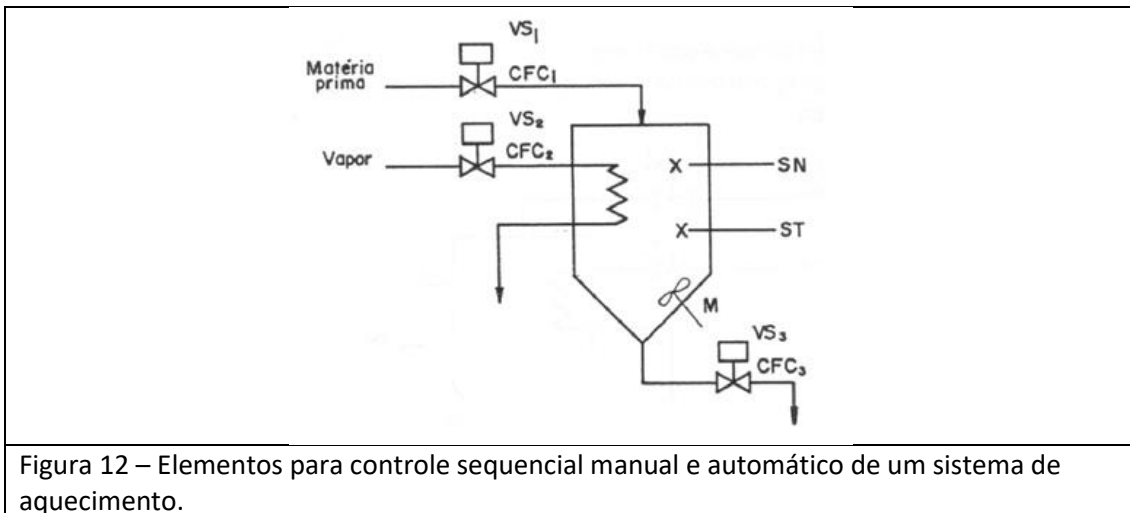


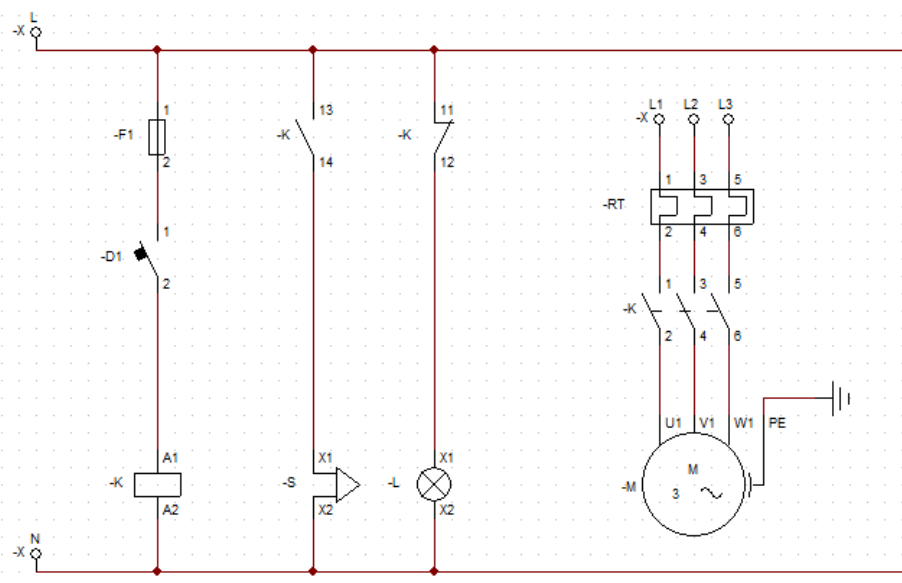
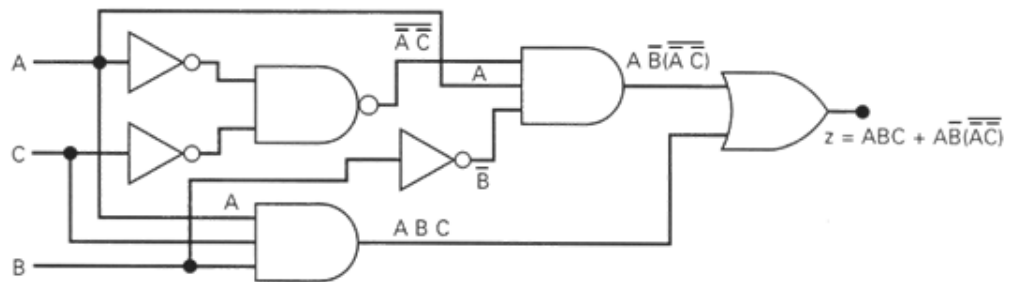
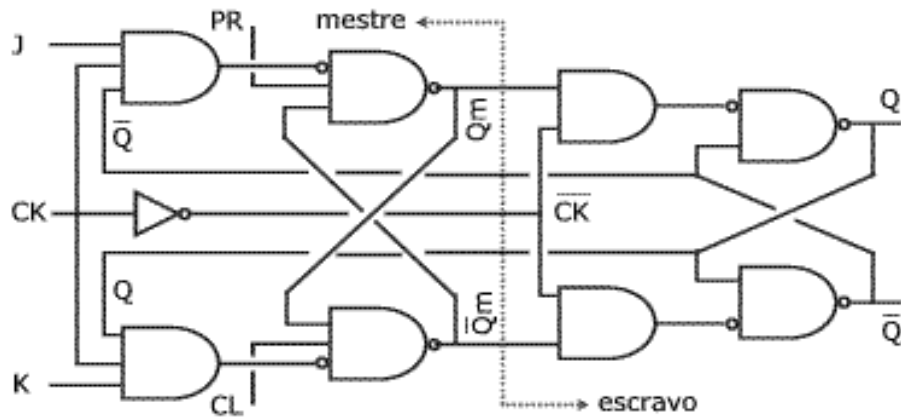
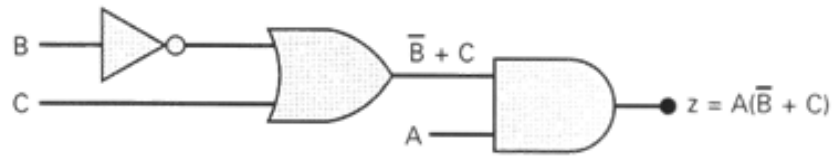
Figura 12 – Elementos para controle sequencial manual e automático de um sistema de aquecimento.

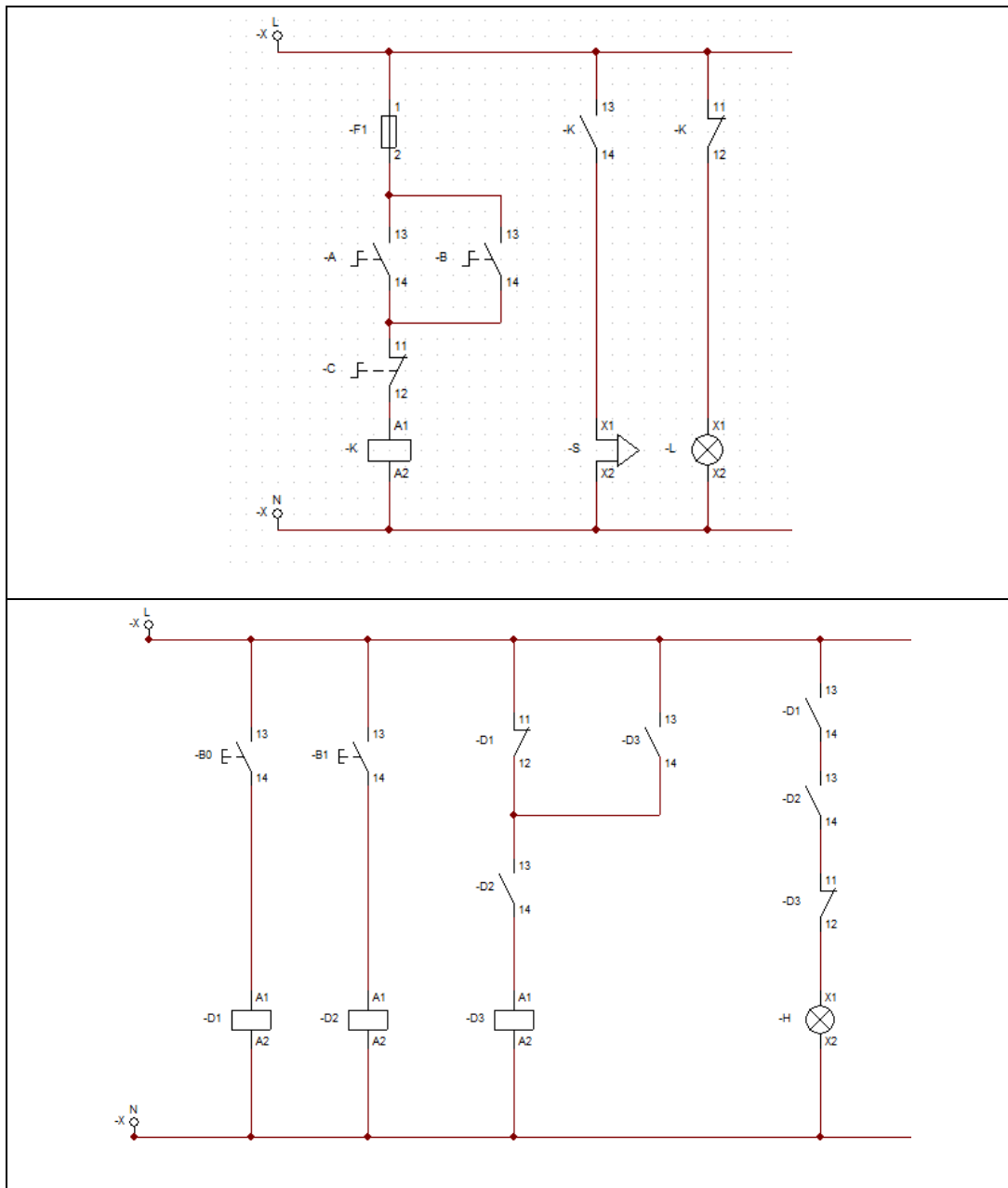
Após o nível de detalhamento apresentado para um sistema de aquecimento, pode-se concluir que o controle sequencial tem como características:

- i. A sequência de operações segue uma ordem predeterminada do sinal de entrada até o sinal de saída;
- ii. O sinal de controle é transmitido obedecendo certas condições durante a execução da sequência;
- iii. O passo seguinte é executado dependendo do resultado anterior.

Exercícios

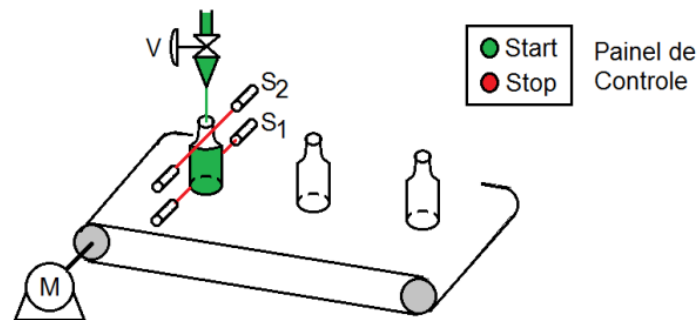
- 1) Determine se os circuitos a seguir são combinatórios ou sequenciais. Justifique sua resposta.





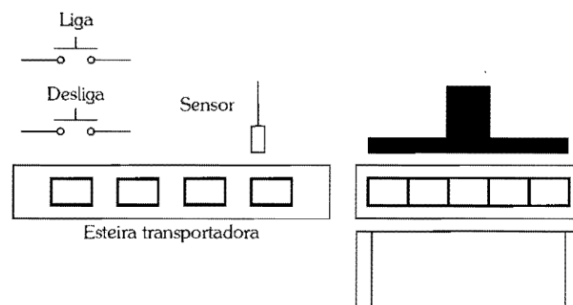
- 2) Para os problemas de automação a seguir, apresente as precedências das ações que irão configurar um controle sequencial.
- O acionamento automático de um portão eletrônico de garagem de um edifício. Considere que:
 - O botão do controle remoto é responsável acionamento do motor acoplado ao portão;
 - O motor gira no sentido horário para abrir e no anti-horário para fechar;
 - Há sensores para indicar que o portão está completamente aberto ou completamente fechado.
 - O setor de enchimento de garrafas é apresentado na figura abaixo. Considere que:
 - Os sensores S1 e S2 percebem a presença da garrafa e o nível cheio, respectivamente.

- ii) O motor M acoplado à esteira é responsável pelo transporte das garrafas.
- iii) A válvula V libera o líquido que irá encher as garrafas.
- iv) O botão Start e Stop inicia e para o processo, respectivamente.



- c) Um setor de uma fábrica é responsável por transportar produtos em uma linha de montagem, contar os produtos e realizar o empacotamento. Para iniciar o processo, é pressionado o botão liga, o qual aciona uma esteira de transporte. Um sensor é utilizado para contagem dos produtos. Quando forem contados cinco produtos, uma empacotadora deve ser acionada por um período de dois segundos. Na sequência, o transporte dos produtos é reiniciado. Considere que

- i) O botão de desliga para o processo.
- ii) A esteira somente funciona em um sentido de transporte
- iii) O sensor percebe a presença de um objeto na esteira.
- iv) A empacotadora é responsável pela expedição do produto ao próximo setor.



