

# 14

## Automação industrial

### 14.1 Introdução

Certa ocasião, presente a um seminário sobre automação industrial, um palestrante iniciou sua apresentação profetizando: “no futuro, as fábricas só terão dois seres vivos — um homem e um cão de guarda”. Como era de se esperar, alguém da plateia indagou ao palestrante: “Para que serve o homem?” A resposta foi enfática: “Para cuidar do cão.”

Essa é a sensação que se tem com o avanço da tecnologia. O tema, sob o ponto de vista social, é polêmico, mas o processo é irreversível. Do ponto de vista puramente econômico-financeiro, os sistemas automáticos apresentam vantagens incomensuráveis sobre o custo da mão de obra. Cabe ressaltar, por exemplo, que um posto de serviço em uma subestação de potência — considerando os turnos a serem cumpridos, os custos decorrentes da legislação brasileira e um salário médio de US\$ 6.000,00/mês —, vale cerca de US\$ 2.600.000,00 em um período de 30 anos, o que é muito superior ao custo médio de automação de uma subestação.

Até o fim do século XIX, a produção de bens utilizava exclusivamente a força muscular. Com o advento da Revolução Industrial, a força muscular cedeu lugar às máquinas, cujo processo foi denominado *produção mecanizada*. Nessa situação, o homem ainda era parte ativa, não como

executor da tarefa produtiva, mas como controlador do processo. Mas as máquinas foram gradativamente evoluindo, tornando-se cada vez mais independentes do controle do homem, assumindo tarefas e tomando *decisões*. Esta evolução se deveu inicialmente a dispositivos mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Com o advento da eletrônica, esses dispositivos foram sendo substituídos e, hoje, a microinformática assumiu o papel da *produção automatizada*, em que o homem utilizando técnicas de inteligência artificial, materializadas pelos sistemas computadorizados, *instrui* um processador de informações a desenvolver tarefas complexas e tomar *decisões* rápidas para controle do processo.

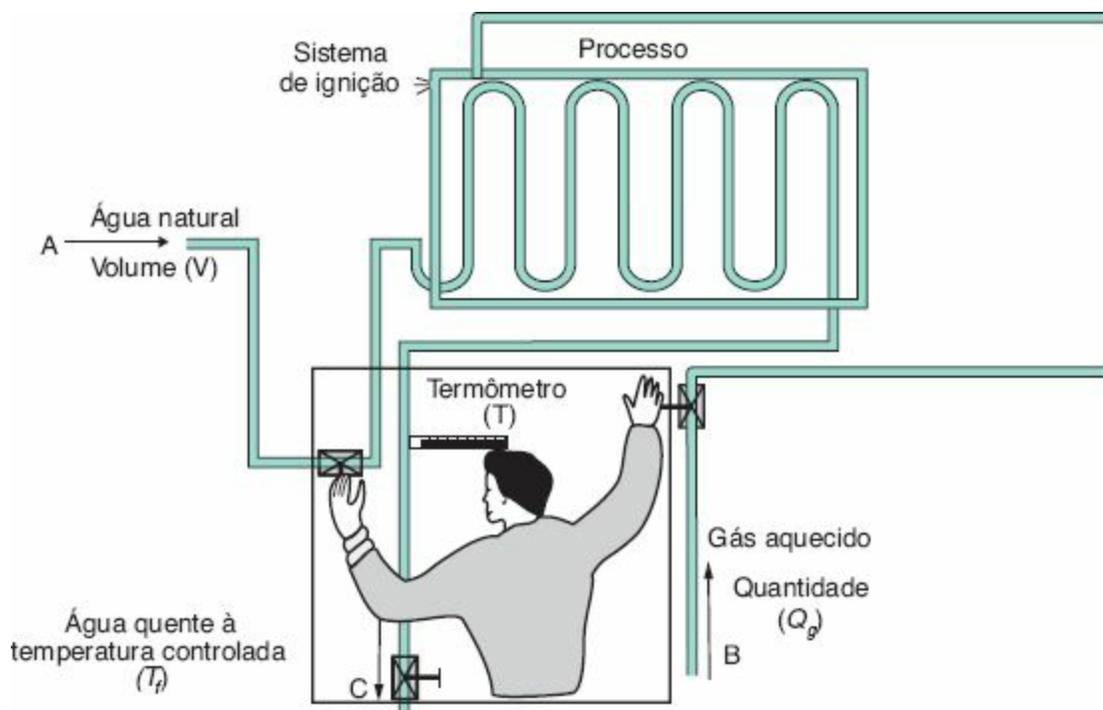
Todo sistema de automação segue um princípio comum em que o gerenciador do processo é realimentado de informações resultantes da conclusão de cada tarefa, de forma a redimensionar ou reorientar a etapa seguinte, com o objetivo de alcançar o resultado final mais próximo possível daquele a que o dispositivo foi *instruído* a executar a partir de informações codificadas.

O grau de complexidade de um sistema de automação pode variar enormemente. Os sistemas mais simples mantêm ainda uma forte participação do homem no processo. Os sistemas mais sofisticados, basicamente, dispensam a interferência do homem, a não ser como gerenciador do processo. A seguir, será descrito um sistema de automação rudimentar, que utiliza sensores e controladores distribuídos ao longo do sistema de produção, por meio dos quais um gerenciador de processo (no presente caso, o homem) regula as funções básicas do sistema. Esses sensores e controladores são constituídos de termômetros e válvulas de vazão, podendo ser ainda empregados medidores, resistores elétricos etc.

Na [Figura 14.1](#), pode-se observar que no ponto A é fornecido ao sistema de produção certo volume ( $V$ ) de água, à temperatura variável, a ser aquecida por determinada quantidade de gás ( $Q_g$ ) a uma dada pressão ( $P$ ) fornecida pelo ponto B. O gerenciador do processo, no presente caso o homem, é

instruído a manter constante o volume de saída de água quente a uma temperatura  $T_f$  no ponto C. Ao perceber que a temperatura da água diminuiu (sensor ótico), tem essa informação enviada ao seu cérebro, que toma a decisão de fazer sua mão aumentar a quantidade de gás ( $Q_g$ ) na medida exata para manter constante a temperatura  $T_f$ . Pode-se concluir que o gerenciador do processo, por meio de sua visão (sensor ótico), está constantemente recebendo informação do termômetro  $T$  (sensor de temperatura) para comparação. A essa forma de aquisição de dados dá-se o nome de realimentação ou *feedback*.

Em um processo de automação mais evoluído, o homem é substituído por uma máquina (computador) dotada de inteligência artificial (*software*), que, além de aquisitar os dados *on-line* de temperatura  $T$  e quantidade de gás  $Q_g$ , envia sinais digitais, que são convertidos em sinais analógicos, para um servomecanismo operar as válvulas reguladoras de forma a manter a temperatura no valor instruído.



**Figura 14.1** Exemplo de automação de um processo rudimentar.

A automação tem invadido os ambientes industriais, tornando-se cada vez mais complexa, à medida que procura substituir o homem em todas as tarefas que era de seu domínio na produção, principalmente tarefas repetitivas, lógicas e sistemáticas.

Para facilitar o entendimento, o assunto foi dividido em três partes. Na primeira se estudará a automação em subestações industriais. Em seguida, serão estudados os procedimentos da automação dos processos industriais. E, finalmente, serão discutidos os procedimentos utilizados em um sistema de gerenciamento de energia.

No entanto, na concepção de um projeto integrado de automação industrial, os três módulos aqui mencionados são parte integrante de um único projeto, que pode envolver as áreas administrativas, financeiras e de recursos humanos, ao qual pode ser atribuído à denominação Sistema Corporativo ou de Sistema de Gestão.

Antes de iniciar o estudo dos processos de automação, será fornecida uma série de informações preliminares a fim de facilitar a compreensão do leitor.

## 14.2 Definições

Ao longo do texto serão usadas algumas palavras, termos ou siglas em português ou inglês que são comuns na linguagem de informática, notadamente na leitura de textos dedicados à automação.

### a) **Memória RAM (*Random Access Memory*)**

São memórias que armazenam os dados variáveis e temporários, como correntes, tensão, alarmes etc., que podem ser eliminados quando da perda da fonte de tensão auxiliar, sem que isto venha a comprometer o desempenho da máquina.

### **b) Memória ROM (*Read Only Memory*)**

São memórias cujo processador só consegue ler seus dados quando introduzidos pelo próprio fabricante do *chip*.

### **c) Memória PROM**

É uma memória ROM programável eletricamente.

### **d) Memória EPROM**

É uma memória ROM que pode ser programável eletricamente diversas vezes, e seu conteúdo pode ser apagado usando raios ultravioletas, porém os dados permanecem gravados quando há perda da fonte auxiliar de alimentação.

### **e) Entrada e saída serial**

São componentes de entrada e saída por meio dos quais os dados do sistema, tanto escritos como em forma de comando, podem ser recebidos ou transmitidos para uso ou leitura remotos. São conhecidas as unidades RS232, RS422 e RS485.

### **f) Isolamento galvânico**

É o isolamento entre o circuito elétrico, em geral a alimentação de energia do equipamento, e o circuito eletrônico, geralmente a saída do mesmo, agregado a uma proteção contra interferências e transientes da rede.

### **g) Conversão analógica/digital**

É o processo de conversão em que, após o condicionamento do sinal, este deve ser tratado eletronicamente para ser convertido da forma analógica para a forma digital.

### **h) Condicionamento de sinal**

Consiste na interface entre o processo elétrico e o ambiente eletrônico, em ambientes galvanicamente isolados, sendo que os sinais devem ser reduzidos a valores compatíveis com os circuitos eletrônicos, na faixa de  $\pm 5$  V a  $\pm 15$  V.

### **i) Multiplexador**

É um componente que possui vários canais de entrada de sinais e conecta ordenadamente cada um desses canais a um conversor analógico/digital.

### **j) Conversor analógico/digital**

É um componente que processa a conversão de uma grandeza analógica em uma sequência numérica e é conectado diretamente a um microprocessador.

### **k) Protocolo TPC/IP (*Transmission Protocol Control/Internet Protocol*)**

Significa um protocolo de comunicação de dados. Não é um *software*. O *software* de comunicação é que implementa o protocolo, como, por exemplo, o TCP/IP.

### **l) LAN (*Local Area Network*)**

É uma rede de comunicação de dados em tempo real, obedecendo a um padrão internacional (IEEE 802-3 ou ISO/IEC 8802-3), dotada de uma velocidade de transmissão elevada e constituída de um meio físico de transmissão por meio de cabos coaxiais, par telefônico, fibra ótica etc. e com as seguintes características:

- Velocidade de transmissão: valor desejado.
- Modelo de transmissão: *bit* serial.
- Meio de transporte: padrão Ethernet.
- Protocolo de transporte: TPC/IP.

### **m) Interface homem-máquina (IHM)**

É o enlace entre o usuário e os programas de supervisão e controle que

compõem o sistema de automação. A IHM é caracterizada pelos monitores de vídeo, painéis numéricos, teclados, impressoras e todo periférico que permita uma interação entre o operador e o sistema.

**n) SCADA (*Supervisory, Control and Data Aquisition*)**

É um *software* para tratamento de dados em tempo real.

**o) Bit (*Binary Digit*)**

É a menor unidade na notação numérica binária, que pode ter o valor de 0 ou 1.

**p) Byte**

É o grupo de *bits* ou dígitos binários (geralmente oito) que o computador opera como uma unidade simples.

**q) Gateway**

É um dispositivo de tradução de protocolo em *hardware* ou *software*, que permite que os usuários que trabalham em uma rede possam acessar outra rede.

## 14.3 Unidade de aquisição de dados (UAD)

São equipamentos e dispositivos que, interligados ao processo, recebem informações do mesmo e as enviam para um sistema de supervisão e controle hierarquicamente superior, onde são tratadas e disponibilizadas por meio de monitores, papel etc. Dependendo da *decisão* da unidade de supervisão e controle, uma mensagem retornará à unidade de aquisição de dados, que desenvolverá uma ou mais ações sobre o processo.

As unidades de aquisição de dados compreendem dois diferentes módulos em uma estrutura de automação:

- Unidades de aquisição de dados e controle (UADC).
- Unidades dedicadas (UD).

As primeiras são constituídas pelos controladores lógicos programáveis (CLPs) e pelas unidades terminais remotas (UTRs). Já as unidades dedicadas são constituídas pelos relés digitais, unidades de intertravamento, unidades de oscilografia etc.

As UADCs exercem as funções de adquirir dados e comandar a manobra de máquinas e equipamentos, usando para isso os seguintes meios:

- Entrada de dados analógicos

São variáveis presentes no processo e caracterizadas por tensão, corrente, frequência, vazão, pressão etc.

- Saída de dados analógicos

São variáveis fornecidas aos componentes do sistema para ajuste de sua lógica, como sinais para medidores de energia, controladores de velocidade etc.

- Entrada de dados digitais

São informações adquiridas junto aos equipamentos sobre seu estado operacional, aberto ou fechado, tais como disjuntores, chaves seccionadoras etc.

- Saída de dados digitais

São ocorrências desejadas de mudança de estado de equipamentos, aberto ou fechado, de forma que se possa atuar a distância sobre os mesmos.

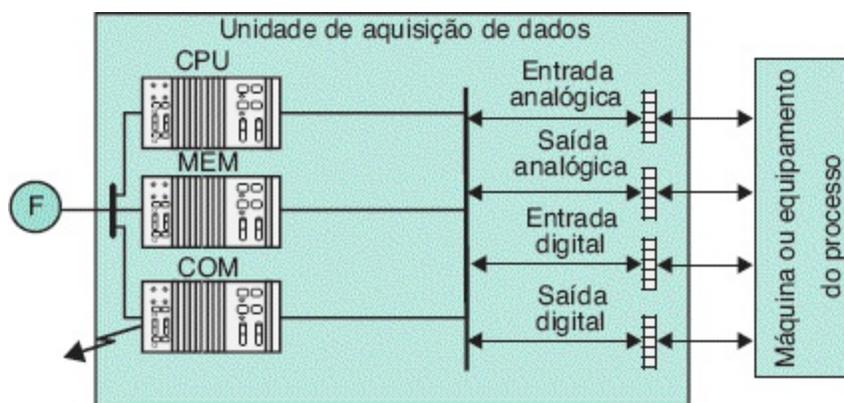
### **14.3.1 Unidades de aquisição de dados e controle**

De forma geral, as unidades de aquisição de dados e controle, na sua concepção mais completa, são compostas por um conjunto de cartões

eletrônicos, cada um deles acompanhado de funções específicas, além de outras unidades de lógica e memorização, que podem ser visualizadas pelo diagrama de bloco da [Figura 14.2](#), sendo que:

### a) Fonte (F)

A alimentação externa de uma UADC pode ser feita por uma fonte de corrente alternada de 110/220 V ou uma fonte de corrente contínua de 12–48–110–220 V, correspondendo uma alimentação interna de  $\pm 5$  a  $\pm 15$  V.



**Figura 14.2** Diagrama de bloco de uma UADC.

### b) Unidade central de processamento (CPU)

Compreende o microprocessador que trabalha os dados aquisitados e, a partir de programas dedicados, define a lógica do processo.

### c) Memória (MEM)

É a unidade de armazenamento das informações e dos programas.

### d) Comunicação (COM)

É a unidade responsável pela transmissão e recepção de informações junto ao sistema hierarquicamente superior, podendo esta comunicação ser feita por cabos convencionais, fibra ótica, rádio etc.

### **e) Entrada analógica**

É a unidade que recebe a informação do processo em forma de corrente contínua de valor padronizado na faixa de 4 a 20 mA, ou na forma de tensão contínua de 1 a 10 V, em decorrência de uma conversão interna realizada por um conversor digital/analógico.

Como a base do sistema de automação é digital, necessário se faz converter internamente toda informação analógica para sinais digitais, o que é feito por um conversor analógico/digital.

### **f) Saída analógica**

Sempre que esta unidade é ativada por estímulo da CPU, aparecerá nos seus terminais uma corrente contínua na faixa de 4 a 20 mA ou uma tensão contínua de 1 a 10 V, cujo sinal digital foi convertido por um conversor digital/analógico.

### **g) Entrada digital**

Essa unidade é ativada por um estímulo externo, por exemplo, o contato auxiliar do disjuntor, que possibilita a ligação de uma fonte de tensão interna ou externa à UADC, cujo valor da grandeza elétrica dessa fonte é comparado com dois valores de referência pelo circuito eletrônico da unidade de entrada digital, correspondendo à posição de contato aberto ou fechado, que será interpretada como 0 ou 1.

A [Figura 14.3](#) ilustra o reconhecimento pela unidade de entrada digital de um sinal de estado gerado por um equipamento.

### **h) Saída digital**

Essa unidade é ativada por um estímulo interno da CPU, que resultará uma corrente nos terminais de saída da unidade de saída digital, os quais são conectados normalmente a um relé auxiliar do equipamento que executará a manobra devida.

A [Figura 14.4](#) ilustra a geração de um sinal digital e sua forma de atuação

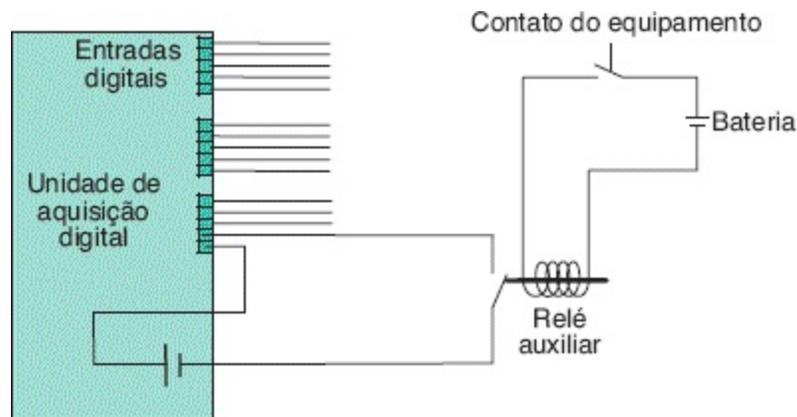
### 14.3.1.1 Controladores lógicos programáveis (CLPs)

São dispositivos que permitem o comando de máquinas e equipamentos de maneira simples e flexível, de forma a possibilitar alterações rápidas no modo de operá-los, por meio da aplicação de programas dedicados, armazenados em memória EPROM.

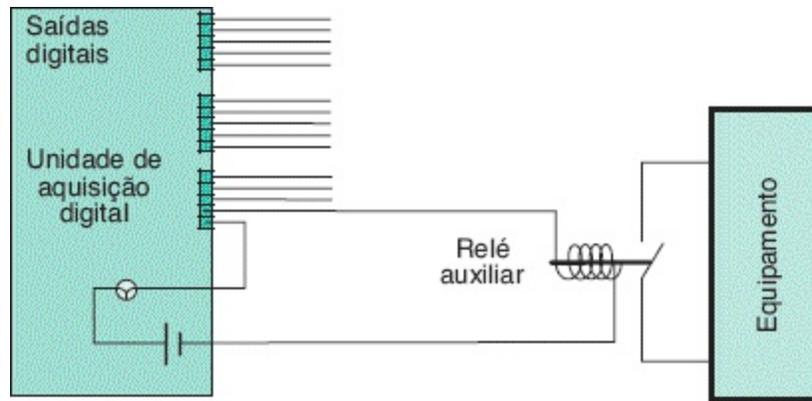
Os CLPs podem substituir com grandes vantagens os tradicionais comandos de máquinas e equipamentos, como botoeiras, chaves comutadoras, contadores e relés.

