

Sensores de Pressão

Neste capítulo vamos abordar um dispositivo bastante utilizado na indústria e essencial para alguns sistemas automatizados, Os transdutores de pressão. Esses dispositivos são capazes de realizar leituras de pressões positivas e negativas (vácuo) e são utilizados como sensores para leitura e monitoramento de pressões em tubulações, caldeiras, compressores, sistemas de vácuo, controle de nível, enfim, pode ser utilizado em qualquer aplicação onde exista uma variação de pressão que se deseje medir.

Primeiramente, antes de abordarmos os modelos e tipos de transdutores de pressão, vamos compreender fisicamente o que significa pressão, os conceitos e leis básicas que regem esse fenômeno de forma física.

9.1. Conceitos de Pressão

Quando definimos o termo “pressão” estamos nos referindo a uma certa quantidade de força aplicada em uma determinada área. Essa definição é válida para os elementos que estão sob a forma gasosa ou líquida. Em um elemento sólido a denominação para uma certa quantidade de força aplicada em uma área é definida como “tensão” ou “stress”.

Se a pressão é considerada como sendo a ação de uma força agindo perpendicularmente em uma determinada área, podemos afirmar que:

$$P = \frac{F}{A}$$

De maneira que: P: Pressão [Pa]
F: Força [N]
A: Unidade de área [m²]

Em unidades adotadas internacionalmente (SI), a pressão é dada em N/m², que também pode ser definida por Pascal (Pa), a quantidade de força aplicada é definida em N e a unidade de área é dada em m². No exemplo abaixo podemos demonstrar, por meio de uma aplicação prática, a ligação entre essas grandezas, acompanhe:

Exemplo: *em um posto de gasolina existe um elevador hidráulico que é utilizado para elevação de automóveis, a pressão utilizada para elevação dos automóveis é de 0,1 MPa, aplicadas em um cilindro com diâmetro de 600 mm, qual a capacidade de carga do elevador?*

- Utilizando a equação acima, podemos identificar que $P = \frac{F}{A}$ então:



$$F = P \cdot A \quad \text{ou} \quad A = \frac{F}{P}$$

- Como a equação está baseada em unidades do S.I., a unidade de área deverá ser utilizada em m^2 , então devemos encontrar por intermédio da seção transversal do cilindro (600 mm ou 0,6 m) a área correspondente de uma circunferência, para isso sabemos que a área de um círculo se dá pela expressão: $A = \pi \cdot r^2$, portanto :

$$A = \pi \cdot r^2 \quad \dots \quad A = 3,1416 \cdot \left(\frac{0,6}{2}\right)^2 \quad \dots \quad A = 3,1416 \cdot 0,09 \quad \dots \quad A = 0,2827 \, m^2$$

- Agora, de posse da informação da área, podemos facilmente calcular a força resultante se a pressão de 0,1 MPa for aplicada em uma área de 0,2827 m^2 , pela equação temos:

$$F = P \cdot A \quad \dots \quad F = 0,1 \times 10^6 \cdot 0,2827 \quad \dots \quad \mathbf{F = 28270 \, N}$$

- Assim determinamos que a capacidade de carga do elevador é de 28270N, tomando por referência que 10N corresponde a aproximadamente 1 Kg, nosso elevador tem capacidade de elevação de aproximadamente 2827 Kg de carga.

Geralmente nas indústrias o termo Pa [Pascal] não é muito utilizado, uma unidade de Pa equivale a uma pressão muito pequena. Dessa forma é muito comum utilizarmos outras escalas de pressão que podem ser convertidas entre si, e estão mais próximas dos níveis de pressão a que estamos habituados. As escalas mais usuais para medição de pressões na área industrial são: psi, atm, mmH₂O, Kg/cm², mmHg e Bar.

Todas essas escalas podem ser convertidas entre si, já que medem a mesma grandeza. Abaixo podemos visualizar uma tabela na qual identificamos a correlação entre as escalas:

	Psi	Atm	mmH ₂ O	Kg/cm ²	mmHg	Bar	Pa
Psi	1	0,0681	703,8	0,0704	51,715	0,0689	6895
Atm	14,7	1	10,343	1,033	760	1,013	101325
mmH ₂ O	0,001421	0,000097	1	0,0001	0,0735	0,000098	9,8
Kg/cm ²	14,22	0,968	100,010	1	735,6	0,981	98067
mmHg	0,01934	0,001316	13,61	0,00136	1	0,001333	133,3
Bar	14,504	0,987	10,210	1,02	750	1	100000
Pa	0,000145	0,00001	0,102	0,00001	0,0075	0,00001	1

Correlação entre escalas de pressão

Tabela 9A



No ambiente em que vivemos estamos constantemente sofrendo as forças exercidas pela pressão do ar. Essa pressão chamada de “pressão atmosférica” é definida pela força exercida em uma unidade de área pela atmosfera terrestre. A pressão atmosférica normal é mais intensa e tem seu maior valor ao nível do mar, ou seja, em altitude zero, e tem o valor de 101325 Pa, que equivalem a 1 Atm, ou ainda em uma escala mais comum e usual 1,013bar abs.