Gabarito

1)

- a) Circuito Combinatório. É possível observar que a saída do circuito, é uma combinação das entradas A, B, e C. Além disso, não existe qualquer realimentação após a saída.
- b) Circuito Sequencial. Neste circuito existe realimentações após a saída, como, por exemplo, de Q em \bar{Q} e de Qm em $\bar{Q}m$.
- c) Circuito Combinatório. É possível observar que a saída do circuito é uma combinação das entradas $A, \bar{A}, B, \bar{B}, C$ e \bar{C} . Além disso, não existe qualquer realimentação após a saída.
- d) Circuito Combinatório. É possível observar que ao acionar a chave D1, ocorre o acionamento de K. Como consequência, ocorre o acionamento indireto de S, L e M. Porém vemos que não há um contato de K, que o mantenha ligado. Logo, não há um elemento de memória.
- e) Circuito Combinatório. O acionamento de K liga S e desliga L. Mas note que para ligar K existe uma lógica combinacional dada por $K = (A + B) \cdot \bar{C}$. Portanto, a saída K somente depende da combinação das entradas A, B e C. Em adição, S e L são cargas ligadas (ou desligadas) indiretamente por K.
- f) Circuito Sequencial. Note o ramo cuja expressão lógica é $D3 = (\bar{D1} + D3) \cdot D2$. Como a saída D3 depende dela própria, observando que se faz necessário conhecer o estado de D3 em um instante de tempo passado. Portanto, há um elemento de memória e o circuito é sequencial.

2) Para os exercícios aqui propostos, há várias soluções. Entretanto, o sequenciamento das ações deve ser bem observado, para que o princípio de funcionamento do sistema seja respeitado.

a)

Detalhamento 1

- i) O sensor verifica se o portão está totalmente fechado, ou totalmente aberto;
- ii) O acionamento do botão liga o motor que gira no sentido horário se estiver fechado, e no sentido anti-horário caso esteja aberto;
- iii) O sensor verifica se o portão fechou ou abriu completamente, e desliga o motor quando um dos dois ocorrer.

Detalhamento 2

- i) Considere que o portão esteja inicialmente fechado. Logo, o sensor que detecta portão fechado está acionado.
- ii) Ao acionar momentaneamente o botão, o motor liga no sentido horário;
- iii) Quando o sensor de portão aberto é acionado, o motor desliga;
- iv) Ao acionar momentaneamente o botão, o motor liga no sentido anti-horário;
- v) Quando o sensor de portão fechado é acionado, o motor desliga.

b) Detalhamento

- i) O botão Start aciona o motor M;
- ii) O S1 percebe a presença da garrafa, desliga o motor e aciona a válvula V;
- iii) A válvula V libera o líquido para a garrafa;

- iv) Ao habilitar o sensor S2, detecta-se o enchimento completo da garrafa, desliga-se a válvula V e aciona-se o motor M, para reinício do processo de transporte;
- v) O botão Stop encerra o processo, desabilitando as saídas M e V.

c) Detalhamento

- i) O Botão Liga aciona a esteira;
- ii) O sensor percebe o objeto;
- iii) Após o sensor contabilizar cinco unidades do produto, a esteira para e aciona-se a empacotadora;
- iv) Após dois segundos, a empacotadora é desliga e os produtos passam para o próximo setor;
- v) A esteira é religada;
- vi) O Botão Desliga para qualquer etapa do processo, seja o transporte de produtos pela esteira ou a empacotadora.

3. Comandos Elétricos

Os comandos elétricos são processos eletroeletrônicos onde através de lógica de contatos é possível acionar máquinas elétricas e sistemas de automação, residencial ou industrial.

Eles são imprescindíveis no mundo atual com destaque para a área industrial tornando possível o controle de múltiplas máquinas e suas atividades, otimizando a produção, reduzindo preços e evitando desgaste de equipamentos.

Os comandos elétricos (Figura 1) são compostos, em sua maioria, por circuito de potência, onde estão as cargas, e circuito de comando, que contém a lógica de acionamento de dispositivos de manobra e proteção.

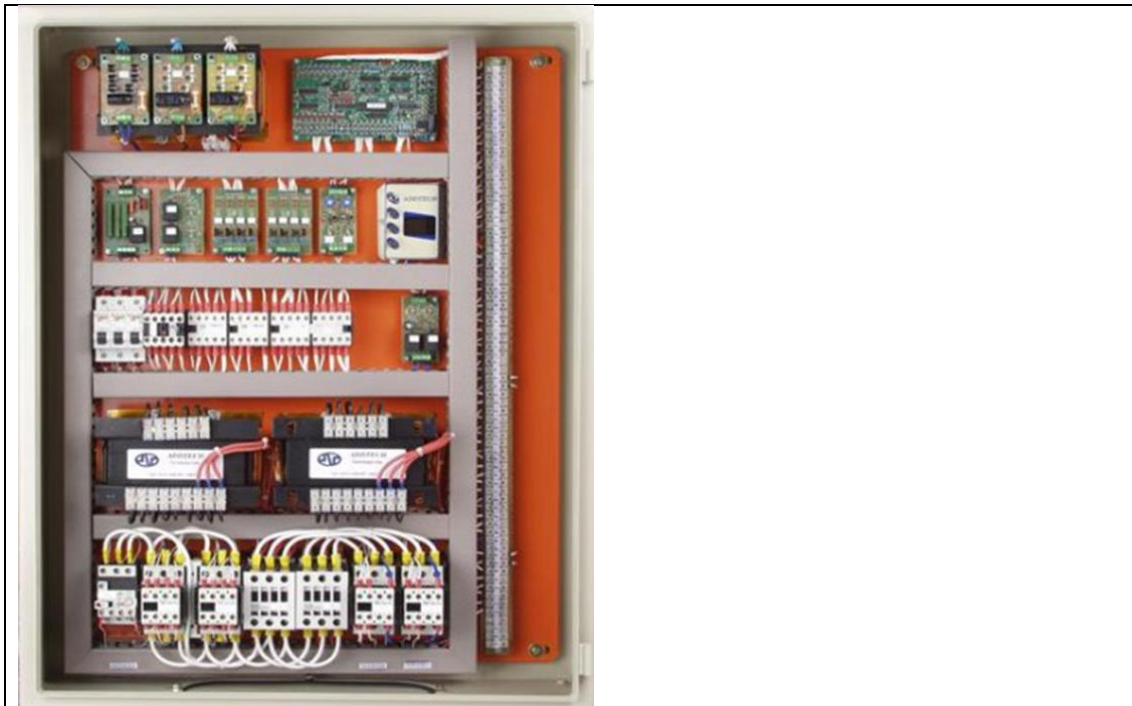
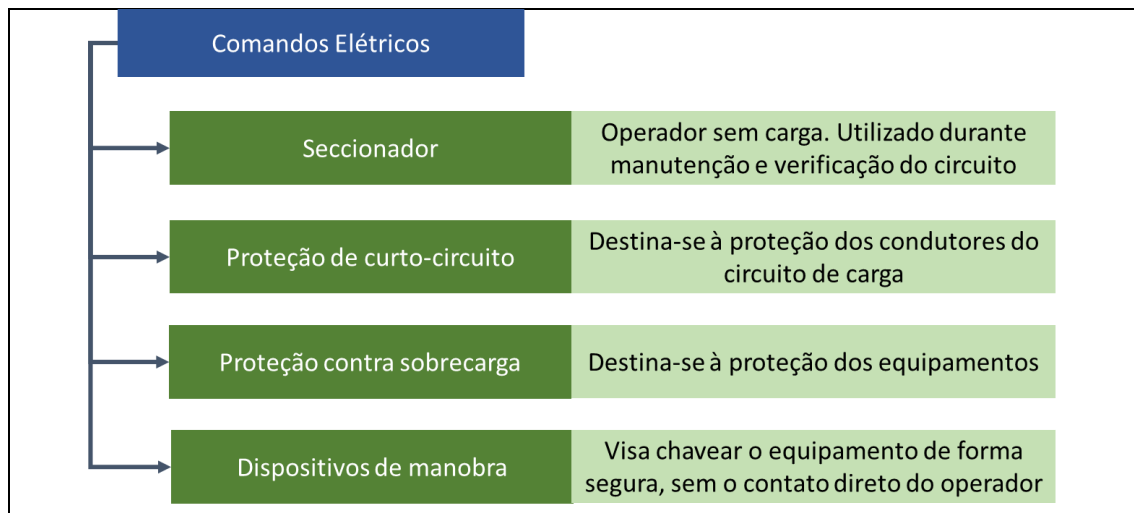


Figura 1: Comandos elétricos. (Fonte: <http://www.solucoesindustriais.com.br>)

Os comandos elétricos têm com objetivo proteger o operador e auxiliar na lógica de comando. Para realizar tais ações, utiliza-se dos componentes apresentados no quadro abaixo, os quais são essenciais em diagramas de comandos elétricos.



Dispositivos de manobra (comando) e sinalização:

- Botões – São usadas para acionamento manual e servem para energizar ou desenergizar contadores;
- Contadores – São dispositivos eletromecânicos, cuja função predominante é controlar a passagem de altas correntes;
- Sinalizadores – É um meio visual ou sonoro de chamar a atenção do operador para uma determinada situação.

Dispositivos de proteção:

- Fusíveis – Asseguram a proteção contra curto-circuito;
- Relés térmico – Asseguram a proteção dos equipamentos contra a sobrecarga;
- Disjuntores – Realizam a proteção contra curto-circuito e sobrecarga.

A Figura 2 ilustra os componentes básicos dos comandos elétricos em um diagrama monofásico.

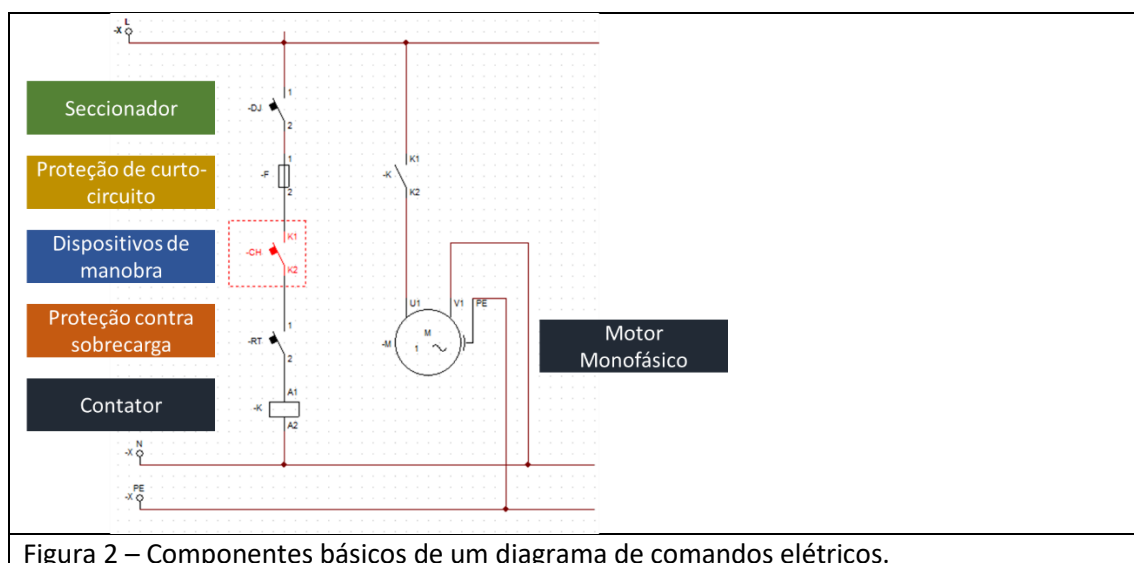


Figura 2 – Componentes básicos de um diagrama de comandos elétricos.

O CADe SIMU é um software criado por Juan Luis Villanueva Montoto com propósito educacional. Esse programa auxilia a criação e simulação de diagramas de comandos elétricos, através de uma interface simples e intuitiva, gratuita e que não requer instalação. Seus arquivos são gravados com extensão .CAD, e para abrir um arquivo já criado é necessário abrir o programa e no programa abrir o arquivo. A senha de acesso ao programa é 4962.

Um curso do software CADeSIMU está disponibilizado no endereço eletrônico abaixo

<https://cadesimu.club.hotmart.com/login>

sendo necessário somente efetuar o cadastro no site.

4.1. Tela Principal

A tela da Figura 3 é a tela principal do software, onde realiza-se a criação e simulação dos circuitos elétricos.