Existe no mercado uma grande diversidade de CLPs destinados a diferentes níveis de automação, em conformidade com a complexidade de cada aplicação. A [Figura 14.5](#), como ilustração, mostra o frontal de um CLP.

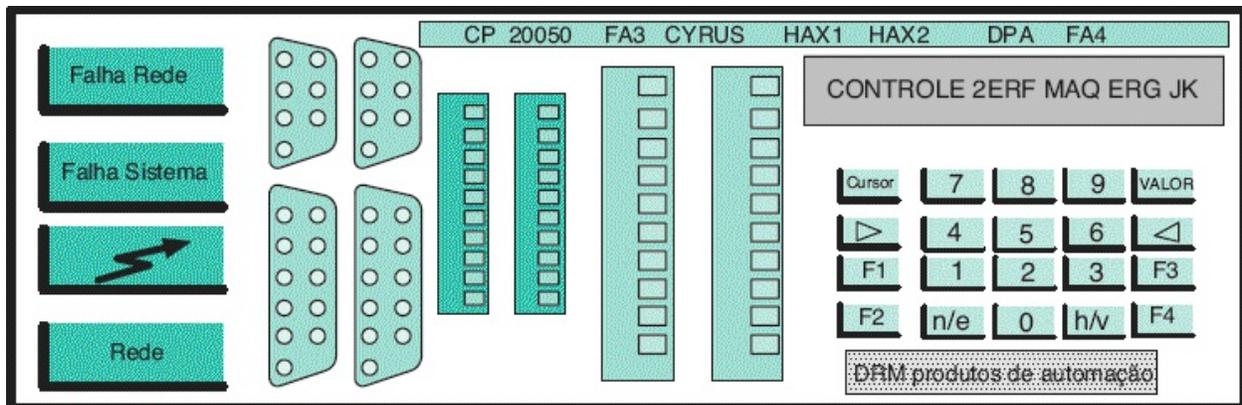
Os CLPs são constituídos por um gabinete contendo determinado número de cartões, cada um deles desempenhando funções específicas:



**Figura 14.3** Ilustração da geração de um sinal digital pelo equipamento de campo.



**Figura 14.4** Ilustração da geração de um sinal digital pela UADC.



**Figura 14.5** Frontal de um CLP.

### a) Fontes de alimentação

Os CLPs podem ser alimentados em 110/220 V em corrente alternada, ou em 24 V em corrente contínua, dependendo da seleção feita pelo cliente.

Somente a unidade básica necessita de alimentação. Todas as expansões são supridas pela unidade básica. Nos bornes de conexão com a rede externa, existe um fusível de característica rápida com corrente nominal entre 1,25 e 2 A, dependendo do tipo de CLP. Em geral, os CLPs de 110/220 V são alimentados por um circuito monofásico a três condutores: fase, neutro e condutor de proteção associado à proteção do terra do sinal eletrônico, sendo que essa conexão é feita internamente ao equipamento.

## b) Entradas e saídas

Os cartões de entrada e saída constituem a interface entre o processador lógico e os equipamentos periféricos, sendo que o cartão do circuito de entrada prepara os sinais das fontes externas e os envia para a unidade de processamento.

A saída é composta de amplificadores de chaveamento para controle dos equipamentos periféricos, que podem ser constituídos por contadores, bobinas, lâmpadas de sinalização etc.

Cada tipo de CLP tem determinada quantidade de terminais de entrada e saída, dependendo da capacidade que se deseja em função da aplicação, sendo associado a cada terminal um LED, normalmente vermelho, para monitoração do sinal de lógica.

Todos os sinais de saída destinados à comutação de cargas indutivas dispõem de um dispositivo contra surtos de tensão, podendo ser varistor, diodo etc., protegidos por fusíveis de corrente nominal apropriada.

Em geral, os módulos de entrada e saída dispõem de cartões de expansão apropriados.

A cada terminal de entrada e saída está associado um endereço utilizado na programação. Para exemplificar, considerar um módulo de entrada e saída com três cartões, sendo que cada cartão dispõe de 32 terminais de entrada e 16 terminais de saída, totalizando 96/48 terminais. O endereço atribuído a cada terminal é:

- 1º cartão: unidade básica
  - Entrada: E1.1 a E1.32
  - Saída: A1.1 a A1.16
- 2º cartão: unidade de expansão 1
  - Entrada: E2.1 a E2.32
  - Saída: A2.1 a A2.16
- 3º cartão: unidade de expansão 2

- Entrada: E3.1 a E3.32
- Saída: A3.1 a A3.16

Um endereço representado por A2.12 significa o terminal de saída (A), de número 12, pertencente ao cartão 2.

### c) Temporizadores e contadores

São cartões contendo circuitos elétricos dedicados, cujos ajustes são efetuados por *hardware*. O número de temporizadores e contadores varia em função da capacidade do cartão.

Os temporizadores podem ser ajustados desde 10 ms até 1.020 s, sendo os ajustes efetuados por chaves binárias ou potenciômetros externos. Um programa dedicado gerencia a capacidade do tempo.

A seleção do temporizador é feita a partir de códigos com base na codificação dos terminais anteriormente mencionados.

Os contadores permitem a contagem de eventos entre 0 e 999 e o ajuste é feito por três chaves, cada uma delas com indicadores numéricos de 0 a 9.

### d) Memórias

Os CLPs são dotados de cartões de memórias utilizadas pelos processadores lógicos para processar os sinais e pelo sistema operacional, e também utilizadas para armazenamento dos programas dedicados. Essas memórias podem ser do tipo EPROM ou RAM, protegidas contra ausência de tensão por meios de baterias específicas com longa vida útil. Em geral, as memórias podem ser assim classificadas:

- Memória de trabalho

É destinada ao armazenamento do programa aplicativo do processador lógico e, em geral, é do tipo RAM, com capacidade e velocidade dependente do CLP desejado.

- Memória de programa

É destinada ao armazenamento dos programas em linguagem lógica (LPW-L) e, em geral, é do tipo EPROM, com capacidade e velocidade dependentes do CLP desejado.

A memória de programa é composta por um cartão de circuito impresso provido de conector específico. Para efetuar sua gravação, é utilizado um gravador de EPROM.

No apagamento da memória EPROM, deve-se usar lâmpadas ultravioletas de comprimento de onda de 254  $\mu\text{m}$  a uma distância inferior a 25 mm do cartão de memória. O tempo de exposição ao feixe de luz ultravioleta é de 40 minutos para uma intensidade de 12.000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  e até 120 minutos para uma intensidade de 4.000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

As memórias EPROM suportam um número máximo de 50 apagamentos, além do qual não são mais ativadas.

- Memória de sinal

Esta memória é destinada ao sistema operacional e ao armazenamento das informações dos temporizadores e contadores, entradas e saídas e marcadores intermediários. Em geral, é do tipo RAM, sendo protegida contra a ausência de energia por meio de baterias de longa vida útil.

#### 14.3.1.1.1 Recursos dos CLPs

Os controladores lógicos programáveis podem ser empregados para diferentes tipos de aplicação na indústria. É possível utilizá-los sozinhos ou acoplados a outras unidades. Em projetos que ocupam extensas áreas, como, por exemplo, esteiras rolantes para transporte de minério, associado ao processo de descarga do material, torna-se imperativo o uso de vários CLPs operando acoplados para desempenhar sincronizadamente todo o controle do processo. Neste caso, a automação assume uma arquitetura descentralizada,

dividindo-se a responsabilidade do processo por várias unidades de CLPs, localizadas em diferentes pontos estratégicos da instalação. A esta capacidade de comunicação entre CLPs, dividindo tarefas, dá-se o nome de acoplamento.

O processo de acoplamento obedece a uma hierarquia gerenciada por um *software* dedicado, atribuindo-se aos CLPs de processo a função de escravo que se acoplam a um CLP de mesma capacidade ou, em geral, de maior capacidade, denominado mestre. Assim, se um CLP de processo necessita comunicar-se com outro CLP de processo, a via de comunicação passa pelo CLP mestre, conforme esquematicamente mostrado na [Figura 14.6](#).

É possível implementar outras configurações de acoplamento de CLPs, que dependem da solução que se deseja para o processo.

Dadas as facilidades obtidas com a função de acoplamento, podem-se utilizar estações remotas, a uma distância de até 1.000 m, sem empregar qualquer tipo de *modem*. Com o uso do *modem*, não há limite de distância. Além disso, o acoplamento permite implementar uma arquitetura de sistema funcional e fisicamente distribuída.

A seguir, serão descritas algumas facilidades obtidas com o uso dos CLPs.

### **a) Microprocessamento**

Corresponde à função de que os CLPs são dotados e destinados a realizar operações aritméticas comuns, transmitir e armazenar informações.

Compreende-se por operações aritméticas comuns os processos de soma, subtração, multiplicação, divisão, comparação e totalização.

Já o processo de transmissão e armazenamento de informações torna-se um recurso poderoso na automação de sistemas industriais.

### **b) Sinalização**

A função de sinalização permite o CLP monitorar determinada quantidade de eventos, a depender do tipo utilizado.

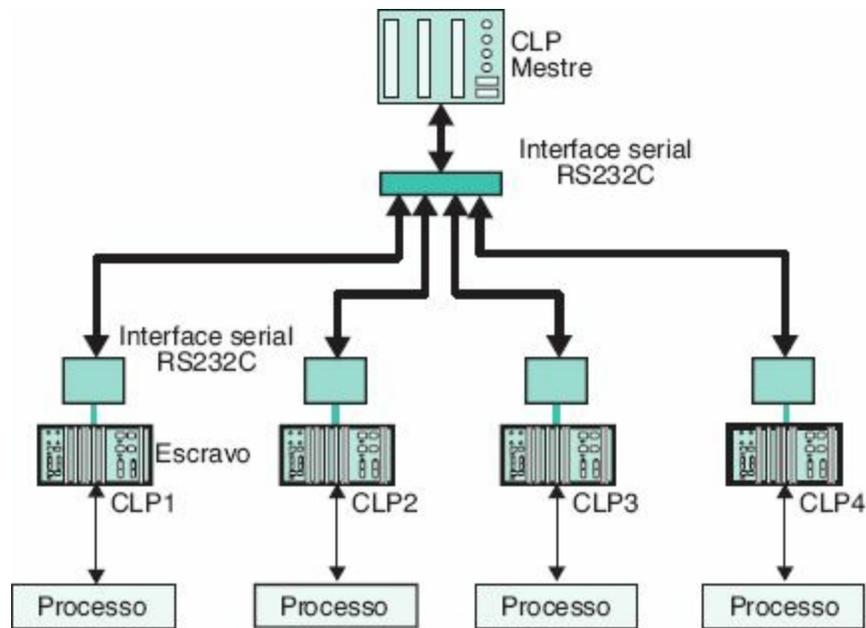
Por meio de programas dedicados, a função de sinalização está associada a um anunciador de alarmes com retenção de eventos, que permite identificar a origem de uma sequência de eventos, facilitando as correções necessárias para as ocorrências.

### c) Controle de malha

Existem dois tipos de controle de malha nos processos de produção:

- Controle de malha aberta

É empregado nos processos de produção nos quais não se faz necessário comparar a variável controlada com um valor de referência pré-ajustado. Como exemplo, deseja-se identificar, em um processo de verificação automática de engarrafamento de bebida, a presença de alguma garrafa vazia após o processo de enchimento. A condição assumida é *sim* ou *não*. É uma variável do tipo digital. Neste caso, a verificação da qualidade de enchimento da garrafa, isto é, se ela está com 50, 60 ou 100 % completa, é feita em outra etapa da linha de produção.



**Figura 14.6** Configuração de acoplamento de CLPs.

- Controle de malha fechada

É empregado nos processos de produção nos quais a variável de controle é constantemente comparada com um valor de referência pré-ajustado. Neste caso, há uma correspondência biunívoca entre a variável controlada e o sistema de controle. Retornando ao exemplo anterior, pode-se concluir que o processo de verificação da porcentagem de enchimento da garrafa caracteriza-se como um processo de controle de malha fechada.

O controle de malha fechada implica a utilização de interfaces de sinais analógicos ou conversores analógicos/digitais e digitais/analógicos.

Para caracterizar melhor esse processo, pode-se dividi-lo em dois tipos básicos:

- Controle de malha fechada em máquinas operatrizes

Certas máquinas operatrizes são dotadas de dispositivos de alta sensibilidade para controle dimensional do produto, fazendo as correções necessárias, de forma a manter dentro de uma faixa de precisão predefinida as

dimensões do produto final. Como exemplo pode-se citar o caso de máquinas retificadoras.

- Controle de malha fechada em processo

É de largo uso nos sistemas de automação industrial integrado, em que certo número de sensores posicionados ao longo do processo realimenta o sistema de controle por meio de sinais analógicos transformados em variáveis controladas, sendo que esses sinais são permanentemente comparados com um padrão de referência, gerando um sinal de desvio que atua sobre os dispositivos de controle do processo, reconduzindo as variáveis controladas aos valores predefinidos, estabelecendo-se, assim, um controle em malha fechada.

#### **d) Aquisição e processamento dos valores medidos**

Em diferentes etapas de um processo de produção, é necessário adquirir valores de temperatura, pressão, vazão, ruído, vibração, umidade, nível, tensão, corrente etc. Por meio de programas dedicados e utilizando-se de interfaces seriais analógicas, podem ser adquiridas todas as grandezas mencionadas após o que são processadas e comparadas com valores de referência, gerando sinais de comando, intertravamento, contagem, temporização, sinalização etc. A aquisição dessas grandezas é feita por sensores específicos, como termômetros, pressostatos etc.

#### **e) Sincronização**

Dois ou mais CLPs podem ser conectados por meio de suas entradas e saídas e sob a gerência de um programa dedicado, sincronizados por *software*.

#### **f) Relatórios**

Sempre que há um evento no processo resulta em uma mensagem armazenada em memória permanente, tendo cada mensagem um número

definido de caracteres.

Para se obter as informações desejadas relativas aos eventos, pode-se fazer uso de um programa dedicado que emite um relatório das mensagens gravadas. Essas mensagens podem ser transmitidas por uma interface serial RS232 a um periférico qualquer, que pode ser uma impressora, um gravador de CD etc.

#### 14.3.1.1.2 Interface homem-máquina (IHM)

Quando da instalação de controladores lógicos programáveis em processos industriais necessita-se de um equipamento que possa interpretar os dados coletados dos diferentes CLPs escravos, instalados na linha de produção, de modo a fornecer de forma visível e prática as informações das quais os supervisores necessitam, por meio de um *display* alfanumérico de cristal líquido e, por outro lado, permitir que o mesmo supervisor possa fornecer aos CLPs as instruções necessárias ao desenvolvimento do processo por um teclado configurável. Tanto o *display* como o teclado são posicionados na parte frontal do equipamento, conforme mostrado na [Figura 14.7](#).

A IHM é um CLP ao qual foram incorporadas as funções características de interfaceamento entre o supervisor e o processo, usando os programas residentes como veículo de interpretação.

A IHM permite que se faça conexão com chaves seccionadoras, disjuntores, botoeiras, painéis mímicos dinâmicos, consoles, impressores, gravadores etc. Para isso, possuem canais de entrada e saída analógicas e digitais e comunicação serial.

A IHM pode ser ligada a um único CLP ou a um conjunto de CLPs operando em rede, bem como pode ser conectada à outra IHM. Neste caso, é dotada de um microprocessador que atua como interface entre o supervisor e os CLPs escravos.

#### 14.3.1.1.3 Programação dos CLPs



### **14.3.1.2 Unidades terminais remotas (UTRs)**

São unidades independentes, com a função de coletar dados e executar comandos dos equipamentos do processo. Os dados coletados podem ser digitais (ligado/desligado, fechado/aberto, pulsos, acumuladores etc.) ou analógicos (medida de tensão, corrente, frequência, ângulo de fase etc.). Os controles emitidos pela UTR poderão ser digitais, por meio de relés, ou analógicos, na forma de um valor de tensão variável disponível nos terminais da UTR.

As UTRs deverão ter capacidade de executar programas de controle local, independentemente da ativação do centro de supervisão e controle (CSC), mas com possibilidade de intervenção do mesmo, bloqueio ou ativação a partir de modificação de pontos definidos na base de dados da UTR. Esses controles locais devem ser executados de maneira similar aos que ocorrem nos CLPs, com os programas sendo gravados de maneira não volátil, em memória própria da UTR. Estes programas poderão ser modificados e recarregados na memória da UTR, utilizando-se as ferramentas normais de configuração da mesma. Os programas deverão ser escritos e compilados em microcomputadores pessoais e transferidos pelo canal de comunicação sem interrupção das funções de supervisão.

As UTRs devem ser montadas em painéis, em gabinetes metálicos ou em fibra de vidro.

### **14.3.2 Unidades dedicadas**

São equipamentos que desempenham funções específicas junto ao processo e guardam as mesmas características funcionais da UADC. Essas unidades aquisitam informações via entrada analógica, como tensão, corrente, ângulo de fase etc., disponibilizando o resultado do seu processamento em uma saída digital conectada a um circuito de comando de um equipamento. São conhecidos como unidades dedicadas os seguintes dispositivos:

### **a) Relés digitais**

- Relés de sobrecorrente.
- Relés diferenciais.
- Relés de distância.
- Relés multifunção etc.

### **b) Oscilógrafos**

São equipamentos destinados a registrar as anormalidades ocorridas nos sistemas elétricos de força, como sobre e subtensão, sobrecorrente, sobre e subfrequência etc.

Esses equipamentos são dotados de unidades digitais e analógicas para aquisição de informações, disponibilizando o resultado do seu processamento em tela de monitor, papel etc.

### **c) Unidades de intertravamento**

São unidades que contêm determinada quantidade de entradas digitais, que recebem informações de estado dos equipamentos, aberto ou fechado, e, de acordo com a lógica do processo para a qual foram programadas, disponibilizam o resultado dessa lógica em determinado número de saídas digitais, de tal forma a inibir ou liberar certas funções de comando de um equipamento.

## **14.4 Interface com o processo**

Para que as unidades de aquisição de dados (UADs) possam receber as informações do processo e atuar nele, é necessário utilizar alguns dispositivos de relativa simplicidade.

### **14.4.1 Transformadores de medida**

Normalmente, as grandezas elétricas envolvidas no processo são a tensão e a corrente, cujos valores, em geral muito elevados, inviabilizam o uso dos equipamentos de tecnologia da informação ligados diretamente à rede elétrica de alta corrente e/ou de alta tensão. Em virtude disso, são usados os transformadores de medida.

#### **a) Transformador de corrente (TC)**

Sua descrição e aplicação estão contidas nos Capítulos 9 e 10.

#### **b) Transformadores de potencial (TP)**

Da mesma forma que os TCs, os transformadores de potencial foram estudados no Capítulo 9. Aconselhamos o leitor a rever esses assuntos.

### **14.4.2 Transdutores**

São equipamentos capazes de converter medidas elétricas em valores proporcionais de tensão e corrente.

Os transdutores exercem um papel imprescindível no campo da medição e controle. São usados em conjunto com instrumentos convencionais de bobina de ferro móvel e registradores, e permitem fornecer dados local ou remotamente.