A pressão reduz com o aumento da altitude, ou seja, quando saímos do nível do mar e ganhamos altitude o valor e intensidade da pressão atmosférica diminuem, sendo que a 1500 metros diminuem para 0,847 bar abs. Como a maioria das instalações estão entre o nível do mar e 700 metros, o fator pressão atmosférica tem influência nas medições realizadas nesse intervalo.

Quando realizamos leituras de pressões em altitudes diferentes de zero, ou seja, em qualquer região que não esteja ao nível do mar e desconsideramos o fator “pressão atmosférica” do local estamos nos referindo ao termo chamado de “**Pressão Relativa**” ou “**Pressão de Manômetro**”. Essa definição indica que a pressão obtida em um sistema é relativa à altitude local ou a pressão atmosférica do local, em outras palavras, referenciamos a pressão atmosférica local como zero e, a partir desse ponto, passamos a validar os valores de pressão obtidos com o instrumento de medida.

Quando é considerado o valor da pressão atmosférica em nossas medições, o valor de pressão obtido em um sistema deverá ser corrigido com a adição do valor da pressão atmosférica do local. Essa pressão definimos como “**Pressão Absoluta**”, que nada mais é do que a pressão total a que o sistema está submetido. Acompanhe a ilustração abaixo:

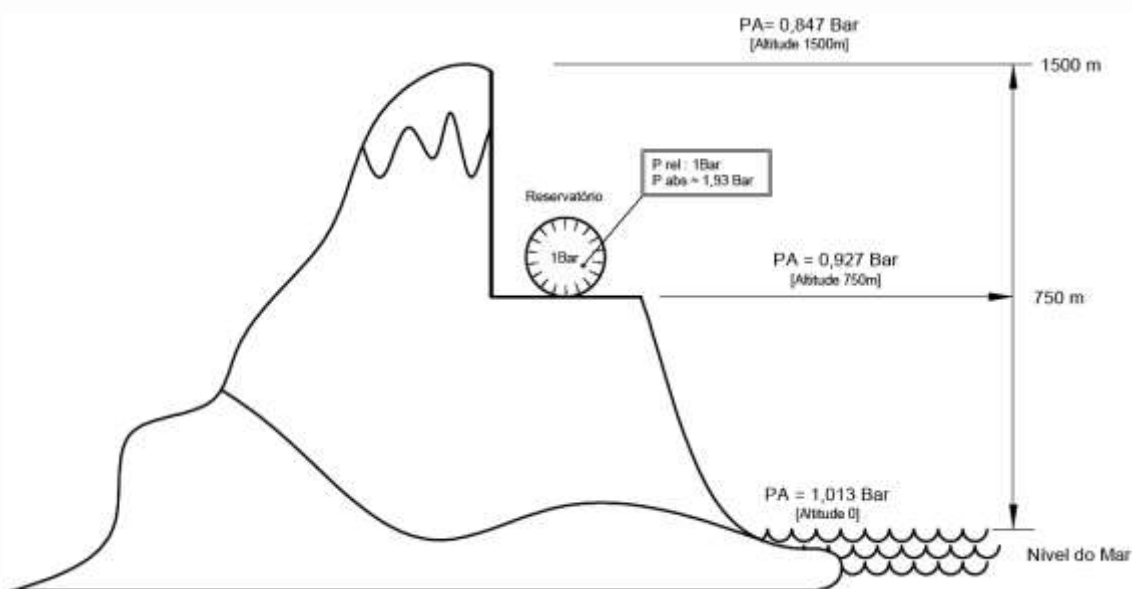


Figura 9.1



Na ilustração acima podemos compreender de forma mais clara a relação entre as pressões absoluta e relativa. Sabemos que a pressão ao nível do mar é de 1,013 bar e a uma altitude de 750 metros a pressão atmosférica é de aproximadamente 0,927 bar. Se considerarmos um reservatório instalado a essa altitude de 750 metros com uma pressão interna de $P = 1$ bar, podemos concluir que:

Pressão relativa do reservatório $[P_{rel}] = P$ (1 bar, neste caso não é considerada a pressão atmosférica)