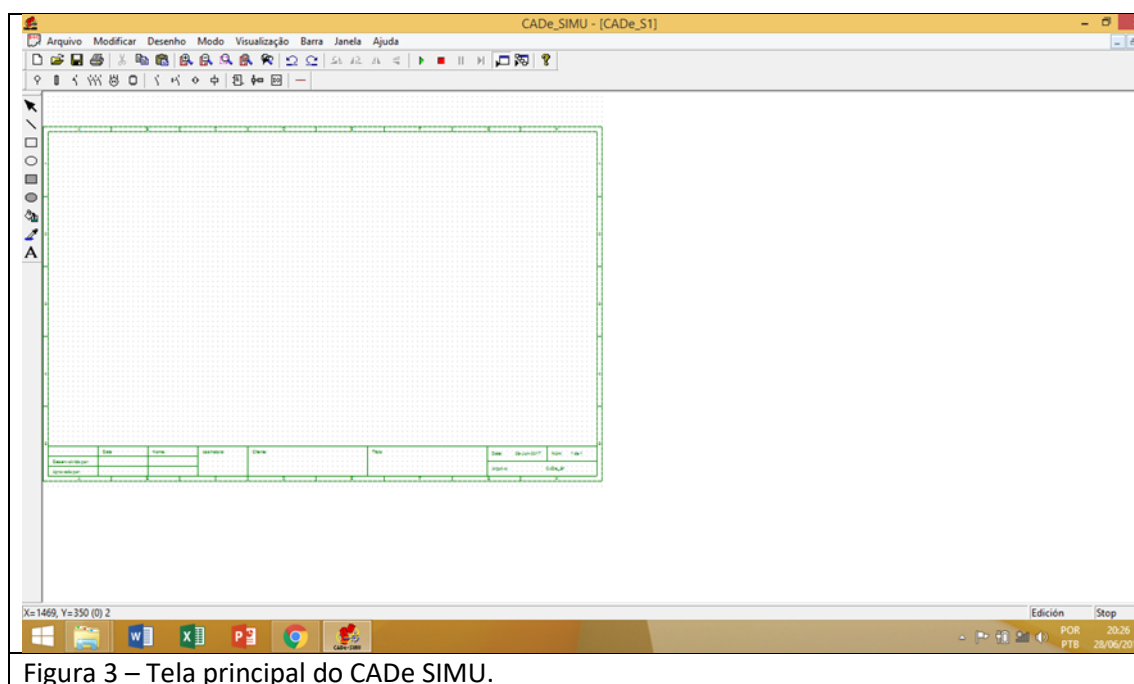


Figura 3 – Tela principal do CADe SIMU.

3.2. Barra de instruções

Nessa barra se encontram todos os comandos elétricos necessários para a criação dos circuitos (Figura 4).



Figura 4 – Barra de instruções.

Alimentação é usada para prover energia para seus componentes elétricos. Diversos tipos de alimentação estão disponíveis nessa aba, desde de alimentação em fase, neutro, terra e combinações entre eles, como mostra a Figura 5. A determinação de qual alimentação utilizar dependerá do projeto a ser desenvolvido.

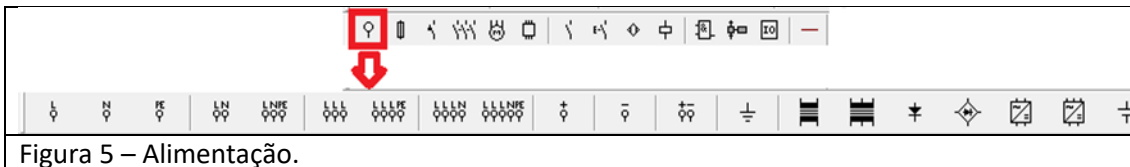


Figura 5 – Alimentação.

Fusível é um dispositivo de segurança que asseguram a proteção contra curto-circuito. O fusível é um elo de ligação por onde passa a corrente, ele aquece se a variação da corrente for acima do padrão para o qual foi projetado. Quando ocorre sobrecorrente, o elo fusível aquece e se funde, interrompendo a passagem de corrente elétrica, evitando assim danos às instalações e aos equipamentos. Por esta razão é sempre muito importante que a capacidade dos fusíveis seja sempre bem dimensionada, do contrário poderá haver queima da fiação, danos aos componentes eletrônicos e riscos de incêndio.

Fusíveis e seccionadores com fusíveis com 1, 2 ou 3 fases são encontrados na aba mostrada na Figura 6.



Figura 6 – Fusível.

Disjuntores são componentes adicionais de proteção e segurança. Tais dispositivos possuem uma composição mecânica responsável pelo seccionamento de circuitos, de modo que podem ser utilizados como elementos para se ligar e desligar circuitos e cargas.

Relé térmico é um dispositivo de proteção que é responsável por proteger os motores elétricos de possíveis anomalias, sendo a mais comum, o sobreaquecimento.

Como mostrado na Figura 7 pode-se encontrar diferentes tipos de disjuntores, interruptores automáticos e relé térmico.

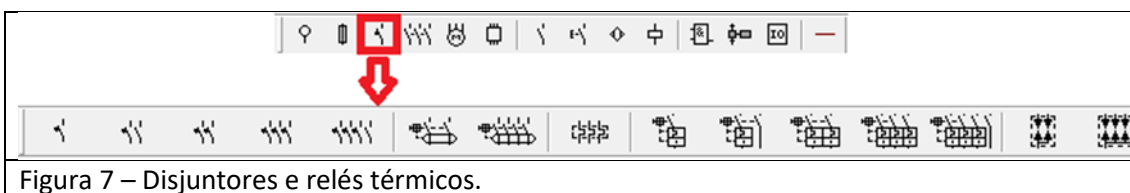


Figura 7 – Disjuntores e relés térmicos.

Contator é um dispositivo eletromecânico que permite, a partir de um circuito de comando, efetuar o controle de cargas num circuito de potência. O contator é composto por três partes principais. Os contatos que são responsáveis por conduzir a corrente elétrica e podem ser contatos de potência (ou força) e/ou contatos auxiliares. O circuito magnético (ou bobina) que proporciona a força para operar os contatos. Envólucro (ou caixa) onde são acomodados os contatos e o circuito magnético e também tem a função de proteção contra o ambiente e pode em alguns produtos abrigar uma câmara de extinção de arco elétrico.

Interruptores são dispositivos pelo qual se comuta um sinal em um circuito elétrico ou eletrônico. São usados em tudo onde se faz necessária a ligação ou o desligamento da energia elétrica.

Contatores e interruptores com diferentes números de fases são encontrados ilustrados na Figura 8.



Figura 8 – Contatores e interruptores.

Motor é um dispositivo que converte outras formas de energia em energia mecânica, de forma a impelir movimento a uma máquina. Diferentes tipos de motores são mostrados na Figura 9.



Figura 9 – Motores.

Contatos auxiliares e contatos de tempo são tipos de chaves ou interruptores que comutam em aberto ou fechado dependendo do comando recebido. Usualmente os contatos são classificados como normalmente fechados (NF), que "abrem" quando a bobina é energizada, ou normalmente abertos (NA), que "fecham" quando a bobina é energizada.

Na aba ilustrada Figura 10, encontram-se contatos normalmente fechado, contato normalmente aberto e contatos temporizados.



Figura 10 – Contatos.

Botoeiras são dispositivos de comando, que tem como função estabelecer ou interromper a carga em um circuito de comando, a partir de um acionamento manual.

- **Botão Cogumelo:** é comum quando se deseja fazer um circuito que só será acionado em caso de emergência.
- **Contato de selo:** é uma maneira de manter uma carga ligada a partir do pulso de uma botoeira sem retenção. Ele funciona usando um contator com contatos auxiliares e de carga, interligado com duas botoeiras, uma com a função de ligar e outra com a função de desligar.

- **Botoeira sem retenção:** possui um botão normalmente fechado, e só ativa a carga quando é pressionado. Ele é usado quando se deseja acionar uma carga apenas por um curto período de tempo, ou como um contato de selo.
- **Chave seletora:** possui duas ou mais posições, com a grande vantagem de necessitar apenas uma chave para ligar e desligar, já que ele possui várias posições. O problema dessa botoeira, é que quando ele é acionado, se houver uma falha de alimentação de energia elétrica, e o sistema desligar, a chave seletora continua na posição

Nessa aba da Figura 11, são encontrados diferentes tipos de botões, botoeiras, interruptores, fim de curso e contatos auxiliares do relé térmico.

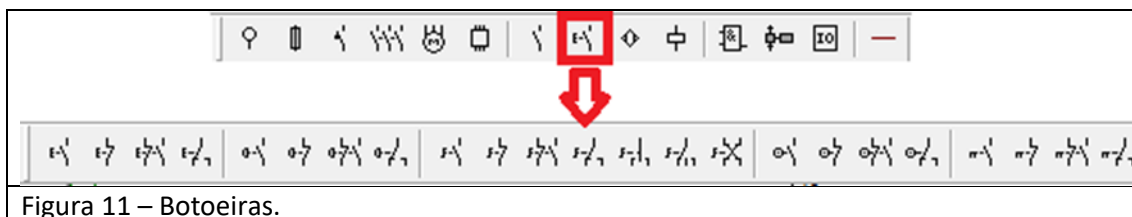


Figura 11 – Botoeiras.

Sensores são dispositivos que respondem a um estímulo físico/químico de maneira específica e mensurável analogicamente. Alguns tipos de sensores, como sensor indutivo, sensor capacitivo, sensor magnético e foto células podem ser encontrados nessa aba (Figura 12), porém seu detalhamento foge ao escopo desta disciplina.



Figura 12 – Sensores.

Bobinas são dispositivos passivos que armazenam energia no seu campo magnético e que a devolve ao circuito sempre que é necessário. Seu funcionamento parte do princípio de que, quando a corrente elétrica passa num enrolamento de fios, gera-se um campo magnético e, inversamente, quando se interrompe um campo magnético, gera-se eletricidade em qualquer enrolamento de fio dentro das linhas de força do campo magnético.

Sinalizadores são dispositivos visuais ou sonoros para chamar a atenção do operador para uma determinada situação.

Bobina de contator, bobina biestável, bobinas temporizadas, lâmpadas, sirenes, buzinas estão disponíveis nessa aba (Figura 13).



Figura 13 – Bobinas e sinalizadores.



Figura 14 – Cabos e conexões.

O software CADeSIMU também tem a possibilidade de realizar simulações. Após a finalização de um projeto, utilizando a aba da Figura 15 pode-se ativar ou parar a simulação.

Figura 15 – Simulação no CAdESIMU.

Exercícios

1) Sobre Comandos Elétricos

- Disserte sobre seus objetivos.
- Discuta sobre circuito de potência e de comando.
- Aponte seus principais componentes.

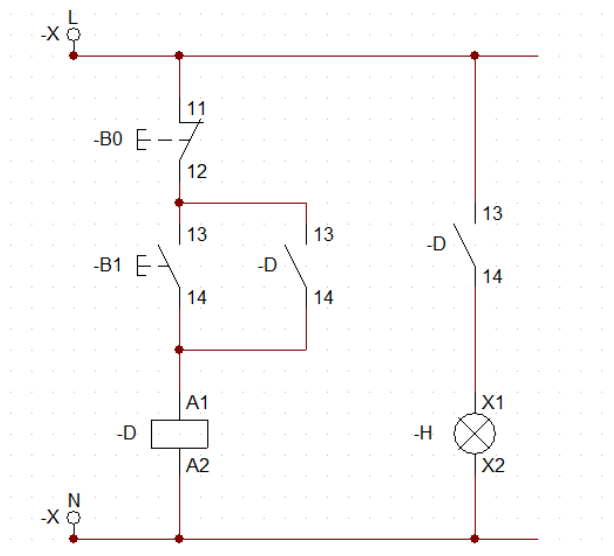
2) Encontre a solução dos problemas a seguir e faça a representação em diagrama de comandos elétricos.

- Um alarme contra incêndio de um prédio possui três entradas, uma em cada andar de um prédio. Se qualquer um deles for acionado, o alarme deve ser disparado e assim permanecer até que um botão de desarme seja ativado.
- Para abrir a caixa de um cofre, são necessárias as chaves do proprietário da conta e de um gerente. O diretor, por sua vez, pode abrir qualquer cofre sem o consentimento dos demais. Considere as chaves como entrada e a abertura do cofre como saída.
- Para ser considerado light, um alimento precisa conter no máximo 50% das calorias do produto normal. Os ingredientes opcionais que podem ser adicionados para dar sabor e coloração a um determinado alimento possuem as seguintes quantidades percentuais de calorias em relação ao produto normal: A contém 40%, B contém 30%, C contém 20% e D contém 10%. Projete um circuito para acender uma lâmpada vermelha cada vez que a combinação dos produtos misturados em um tanque ultrapassar 50% das calorias de um produto normal.

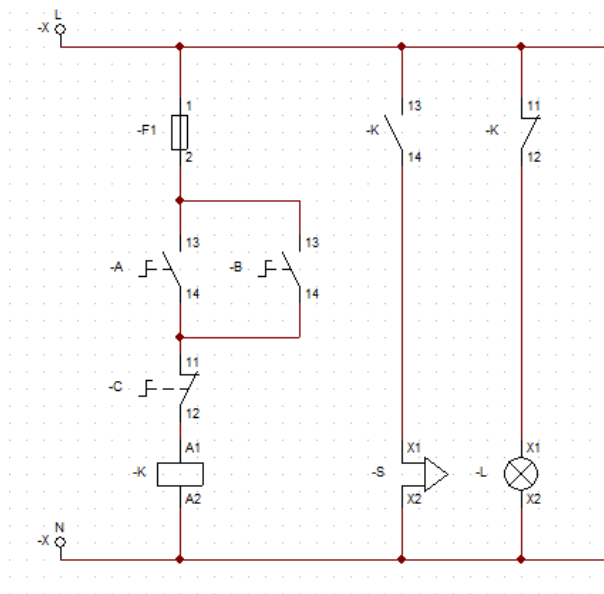
3) A lógica de acionamento de sistemas de comando comumente se resume em um conjunto de sistemas combinatórios e sequenciais. Qual a diferença entre estes dois sistemas? Exemplifique através do acionamento de um motor utilizando chaves e botoeiras.

4) Identifique se os circuitos abaixo são combinatórios ou sequenciais. Justifique sua resposta.

a)



b)



- 5) Um processo básico de secagem envolve o controle de temperatura e umidade dentro de uma câmara (ou compartimento fechado), para posterior armazenamento.