Os transdutores podem ser dotados de saídas de tensão, corrente e, alternativamente, de saídas seriais. Os transdutores de saída de tensão possibilitam algumas aplicações em que os dispositivos de recepção necessitam de uma entrada de tensão real, porém, desvantajosamente, requerem determinado consumo de corrente, o que pode introduzir alguma imprecisão na medida. Já os transdutores de saída de corrente compensam automaticamente as variações da resistência dos condutores que conduzem o sinal, eliminando basicamente a imprecisão da medida, o que resulta a maior aplicação desses equipamentos. Os transdutores de saída serial podem ser

conectados diretamente a um microprocessador, que irá trabalhar os dados e fornecê-los da forma desejada.

Os transdutores fornecem um sinal analógico em corrente contínua proporcional à função de entrada que está sendo medida. Devem ser instalados próximo ao instrumento cuja grandeza elétrica se quer medir. Depois da conversão dessa grandeza elétrica, o sinal é enviado por condutores de cobre apropriados a um ponto remoto para fins de medição e/ou de processamento. A [Figura 14.8\(a\)](#) e (b) mostra, respectivamente, um transdutor e sua inserção em um diagrama de aplicação.

A aplicação de um transdutor deve considerar a resistência dos condutores que podem ser cabos usados em telefonia convencional e a do equipamento receptor. O total das resistências deve estar compatível com o valor da resistência do transdutor.

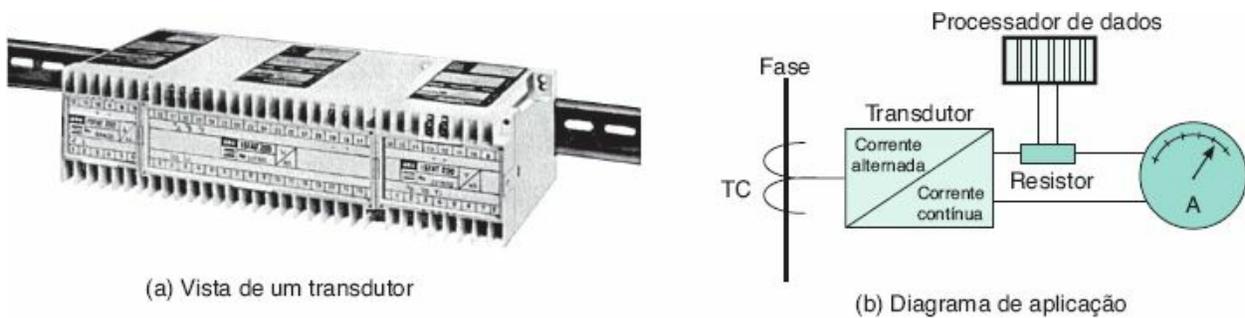
Os transdutores com saída serial permitem que todos os dados adquiridos em sistemas monofásicos e trifásicos sejam enviados simultaneamente. São inteiramente programáveis para uso com TCs de qualquer relação, podendo alternativamente serem usados em TPs.

A saída serial de dados, usando um protocolo adequado, dependendo do fabricante, faz desses equipamentos uma escolha ideal para aplicação em sistemas de automação de subestação e gerenciamento de energia com o tratamento de dados adquiridos feito pelo sistema SCADA, sendo que um único fio de par trançado permite comunicação com vários receptores a longas distâncias, aproximadamente a 1.000 m, sem nenhuma amplificação intermediária. O uso de amplificadores amplia a capacidade de utilização dos transdutores, conforme esquematicamente se mostra na [Figura 14.9](#). Os transdutores podem ser ligados tanto a controladores lógicos programáveis (PLCs) como a computadores pessoais (PCs). Os transdutores com saída serial podem ser programados remotamente por um PC.

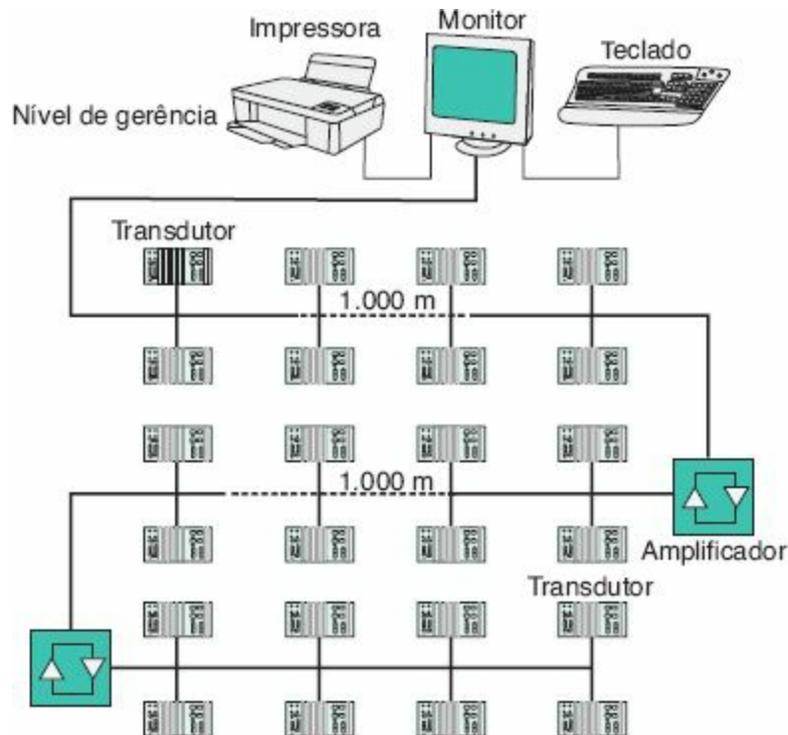
Os transdutores podem medir, converter e enviar sinais aos seus respectivos receptores, correspondentes às seguintes medidas elétricas:

- tensão, em valor eficaz;
- corrente, em valor eficaz;
- potência ativa;
- potência reativa;
- potência aparente;
- potência ativa média;
- potência média aparente;
- consumo de energia ativa;
- consumo de energia reativa;
- temperatura;
- rotação;
- resistência elétrica.

Os dados básicos dos transdutores com saídas serial e analógica são fornecidos a seguir:



**Figura 14.8** Transdutor.



**Figura 14.9** Ligação de transdutores de saídas seriais a longas distâncias.

#### a) Transdutores com saída serial

- Entrada de tensão: máximo de 500 V/20–800 Hz.
- Entrada de corrente: máximo de 5 A/20–800 Hz.
- Saída: serial (RS485).
- Alimentação: 110/240 V.
- Consumo:  $\approx 3$  VA.

#### b) Transdutores em saída analógica

- Entrada de tensão: máximo de 500 V/20–800 Hz.
- Entrada de corrente: máximo de 5 A/20–800 Hz.
- Saída: 4–20 mA (isolada galvanicamente).
- Alimentação: 110/240 V.
- Consumo:  $\approx 3$  VA.

Normalmente, os fabricantes disponibilizam a seus clientes programas

capacitados a dialogar com determinado número de transdutores ligados em rede, com protocolo de comunicação serial. Esses programas, em geral, operam em ambiente Windows. São dotados de várias funções que facilitam a operacionalidade do sistema:

#### **a) Funções de configuração**

Permite configurar uma programação remotamente a partir de um PC para determinado número de transdutores ligados em rede. Pode ser executada nesta configuração a relação de TPs e TCs, fixação de endereços, tempo de integração etc. A partir de funções avançadas é possível configurar alarmes, relés de saídas, contadores de energia para diferentes tarifas etc.

#### **b) Transferência de medição**

Permite que se transfira para a tela do PC as medições disponíveis em cada um dos transdutores ligados em rede. Essas medições podem constar de valores de corrente, tensão, energia, demanda máxima (quando o transdutor portar memória RAM), fator de potência etc.

Como os transdutores trabalham normalmente em ambientes magnéticos e eletricamente hostis, são dotados de uma proteção contra essas interferências.

Os transdutores podem ser ligados ao sistema elétrico de várias formas, a depender de sua tensão (contínua ou alternada) e de sua função de medição (medição de tensão, corrente, frequência etc.). A [Figura 14.10](#) ilustra a forma de conexão de um transdutor de potência ativa ou reativa a dois elementos – três fios.

### **14.4.3 Sensores e controladores**

Sensores são dispositivos destinados à detecção de grandezas, como presença, temperatura, velocidade, pressão etc. Outro dispositivo,

denominado controlador, ao qual o sensor está conectado, sentindo a presença da grandeza detectada, faz atuar um terceiro dispositivo, denominado atuador, que pode ser um seccionador, um alarme sonoro ou visual ou qualquer outro dispositivo do sistema.

Esta descrição é típica de controles automáticos convencionais. No entanto, dentro de um projeto de automação, usando técnicas digitais, o sensor, ao detectar a grandeza, sensibiliza o controlador, que, por meio de um contato seco que corresponde a um sinal digital, disponibiliza na rede de comunicação essa informação, utilizada para os mais diversos fins.

Como o sensor utiliza técnicas eletrônicas, não dispõe de contatos mecânicos sujeitos a desgaste contínuo e vida útil reduzida. Operam silenciosamente sem choques ou vibração, sendo insensível a oscilações violentas.

Existe uma grande variedade de sensores no mercado de automação industrial. Serão descritos, para efeito de compreensão do processo de automação industrial, aqueles mais comumente utilizados.

#### **14.4.3.1 Sensor de nível**

É constituído por um dispositivo imerso em líquido, cujos eletrodos conduzem uma pequena corrente elétrica, conforme mostrado na [Figura 14.11](#). Quando o líquido deixa de fazer contato com o eletrodo do par sensor, interrompe-se a corrente elétrica, fazendo operar um solenoide sobre os contatos secos de uma chave de comando.

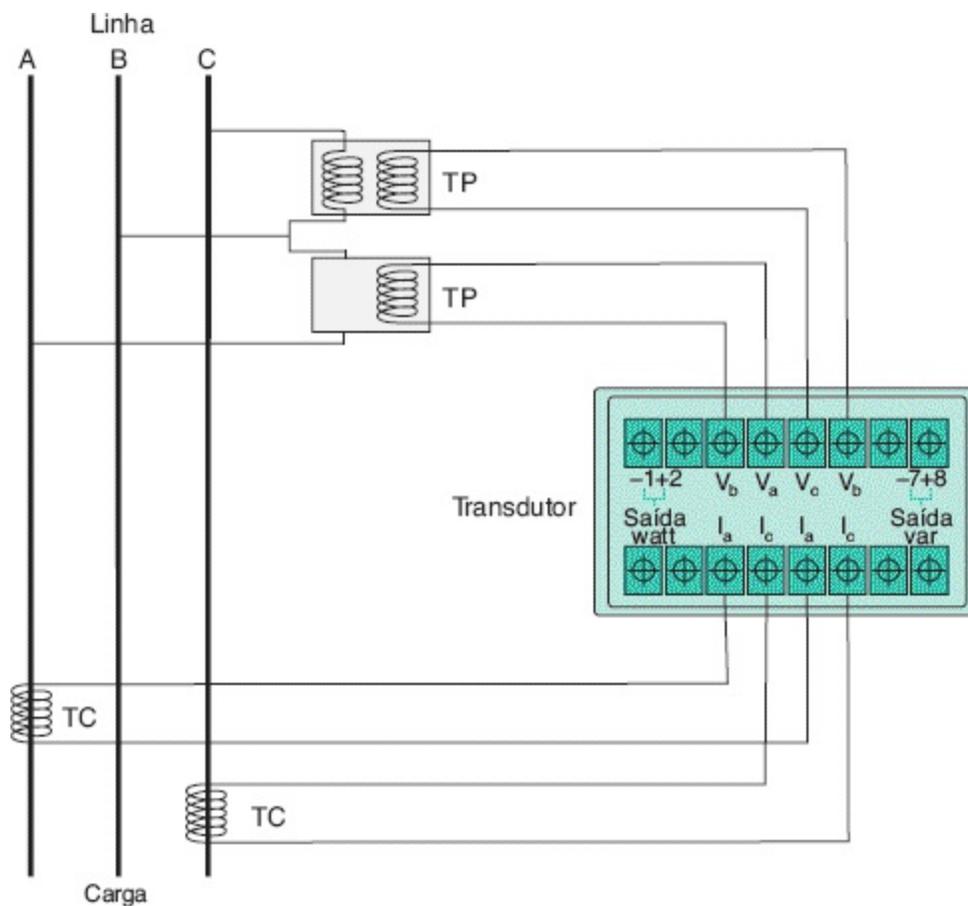
#### **14.4.3.2 Sensor de presença**

Também conhecido como sensores de proximidade, estão disponíveis no mercado em três versões:

##### **a) Indutivos**

Possuem alta frequência de chaveamento e detectam todos os metais, sem contato.

O sensor indutivo é constituído de um oscilador, que opera em conjunto com uma bobina localizada na sua extremidade frontal, criando um campo magnético de elevada frequência, cujas linhas de campo se projetam para fora, nas proximidades do dispositivo. Quando um material condutor (metal) se aproxima da extremidade frontal do sensor, é enlaçado pelas linhas de campo, provocando uma dispersão magnética que retira energia do circuito oscilante (L-C), reduzindo a amplitude de oscilação, o que é percebido pelo circuito eletrônico, gerando um impulso elétrico de comando. Quando o material condutor se afasta da extremidade frontal do sensor, ficam restabelecidas as condições de funcionamento desse dispositivo.



**Figura 14.10** Forma de ligação de um transdutor de potências ativa e reativa.

Há dois tipos de sensor de presença indutivo: corrente contínua e corrente alternada. A [Figura 14.12\(a\)](#) mostra um sensor de presença do tipo indutivo.

### **b) Capacitivos**

Operam sem contato e detectam materiais não metálicos.

### **c) Magnéticos**

Permitem a detecção de materiais a maior distância.

#### **14.4.3.3 Sensor ótico**

É um dispositivo que opera com feixe de luz infravermelho, sendo constituído por um emissor e um receptor. Quando se interrompe o feixe de luz, é ativado um solenoide que atua sobre um contato seco, conforme pode ser mostrado na [Figura 14.12\(b\)](#). Há duas versões: relé ligado na focalização e relé desligado na focalização.

#### **14.4.3.4 Sensor de fim de curso**

É formado por um dispositivo de contatos secos, que são acionados por um solenoide quando uma parte qualquer do processo atinge o fim de uma trajetória definida. O fechamento ou abertura do contato gera um sinal digital. A [Figura 14.12\(c\)](#) mostra um sensor fim de curso.

O sensor fim de curso pode ser substituído por um sensor ótico.

## **14.5 Programas e protocolos**

O mercado nacional dispõe de muitas alternativas de sistemas de interface homem-máquina destinados à automação de subestações de potência. Dependendo do porte da subestação e das facilidades que se deseja implantar,

podem-se adquirir programas de diferentes potencialidades e preços.

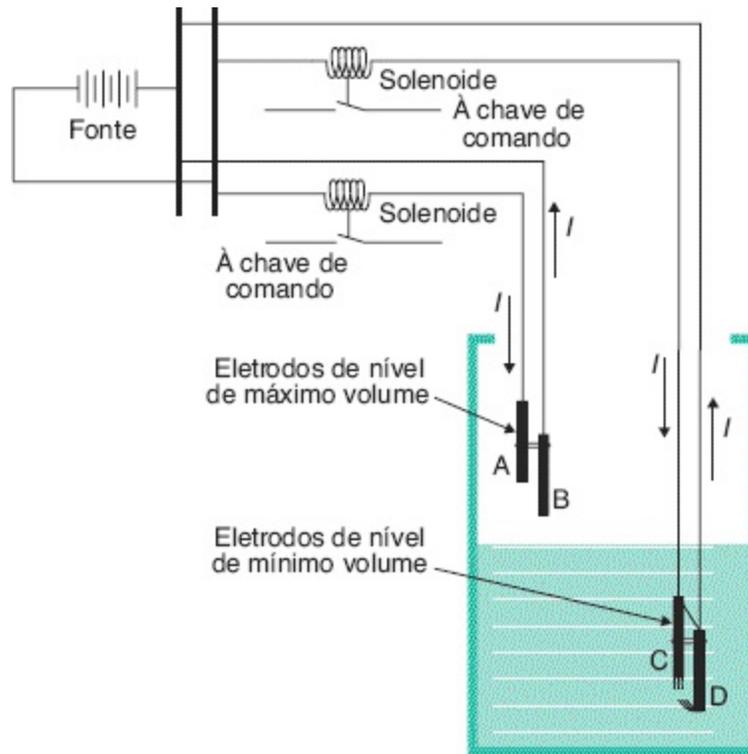


Figura 14.11 Sensor de nível.

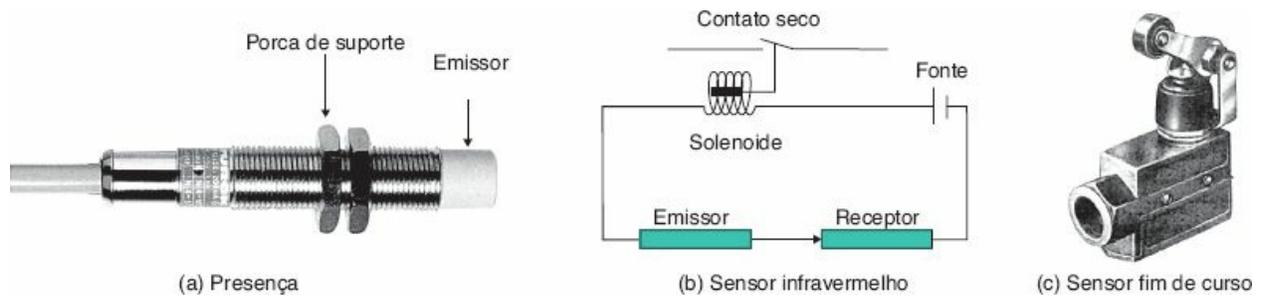


Figura 14.12 Tipos de sensor.

Mas antes da escolha de um sistema completo, ou pacote, devem-se analisar duas características típicas de sistemas:

### a) Sistemas proprietários

É um conjunto de programas desenhados e desenvolvidos por determinado

provedor, normalmente um fornecedor de *hardware*, que tem a propriedade e os direitos de comercializar, implantar e alterar. Em geral, o provedor fornece a solução completa, isto é, *hardware* e *software*.

- Vantagens
  - Compatibilidade entre *software* e *hardware*.
  - Um único responsável pela solução.
  - Redução do tempo de implantação do projeto.
- Desvantagens
  - Dificuldade de se implementar alterações junto ao provedor da solução.
  - Dificuldades de agregar novas facilidades utilizando outro provedor.
  - Dificuldade de o provedor abrir o sistema para o cliente.
  - Contrato de manutenção cativo com o provedor da solução.

## **b) Sistemas abertos**

São sistemas comerciais desenhados e desenvolvidos por empresas da área de informática, os quais são negociados com o cliente, independentemente da origem do *hardware*.

- Vantagens
  - Possibilidade de adaptação do *software* a qualquer solução de *hardware*.
  - Possibilidade de conhecimento do *software* por parte da equipe técnica do cliente.
  - Vantagens de preço de aquisição pela competitividade.
  - Facilidades de agregar novas facilidades com outros provedores.
- Desvantagens
  - Possibilidade de incompatibilidade entre o *software* e parte do *hardware*.

- Responsabilidade de implementação do projeto distribuída entre diferentes provedores.