$P_{rel} = 1$ Bar

Pressão absoluta do reservatório $[P_{abs}] = P_0 + P \dots 0,927 + 1$

$P_{abs} = 1,927$ Bar

De forma que: P_0 é a pressão atmosférica do local da instalação
 P é a pressão do sistema avaliado
 P_{rel} é a pressão relativa ou pressão de manômetro
 P_{abs} é a pressão absoluta

Os valores de pressão atmosférica podem sofrer pequenas alterações para uma mesma altitude, isto ocorre devido à mudança das características do ar quando em variações de temperaturas. Essa variação causa mudanças em sua densidade e com isso os valores de pressão atmosférica podem ser diferentes em um mesmo local, dependendo das condições climáticas. Existe uma fórmula matemática que expressa com uma certa precisão o valor da pressão atmosférica em função da altitude, pode ser utilizada para prever os valores médios da pressão atmosférica de um determinado local.

$$T = 15,04 - (0,00649 \cdot h)$$

$$P = 101,29 \times \left[\frac{T + 273,1}{288,08} \right]^{5,256}$$

Sendo: T = Temperatura $[^{\circ}\text{C}]$
 h = Altitude do local [metros]
 P = Pressão atmosférica média do local [KPa]

Observação: esse método se aplica para altitudes inferiores a 11000 metros, região da Troposfera.

9.1.2 Manômetro

Quando trabalhamos com medição de pressão, o instrumento mais comum utilizado para realizar medições em um sistema onde exista um fluido ou gás sob pressão é chamado de manômetro, os manômetros são dispositivos mecânicos, capazes de realizar medidas de pressões relativas e



pressões absolutas (dependendo do modelo), os mais comuns nos meios industriais são os dispositivos que medem pressões relativas, e se baseiam no princípio de tubo de Bourdon. Os manômetros com tubos de Bourdon são amplamente utilizados em todos os segmentos da indústria. A construção é simples e reforçada, e a operação não requer qualquer outra fonte de força. O elemento do tubo de Bourdon é exposto diretamente ao sistema a ser medido, sendo geralmente fabricado com liga de cobre, latão ou ainda em aço inoxidável. Esse tipo de manômetro compensa a pressão atmosférica do ambiente de instalação, mantendo a área externa do tubo em contato com o ambiente de instalação, assim a pressão a ser medida primeiramente deve vencer a pressão externa (atmosférica) para iniciar efetivamente o deslocamento do cursor e conseqüentemente a leitura da pressão relativa propriamente dita. Na figura 9.2 podemos visualizar o princípio de funcionamento desse instrumento.