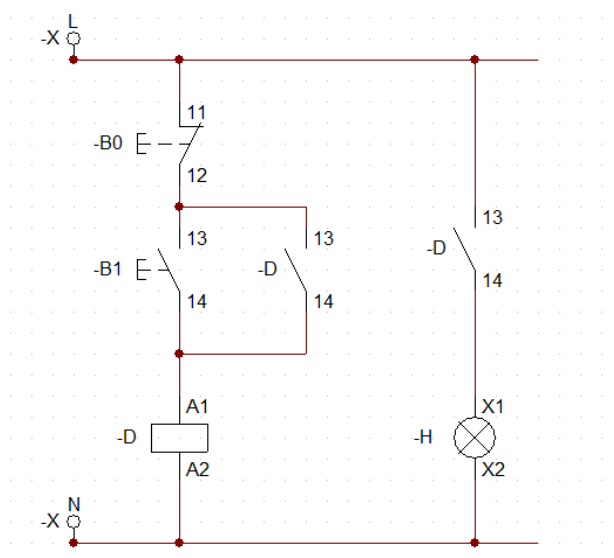
Para o controle e automação deste sistema, tem-se uma botoeira de partida e um de parada, um sensor de umidade, um sensor de temperatura, uma bomba de calor e uma bomba umidificadora.

Ao elevar a temperatura, a umidade é reduzida. Em contrapartida, ao umidificar a câmara, a temperatura se reduz.

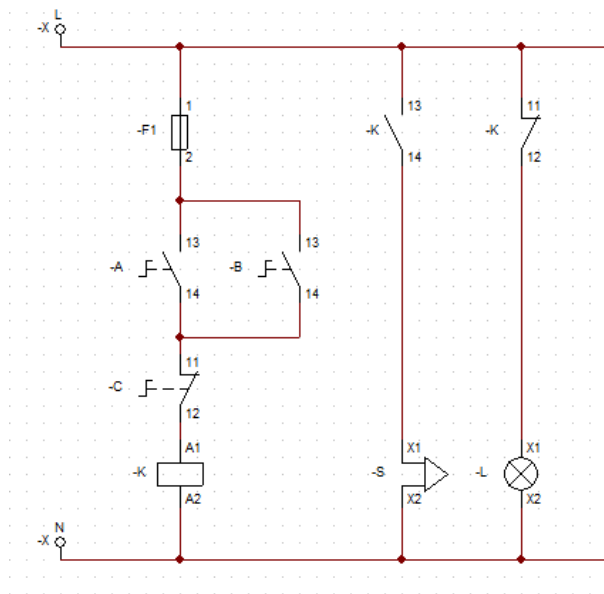
Dado que o processo deve durar 15 minutos, a temperatura deve ser fixada em 45°C e a umidade em 20%, apresente as precedências das ações que irão configurar um controle sequencial.

- 6) Explique a diferença conceitual entre circuitos combinatórios e sequenciais.
7) Identifique se os circuitos abaixo são combinatórios ou sequenciais. Justifique sua resposta.

a.



b.



8) Em uma indústria química, uma das tarefas do processo é manter um tanque de reagente completamente preenchido. Para tal, existem dois sensores, um na parte superior e outro na parte inferior do tanque, para monitoramento do nível.

Uma válvula de saída conectada na parte inferior do tanque é responsável por dar vazão ao reagente, com destino a outras etapas do processo.

Uma válvula de entrada, conectada ao tanque na parte superior, é responsável pela entrada do reagente.

O operador humano, através de uma botoeira, habilita a válvula de saída.

Nota: Os sensores deverão ser utilizados no acionamento ou desacionamento das válvulas.

- Apresente as precedências das ações que irão configurar um controle sequencial.
- Encontre a solução dos problemas a seguir e faça a representação em diagrama de comandos elétricos.

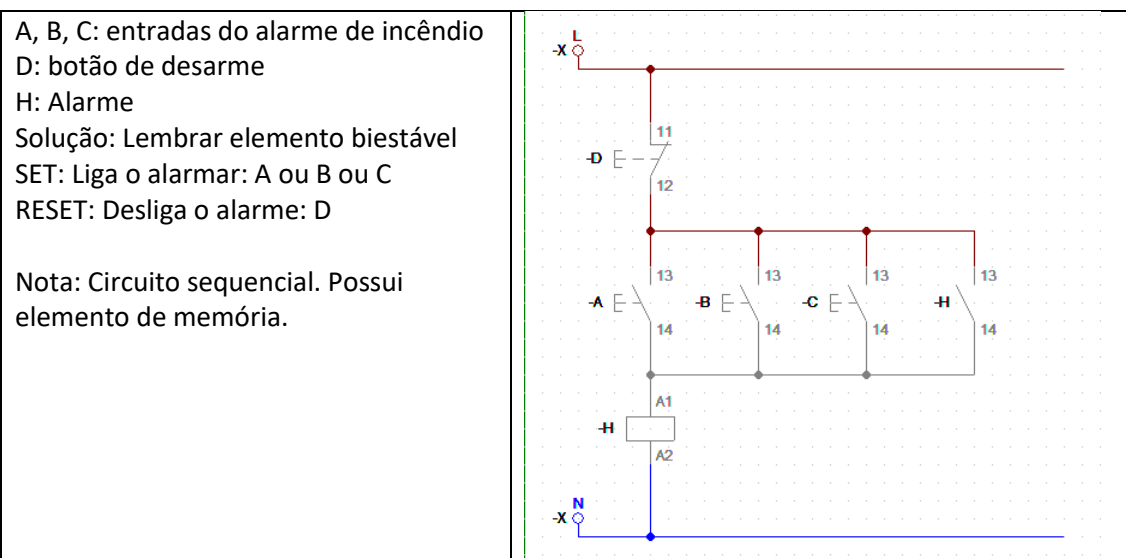
Gabarito

1)

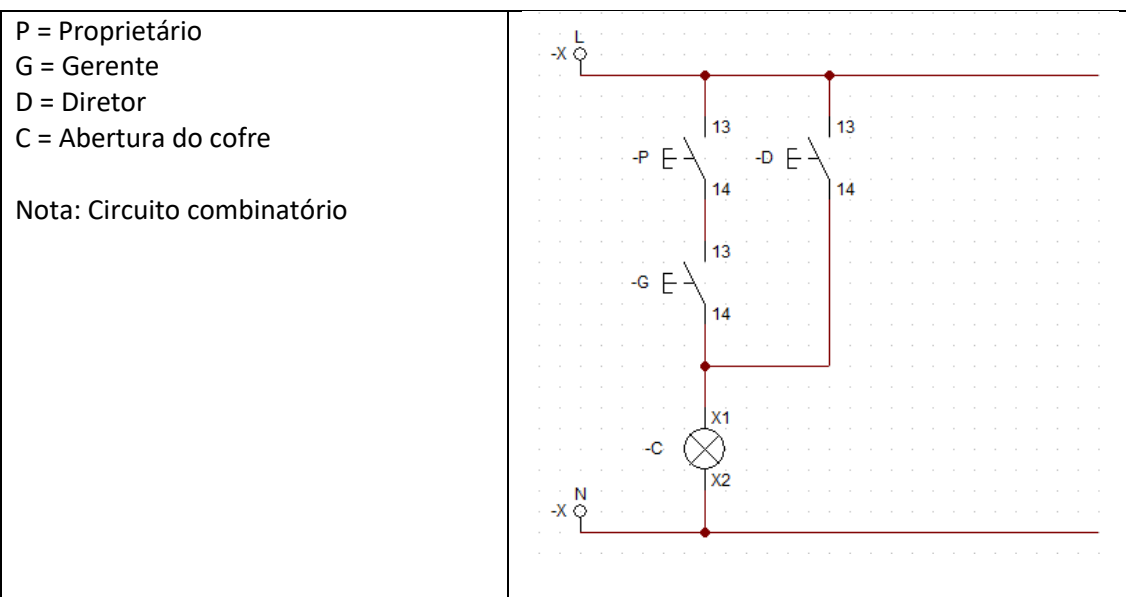
- Os objetivos dos comandos elétricos são proteger o operado e auxiliar na lógica de comandos.
- Circuitos de potência são comumente aqueles relacionados às cargas. Por sua vez, os circuitos de comandos se referem à lógica dos contatos, as quais são responsáveis pelo acionamento do circuito de potência.
- Dentre os principais componentes, estão: elementos seccionadores, de proteção de curto-circuito, proteção contra sobrecarga e dispositivos de manobra.

2)

a)



b)



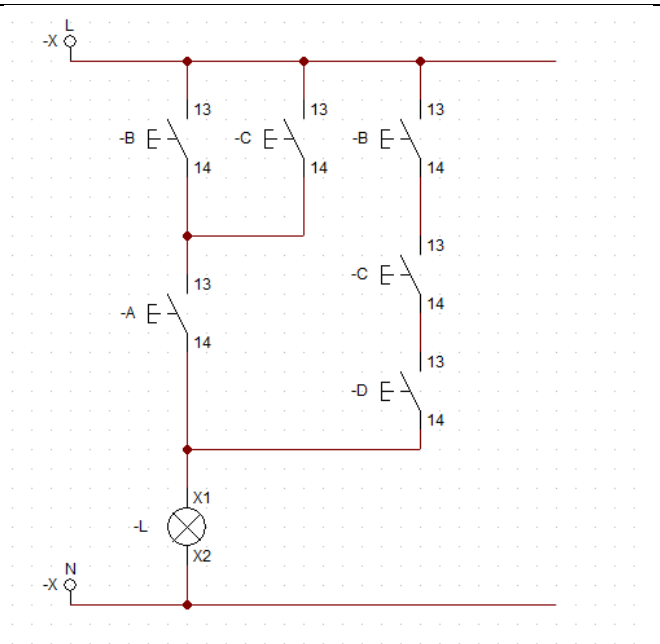
- Encontre a solução por tabela verdade, na sequência simplifique por Mapa de Karnaugh ou álgebra de Boole.

L é a saída, indicando alimento light.

Ingredientes: A, B, C e D.

A 40%	B 30%	C 20%	D 10%	L >50%
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

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



Exemplos de Diagramas de Comandos Elétricos

1. Ligação direta

Tomando os conhecimentos adquiridos anteriormente sobre a montagem e identificação dos elementos de comandos elétricos no CAdESIMU, esta parte do conteúdo se dedica a apresentar alguns exemplos de acionamentos de cargas. Inicialmente, a Figura 1 apresenta o acionamento direto de componentes de saída, como, por exemplo, sinalizadores luminosos, motores monofásicos e sirenes. Tais componentes podem ser visualizados nesta ordem, da esquerda para a direita da Figura 1.

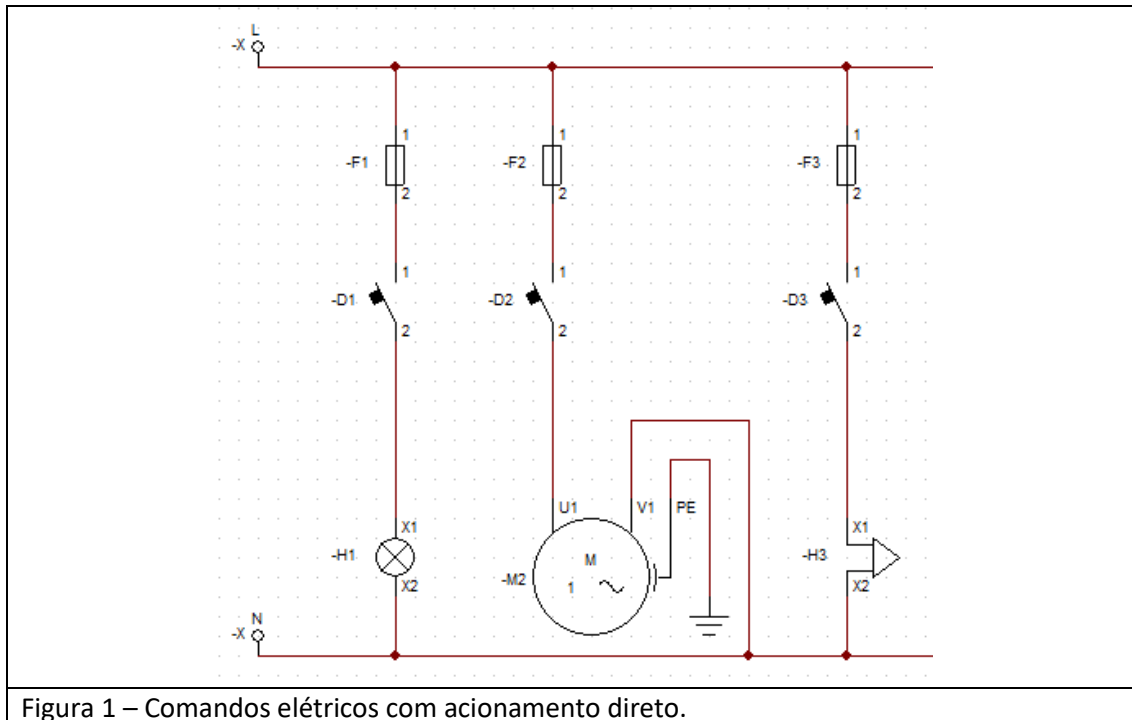


Figura 1 – Comandos elétricos com acionamento direto.

Conforme o próprio nome induz a interpretar, o acionamento das cargas é direto, ou seja, ao habilitar uma chave, a carga a ela associada é acionada. O desligamento da carga, portanto, se dá pelo desligamento dessa chave.