### 14.5.1 Estrutura de base de dados

Existem três tipos de arquitetura de banco de dados. Na arquitetura mais simples, os dados são armazenados em forma de *lista*. Os dados podem também ser armazenados obedecendo a uma ordem *hierárquica*, em forma de árvore. Finalmente, nos bancos de dados de melhor *performance*, as informações são armazenadas de forma a guardarem uma relação entre si. São os chamados bancos de dados *relacionais*.

As informações aquisitionadas do sistema elétrico, bem como aquelas fornecidas pelo teclado ou por arquivo, devem ser estruturadas adequadamente para serem acessadas pelos programas. Há três diferentes tipos de base de dados:

#### 14.5.1.1 Base de dados em tempo real (on-line)

Constituem os dados dinâmicos da base de dados aquisitionados do sistema elétrico formado pelos dados de natureza analógica e digital.

A base de dados em tempo real deve ter prioridade de acesso e estar residente na memória principal, devendo-se minimizar o acesso a disco.

#### 14.5.1.2 Base de dados de cadastro (off-line)

Constituem os dados definidos pelo usuário, como diagramas, limites de variáveis etc.

A base de dados de cadastro pode residir em disco rígido e ter tempo de acesso superior ao tempo de acesso definido para a base de dados em tempo real.

### 14.5.1.3 Base de dados históricos

Todos os dados do sistema elétrico podem ser armazenados em arquivos históricos, que constituem um arquivo em disco que contém dados armazenados ao longo de um intervalo de tempo selecionável. Todo dado digital deve ser armazenado a cada variação de estado do mesmo e todo dado de medida analógica deve ser armazenado seguindo uma periodicidade ajustável.

Os arquivos históricos devem ser armazenados de maneira circular em uma base horária, diária, semanal, mensal e anual. O tamanho médio, em *bytes*, dos registros de dados e a periodicidade média do armazenamento dos registros têm influência direta na dimensão do arquivo histórico.

### 14.5.2 Características básicas de interface homem-máquina

Quanto mais amigável é o relacionamento entre os usuários e o sistema, maior é seu valor agregado. Podem-se citar algumas características fundamentais do sistema:

- Facilidade de acesso a uma sequência de informações em múltiplas telas.
- Intercambialidade de telas.
- Uso de ferramentas de toque para ativar as funções do sistema.
- Facilidade de identificação dos objetos de tela.

### 14.5.3 Sistema operacional

É o *software* debaixo do qual devem operar todos os aplicativos do sistema.

Deve ter características de plataforma multitarefa a tempo real, entendendo-se por multitarefa a propriedade de que o sistema é dotado para

executar diferentes tarefas simultaneamente. Podem-se citar como exemplo a capacidade de o sistema gerar alarmes, interpretar os comandos do operador em determinada situação operativa, visualizar dados adquiridos *on-line* junto ao diagrama unifilar e outras tarefas similares, todas realizadas simultaneamente. A característica de tempo real refere-se à capacidade de receber do sistema elétrico certo número de informações, como tensão, corrente, disparo do disjuntor etc., e tratar essas informações e respondê-las em tempo extremamente curto, em frações de milissegundos.

Como ilustração, podem ser mencionados os sistemas operacionais Unix-Posix e ONX para sistemas de automação mais complexos, normalmente instalados nas estações de trabalho (*workstations*) de alto desempenho, o X-Windows, utilizado nas estações de trabalho secundárias (por exemplo, estudo) e o MS-Windows, de utilização generalizada nos microcomputadores PCs.

#### **14.5.4 Sistema de gerência de bancos de dados**

Os sistemas elétricos geram grandes massas de dados, que devem ser arquivadas para fins de estudos de operação e manutenção, além de subsidiar o sistema corporativo da indústria, caso haja, como módulo financeiro, administrativo etc. Em função disso, são utilizados gerenciadores de bancos de dados com capacidade adequada aos requisitos do projeto.

##### **14.5.4.1 Gerência de banco de dados em tempo real**

Os dados digitais são adquiridos do sistema elétrico na sua forma digital, como ocorre com o estado operacional do equipamento, e na forma analógica, como os valores obtidos de corrente, tensão, frequência etc.

O provedor do sistema de automação é o responsável pelo desenvolvimento do *software* de acesso ao banco de dados e por sua disponibilização ao uso de qualquer aplicativo.

#### 14.5.4.2 Gerência do banco de dados de cadastro

O banco de dados de cadastro deve ser gerenciado por um programa comercial de base de dados relacional, de largo uso em sistemas de automação. São conhecidos os gerenciadores Oracle, Sydbase, Informix e DB2.

#### 14.5.4.3 Gerência do banco de dados históricos

É usado o mesmo gerenciador do banco de dados de cadastro.

#### 14.5.5 Software SCADA

É o programa responsável pela aquisição de dados analógicos e digitais do sistema elétrico em tempo real, acumulando as seguintes e principais funções:

- Processador de totalizadores (medição de energia).
- Processador de dados calculados.
- Processador de sequência de eventos.
- Processador de medidas analógicas.
- Processador de estados digitais.
- Processador de controle supervisão (comando).

#### 14.5.6 Software de comunicação

O serviço provido pela rede local (LAN) baseado no padrão Ethernet, por exemplo, é definido pelo protocolo, sendo comumente utilizado o protocolo TPC/IP (*Transmission Protocol Control/Internet Protocol*).

Cabe salientar que o TPC/IP é um protocolo de comunicação e não um *software*. O *software* de comunicação é que implementa o protocolo TPC/IP. Além disso, o *software* de comunicação da rede local deve estar integrado ao sistema operacional.

## 14.6 Automação de subestações de potência

Como já foi explicado no Capítulo 10, no jargão dos profissionais de automação existe uma diferença clássica entre automatizar e digitalizar uma subestação de potência. Dessa forma, automatizar uma subestação significa dotá-la de recursos de inteligência artificial utilizando os relés existentes, normalmente eletromecânicos ou eletrônicos (relés burros). Digitalizar uma subestação significa aplicar o mesmo princípio anterior, porém utilizando relés digitais. No primeiro caso, os resultados obtidos são muito limitados. No segundo caso, podem-se obter facilidades extraordinárias, desde que se empreguem equipamentos de potência (chaves, disjuntores etc.) compatíveis com os resultados pretendidos. Porém, neste capítulo, não está sendo considerada esta diferença e se empregará o termo automação para ambas as situações.

É bom lembrar que a entrada da microinformática na operação e no comando das subestações não agregou novas funções, apenas substituiu as tarefas, muitas vezes monótonas, dos operadores. No entanto, a automação das subestações modificou as práticas operacionais, e isto fez a diferença.

Normalmente, as subestações automatizadas não necessitam de operadores presentes à sala de operação. Apenas empregam operadores mais qualificados, gerenciando-as remotamente.

A [Figura 14.13](#) mostra a topologia geral de um sistema de automação simplificado. Cada um dos PCs indicados na figura desempenha uma função. O PC (A) é responsável pela interface entre os equipamentos de aquisição de dados com os PCs no nível hierárquico imediatamente superior, além de tratar adequadamente dos protocolos de comunicação. O PC (B) é responsável pelo arquivamento da massa de informações geradas, ou simplesmente arquivo histórico, e das variáveis do sistema. Finalmente, o PC (C) serve de interface homem-máquina entre o operador e o sistema de automação.

## 14.6.1 Funções de um sistema de automação

As principais funções de um sistema de automação de subestação são:

### a) Monitoração

Possibilita ao operador do sistema ter uma representação gráfica na tela do monitor de todos os esquemáticos da instalação, notadamente o diagrama unifilar mímico, indicando os valores de tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente, correspondentes a cada circuito. As telas devem ser organizadas de acordo com o nível de informação desejado pelo cliente, devendo disponibilizá-las na forma mais geral e, sucessivamente, detalhando-as até serem reveladas na sua forma mais analítica.

### b) Proteção

Os relés utilizados podem ser do tipo analógico (relés eletromecânicos e estáticos) ou digital. A monitoração com relés analógicos é feita somente por contatos auxiliares nas posições aberta ou fechada. Já os relés digitais adicionam um maior número de recursos, como transferência de informações de estado ou de valores de corrente, tensão e potência para um centro de supervisão e controle (CSC), via sistema de comunicação de dados.

Os relés de proteção digitais, cuja comunicação é feita pela interface serial, são conectados por meio de cabos de cobre concêntricos, ou cabos de fibra ótica, permitindo que seus parâmetros sejam ajustados para obter registros durante os distúrbios, além de leituras de valores de medição.

Se houver recursos no sistema de automação, é possível o ajuste remoto dos parâmetros do relé digital, decorrentes de manobras ou de mudança na configuração da subestação.

Os relés eletromecânicos ou estáticos, atualmente obsoletos, necessitam ser ligados a dispositivos auxiliares, chamados de transdutores (veja Seção 14.4.2), que transformam toda e qualquer informação analógica em sinal

digital.

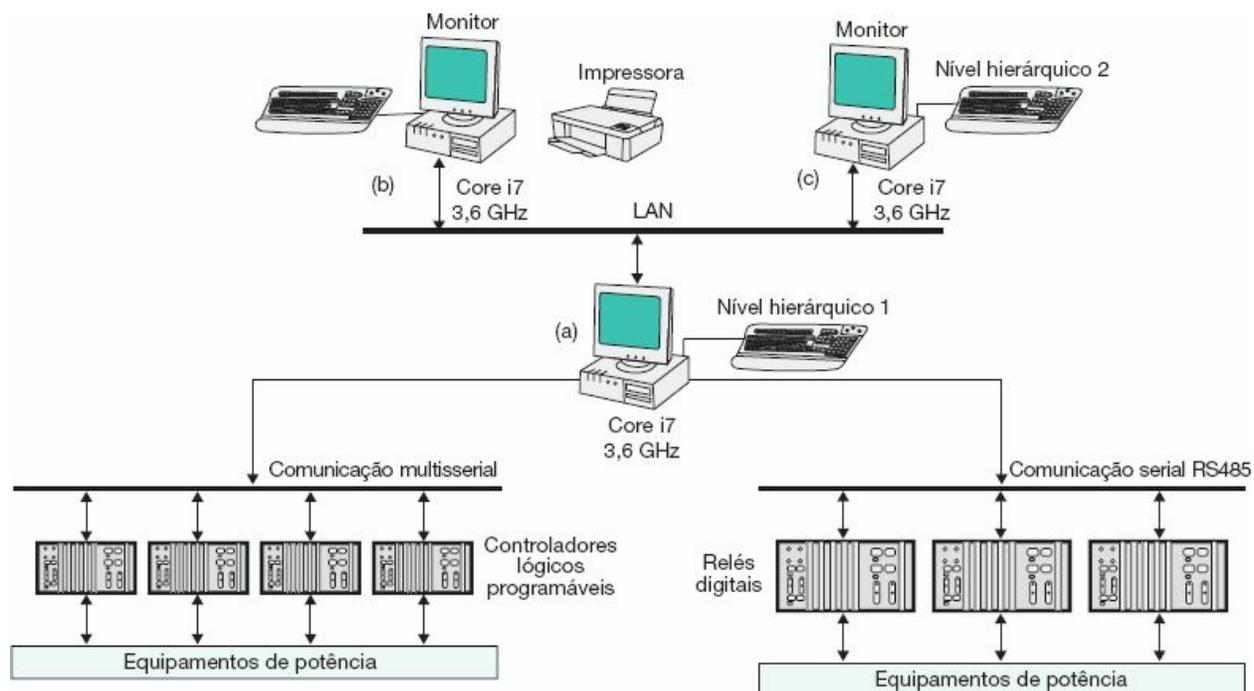


Figura 14.13 Exemplo de topologia de uma subestação automatizada.

### c) Alarme

A função alarme possibilita ao operador tomar conhecimento de quaisquer disfunções do sistema elétrico, como alterações intempestivas da configuração na rede elétrica, transgressão dos limites de operação dos equipamentos ou qualquer irregularidade funcional. Deve existir uma lista de alarmes e eventos com a indicação precisa do nível de urgência para tomada de providências. Essa indicação deve ser representada por diferentes cores. Os alarmes, em geral, são gerados em três diferentes níveis:

- No pátio da subestação, incluindo o cubículo dos disjuntores e o QGF na casa de comando.
- Nas unidades digitais do sistema de automação autossupervisionadas.
- No processador do sistema, se algum valor limite for ultrapassado.

Os equipamentos tanto podem ser manobrados localmente ou pelo centro de supervisão e controle, por meio de interface gráfica no console, representado pelo diagrama unifilar, atuando com a seta do mouse sobre o símbolo gráfico correspondente ao equipamento que se deseja comandar.

#### **d) Intertravamento**

Possibilita o bloqueio ou liberação das ações de comando em chaves seccionadoras motorizadas ou disjuntores, de forma a prover segurança na operação desses equipamentos, em função de sua posição elétrica no sistema.

O intertravamento se baseia em um conjunto de regras que são aplicadas com base no diagrama unifilar da subestação. Essas regras podem ser divididas em três diferentes classes:

- Sequência de chaveamento

Possibilita a sequência correta durante a operação das chaves seccionadoras e disjuntores.

- Segurança durante a operação

Inibe e cancela a tentativa de energizar partes condutoras do sistema à terra e também a operação de chaves seccionadoras em condição de carga do sistema.

- Segurança em condição de serviço

Tem a finalidade de prover intertravamento entre chaves seccionadoras e disjuntores com as chaves de aterramento.

O intertravamento pode ser realizado por um processador dedicado, supervisionado continuamente por meio de um programa específico denominado *wath-dog*.

#### **e) Religamento**

Esta função faz registrar ordenadamente a atuação dos relés de proteção,

abertura e fechamento de chaves seccionadoras motorizadas e disjuntores, além de outras indicações de estado dos equipamentos envolvidos no evento, de forma que se possa conhecer a sequência correta desses eventos.

#### **f) Armazenamento de informações históricas**

As medições de tensão, corrente, frequência etc. e as indicações de estado dos equipamentos no estágio pré-operacional são armazenadas em meio magnético apropriado para permitir uma análise pós-operacional.

#### **g) Gráficos de tendência**

É a função que permite ao operador observar a evolução de certos valores, como corrente, tensão e potência em determinado período de tempo.

#### **h) Osciloperturbografia**

É a função que permite a aquisição de dados elétricos durante um evento perturbador que, normalmente, resulta em sobretensões, sobrecorrentes, sub e sobrefrequência, possibilitando sua representação gráfica na forma de onda, a fim de identificar e diagnosticar o evento de modo a implementar ações corretivas, como a alteração de ajuste dos relés e esquema de coordenação.

#### **i) Desligamento seletivo de carga**

Nas instalações industriais, facilmente são identificadas as cargas prioritárias e não prioritárias. As cargas prioritárias são definidas como aquelas essenciais à produção e/ou segurança das pessoas ou do patrimônio e que devem permanecer em operação após um evento que ocasione uma redução de oferta de energia à instalação. A partir dessa informação, as cargas serão desligadas na ordem de prioridade, de forma a se manter o sistema operativo nos limites de sua capacidade reduzida.

#### **j) Controle de demanda máxima**

A fim de evitar que se pague pela ultrapassagem da demanda contratada na hora de ponta, esta função seleciona as cargas prioritárias desligando-as sucessivamente, de forma a manter a demanda, naquele intervalo, no limite inferior dos valores contratados.

#### **k) Despacho de geração**

Quando a indústria é dotada de geração própria alternativa para suprimento da carga em hora de ponta, o operador dispõe da função despacho para acionar o gerador ou geradores a fim de eliminar a demanda de ultrapassagem, sem reduzir a produção.

#### **l) Controle de tensão**

Esta função faz acionar o comutador de tapes sob carga do transformador nos dois sentidos. O sistema de ventilação forçada, também controlado pela função de sobrecarga, pode ser acionado, compatibilizando a potência disponível do transformador com a demanda da carga.

#### **m) Controle de frequência**

Esta função somente tem aplicação quando a indústria possui geração própria alternativa. Porém, pode ser utilizada para monitorar a frequência fornecida pela concessionária, podendo ordenar o desligamento da carga se forem ultrapassados os limites admitidos.

#### **n) Controle do fator de potência**

Consiste em comandar o banco de capacitores, adequadamente dividido em blocos de potência reativa controláveis, de forma que se mantenha nos limites previstos pela legislação (veja Capítulo 4) o valor do fator de potência.

#### **o) Reaceleração dos motores**

Quando o sistema elétrico é acometido de um processo de subtensão, os

motores são desconectados da rede, a partir de seus respectivos sistemas de comando. Com o retorno da tensão à sua condição de serviço, o sistema de supervisão de controle (SSC) inicia o processo de religamento dos motores, de forma a não permitir a reaceleração de um número de motores que provoque uma queda de tensão superior a um valor predefinido. O SSC é informado do limite de cada centro de controle de motores (CCM) com referência à quantidade de potência aparente que pode ser drenada sem afetar o nível tolerável de tensão. Também o SSC tem informações do tipo de acionamento de cada unidade motriz relevante e o ajuste da tensão de partida, como, por exemplo, o tape ajustado da chave compensadora, ou a tensão de pedestal das chaves de partida estáticas, além do número de partidas horárias tolerável para cada motor e o tempo máximo de partida.

#### p) Medição

Nas subestações digitalizadas, as medições são registradas nas unidades de medida dos alimentadores e transmitidas ao CSC, obedecendo à seguinte classificação:

- As medições destinadas à apresentação no console são requisitadas somente quando a tela apropriada é chamada pelo operador.
- As medições predefinidas para armazenamento na memória do sistema são requisitadas ciclicamente, de acordo com os requisitos estabelecidos.
- As medições supervisionadas para comparação com limites impostos são transmitidas ao CSC somente se tais limites forem transgredidos.

#### q) Supervisão

Todas as posições de chaves e disjuntores são representadas por duas diferentes indicações binárias: *ligada* e *desligada*. Se não há eventos a considerar, caracteriza-se uma situação normal e as duas indicações estão em oposição entre si. Se ambas as indicações se estabelecem na posição *ligada*, o

sistema de automação emite um alarme, ao passo que se as duas indicações se firmam na posição *desligada*, caracteriza-se o estado de operação, gerando, dessa forma, a ação da função de supervisão do tempo de operação, cuja duração depende do tipo de elemento que está sendo operado. O sistema de automação faz gerar um alarme se, decorrido o tempo de operação, a chave ou o disjuntor não alcançarem o estado de operação normal.

### r) Comando

A fim de possibilitar a flexibilidade de comando da subestação no caso de uma falha parcial ou geral do sistema de automação, permite-se que o comando de chaves ou disjuntores seja operado no *local* e em ponto *remoto*, o que é possível pelo acionamento de uma chave localizada estrategicamente no gabinete do disjuntor. Como regra a seguir, antes de um comando ser executado, o sistema verifica se um outro comando está sendo executado e se a função de intertravamento permite sua execução, além da verificação da posição de bloqueio da chave ou disjuntor a serem operados.

## 14.6.2 Arquiteturas dos sistemas de automação

Antes de se tomar uma decisão de automatizar determinada subestação existente, deve-se analisar detalhadamente seus recursos operacionais, dispositivos de proteção e alarmes utilizados, histórico de falhas, confiabilidade e *layout* da instalação. Como resultado dessa análise, deve-se selecionar a arquitetura adequada para aquela subestação em particular.

Se se está diante de um novo projeto de subestação, a seleção da arquitetura do sistema fica facilitada devido à inexistência das restrições que caracterizam uma subestação em operação.