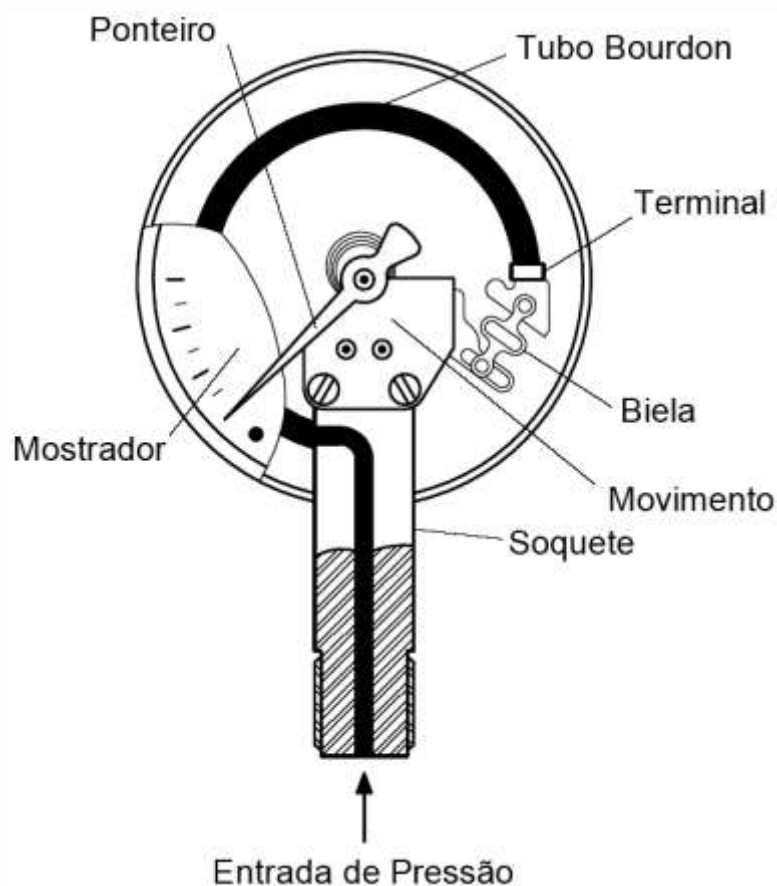


Figura 9.2

O elemento medidor do tubo de Bourdon é fabricado a partir de um tubo de paredes finas, que pode ser dobrado em semicírculo, que também é definido como tipo “C” ou enrolado de forma espiralada, definido como “tubos de segurança”. Com a pressão sendo aplicada no sistema de medição por meio da “entrada de pressão”, a força resultante causa um estiramento do tubo Bourdon, o que faz que o “terminal” se desloque para cima (para medições de pressões positivas) ou para baixo (para medições de vácuo). O movimento do “terminal” é transmitido pela “biela” para o mecanismo de “movimento”. Esse mecanismo converte o movimento linear do “tubo de Bourdon” para um



movimento rotacional, que, por sua vez, faz que o ponteiro indique a pressão correspondente por meio da graduação no “mostrador”.

Os instrumentos que utilizam o princípio de Bourdon são indicados para medição de pressões positivas e pressões negativas (vácuo), podendo ser aplicados em fluidos na forma líquida e gasosa. Os manômetros do tipo “C” são os mais comuns e podem ser utilizados para medição de pressões que podem chegar a 800 psi ou 55 Bar. Para pressões que excedem esses patamares, o recomendado é o tipo espiralado, por proporcionar maior grau de segurança.

9.2. Transdutores e Transmissores de Pressão

Os transdutores de pressão são instrumentos eletrônicos que, com base nos princípios de medição de pressões vistos anteriormente, transformam o valor de pressão lida em um determinado sistema, em um sinal elétrico analógico padrão, linearizado em uma faixa correspondente predefinida pelo dispositivo, em outras palavras, o transdutor de pressão é um tipo de “manômetro eletrônico”.

Os transdutores ou transmissores de pressão convertem uma pressão aplicada em um sinal elétrico analógico de saída padronizado. Esse sinal, por ser padronizado, pode ser aplicado diretamente em entradas analógicas de CLPs, controladores universais, indicadores digitais etc, dentre outros dispositivos capazes de interpretar esse sinal com o intuito de indicar, registrar ou controlar as pressões do processo em que está sendo utilizado.

Os sinais analógicos padronizados podem ser de tensão, variando nas faixas de 1 a 5 Vcc, 0 a 5 Vcc, 0 a 10 Vcc, ou ainda 0 a 100 mV, e corrente, nas faixas de 0 a 20 ma e 4 a 20 ma, sendo mais comuns em aplicações industriais os transdutores de loop de corrente de 4 a 20 ma, dois fios.

É muito comum, no meio industrial, quando se trata desses dispositivos, o uso ambíguo dos termos “transdutor de pressão” e “transmissor de pressão”. Por convenção um “transmissor de pressão” fornece um sinal de saída de 4 a 20 ma com circuito a 2 fios (loop de corrente), enquanto um “transdutor de pressão” fornece o sinal de saída em tensão, com circuito de 3 ou 4 fios. Isso causa confusão entre os usuários, mas vale salientar que sensores de pressão para aplicações gerais são habitualmente definidos como “transdutores de pressão”.

Em metrologia o transdutor de medição é todo o dispositivo que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação com a grandeza de entrada, e o sensor é um elemento de medição que é diretamente aplicado à grandeza a medir.



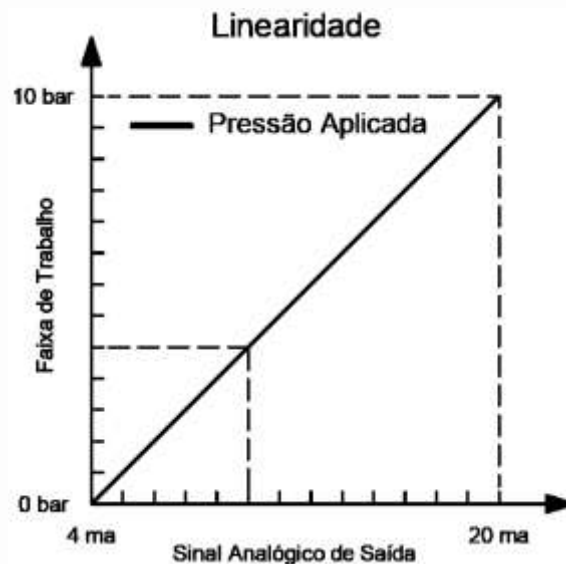


Figura 9.3

Uma das principais características desses instrumentos é a linearidade em que o sinal elétrico está correlacionado com a pressão aplicada, um transmissor de pressão, por exemplo, que seja especificado para utilização na faixa de 0 a 10 bar de pressão e sinal de saída de 4 a 20 ma indica que, quando o sensor estiver submetido a uma pressão de 0 bar, o sinal correspondente na saída será de 4 ma, quando a pressão no sensor estiver em 10 bar a saída estará com 20 ma.