2. Ligação indireta

Uma ligação indireta se dá através um componente auxiliar. Em comando elétricos, comumente, este componente é um contator (ou relé). No caso, sua bobina é acionada diretamente e seus contatos auxiliares são responsáveis pelos acionamentos indiretos das cargas. A Figura 2 ilustra tal situação.

Note que ao acionar D1, o contator K é acionado. Os contatos auxiliares e de potência associado a ele são ativados ou desativados, conforme configuração de repouso das chaves (normalmente aberta NA ou fechada NF). Observe que, em um primeiro momento, a lâmpada L está acionada. Sendo assim, a ativação de K irá acionar a sirene S, desligar a lâmpada L e acionar o motor trifásico M. Por fim, para retornar à situação de repouso, a chave D1 deve ser desligada.

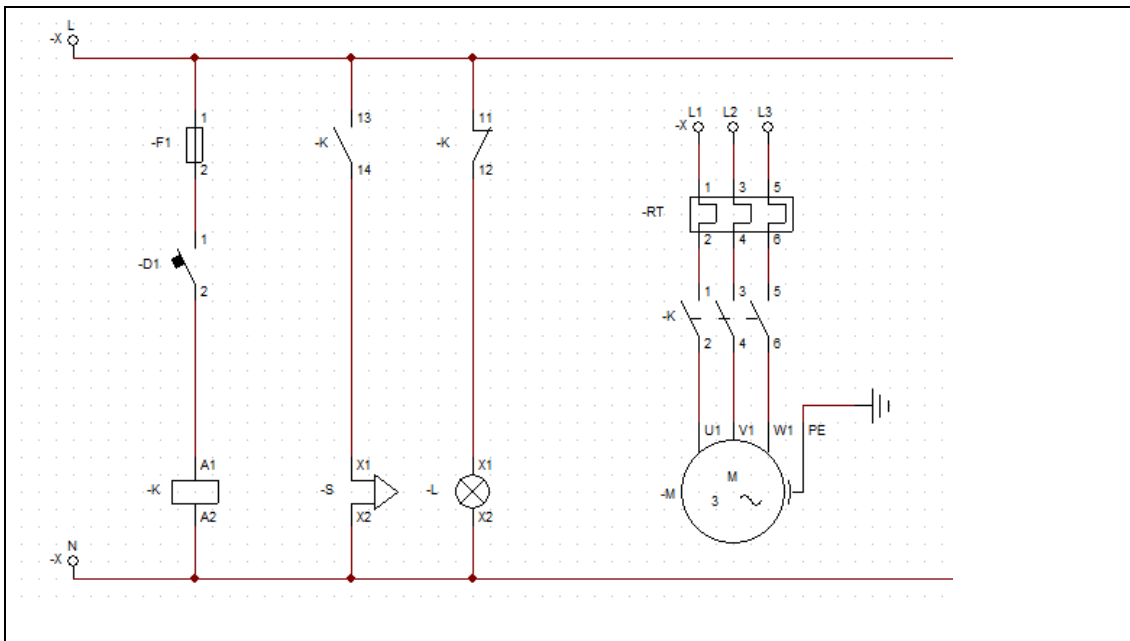


Figura 2 – Comandos elétricos com acionamento indireto.

2.1. Circuito combinatório

Uma forma de realizar um acionamento indireto é através de uma associação dos componentes de ativação. No caso ilustrado na Figura 3, uma combinação lógica dos interruptores A, B e C são responsáveis pela ativação no contato K, o qual irá indiretamente acionar a sirene S e desligar a lâmpada K.

Neste caso, o acionamento de K será dado pelo resultado das ativações das entradas. Em outras palavras, $K = (A + B) \cdot \bar{C}$, ou seja, o contator será acionado quando o interruptor C não for acionado e uma das chaves A ou B (ou ambas) for acionada.

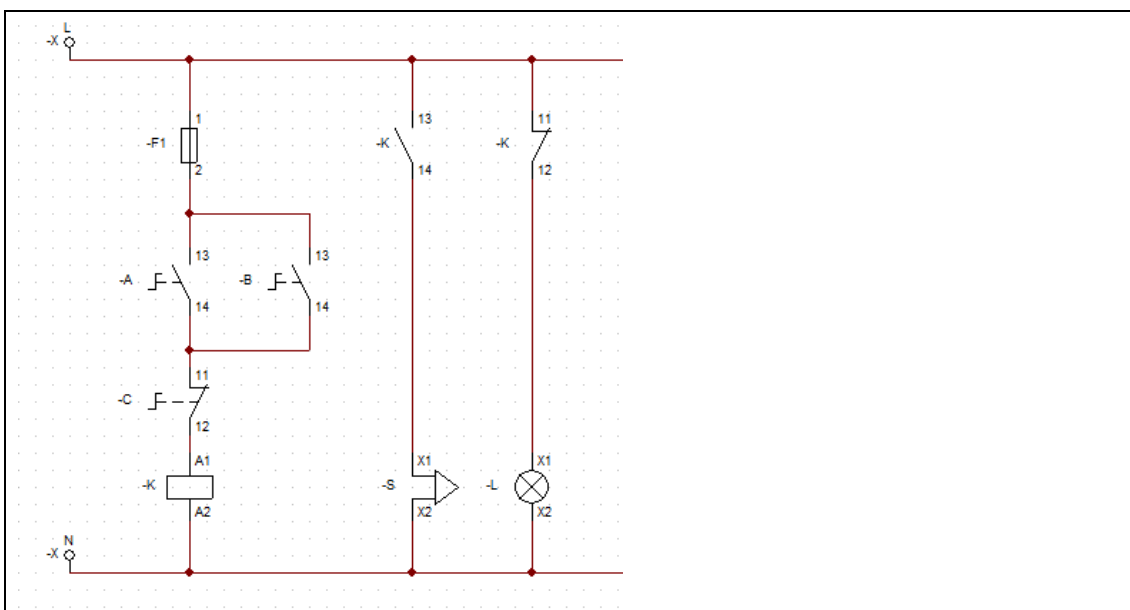


Figura 3 – Comandos elétricos com acionamento por circuito combinatório.

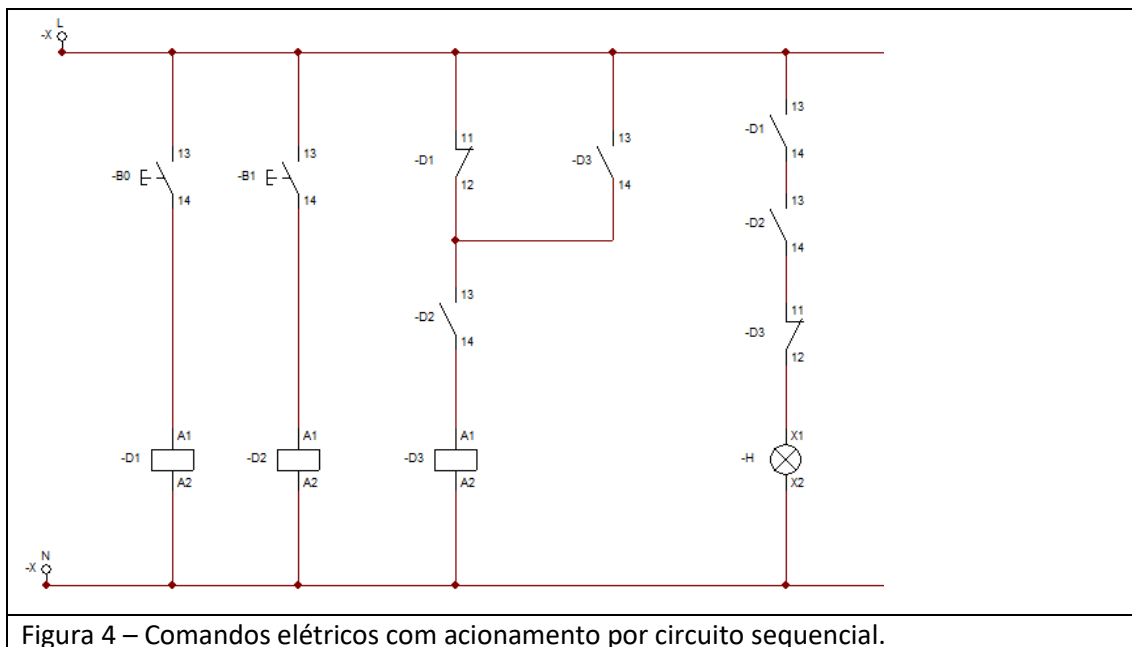
2.2. Circuito sequencial

Conforme já mencionado em outra oportunidade, um circuito sequencial é aquele que apresenta um elemento de memória, para guarda o estado de uma ou mais saídas, em um instante passado de tempo. Deste modo, o acionamento de uma carga por um circuito sequencial irá requerer o armazenamento de informações passadas de algum componente de circuito. Logo, para o entendimento de um diagrama de comando elétrico, faz-se necessário analisar o comportamento das saídas, dados acionamentos particulares das entradas.

A Figura 4 ilustra um diagrama elétrico, que possui botoeiras (B0 e B1) como entradas diretas, relés (D1, D2 e D3) como saídas auxiliares e uma lâmpada H como saída de resposta final. Com os conceitos de controle sequencial, é possível analisar comportamentos distintos para o acionamento da lâmpada em função da ordem e do momento dos acionamentos das botoeiras. Para melhor compreensão, seus acionamentos serão separados em casos:

- i. B1 é acionada, após o acionamento de B0: D1 é habilitado, impossibilitando o acionamento de D3. Na sequência, D2 é ativado, fechando o circuito que ativa H.
- ii. B0 é acionada, após o acionamento de B1: D2 é habilitado, fechando também o circuito que aciona D3 (o qual se retém). Desta forma, após o acionamento de B0 e ativação de D1, não será possível o acionamento de H.
- iii. B0 e B1 são acionadas mutuamente: D1 e D2 são ativados, porém não será possível ativar D3. Logo, H será ativada.

É possível observar nesse simples exemplo, que a ordem dos eventos é muito importante em um controle sequencial. Os tópicos de estudos futuros irão apresentar exemplos de circuitos sequenciais, cujos princípios de funcionamento requerem uma análise de ordem e instante de acionamento das entradas.



Circuitos de Comandos Elétricos

5. Circuitos de Retenção

Circuito de retenção idealizado através de um diagrama de contato realiza a função de um dispositivo biestável, ou seja, alternar o estado de uma variável de saída e nele permanecer até que um novo comando distinto de entrada seja dado. Na Figura 1, observa-se dois circuitos de retenção de estado. O circuito da esquerda apresenta prioridade para desligamento, enquanto o da direita para ligação.

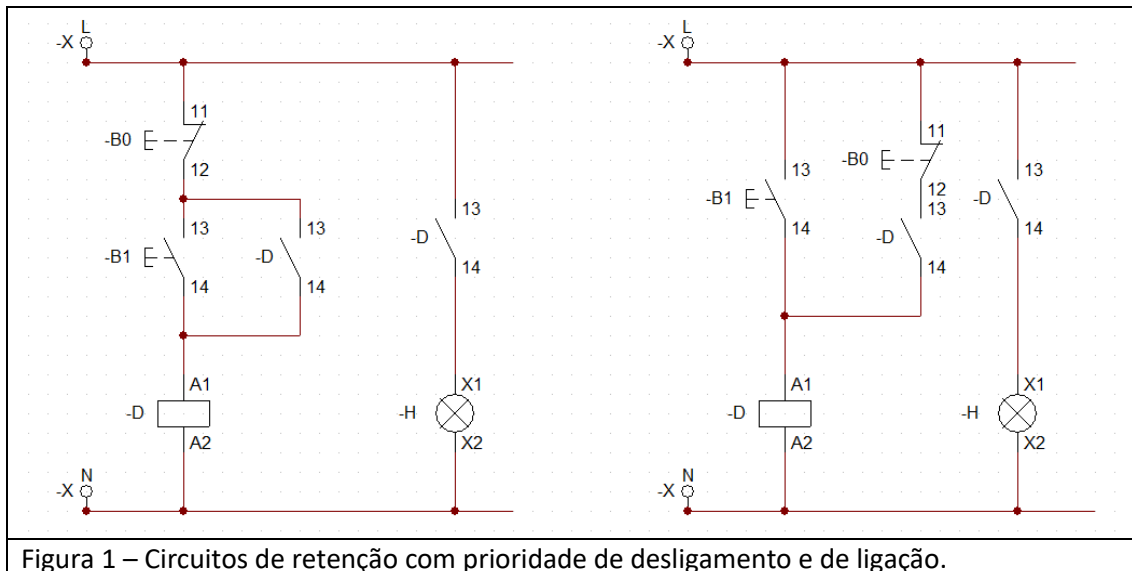


Figura 1 – Circuitos de retenção com prioridade de desligamento e de ligação.

Em ambos circuitos, é possível verificar que a atuação de B1, aciona o relé D, o que resulta no acionamento da lâmpada H. Ao acionar D, haverá um caminho alternativo de sinal, tal que será possível manter o estado ligado do próprio D. O relé é desligado ao acionar a botoeira D0, a qual irá abrir o circuito e, conseqüentemente, irá desligar H.

Para a análise de prioridade de desligamento ou ligação, deve-se analisar a atuação simultânea das botoeiras B0 e B1. Note que no primeiro caso, não será possível acionar D, logo também não será possível acionar H. Por sua vez, no segundo caso, independente do estado de B0, é possível habilitar D e, conseqüente, H.