De qualquer forma, há várias soluções a considerar, destacando-se, no entanto, dois tipos de arquiteturas clássicas, sendo que a cada uma delas podem-se agregar soluções derivadas. Esses tipos de arquiteturas de sistemas

de automação podem ser assim caracterizados:

**a) Sistema de supervisão e controle centralizado**

- Uso de relés convencionais (subestações existentes).
- Uso de relés digitais.

**b) Sistema de supervisão e controle distribuído**

- Uso de relés convencionais (subestação existente).
- Uso de relés digitais.

### **14.6.2.1 Sistema de supervisão e controle (SSC) centralizado**

Também conhecido como sistema de processamento centralizado, consiste em concentrar físico e funcionalmente todo o sistema de supervisão e controle (SSC) em determinado local, onde fica instalado todo o *hardware* com os respectivos programas de supervisão e controle. O local escolhido é, de preferência, a casa de comando da subestação, ou alternativamente, uma construção agregada.

Esse sistema pode ser desenvolvido com duas diferentes arquiteturas: *hardware* centralizado e processamento centralizado ou *hardware* distribuído e processamento centralizado.

#### **14.6.2.1.1 Uso de relés convencionais**

A escolha desse tipo de arquitetura de sistema de automação é apropriada para subestações existentes em que foi instalado um QGF e no qual estão concentrados todos os relés de proteção convencionais (relés de indução ou estáticos, medição etc.). Normalmente, o QGF é abrigado na casa de comando da subestação, juntamente com a unidade de retificação e banco de baterias instalados em uma construção agregada específica. Dessa forma, no

pátio de manobra, estão instalados todos os equipamentos de força, como disjuntores, religadores, chaves, transformadores etc. Para ilustrar essa concepção de sistema, observar a [Figura 14.14](#), que caracteriza uma arquitetura de *hardware* centralizado e processamento centralizado.

Nesta configuração, todos os condutores de proteção, medição e controle são levados até o QGF, junto ao qual deve-se instalar o *hardware*, a correspondente UADC e o SSC. Neste caso, a UADC compreende o centro de aquisição de dados da proteção (CADP) e o centro de aquisição de dados analógicos (CADA). Pode-se perceber a grande utilização de condutores interligando os equipamentos localizados no pátio da subestação e o QGF, tornando o sistema extremamente vulnerável e de baixa confiabilidade. Esta solução permite evitar custos com a mudança da configuração do sistema elétrico.

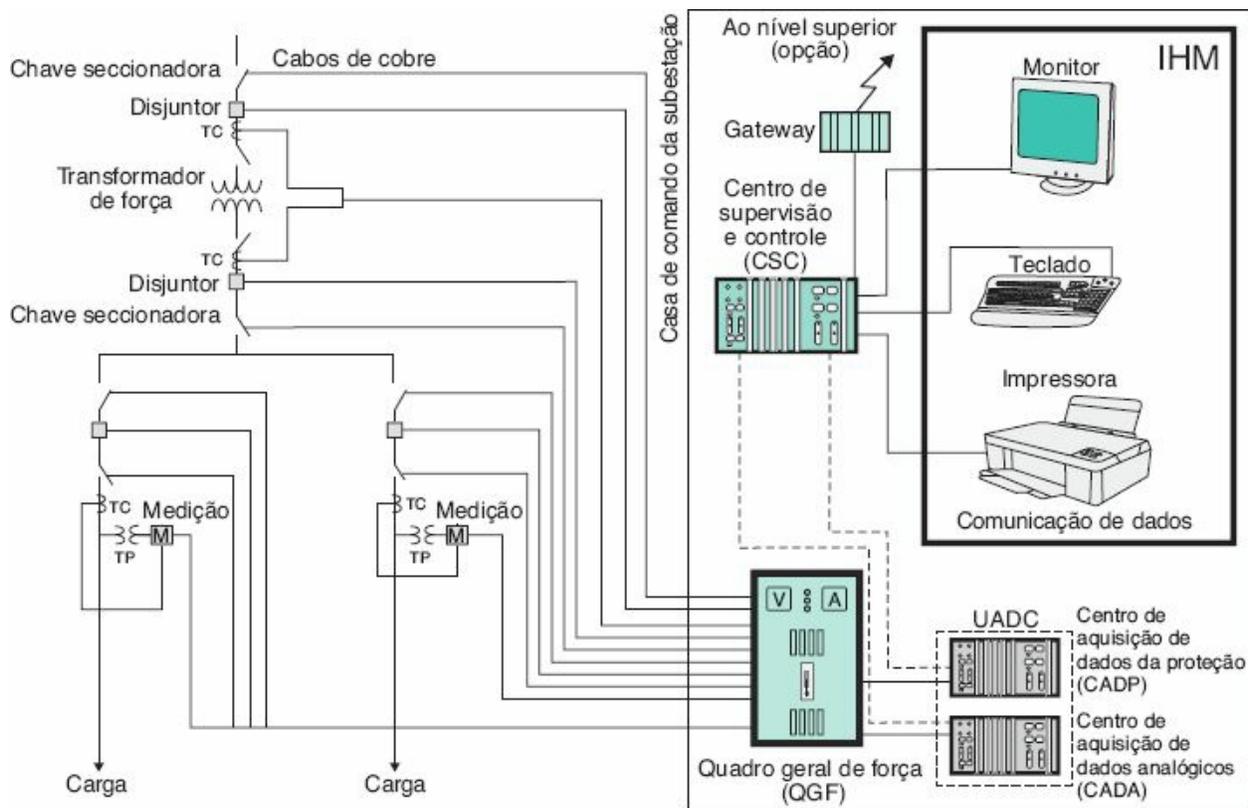
Ao lado do QGF está localizado o centro de aquisição de dados analógicos, conforme é mostrado na [Figura 14.14](#). No seu interior, estão instalados os transdutores, responsáveis pela aquisição dos dados analógicos que chegam ao QGF, tais como tensão, corrente e frequência, e pela conversão dessas grandezas em sinais digitais que são enviados ao CSC que abriga o SSC e ao qual estão conectados os equipamentos da interface homem-máquina.

Ao lado do mesmo QGF está localizado ainda o centro de aquisição de dados da proteção, uma unidade que aquisita e concentra as informações relativas à atuação dos relés e atuadores, em geral, e as envia ao mesmo CSC, responsável pelo processamento dessas informações, usando um sistema SCADA, aderente a um sistema especialista no qual está instalado.

Dependendo do nível de recursos do SSC, são geradas diversas e complexas funções, indo desde um simples comando de um disjuntor até a recomposição da subestação após uma falha geral do sistema elétrico. São também geradas telas nos monitores ou painéis mímicos dinâmicos, disponibilizando funções de comando ao operador, que pode utilizá-las por

meio de um teclado alfanumérico. Se há necessidade que determinadas informações sejam registradas em papel, o SSC pode gerar relatórios por uma impressora local. No entanto, se essas ou outras informações necessitam satisfazer às exigências de um nível hierárquico superior, podem ser enviadas por meio de um *gateway*.

Como se percebe, a estação central concentra todos os recursos de *hardware* e de *software*. Apesar da aparente confiabilidade do sistema, em virtude de estar sob condições ambientais controladas, não tem sido uma solução desejada, já que, no presente caso, qualquer falha em quaisquer centros de supervisão ou aquisição de dados imobiliza todo o sistema de automação.



**Figura 14.14** Arquitetura centralizada — configuração 1.

Esta mesma arquitetura de sistema de automação pode ser aplicada em outra situação de *layout* dos equipamentos elétricos da subestação, conforme

pode ser observado na [Figura 14.15](#), que caracteriza uma arquitetura de *hardware* parcialmente distribuída e processamento centralizado. Nesta configuração, os relés convencionais estão instalados em cubículos metálicos junto aos equipamentos aos quais dá proteção. Pode-se notar que o nível de confiabilidade do sistema não se alterou, a não ser com a introdução de um sistema dual de supervisão e controle, instalado conforme mostrado na [Figura 14.15](#). Todas as observações relativas à concepção anterior continuam válidas.

Observar que, apesar de os equipamentos de aquisição de dados (relés, medidores etc.) apresentarem uma formação distribuída, as informações do sistema elétrico continuam concentradas no QGF instalado na casa de comando, guardando, portanto, as características de sistema centralizado.

#### 14.6.2.1.2 Uso de relés digitais

O SSC centralizado admite outra concepção quando se adota como solução uma alternativa àquela representada na [Figura 14.14](#), e que consiste na substituição dos relés convencionais, instalados no QGF, por relés digitais. Neste caso, a comunicação entre o QGF e o CSC é direta, sem necessidade do uso do CADP, parte integrante da UADC. No entanto, a conversão dos dados analógicos continua sob a responsabilidade do CADA, parte integrante da UADC, que exerce a mesma função anterior. A [Figura 14.16](#) mostra este tipo de configuração, que caracteriza um sistema de arquitetura de *hardware* centralizado e processamento centralizado. Atualmente é o sistema mais utilizado.

#### 14.6.2.2 Sistema de supervisão e controle (SSC) distribuído

Também conhecido como sistema de processamento distribuído, consiste em instalar no pátio de manobra da subestação unidades terminais remotas

(UTRs) ou, no sentido mais amplo, as unidades de aquisição de dados e controle (UADC), que compreendem o centro de aquisição de dados analógicos e o centro de aquisição de dados de proteção com capacidade de adquirir dados de cada ponto do sistema, comumente chamado de ilha, exercer funções de comando e enviar informações ao CSC montado na casa de comando da subestação.

#### 14.6.2.2.1 Uso de relés convencionais

A escolha desse tipo de arquitetura de sistema de automação é apropriada para subestações existentes nas quais foram utilizados módulos de proteção, comando e sinalização juntos a cada *bay* no pátio de manobra da subestação. Neste caso, são utilizadas UADCs, ou simplesmente UTRs localizadas nos respectivos *bays* que aqvisitam tanto os dados analógicos como os digitais, processam essas informações, tomam as *decisões* definidas pelo *software* e exercem suas funções localizadas (ilhas) de manobra sobre os equipamentos sob sua supervisão e controle. Neste caso, o CSC assume o papel de supervisor geral do sistema e de interface com sistemas hierarquicamente superiores. Esse tipo de arquitetura é conhecido como *hardware* distribuído e processamento distribuído, conforme mostrado na [Figura 14.17](#).

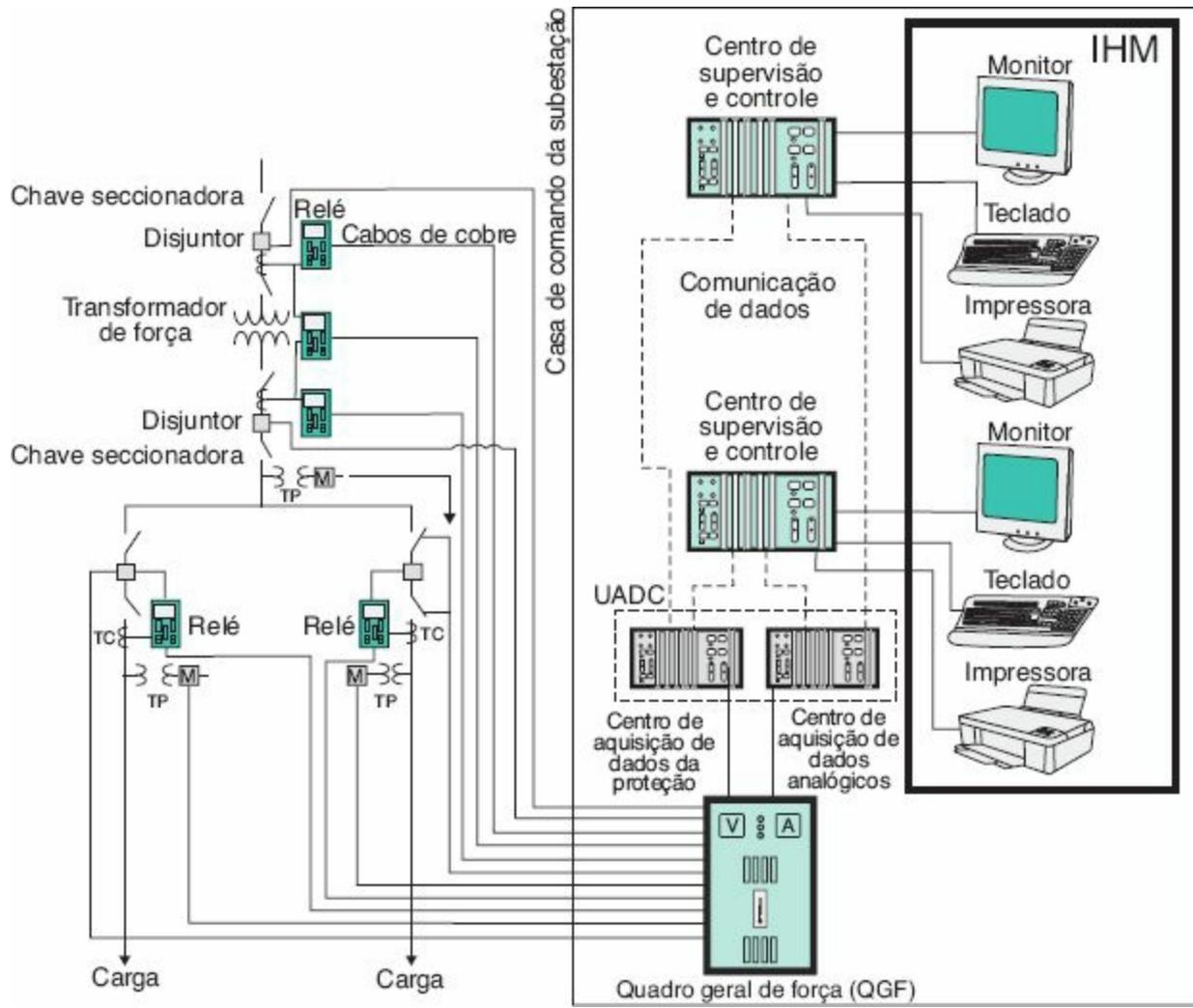
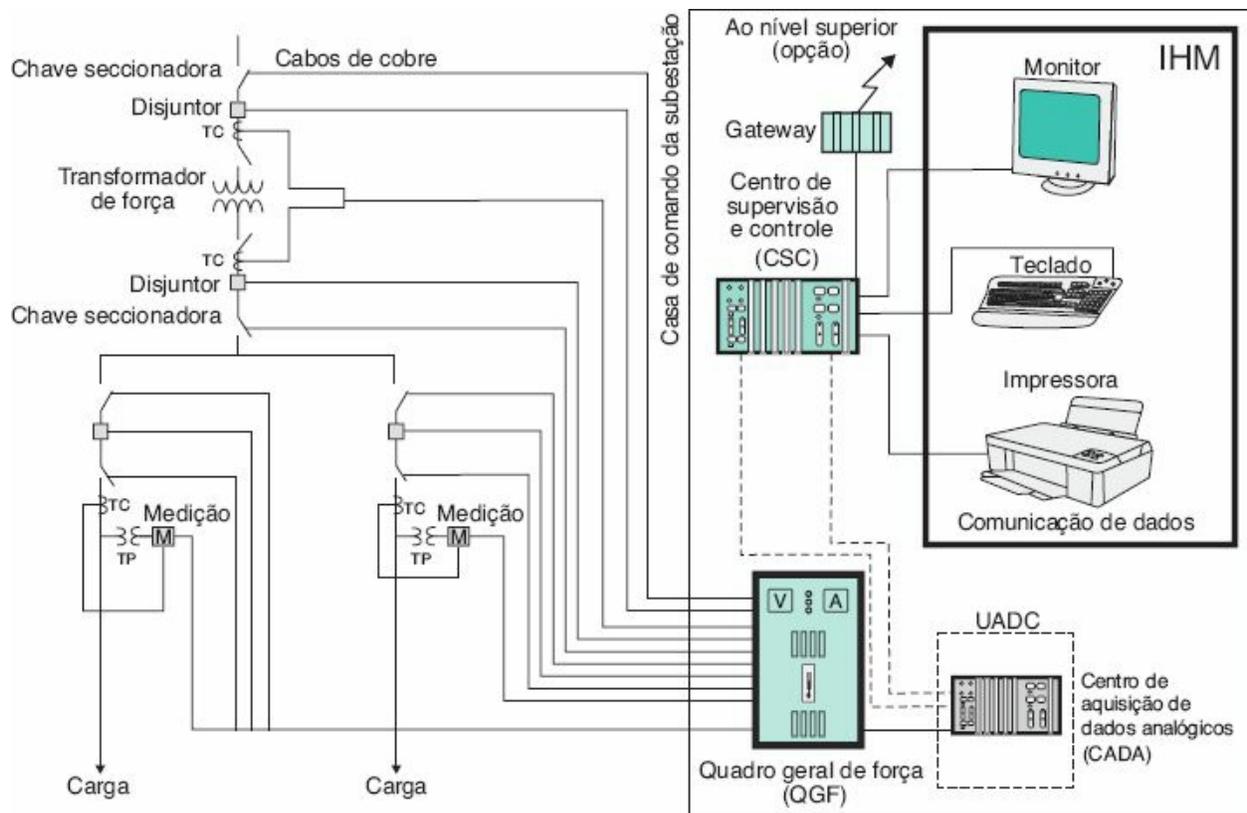


Figura 14.15 Arquitetura centralizada — configuração 2.



**Figura 14.16** Arquitetura centralizada — configuração 3.

A comunicação entre as UTRs e o CSC pode ser feita por cabos de cobre concêntricos e blindados ou por meio de cabos de fibra ótica, utilizando acopladores óticos nas extremidades. Pode-se observar que o número de condutores se reduz drasticamente, aumentando o nível de confiabilidade do sistema, particularmente do sistema de comunicação.

A aquisição de dados de proteção pelas UTRs é feita com a utilização de relés auxiliares nelas instalados e interligados com os respectivos relés convencionais (relés de indução ou estáticos). Já a aquisição de dados analógicos é feita por meio de transdutores instalados, de preferência, nos cubículos dos equipamentos analógicos ou no interior dos gabinetes das UTRs.

#### 14.6.2.2.2 Uso de relés digitais

O sistema de supervisão e controle distribuído com uso de relés digitais tem sido a arquitetura mais aceita e aplicada ultimamente. É utilizada, na maioria dos casos, em subestações novas ou em subestações existentes, mas que o cliente esteja preparado para arcar com os custos adicionais de substituição dos relés convencionais por unidades numéricas e com outras alterações que normalmente são necessárias em casos dessa natureza.

Esta solução se caracteriza pela instalação de gabinetes distribuídos em cada *bay* da subestação, nos quais serão instalados os relés de proteção digitais, os relés auxiliares para aquisição de dados digitais das chaves e disjuntores e, finalmente, os componentes da unidade terminal remota, que assume a função da UADC (centro de aquisição de dados da proteção e centro de aquisição de dados analógicos), a qual, por sua vez, é conectada com o CSC instalado na casa de comando da subestação. Tal como ocorre na configuração anterior, o CSC assume o papel de supervisor geral do sistema e de interface com sistemas hierarquicamente superiores. A [Figura 14.18](#) mostra esse tipo de arquitetura, caracterizada como sistema *de hardware* distribuído e processamento distribuído.

Ainda a partir da [Figura 14.18](#), percebe-se a simplicidade do sistema de comunicação que resulta uma maior confiabilidade, devido ao pequeno número de condutores utilizados. Enquanto isso, a [Figura 14.19](#) ilustra a posição das UADCs próximas aos equipamentos de força de uma subestação.