Como o sinal elétrico de saída do transmissor é linear e diretamente proporcional à pressão aplicada, com a pressão de 0 bar o sinal correspondente é 4 ma, com a pressão em 5 bar o sinal correspondente é de 12 ma e, por fim, com a pressão máxima de calibração 10 bar, o sinal elétrico é de 20 ma.

Como os instrumentos que recebem esses sinais analógicos padrão podem ser configurados, ele poderá converter o sinal recebido de 4 a 20 ma em uma escala de 0 a 10 bar, por outro lado, como o sinal é linear, o instrumento pode converter o valor de pressão em qualquer escala que o usuário venha utilizar, por exemplo, em PSI. Nesse caso o usuário pode configurar o instrumento para 4 ma indicar 0 PSI e 20 ma indicar 145.04 PSI. Desse modo o indicador completa todos os cálculos de linearização automaticamente.

Outro fator importante para verificação desses tipos de instrumentos é a sua precisão. Precisão é a diferença que existe entre a curva característica ideal do transmissor e a curva real. Essa diferença é expressa em porcentagem relacionada com o fundo de escala do dispositivo utilizado. Para determinação da precisão do instrumento são considerados os desvios de linearidade, histerese e repetibilidade da leitura. A maioria dos instrumentos encontrados no mercado estão entre 0,25% de erro em relação ao fundo de escala, isso indica que um transmissor calibrado para 10 bar pode sofrer variações de no máximo 0,25%, ou seja 0,025 bar.



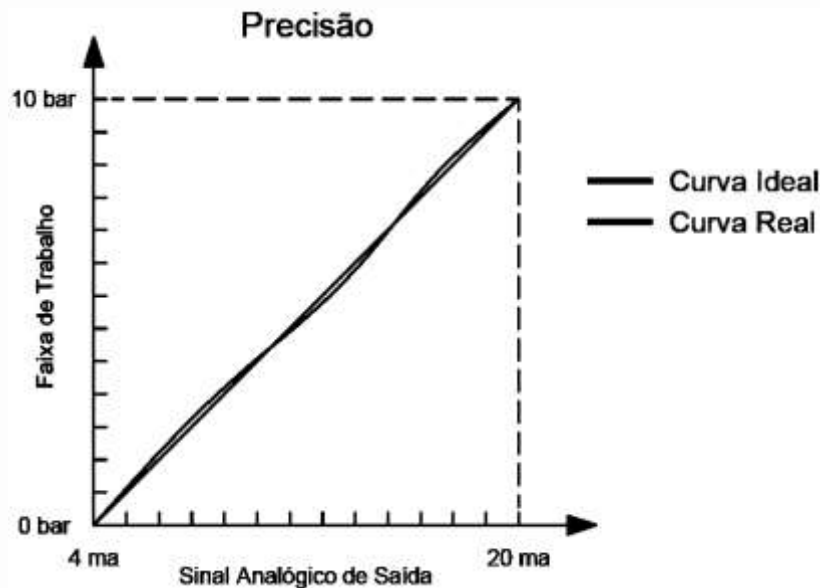


Figura 9.4

Quando avaliada e medida a precisão de um transmissor, devemos observar que em um ambiente industrial existem inúmeras variáveis que podem interferir na precisão do dispositivo. A temperatura, por exemplo, é um fator de extrema importância que, se não levada em consideração, pode ocasionar erros na linearização do instrumento durante a operação. O ambiente industrial raramente oferece condições ideais de laboratório, que podem ter sido consideradas na determinação e calibração do instrumento.

Os transmissores de pressão são dispositivos construídos para atender à maioria das aplicações de medição de pressão eletrônica na indústria. Os elementos de medição têm seu funcionamento com base no princípio piezoresistivo ou no princípio de extensômetro, sendo o primeiro tipo, o piezoresistivo, indicado para faixas de pressões até 25 bar, e os do tipo extensômetro para faixas acima de 25 bar.

9.3. Aplicações em Processos Industriais

Os transmissores ou transdutores de pressão, quando integrados na indústria, em máquinas ou linhas de produção, devem seguir algumas recomendações básicas que servem não somente para esses dispositivos mas também para qualquer outro dispositivo sensor de uso industrial. Esses cuidados são os mesmos que vimos anteriormente para integração dos sensores de temperatura, pois o nível de ruído elétrico que proporciona erros na instalação de termopares e termorresistências também pode provocar distorções no sinal analógico do instrumento de medição de pressão, gerando assim erros na indicação e controle dos equipamentos. Os cuidados básicos com fiação e conexões devem ser observados e, sempre que possível, utilize fiação blindada com uma das extremidades aterradas, e evite ao máximo a passagem dos cabos de instrumentação em mesma tubulação ou caminho percorrido por cabos de potência de motores principalmente se na instalação houver inversores de frequência instalados.