6. Circuitos de Intertravamento

Um circuito de intertravamento opera de forma similar a uma lógica OU Exclusivo, dos sistemas digitais. A ligação de duas cargas não pode ser feita de forma simultânea, através do acionamento simultâneo de duas entradas. No caso, o acionamento de uma entrada (ou saída) bloqueia o acionamento da outra e vice-versa.

As Figuras 2 e 3 ilustram dois circuitos de intertravamento, cuja diferença está no intertravamento das entradas (circuito à esquerda) ou intertravamento pelas saídas (circuito à direita), respectivamente.

Para o circuito de intertravamento pelas entradas, faz-se necessária a presença de uma botoeira (ou chave), que possua tanto contatos NA como NF, a fim de realizar a ligação física. Em tal

situação, note que o acionamento de somente B12, efetua a ligação de D1 e impede o acionamento de D2. Porém, caso B13 seja também acionado, tanto D1 quanto D2 são desativados. Um raciocínio similar pode ser feito ao acionar B13 seguido de B12. Verifique que a ligação de D1 e de D2 resulta na ativação das lâmpadas H1 e H2, respectivamente.

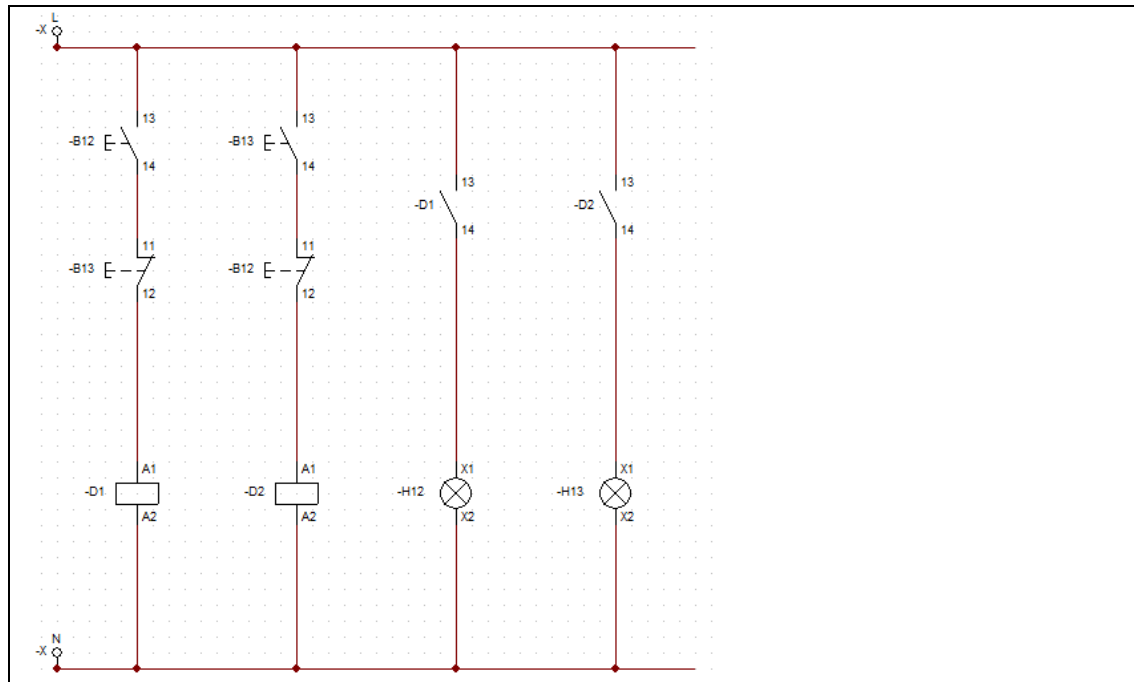


Figura 2 – Circuitos de intertravamento pelas entradas.

Para o circuito de intertravamento pelas saídas, o bloqueio de um ramo de atuação é realizado através de um contato de relé. No caso, ao acionar B12, D1 é acionado e seu acionamento bloqueia o acionamento de D2. Em tal situação, ao acionar B13, nada ocorre. Logo, a ativação de D2 somente poderá ocorrer após D1 ser desativada.

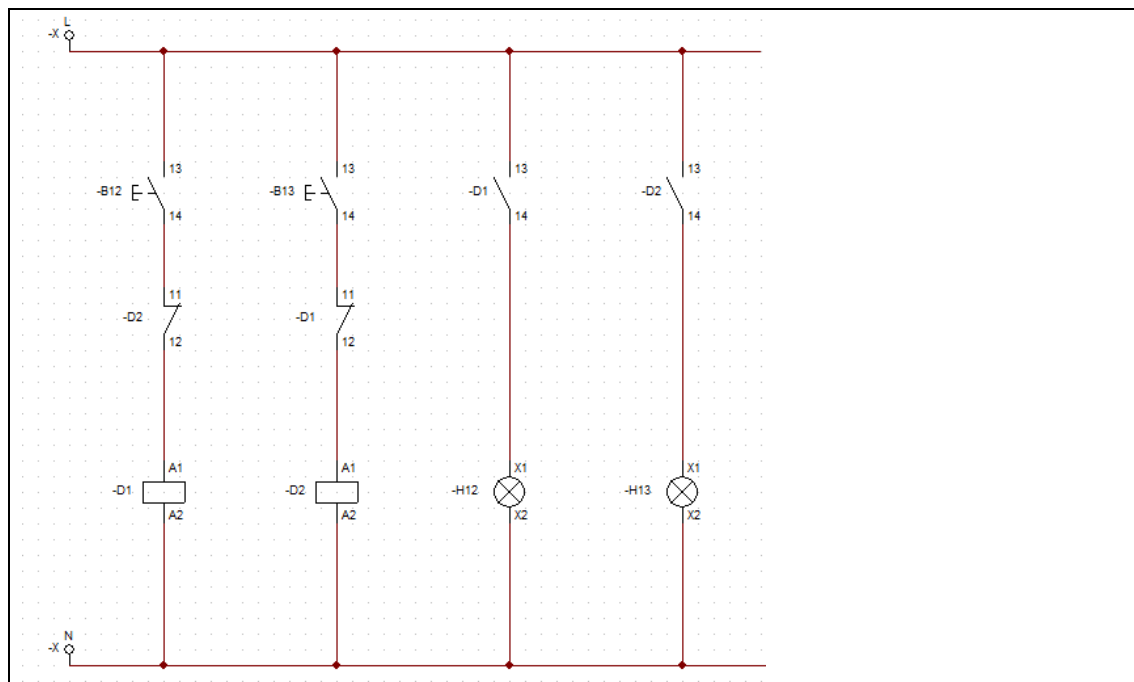


Figura 3 – Circuitos de intertravamento pelas saídas.

7. Circuitos de Prioridade

7.1. Sequencial

A Figura 4 apresenta um circuito de prioridade de acionamento sequencial. No presente caso, o acionamento de H2 somente será possível após o acionamento de H1. Por sua vez, H3 poderá ser ativada, somente após o acionamento de H2, e assim por diante. Logo, as botoeiras b1, b2, ..., bn devem ser acionadas sequencialmente.

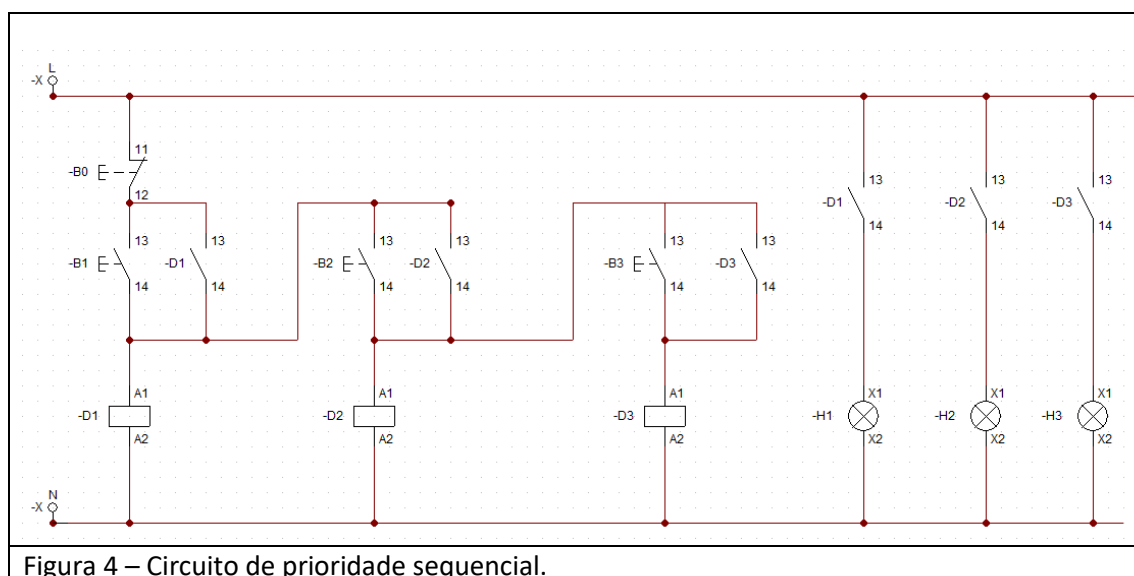


Figura 4 – Circuito de prioridade sequencial.

7.2. Primeira ação

A Figura 5 ilustra um circuito de prioridade de primeira ação. Ao acionar alguma botoeira de entrada, faz-se o acionamento de um relé de saída, o qual impede o acionamento das demais saídas. Portanto, ao habilitar uma saída, uma nova somente poderá ser acionada, quando o circuito for desligado em sua totalidade através de B0.

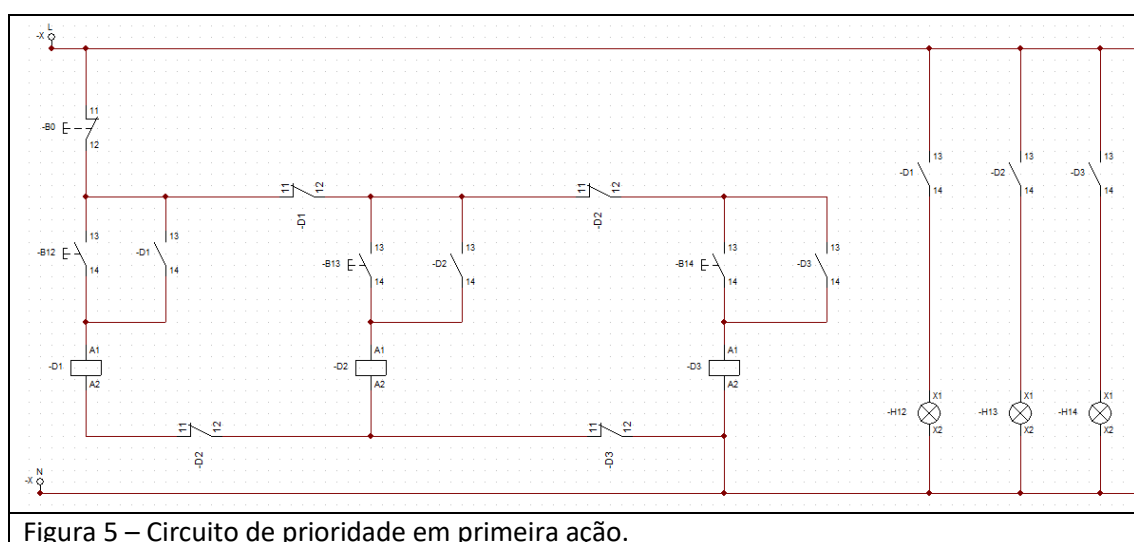
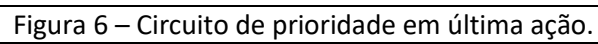


Figura 5 – Circuito de prioridade em primeira ação.

7.3. Última ação

A atuação de B0 desabilita todas as saídas, porém não se faz necessário seu acionamento, para que uma nova saída possa ser habilitada.



Circuitos de Temporização

1. Elementos de temporização

A temporização é um artifício utilizado para atrasar um acionamento de uma saída ou mesmo atrasar o seu desligamento.

Em diagrama de contato, encontra-se os contatores com atraso na ligação e no desligamento, conforme ilustrado anteriormente na descrição do software CDeSIMU.

A Figura 1 ilustra o contator com atraso na ligação e seus contatos auxiliares associados. Da esquerda para a direita, encontram-se o contator, os contatos NA e NF de atuação direta (responde instantaneamente à atuação do contato) e os contatos NA com atraso de ligação. O tempo de atraso para atuação dos contatos é definido pelo usuário, conforme requerimento do problema a ser automatizado.

De forma similar, a Figura 2 ilustra o contator com atraso no desligamento e seus contatos auxiliares.

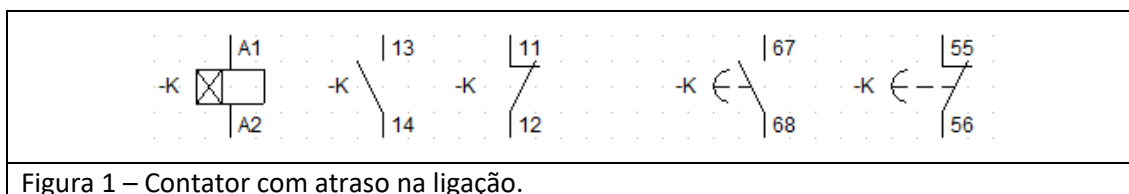


Figura 1 – Contator com atraso na ligação.