A [Figura 14.20](#) sintetiza, por meio de um diagrama, a interação entre as unidades de aquisição de dados e controle e o centro de supervisão e controle, destacando-se a facilidade de o operador obter dados do sistema junto aos *bays*, utilizando um PC portátil conectado às UTRs.

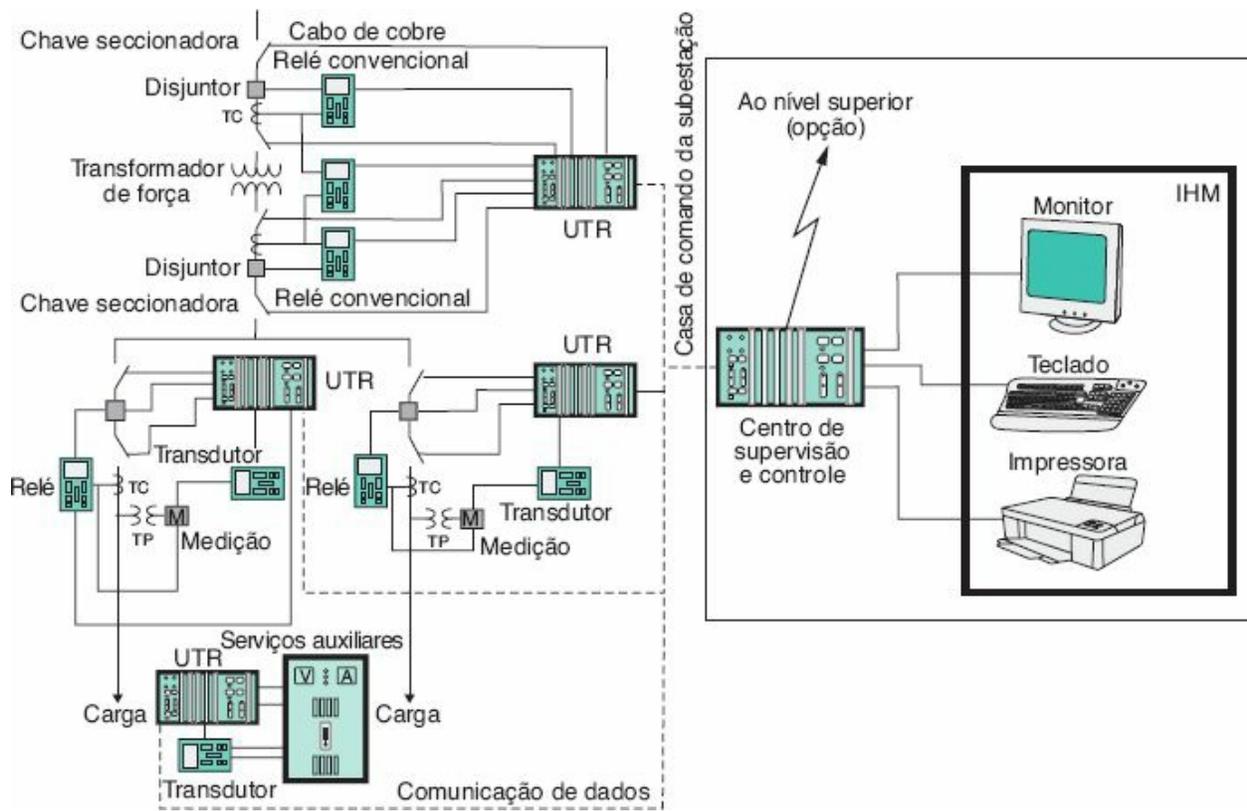


Figura 14.17 Arquitetura distribuída — configuração 1.

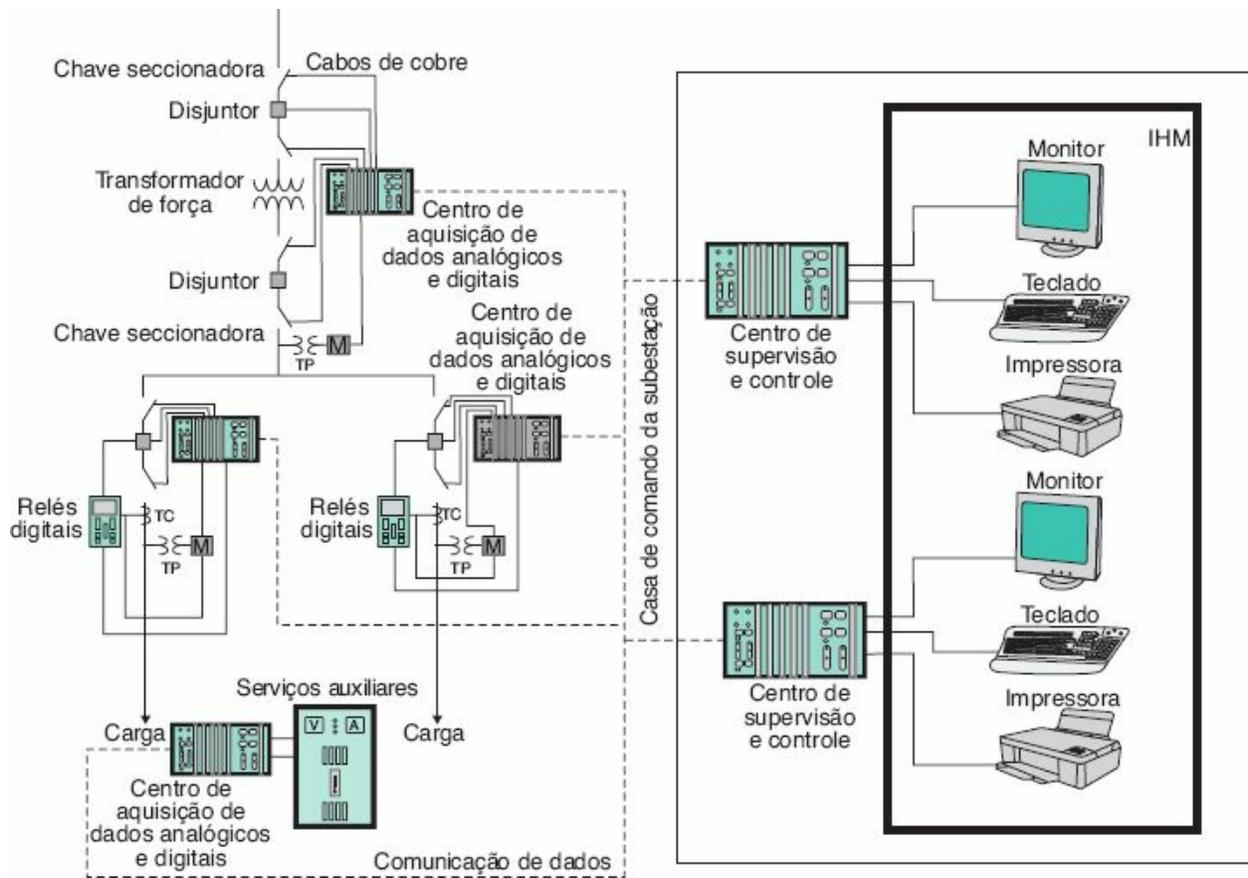


Figura 14.18 Arquitetura distribuída — configuração 2.

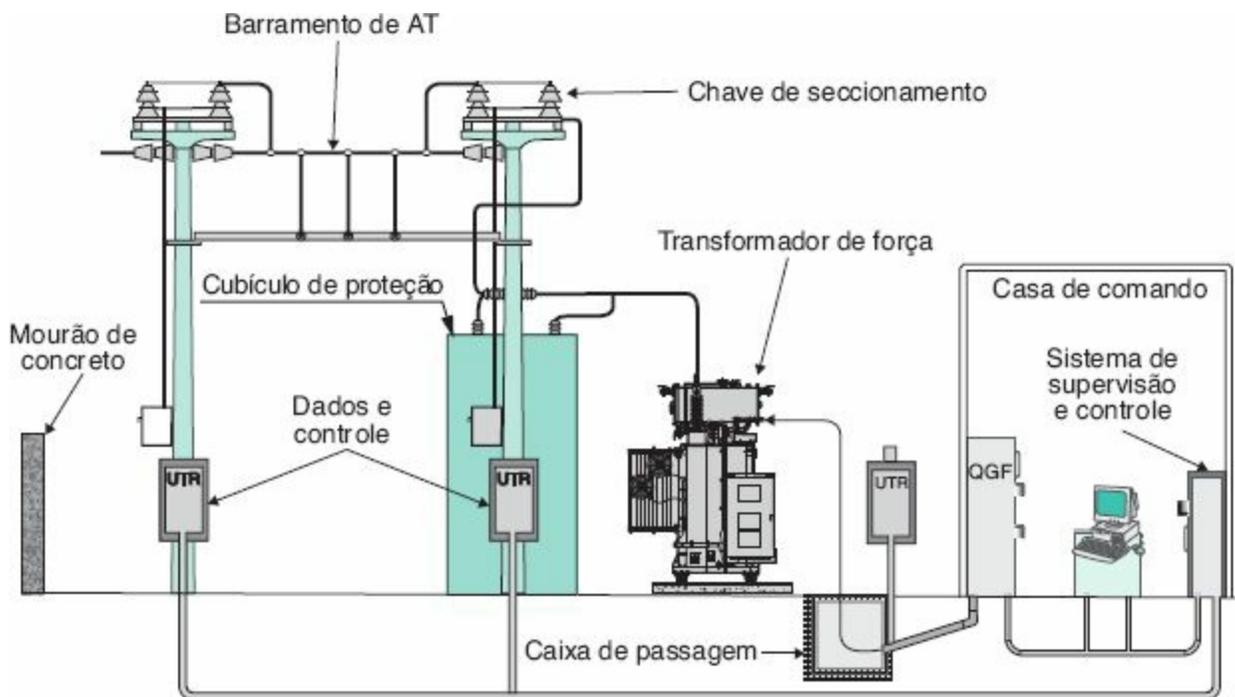


Figura 14.19 Localização das UADCs em uma subestação automatizada.

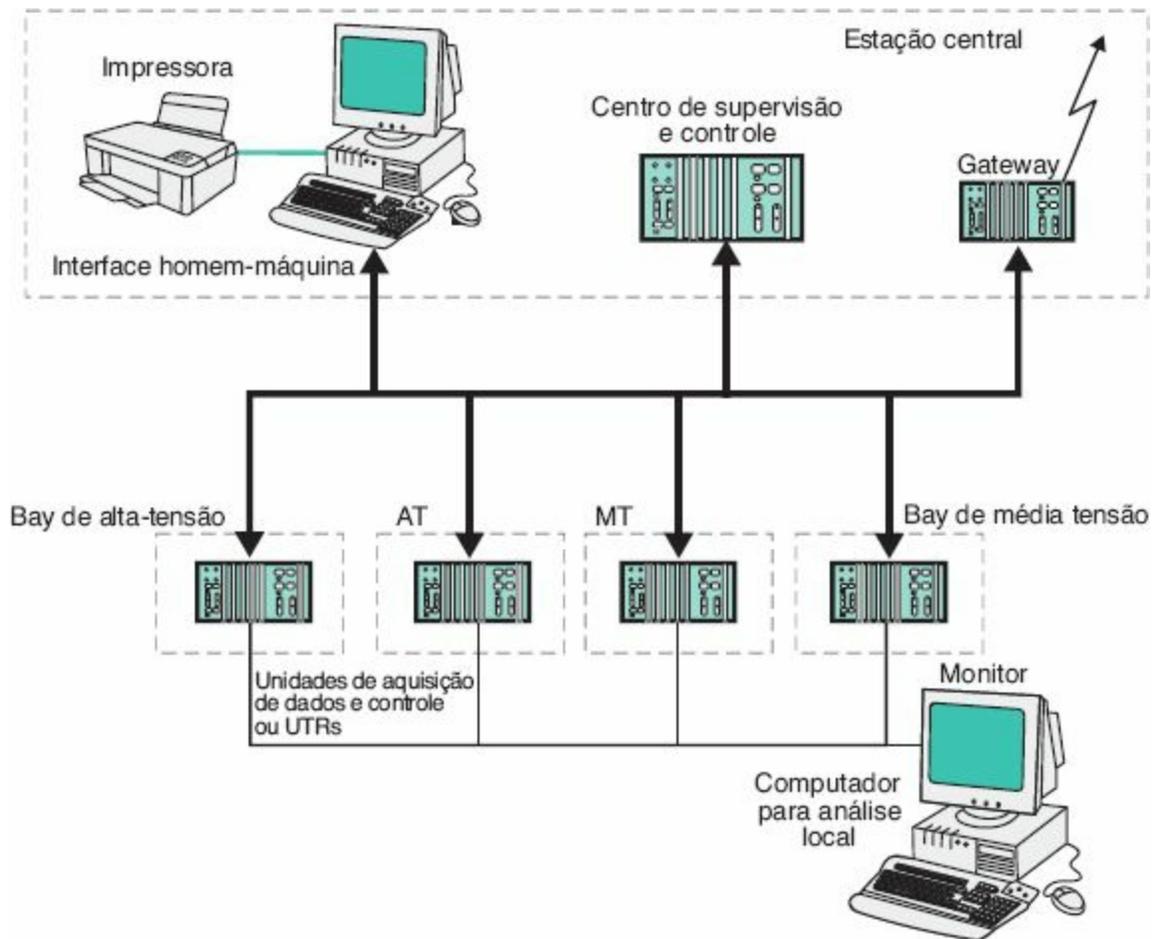


Figura 14.20 Ilustração diagramática de uma subestação automatizada.

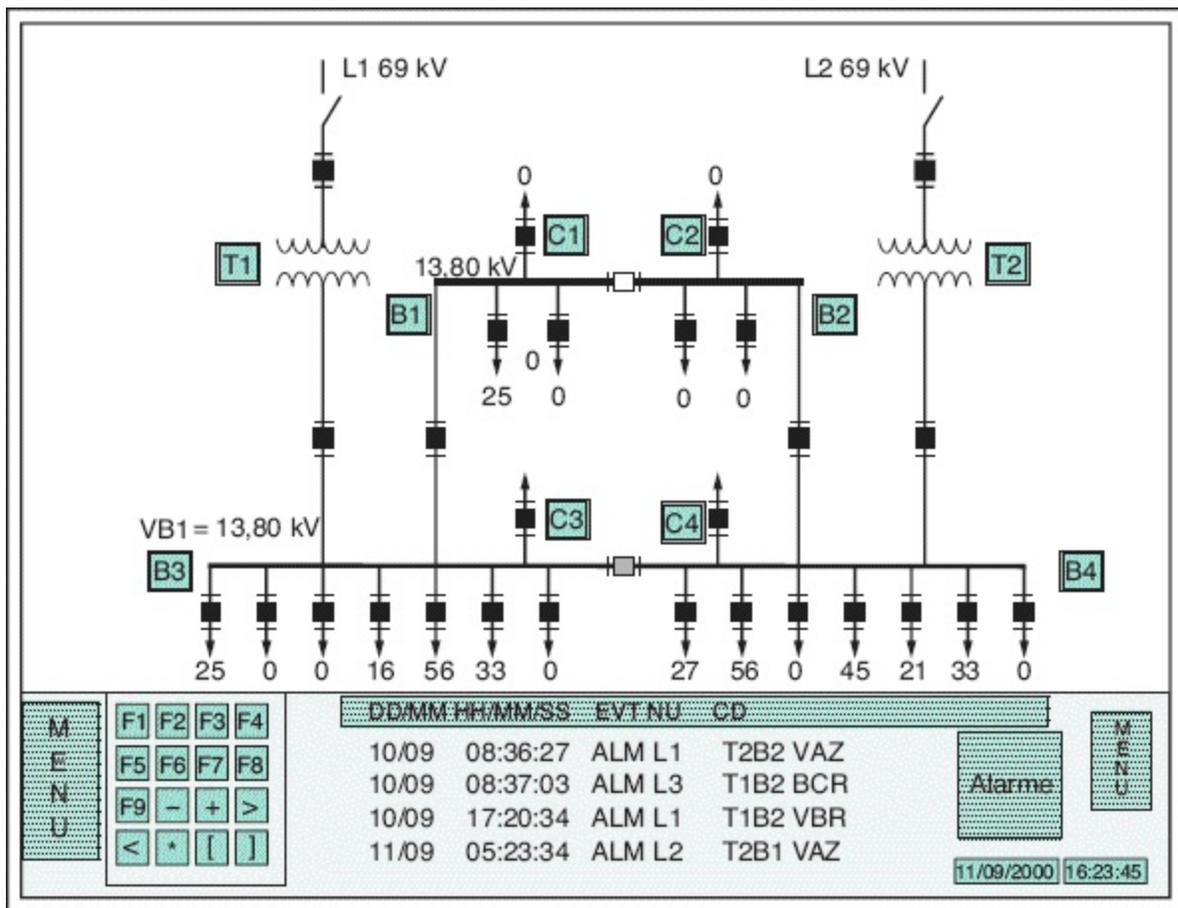
A título de ilustração, pode-se observar na [Figura 14.21](#) um exemplo de tela de um monitor do SSC, disponibilizando o diagrama unifilar da instalação, de forma amigável, facilitando a tomada de decisão do operador, que também tem como meios auxiliares de informação uma lista de eventos aos quais tem acesso no momento que desejar.

### 14.6.2.3 Protocolo de comunicação entre relés digitais

Define-se como protocolo em um sistema de automação um conjunto de regras capaz de determinar e gerenciar a forma como a comunicação deve

ocorrer entre dois pontos de uma rede de comunicação de dados, na extremidade da qual operam duas estações de trabalho.

O protocolo e o meio pelo qual são transmitidos os dados de um sistema de automação são de fundamental importância para o desempenho e segurança de um sistema elétrico, pois um erro ou inconsistência de informação pode ocasionar uma ordem de desarme de um ou mais disjuntores, levando à interrupção injustificável do fornecimento de energia de grandes áreas. No caso de uma subestação industrial, a falha no sistema de comunicação poderá interromper o processo produtivo de uma indústria, com sérios prejuízos materiais e financeiros. Enquanto o protocolo define as regras a que deve obedecer a comunicação de dados, estabelecendo o início e o final de cada mensagem, o meio físico é entendido como o caminho pelo qual deve ser transmitida a informação na rede de comunicação.



**Figura 14.21** Ilustração da tela de um monitor de um sistema de automação de subestação.

Podem ser utilizados como meios físicos para a transmissão de informação os cabos de fibra ótica (o mais utilizado), fios metálicos, comunicação via satélite e outros.

Alguns anos atrás, cada fabricante utilizava em seus equipamentos de proteção e medição um protocolo dedicado, o que não permitia que um relé se comunicasse com outro relé de um fabricante concorrente. Isso trazia um grande transtorno para as concessionárias e indústrias que desejassem implantar um sistema de automação nas suas subestações, pois em qualquer reforma ou ampliação desses empreendimentos era praticamente obrigatório continuar adquirindo os produtos daquele fabricante. Por esse motivo, existiam muitos protocolos de comunicação. No entanto, quando surgiu no mercado o protocolo Modbus, desenvolvido pela Schneider, de fácil implementação e principalmente por um protocolo aberto, muitos fabricantes aderiram a esse protocolo.

No entanto, no final da década de 1990 e início da década de 2000, foi desenvolvido pela IEC (International Electrotechnical Commission) um protocolo a ser universalizado entre os fabricantes de relés de proteção. Atualmente, praticamente todos os relés dos mais diferentes fabricantes utilizam esse protocolo de comunicação de dados, denominado IEC 61850.