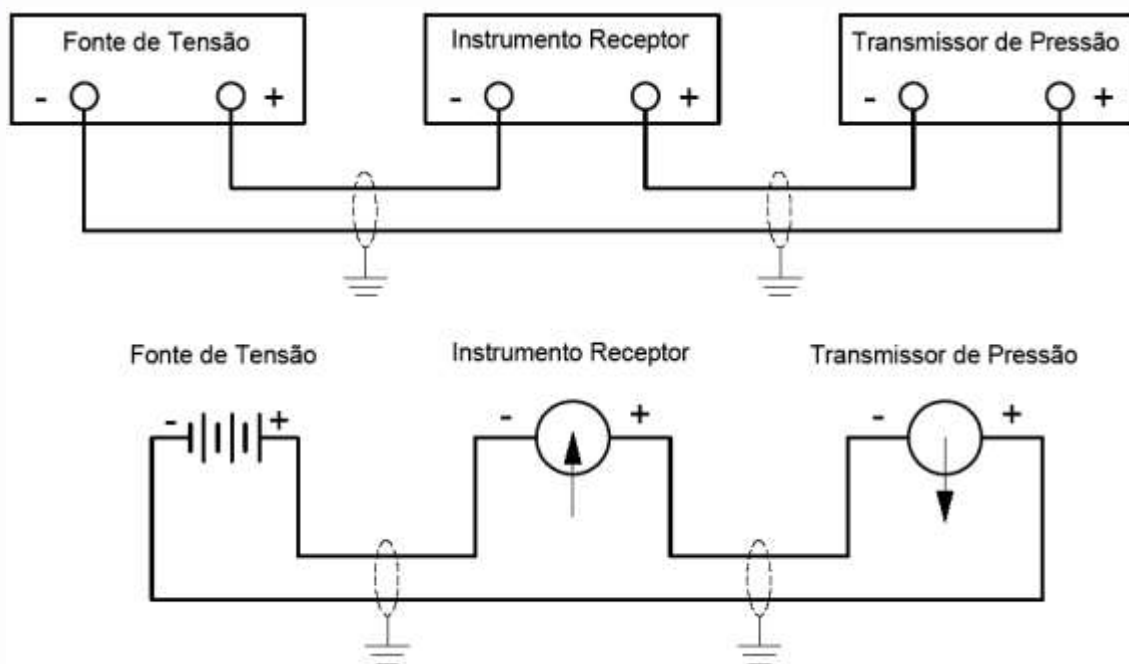


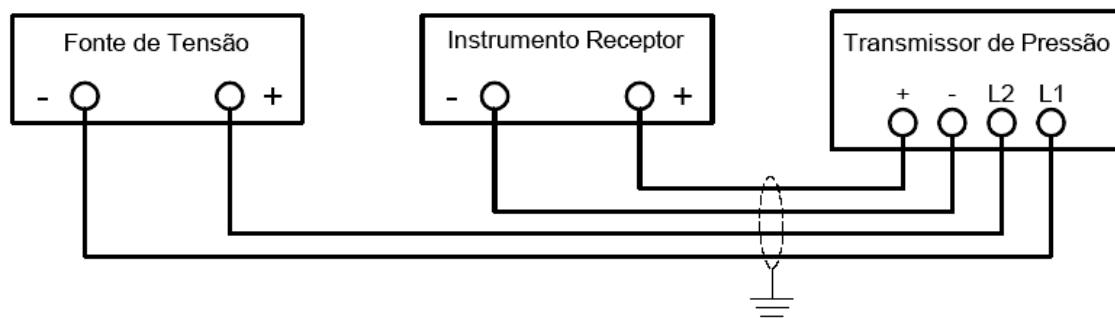
Figura 9.5

Quando instalamos esses dispositivos na indústria, devemos estar atentos para o esquema de ligação do sensor utilizado. Na maioria das aplicações é muito comum a utilização do transmissor a dois fios, ou seja, ligação com sinal analógico padrão de 4 a 20 ma. Nesse sistema a fonte de alimentação do circuito é ligada em série com o transmissor, esse tipo de ligação cria um loop de corrente em que o transmissor regula a corrente que circula no circuito em função da pressão aplicada. A maioria dos controladores universais possui configurações para circuitos em loop de corrente, alguns proporcionam uma fonte de tensão para alimentação do circuito. Todavia, se o equipamento leitor não tiver disponível tal funcionalidade, o usuário poderá utilizar uma fonte comum para alimentação da malha do dispositivo. Acompanhe abaixo o diagrama típico de ligação desses instrumentos em loop de corrente.