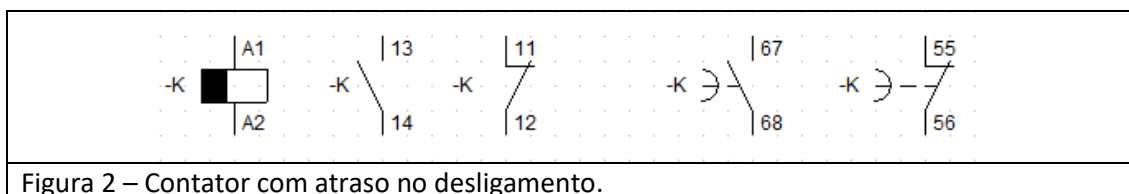


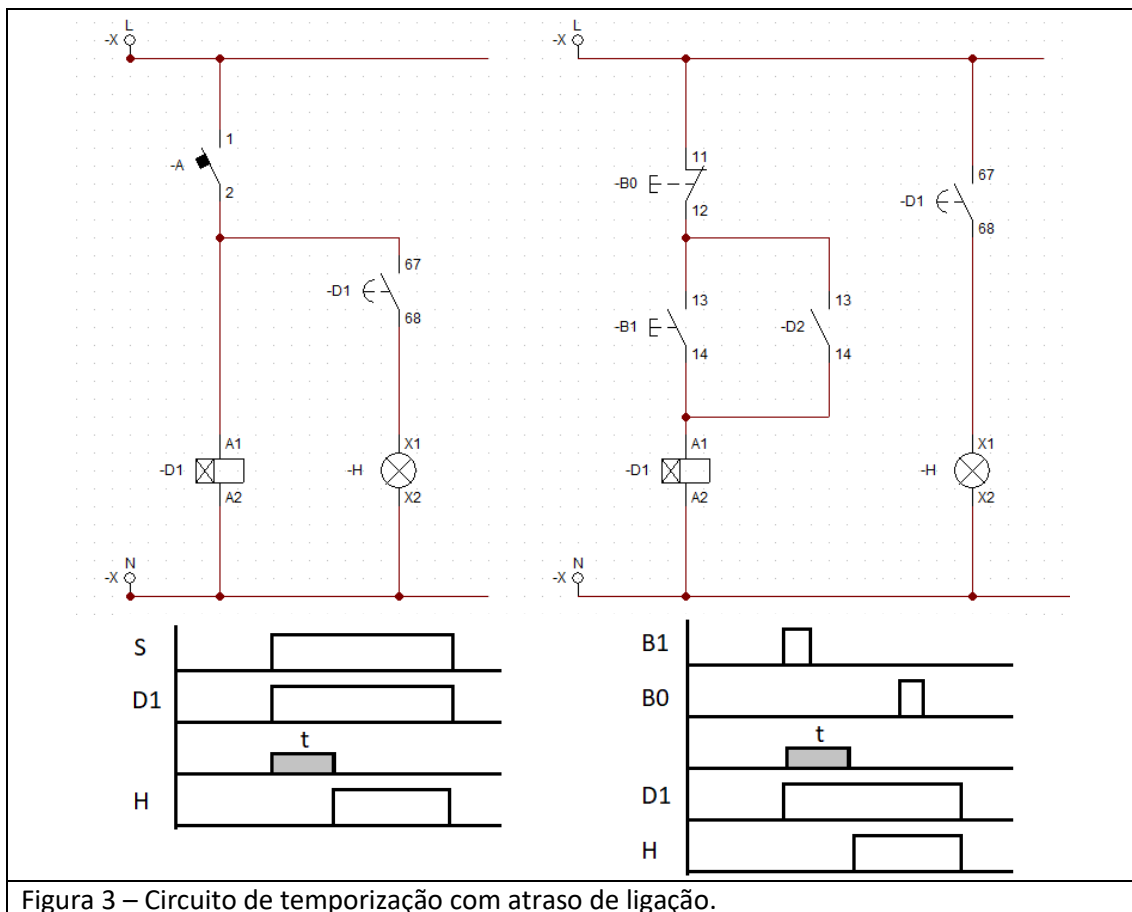
Figura 2 – Contator com atraso no desligamento.

É importante ter em mente que a simbologia apresentada para os contatores de temporização está diretamente relacionada com o tipo de contator. Sendo assim, mesmo as referências estejam corretamente instanciadas, ou seja, contator K e contato K, caso a simbologia esteja equivocada, os contatos não irão responder à atuação do contator.

1.1. Atraso na ligação

A Figura 3 ilustra circuitos de temporização com atraso na ligação. À esquerda, ao acionar a chave S, o relé D1 é acionado. Porém, seu contato ligado à lâmpada H, somente será acionado após um período de tempo t, especificado pelo usuário, conforme ilustração da evolução temporal. Note que após transcorrer o tempo predefinido t, H é ativada, porém, ao desabilitar a chave A, D e H são desligados simultaneamente.

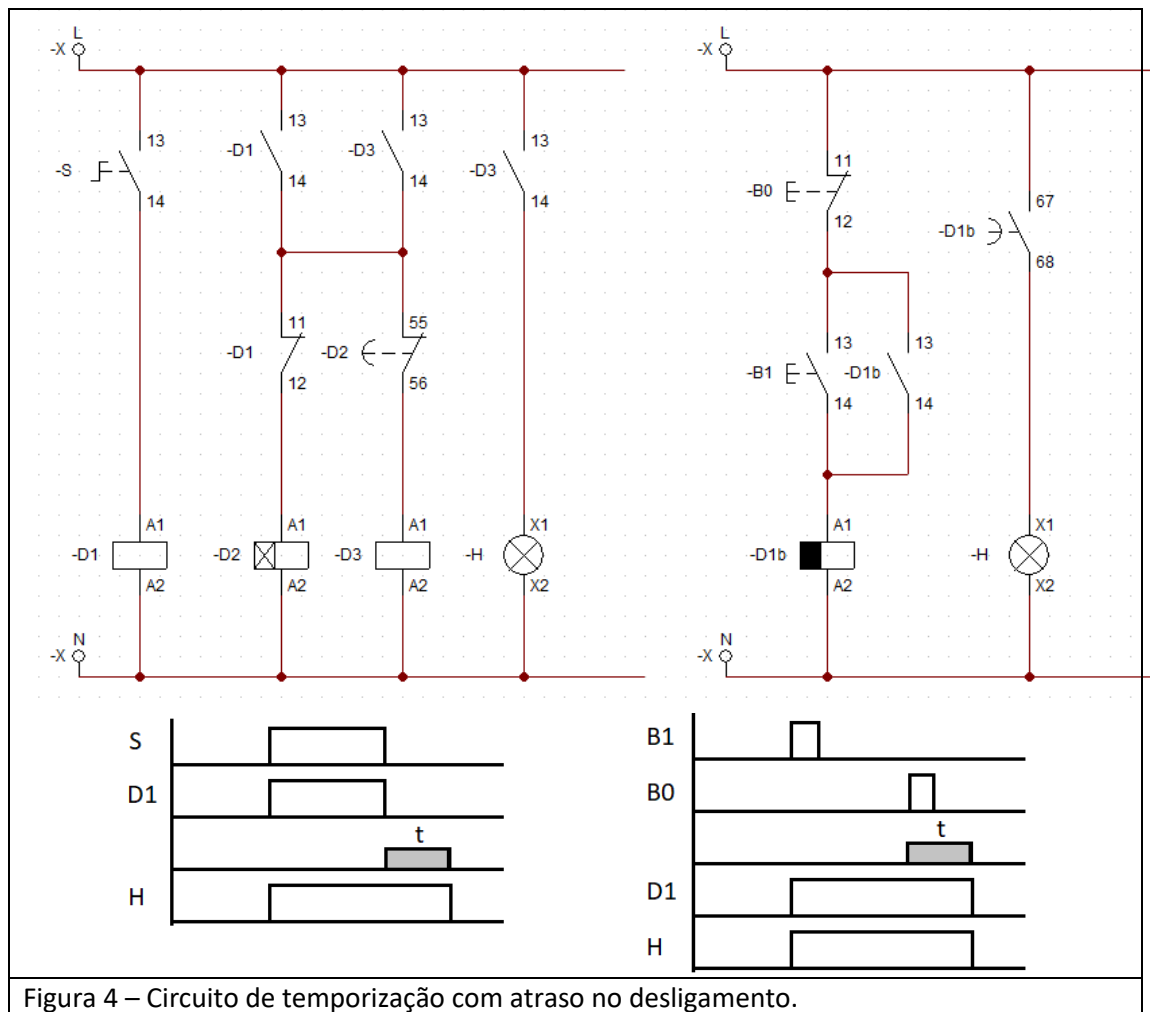
À direita da Figura 3, um outro circuito de acionamento retardado é apresentado, porém o acionamento é controlado por botoeiras e um circuito de retenção de estado.



1.2. Atraso no desligamento

A Figura 4 apresenta um circuito com atraso no desligamento. No caso do diagrama à esquerda da Figura 4, ao acionar a chave A, a lâmpada H é imediatamente acionada. Ao desativar A, D1 é desabilitado, ativando o temporizador D2. Após transcorrer o tempo predefinido t, o contato associado a D2 é ativado, desligando D3, que, por sua vez, desligará H.

O circuito apresentado à direita da Figura 4 apresenta um princípio de funcionamento similar ao apresentado, entretanto a principal diferença é a utilização de botoeira e sistemas de retenção de estado. Especificamente, ao pressionar momentaneamente a botoeira de liga B1, D2 é ativado, logo H é habilitada. Ao pressionar momentaneamente a botoeira de desliga B0, o relé temporizado D1 é ativado e ele retém a si próprio. Após transcorre o tempo t, o contato associado a D1 é habilitado, desativando D2 e, conseqüentemente, desligando H com atraso.



2. Exemplo de aplicação

2.1. Partida estrela-triângulo de motores trifásico

Os motores elétricos trifásicos por serem máquinas elétricas indutivas possuem um aumento abrupto da corrente elétrica no momento de sua partida. Este aumento pode chegar a até 8 vezes a sua corrente nominal, podendo causar algum dano no equipamento. Uma forma de suavizar esta corrente de partida através de comandos elétricos é através da partida estrela-triângulo.

A Figura 5 ilustra um motor trifásico com suas ligações em estrela e em triângulo. Como pode ser visto, para um mesmo motor, as bobinas podem ser alimentadas por 220V na configuração em triângulo e por 380V na configuração em estrela. A proposta de um esquema de partida estrela-triângulo é acionar o motor na configuração estrela, alimentado em 220V, e em após um dado tempo, comutar para a configuração em triângulo, na mesma tensão de alimentação. Como consequência, há uma redução da corrente de partida do motor.

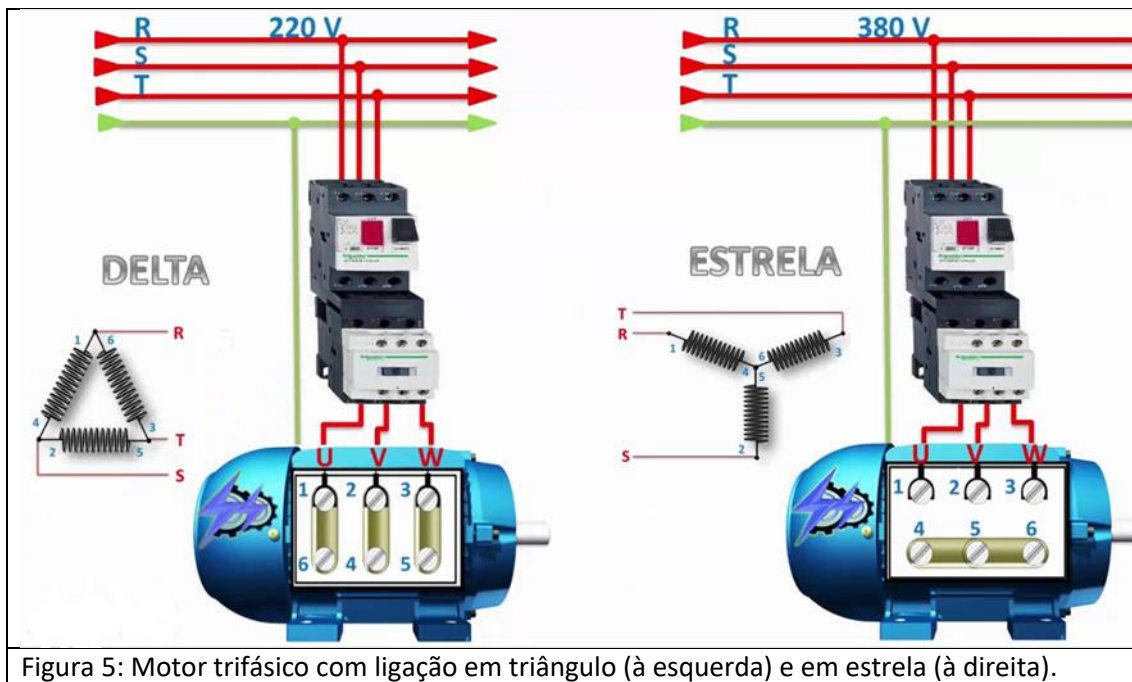


Figura 5: Motor trifásico com ligação em triângulo (à esquerda) e em estrela (à direita).

Em termos da lógica de acionamento, ilustrada na Figura 6, a partida suavizada do motor é realizada acionando um

O funcionamento do motor é descrito da seguinte forma, pressionando o botão B1, energiza-se os contadores K1 e K3. Isso faz com que o motor se conecte com a rede trifásica na configuração estrela. Após um tempo de determinado, o contator K3 é desenergizado e o contator K2 é energizado, comutando o motor para a configuração triângulo. Para desligar o motor é necessário pressionar a botoeira B0. Relés térmicos são utilizados para prevenção.