### 14.6.3 Meios ambientes

Tratando-se do uso de equipamentos de microeletrônica, sensíveis aos diferentes tipos de meio ambiente, serão analisadas as soluções anteriormente estudadas quanto à interferência causada pelo sistema elétrico que reduz a vida útil, degrada a confiabilidade e, de forma geral, agride os sistemas de automação.

São diversos os meios ambientes agressivos que prejudicam o desempenho do *hardware* dos sistemas de automação. Sugerimos ao leitor

rever o Capítulo 1, no qual foram descritos os diferentes tipos de meio ambiente reconhecidos por normas internacionais que limitam a instalação do *hardware* quando da implementação de uma solução em qualquer projeto de instalação industrial. No entanto, para os propósitos desta seção, serão analisados basicamente dois tipos de meios ambientes.

### **14.6.3.1 Interferências eletromagnéticas**

Como se pode concluir, a área de uma subestação de potência é altamente poluída de campos elétricos e magnéticos de alta intensidade, que podem interferir e até mesmo destruir equipamentos de tecnologia da informação, também conhecidos como equipamentos eletrônicos sensíveis. O enlace desses campos sobre os mencionados equipamentos pode ser feito de diferentes formas:

- Radiação.
- Condução.

Sugerimos ao leitor que recorra ao livro *Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis*, do autor, ou outra literatura dedicada ao assunto.

A aquisição do *hardware* deve ser precedida de uma especificação rigorosa quanto à compatibilidade desses equipamentos em ambientes eletromagneticamente hostis. Existem normas que definem os parâmetros aceitos de compatibilidade eletromagnética aos quais os fabricantes deverão se submeter.

Do ponto de vista das quatro soluções anteriormente apresentadas, podemos fazer a seguinte análise:

#### **a) Sistemas fisicamente centralizados**

Como todos os equipamentos de tecnologia da informação estão contidos no interior da casa de comando, as radiações eletromagnéticas geradas no pátio da subestação por transformadores, abertura de disjuntores e chaves etc.

podem ser mais facilmente atenuadas com um projeto de blindagem da casa de comando. Esta solução só é válida para interferências eletromagnéticas por radiação.

Neste tipo de arquitetura, os condutores utilizados são, em geral, de cobre, concêntricos, interligando os equipamentos e os relés de proteção convencionais ao QGF. Como se percebe pela [Figura 14.14](#), os condutores percorrem um longo caminho ao lado de equipamentos emissores de radiações eletromagnéticas de alta intensidade, principalmente quando são operados, além da presença de condutores elétricos do sistema de potência de instalação aérea ou subterrânea. A solução para evitar que um ruído eletromagnético seja conduzido pelos condutores até penetrar nos equipamentos de tecnologia da informação consiste em instalar dispositivos supressores e filtros no ponto de conexão desses condutores no interior do QGF.

Outra fonte de interferência eletromagnética de relevância são as descargas atmosféricas, que podem induzir tensões elevadas nos condutores do sistema de potência e que, por condução, são levadas aos equipamentos de tecnologia da informação. Os supressores, anteriormente referidos, revelam ser uma proteção adequada a esse tipo de distúrbio.

## **b) Sistemas fisicamente distribuídos**

É fácil concluir que, como parte do *hardware* está instalada no pátio da subestação, junto aos equipamentos de potência, está sujeita a ser atingida por radiações eletromagnéticas. Neste caso, os equipamentos de tecnologia da informação devem ser portadores de certificado de compatibilidade eletromagnética para operarem nestas condições.

Para controlar as interferências do tipo conduzido sobre os equipamentos numéricos, no interior da subestação, é necessário assim proceder:

- Se forem usados cabos concêntricos de cobre, devem-se aplicar
- dispositivos supressores e filtros.
  - Se forem usados cabos de fibra ótica, por natureza, estes são imunes a interferências eletromagnéticas.

### **14.6.3.2 Temperatura ambiente**

Os equipamentos de tecnologia da informação são extremamente sensíveis às temperaturas elevadas a que são submetidos. Normalmente, são especificados para trabalharem na faixa de temperatura de  $-10$  a  $+70$  °C. Fora dessa faixa, seus componentes podem ser danificados.

#### **a) Sistemas fisicamente centralizados**

Como, neste caso, os equipamentos de microinformática estão instalados no interior da casa de comando, deve-se dispor de um sistema de climatização eficiente de forma a manter esse ambiente à temperatura adequada. Esta é uma grande vantagem que possuem os sistemas fisicamente centralizados.

#### **b) Sistema fisicamente distribuído**

Os equipamentos de tecnologia da informação estão expostos a temperaturas elevadas durante praticamente todo o ano, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

É importante lembrar que a temperatura no interior dos gabinetes que abrigam os relés, UTRs etc. é bem superior às temperaturas externas, notadamente por não haver muitas aberturas de ventilação. Se é especificado um gabinete com baixo grau de proteção, permite-se a penetração de poeira, bastante nociva à integridade dos equipamentos, principalmente quando se trata de subestação em área industrial de elevada poluição atmosférica. Esta tem sido uma das principais desvantagens deste tipo de solução.

Há outros tipos de influência do meio ambiente nocivos à integridade

dos equipamentos eletrônicos sensíveis, mas que serão apenas citados:

- Umidade.
- Vibração.
- Presença de substâncias corrosivas.
- Radiações solares.
- Presença de corpos sólidos.

Cabe alertar que a malha de terra da subestação pode exercer uma grande influência sobre o desempenho e a integridade dos equipamentos eletrônicos sensíveis. Necessário se faz projetar e executar a malha de terra que atenda simultaneamente às condições exigidas pelo sistema de força e pelo sistema de automação. Este assunto pode ser estudado no livro *Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis*, do autor.

#### 14.6.4 Centro de supervisão e controle

Há muitas possibilidades de se dimensionar os equipamentos, facilidades e programas para um CSC. Além disso, com a rápida obsolescência dos equipamentos da tecnologia da informação, cria-se uma dificuldade adicional para o profissional especificar esses equipamentos, de sorte que possam satisfazer às necessidades do processo no maior espaço de tempo possível.

##### 14.6.4.1 Hardware

Como ilustração, será fornecida uma lista de equipamentos e facilidades utilizados nos projetos de automação, sem a preocupação de informar a quantidade apropriada, pois cada solução requer um dimensionamento adequado.

- Unidade de processamento do servidor da base de dados
  - Arquitetura: a ser definida (por exemplo, RISC).
  - Processador Core i7.

- Memória RAM, em Gbytes.
- Número de *slots* do tipo PCI e PCIe.
- Memória de massa com capacidade, em Gbytes, e interface especificada em SCSI ou IDE.
- Interface serial: a ser definida (por exemplo, RS232, RS485).
- Porta USB.
- Gravadora de CD-ROM.
- Leitora de CD-ROM.
- Placa de som.
- Interface Ethernet, com interface PCIe e capacidade adequada.
- Placa controladora SVGA, com capacidade de memória adequada e interface PCIe.
- Terminal de vídeo LCD de 26” ou 32”.
- Impressoras.
- Painel mímico dinâmico.
- *Ploters*.
- *Scanners*.
- Mesa digitalizadora.
- Teclado e *mouse*.
- Par de caixa de som.

#### 14.6.4.2 Software

- Sistema operacional: (por exemplo, sistema Unix).
- Banco de dados relacional: Oracle, Informix ou SQL.
- Protocolo de comunicação de dados: TPC/IP.
- Interface homem-máquina: In Touch.

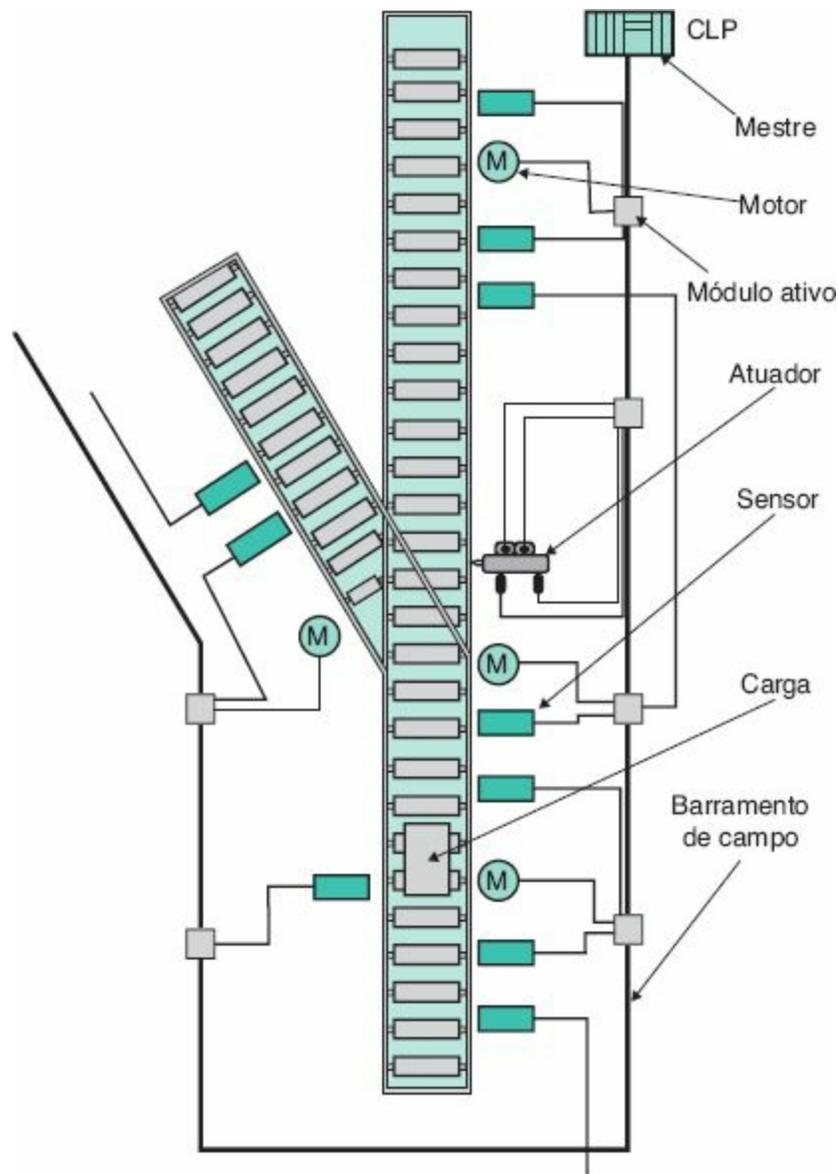
## 14.7 Automação de processos industriais

A automação industrial vem crescendo aceleradamente na busca de maior produtividade, eficiência e qualidade de produtos manufaturados. O nível de automação de cada unidade industrial é função de uma série de fatores, como custo/benefício, adaptabilidade das máquinas que participam do processo etc. Há indústrias em que o nível de automação é significativamente elevado, enquanto em outras a automação fica restrita apenas a alguns setores da linha de produção. Porém, nos projetos industriais novos, a tendência é alcançar um nível de automação cada vez mais elevado.

Há no mercado especializado várias soluções para automação industrial. Não existe um padrão internacional a seguir, apesar dos esforços da indústria de equipamentos e programas, mas a cada dia a intercambialidade e interoperabilidade aproximam as diferentes soluções. O que se pretende neste capítulo é conceituar o assunto e os princípios fundamentais que norteiam os projetos de automação, adotados basicamente por qualquer solução.

Para facilidade de compreensão, observar a [Figura 14.22](#), que mostra uma esteira transportadora automatizada, como parte de um processo mais complexo e muito comum em grande parte das indústrias de manufaturados. Pode-se, neste caso, querer controlar as seguintes grandezas:

- Velocidade da esteira.
- Número de peças transportadas/tempo.
- Desvio de peças para uma derivativa após alcançar determinado parâmetro: número de peças, por exemplo.
- Dimensões etc.



**Figura 14.22** Esteira transportadora automatizada.

Pode-se observar a existência de vários tipos de sensores e atuadores ao longo da esteira transportadora que se comunicam com os dispositivos escravos que, por sua vez, são gerenciados por um dispositivo denominado mestre. Este conceito é básico para a compreensão do processo.

Para que se obtenha um nível de automação cada vez mais abrangente dentro de uma instalação, é necessário que a tecnologia alcance o nível mais baixo do chão de fábrica, em que, por meio de sensores e atuadores,

convencionais ou dedicados, instalados junto às máquinas, enviem informações e recebam comandos de níveis hierárquicos superiores, de forma que todo o processo seja monitorado e controlado de um centro de comando.

São conhecidas várias tecnologias de redes de campo que se aproximam do nível de chão de fábrica e cada uma delas representa uma solução proprietária de um provedor, sendo as mais conhecidas o Profibus da Siemens, o Bitbus etc. No entanto, tem-se fortalecida uma tendência de padronizar uma solução comprometida por diversos e importantes provedores no campo da automação industrial, despontando o sistema AS-i (*Actuator Sensor Interface*) como uma solução com excelentes qualidades técnicas:

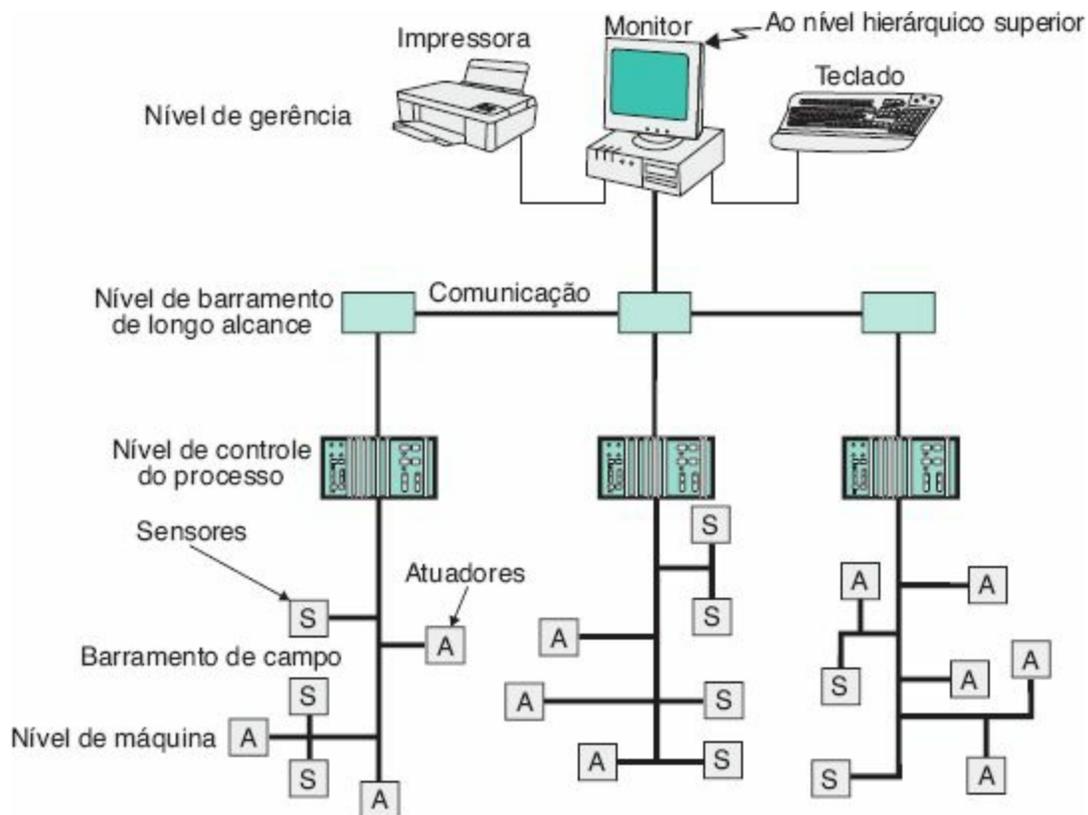
- Simplicidade no uso dos cabos do sistema de comunicação.
- Baixo custo de conexão.
- Elevado nível de imunidade aos campos eletromagnéticos, comumente presentes em instalações industriais.
- Possibilidade de conectar sensores e atuadores de diferentes provedores em uma rede de comunicação serial.
- Sistema aberto, isto é, não proprietário.

Os sistemas de automação industrial no nível de chão de fábrica apresentam uma configuração básica mostrada, na [Figura 14.23](#), com as seguintes descrições funcionais:

- O nível hierárquico superior pode ser constituído por um controlador lógico programável (CLP), por uma UTR ou por um microcomputador do tipo PC, que é denominado “mestre” dentro dessa estrutura. O CLP, UTR ou PC pode comunicar-se ainda com um nível hierárquico superior, denominado centro de supervisão e controle.
- O mestre é dotado de um acoplador responsável pela interface entre o CLP, UTR ou PC e a rede de comunicação ou barramento.
- O barramento de campo pode ser constituído por condutores

bipolares convencionais, não blindados, ou condutores específicos do padrão adotado, com seção de 1,5 a 15 mm<sup>2</sup>, dependendo da carga dos sensores e atuadores.

- O barramento de campo é alimentado em tensão contínua de 24 V, destinado ao consumo dos sensores e atuadores.
- Aos barramentos de campo são conectados os módulos de acoplamentos dos sensores e atuadores.
- Os sensores recebem informações do processo, as quais são transferidas pelo barramento ao CLP, UTR ou PC, que, após processadas, podem resultar uma ordem do CLP, UTR ou PC a qualquer atuador ligado ao processo.
- Os módulos de acoplamento, podem controlar um determinado número de sensores e de atuadores, isto é, determinado número de entradas e saídas.



**Figura 14.23** Topologia de um sistema de automação industrial no nível de chão de fábrica.

## 14.7.1 Controle do sistema

O controle do sistema pode ser resumido nas seguintes etapas:

### a) Inicialização

Nesta etapa, são ajustadas as entradas e saídas de todos os escravos, atribuindo a cada uma delas um código específico.

### b) Reconhecimento e ativação

Inicialmente, o mestre varre todos os pontos da rede, buscando reconhecer os dispositivos escravos (atuadores e sensores). Ao reconhecer sua presença no sistema, cada dispositivo escravo será considerado identificado. A partir daí, o mestre iniciará o processo de ativação de cada escravo identificado.

### c) Operação

Inicialmente, o mestre envia a cada dispositivo ativado uma mensagem relativa ao processo, e busca recolher uma mensagem de retorno. Caso haja falha nessa comunicação, são feitas normalmente novas tentativas, ao fim das quais, se um ou mais dispositivos não interagirem com o mestre, serão desconectados do sistema e enviada uma mensagem ao operador notificando-o que os dispositivos estão inabilitados.

## 14.7.2 Interface homem-máquina

São constituídos de monitores, teclados, impressoras e gravadoras. Para sistemas mais sofisticados, são utilizados painéis mímicos dinâmicos.

As telas do sistema devem ser desenhadas de forma que o operador identifique facilmente o sistema ou parte dele, por meio de sucessivas ampliações do desenho (*zoom*). Além disso, as mensagens devem ser claras e

sucintas. A [Figura 14.24](#) mostra como ilustração uma tela de um sistema de automação industrial, em que estão indicados os equipamentos do processo e suas interligações, associadas a códigos de conhecimento do operador.