O diagrama observado na figura 9.5 é básico, e representa a maioria dos instrumentos ligados em loop de corrente, tanto para sinais de 0 a 20 ma quanto para sinais de 4 a 20 ma, no entanto existem outros modelos de transdutores que possuem ligações de três fios ou quatro fios. Basicamente a fonte alimenta diretamente o circuito eletrônico do transdutor e o sinal analógico de saída é fornecido para o instrumento receptor por fiação exclusiva. Acompanhe abaixo o diagrama típico para transdutor de quatro e três fios.



4 Vias / 4 Fios



3 Vias / 3 Fios

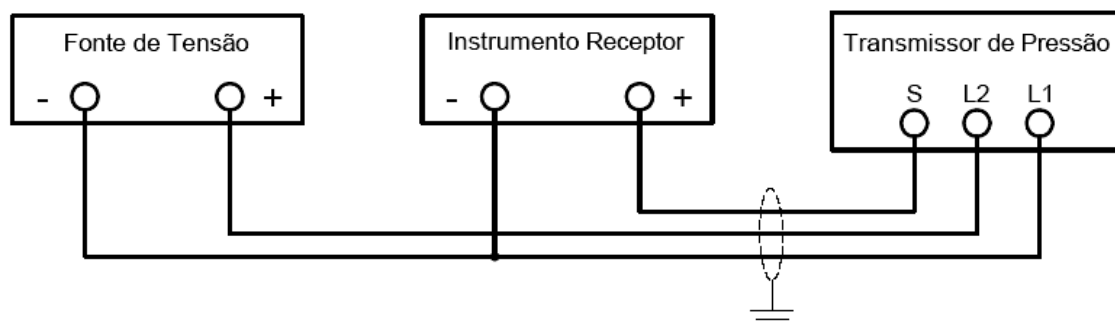


Figura 9.6

A configuração vista na figura 9.6 pode ser utilizada para transdutores com saídas analógicas padrão de tensão nas classes de 0 a 5 V, 1 a 5 V ou 0 a 10 V.

9.4. Interface com o CLP

Em aplicações industriais é comum a utilização de transmissores ou transdutores de pressão conectados a uma entrada analógica de um CLP. Atualmente, com a popularização dos controladores lógicos programáveis, a utilização de desses dispositivos para automatização de processos industriais se tornou bastante ampla devido ao baixo custo de aquisição desses instrumentos, aliado com um grande benefício para o controle do processo. Basicamente só existe uma maneira de se conectar um transmissor ou transdutor de pressão a uma entrada analógica padrão de um CLP, sendo o dispositivo dotado de ligações a dois, três ou quatro fios, o procedimento para ligação é o mesmo. Tomando por base os diagramas apresentados nas figuras 9.5 e 9.6, podemos identificar a entrada analógica do CLP como sendo um instrumento receptor, ou seja, a entrada correspondente possui dois pontos de conexão, um de referência, geralmente identificado como 0V ou GND, e outro como entrada do sinal, identificado com os símbolos +, IA, ou com uma nomenclatura padrão do fabricante do equipamento. O usuário nesse caso, deverá consultar a documentação técnica do equipamento.



Em alguns casos os CLPs apresentam somente um borne de ligação para a entrada do sinal analógico. Nessa situação está convencionado que o ponto de referência de 0V ou GND será o mesmo ponto de alimentação do dispositivo, assim os pontos em comum no circuito serão todos com referência na ligação de 0V. Não obstante é recomendado que, antes de se proceder às conexões elétricas no equipamento, o usuário deve conhecer todas as características elétricas do dispositivo, como descritas na documentação técnica que acompanha o dispositivo.

Para que o usuário consiga compreender os valores numéricos disponíveis nos registradores internos do CLP, provenientes de uma entrada analógica padrão, deverá seguir os procedimentos vistos anteriormente no capítulo 8.3, no que se refere à conversão do sinal analógico seguindo a resolução disponível na entrada, lembrando que as resoluções mais usuais estão entre 10 bits (1024), 12 bits (4096), e em CLPs de médio e grande porte 16 bits (65536).

Atualmente, a grande maioria dos programas de compilação LADDER, disponibilizados pelos fabricantes possuem blocos de função específicos para linearização do sinal de uma entrada analógica. Assim o usuário poderá converter qualquer valor disponível de um transmissor ou transdutor para qualquer escala que deseja trabalhar, bastando, para isso, somente o conhecimento prévio dos valores correspondentes para cada grandeza em particular (tabela 9A). Abaixo podemos visualizar um exemplo desse bloco de função específico utilizado para os CLPs da linha Unitronics® Vision.