No programa CADeSIMU, são necessários dois circuitos, um de potência e outro do comando. O circuito de potência é responsável pela alimentação do motor, enquanto o circuito de comando, como o próprio nome diz, é responsável pelo comando do circuito, ligando e desligando o motor.

Note que o acionamento dos contatos de potência dos contadores é o responsável pela alteração da configuração de estrela para triângulo. As Figuras 6 e 7 ilustram a simulação de um motor trifásico na configuração estrela e triângulo, respectivamente.

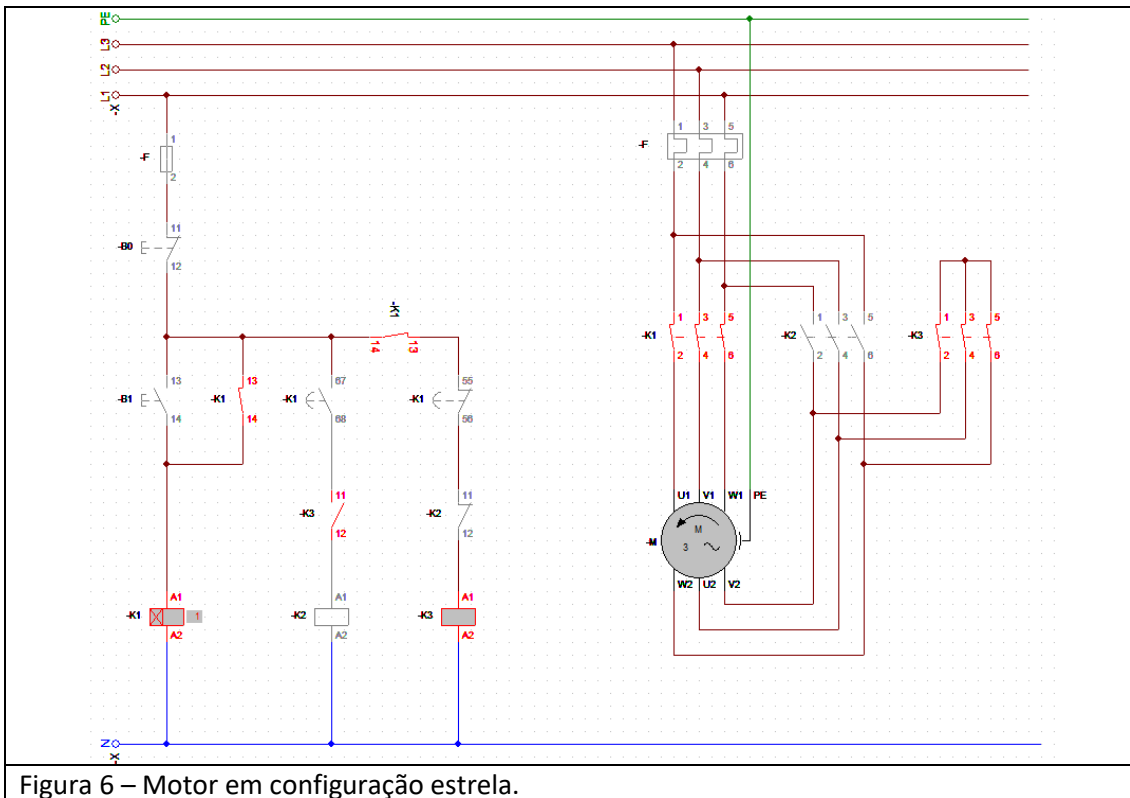


Figura 6 – Motor em configuração estrela.

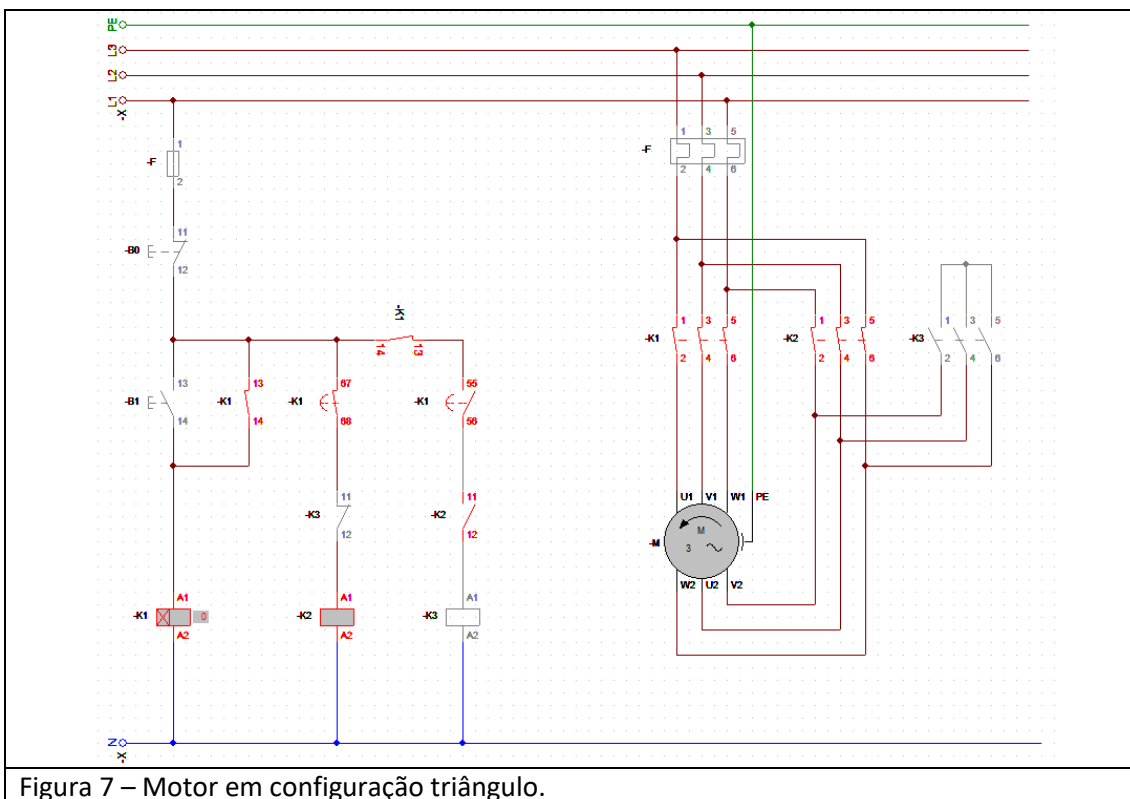
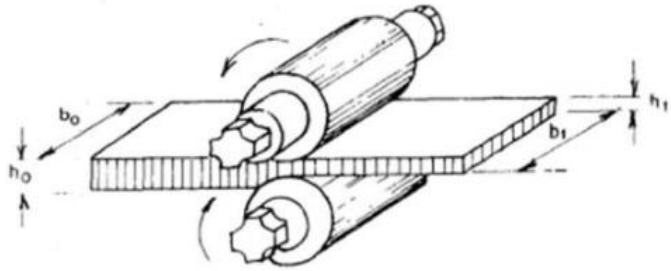


Figura 7 – Motor em configuração triângulo.

Exercícios

Exercício 1:

Laminação é um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros com eixos paralelos, que giram em torno de si mesmos.

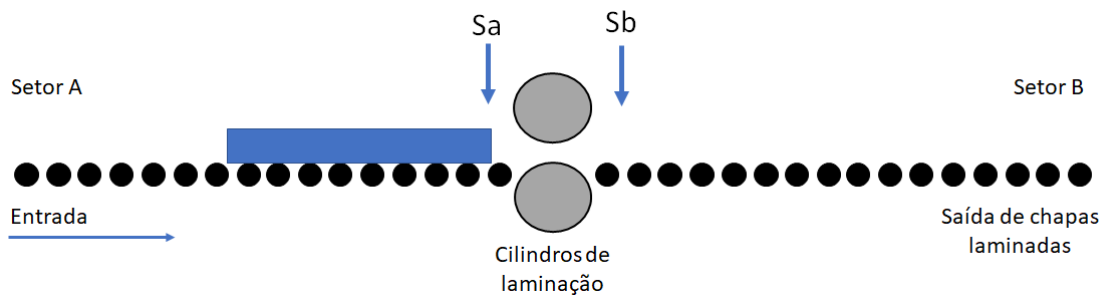


Em suma, o processo consiste em passar a chapa pelos cilindros de laminação do Setor A para B, depois de B para A, e finalmente de A para B.

Proponha uma solução para acionamento bidirecional dos motores, tendo em vista o posicionamento dos sensores de presença Sa e Sb. A reversão dos motores somente deve ocorrer após a passagem completa da chapa pelo sensor do setor de destino.

Notas:

- 1- Os sensores são do tipo NA.
- 2- Utilize botoeiras de partida e parada para acionar os motores de transporte. Em sentido horário, os motores levam a placa do setor A para B. Em sentido anti-horário, de B para A.



Exercício 2:

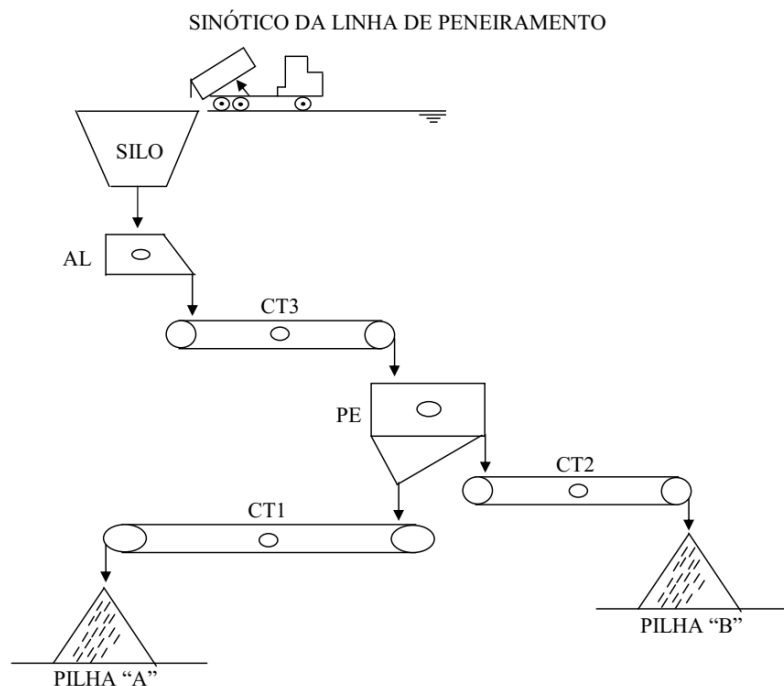
Em um processo de peneiramento, basicamente podemos assumir a seguinte sequência de trabalho: um caminhão basculante minério em um silo com granulometria até $\frac{1}{2}$ ". O alimentador vibratório AL ao ser ligado começa a vibrar e alimenta a correia transportadora CT3. A correia transportadora CT3 ao ser ligada transporta o minério com granulometria até $\frac{1}{2}$ " para a peneira PE. A peneira PE ao ser ligada começa a vibrar e separa o minério em dois tipos: um com granulometria $\frac{1}{4}$ " que alimenta a correia transportadora CT1 e outro com granulometria entre $\frac{1}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ " que alimenta a correia transportadora CT2. A correia transportadora CT2 ao ser ligada transporta o minério com granulometria entre $\frac{1}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ " para a Pilha B. A correia transportadora CT1 ao ser ligada transporta o minério com granulometria $\frac{1}{4}$ " para a Pilha A.

Sequência de Ligamento

- Uma chave liga a peneira e as correias transportadoras na seguinte temporização: primeiro são ligadas CT1 e CT2 (acionamento em paralelo), depois de 10 segundos de funcionamento de CT1 e CT2, é ligada a peneira PE. Cinco segundos depois do início do funcionamento da peneira PE é ligada CT3.
- Uma chave liga o alimentador AL. A peneira e as correias transportadoras deverão estar prontas para receber o minério. O alimentador AL só poderá estar em funcionamento após 10 segundos do início do funcionamento da correia transportadora CT3.

Sequência de Desligamento

- Uma chave desliga o alimentador AL para que o minério que está em CT3 possa ser peneirado e transportado para as pilhas A e B.
- Uma chave desliga a peneira PE e as correias transportadoras CT1, CT2 e CT3.



Exercício 3:

A figura a seguir representa uma máquina de imprimir cartazes. O rolo 1, acionado por um motor, provoca o arrastar do papel e, além disso, contém a tinta que lhe é fornecida por um dispositivo ligado ao pistão W. O arrasto do papel é feito quando o rolo 2 sobe, por ação do pistão V. O ponto O é fixo.

Funcionamento sequencial:

- 1- Quando o ressalto do rolo 1 aciona o sensor a, V é ativado e o papel é apertado contra o rolo 1.
- 2- Quando o sensor a é libertado, é iniciado o processo de impressão, ativando o pistão W.
- 3- O fornecimento de tinta continua até que o ressalto do rolo 1 acione o sensor b.
- 4- Quando este último passo ocorre, o pistão V é desativado, permitindo que o rolo 2 liberte o papel. Simultaneamente, é ativado o pistão Z, para cortar a folha de papel.
- 5- Quando o sensor b for libertado, a guilhotina sobe e a máquina fica pronta para um novo ciclo de funcionamento.