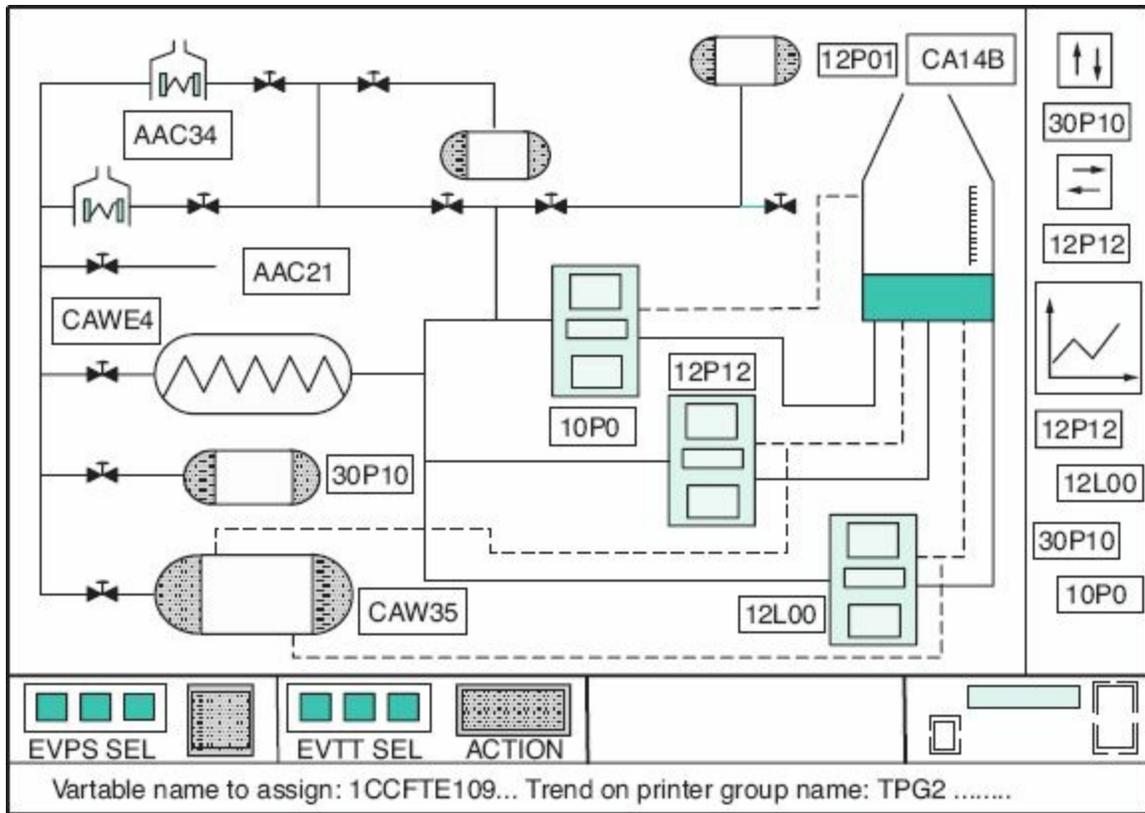
## 14.8 Automação de gerenciamento de energia

A eficiência do uso de energia, no seu conceito mais geral, em uma planta industrial requer o uso de ferramentas de supervisão e controle que possam ser otimizadas com o emprego de um sistema informatizado.

A energia consumida em uma indústria, de forma geral, provém de fornecimento externo, como energia elétrica, gás natural, carvão etc., e de produção interna, como gases de alto forno, ar comprimido etc.

O preço e/ou custo das diferentes formas de energia consumida pela indústria pode variar pela quantidade, pelo período de uso no ano (uso sazonal) e pela hora do dia durante a qual se consome essa energia (ponta e fora de ponta). Mais recentemente, o preço da energia vem sendo negociado entre as indústrias e as concessionárias considerando também o fator qualidade, cuja forma e índices adotados fazem parte dos acordos bilaterais.

O uso racional dessas diferentes formas de energia pode resultar em uma redução do custo operacional da indústria, não só pelo valor intrínseco da energia, mas pelo valor agregado. E para se atingir um sistema de supervisão e controle eficientes é necessário substituir os procedimentos manuais pelo uso dos processos automáticos que implicam os seguintes benefícios econômicos:



**Figura 14.24** Ilustração da tela de monitor de um sistema de automação industrial.

### a) Redução de mão de obra

Em qualquer processo automatizado, o número de pessoas envolvidas para o acompanhamento da supervisão e controle de processo fica drasticamente reduzido, necessitando-se, no entanto, de poucas pessoas de boa qualificação técnica.

### b) Aumento da segurança

É comprovado que os sistemas mecanizados produzem resultados mais seguros e confiáveis que os processos manuais. A fadiga, resultante da repetição de uma mesma tarefa, compromete a segurança do processo quando a tarefa depende da atenção e concentração da mente humana.

### c) Redução dos poluentes

Supervisão e controle automáticos produzem melhores resultados no controle da poluição ambiental pelo uso de diferentes técnicas, notadamente daquelas que controlam os resíduos decorrentes da queima de combustível para a produção de energia elétrica.

#### **d) Aumento da regularidade do processo**

É fácil entender que qualquer processo industrial necessita de regularidade no fornecimento de energia elétrica, o que pode ser alcançado com equipamentos específicos, como *nobreak* de potência, associado à geração de emergência para circuitos preferenciais. Em muitos casos, a indústria é autoprodutora de energia elétrica. Porém, todo esse complexo deve ser supervisionado e controlado por sistemas inteligentes.

### **14.8.1 Funções de um sistema de gerência de energia**

Existem no mercado algumas dezenas de soluções para o gerenciamento de energia em prédios residenciais, comerciais e industriais. No caso de instalações industriais, a complexidade desses sistemas é função dos requisitos do processo, da quantidade de fontes energéticas consideradas e da natureza tecnológica dos equipamentos de produção.

Genericamente, as principais funções que um sistema de gerência de energia pode oferecer são:

#### **a) Administração das fontes de energia**

Considerando que a indústria tenha uma unidade geradora de energia elétrica própria, o sistema de gerência de energia (SGE) deve ser alimentado de todos os parâmetros técnicos, econômicos e financeiros que lhe permitam decidir quais os períodos durante o dia, mês e ano em que é mais vantajoso substituir ou não a geração própria pela geração da empresa supridora, já que, atualmente, com a desregulamentação do mercado de energia elétrica, os

preços tendem a variar significativamente.

O SGE calcula o custo da geração própria em diferentes períodos do dia, mês ou ano e decide qual a fonte que produz energia mais econômica e financeiramente satisfatória.

A título de ilustração, são listadas algumas informações necessárias a um SGE, a partir das quais ele possa tomar *decisão*, ou seja:

- Tarifa de demanda e consumo da supridora, na ponta e fora de ponta, na ponta seca e na ponta úmida.
- Condições de *take-or-pay* do contrato de energia com a supridora e suas implicações financeiras.
- Custo do combustível utilizado na autoprodução de energia elétrica.
- Condições de *take-or-pay* do combustível previsto no contrato com a empresa fornecedora e suas implicações financeiras.
- Curva de carga esperada da indústria.
- Valores diários e horários dos preços de energia praticados diariamente no mercado de curto prazo (mercado *spot*).
- Fluxograma do processo para interação com outras formas de energia produzidas secundariamente, como vapor, gases de alto-forno etc.

A [Figura 14.25](#) ilustra uma planta industrial com autoprodução de energia elétrica. Já a [Figura 14.26](#) mostra o exemplo da tela de monitor de um sistema de gerência de energia.

## **b) Seleção de cargas elétricas prioritárias**

Normalmente, qualquer gerente industrial conhece com detalhes o nível de comprometimento de cada máquina com o processo produtivo, além das cargas cujo desligamento pode provocar acidentes pessoais. Neste caso, é natural que se faça uma seleção de cargas consideradas prioritárias, isto é, aquelas que não podem sofrer interrupção por mais que poucos minutos, por

exemplo, extrusoras para produção de materiais plásticos, e de cargas consideradas de alta prioridade em que ocorrendo qualquer flutuação de tensão haja perda do processo, como computadores ou máquinas de controle numérico.

O diagrama da [Figura 14.25](#) apresenta uma configuração básica enfocando as chaves de comando e sua interligação com o SSC, sendo a seguinte a lógica de manobra:

- Unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária
  - Chaves A, B, C e E na posição ligada.
  - Chave D na posição desligada.
- Unidade de autoprodução operando sozinha por falha do sistema da concessionária
  - Chaves A, B e D na posição desligada.
  - Chaves C e E na posição ligada.

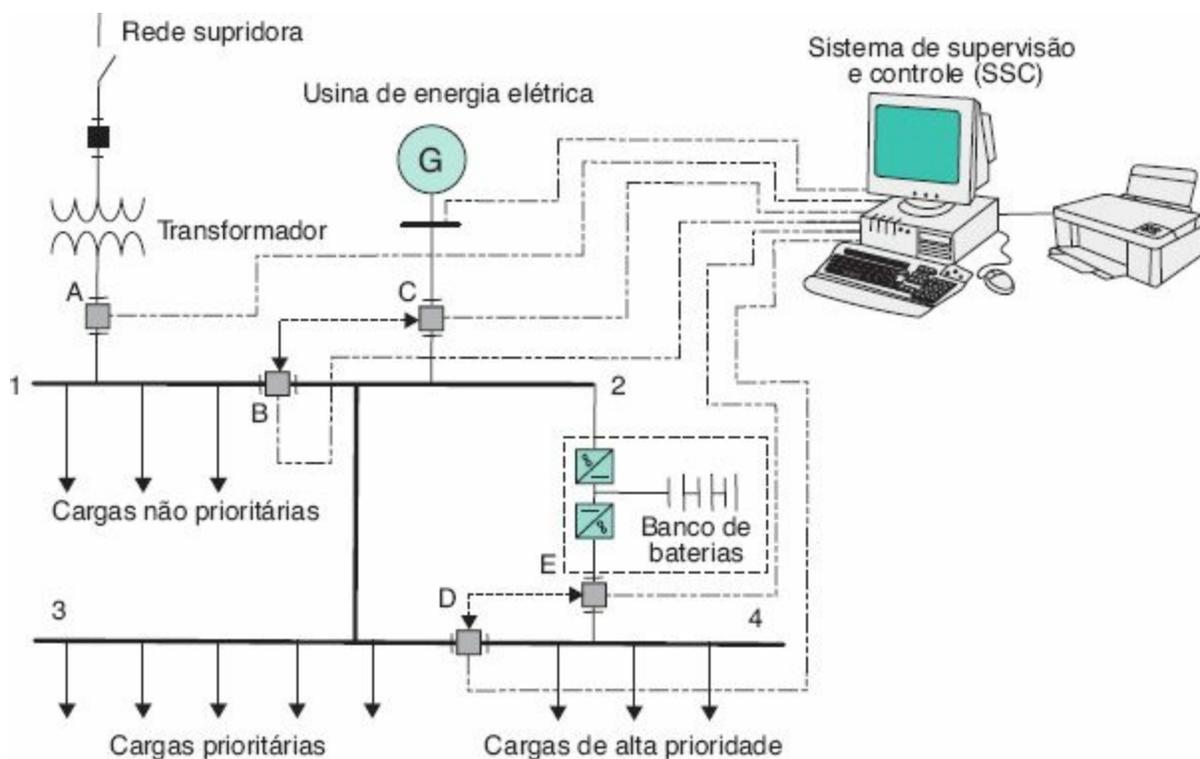


Figura 14.25 Diagrama simplificado de planta industrial e sua geração própria.

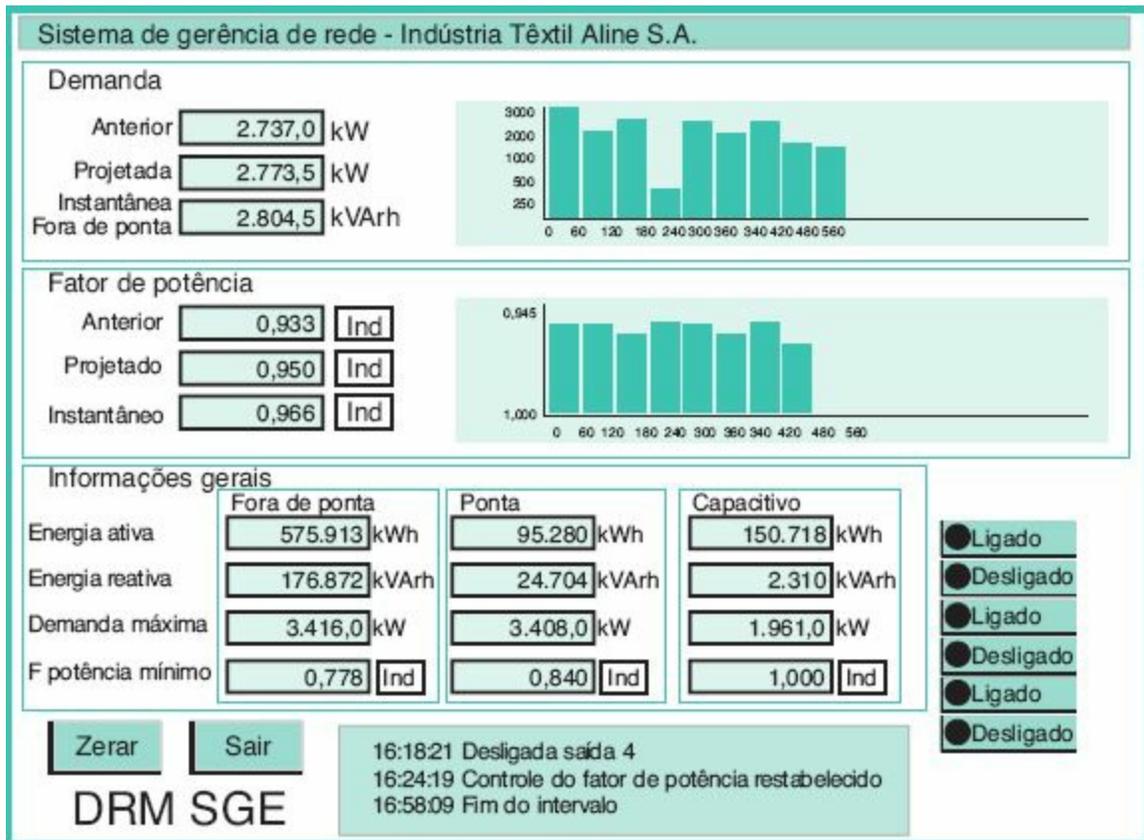


Figura 14.26 Ilustração de tela de monitor de SGE.

- Rede da concessionária ligada e autoprodução fora de operação
  - Chaves C e D na posição desligada.
  - Chaves A, B e E na posição ligada.
- Durante um regime transitório, isto é, flutuações acentuadas de tensão e frequência que provoquem interrupção das duas fontes de geração
  - Chaves A, B e C são desligadas.
  - Chaves D e E são ligadas (opção 1).
  - Chave D desligada e chave E ligada (opção 2).

Após o regime transitório, a lógica de manobra vai depender das situações das fontes de energia.

### **c) Controle do fator de potência**

De acordo com a legislação em vigor, o fator de potência tem uma avaliação horária e seu valor não deve ser inferior a 0,92 indutivo ou capacitivo, dependendo da hora durante o período de 24 horas. Ainda mais, a avaliação do fator de potência é feita com base na energia e demanda reativas. Se os valores avaliados estiverem fora dos limites supracitados, a indústria será penalizada, conforme já foi amplamente explanado no Capítulo 4.

### **d) Controle de tensão**

A tensão pode ser controlada pelo SGE que atua nos tapes dos transformadores de potência, ou no caso de autoprodução, no controle de campo das unidades de geração.

### **e) Controle de frequência**

O SGE tem como função monitorar a frequência da rede durante transitórios resultantes de perda de cargas ou fenômenos equivalentes.

### **f) Reaceleração de motores**

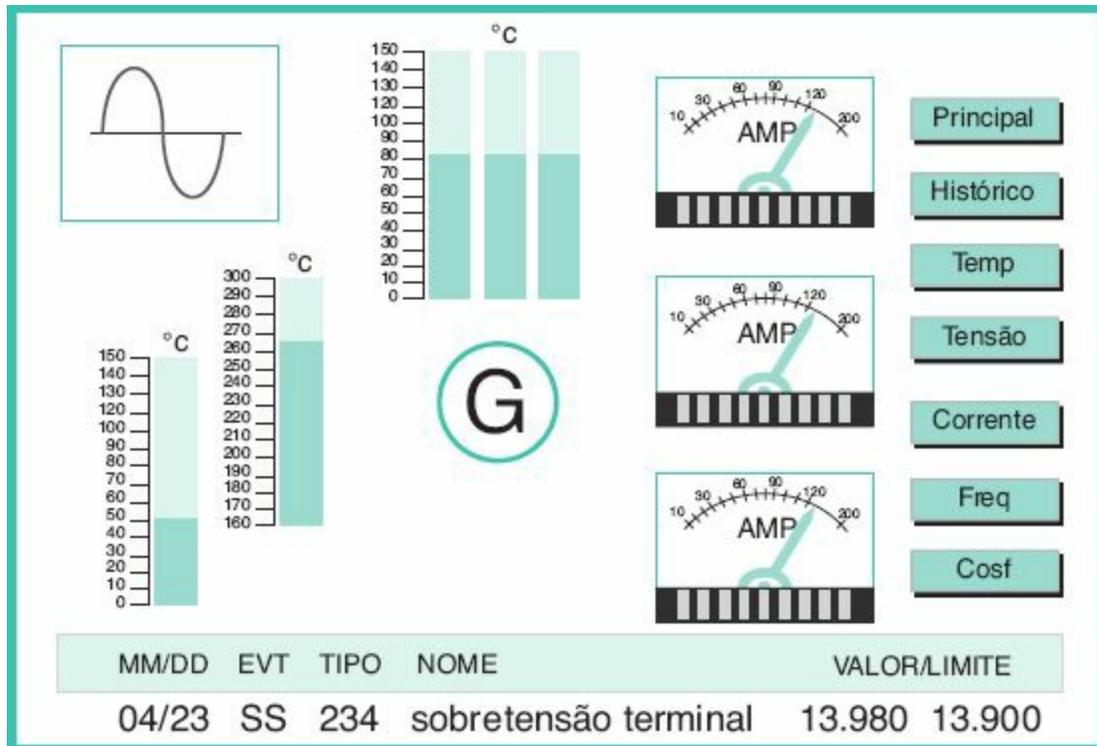
Após os transitórios não controlados, muitos motores podem ser desligados por insuficiência de tensão aplicada. Normalizadas as condições operativas, esses motores poderiam ser manobrados simultaneamente, ocasionando uma queda de tensão acentuada e provocando um novo distúrbio na rede, conforme foi explanado no Capítulo 7. O SGE tem a função de iniciar a aceleração de cada motor de forma a evitar qualquer queda de tensão prejudicial por partida simultânea de duas ou mais unidades.

### **g) Osciloperturbografia**

Essa função aquire dados e memoriza seus valores antes, durante e depois de uma perturbação qualquer do sistema, registrando os valores pontuais de tensão, corrente e frequência, de forma a dar subsídios à equipe técnica sobre

as possíveis causas da ocorrência, bem como limites atingidos pelas grandezas elétricas envolvidas. A título de ilustração, a [Figura 14.27](#) mostra uma tela de monitor referente a um SGE.

As configurações de *hardware* e sistema de comunicação guardam as mesmas características do sistema de automação de subestação.



**Figura 14.27** Ilustração de *layout* de tela de um SGE.