O exemplo foi elaborado tomando por base uma conexão de um transmissor de pressão calibrado para atuar na faixa de 0 a 10 bar, conectado a uma entrada analógica padrão de loop de corrente de 4 a 20 ma com resolução de 10 bits.

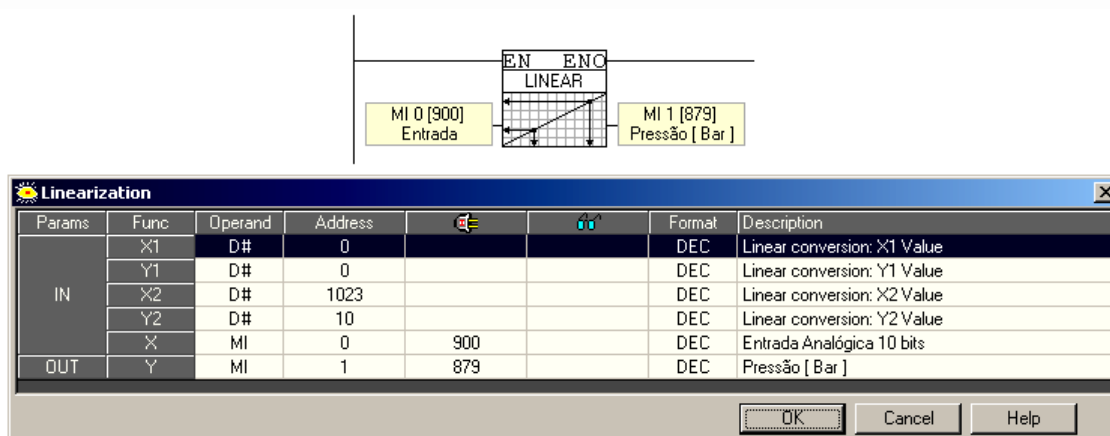


Figura 9.7

Podemos identificar no exemplo da figura 9.7 que, o registrador de inteiro MI 0 (X) está endereçado para receber o valor da entrada analógica com resolução de 10 bits, portanto o valor de MI 0 poderá variar de 0 a 1023 de

acordo com a variação de pressão no transmissor. O registrador de inteiro MI 1 (Y) está endereçado para receber o valor da conversão linearizada, no exemplo 0 a 10 bar, então, para definição da curva de linearização, devemos inserir valores fixos inteiros nos registros X1, Y1, X2, Y2, para configurar a linearidade da curva de saída, sendo:

X1: Valor inicial de entrada analógica [0]
Y1: Valor inicial da escala de saída [0 bar]
X2: Valor final da entrada analógica [1023]
Y2: Valor final da escala de saída [10 bar]

Desse modo, toda a variação numérica, ocorrida no registrador de inteiro MI 0, automaticamente será convertida para a escala correta de pressão em bar no registrador MI 1. Para linearização de outra escala conhecida de pressão, basta inserir os valores correspondentes em Y1 e Y2, sendo Y1 o valor inicial da escala e Y2 o valor final, não é necessário alterar os valores de X1 e X2, a não ser que a entrada analógica tenha uma resolução diferente de 10 bits, acompanhe o exemplo abaixo utilizando os dados do exemplo anterior. Agora, porém, com o transdutor enviando um sinal analógico equivalente a faixa de 0 a 10 bar, e o CLP fazendo a linearização para uma escala de PSI [libras].

Para isso acontecer devemos conhecer a correlação numérica entre as escalas, para tal consideramos que 1 bar equivale a 14,504 PSI (tabela 9A), portanto 10 bar correspondem a 145,05 PSI. Desse modo devemos inserir os valores numéricos em Y1 = 0 e Y2 = 145,05, portanto, em toda variação numérica que ocorrer no registrador de inteiro MI 0, automaticamente teremos em MI 1 o valor correspondente em PSI.

Essa metodologia pode ser aplicada para qualquer conversão que se comporte de forma linear, existem outros blocos de função que podem correlacionar curvas diferentes, como exponencial ou logaritmo, por exemplo, no entanto a grande maioria das aplicações não necessita desse recurso.

Vale salientar que o exemplo dado se refere ao CLP da família Unitronic's® Vision. Outros sistemas possuem blocos de função semelhantes, entretanto basta que o usuário compreenda a metodologia de funcionamento do bloco para realizar operações idênticas.

9.5. Interface com o Controlador Universal

Os transmissores de pressão podem ser conectados facilmente em vários modelos de controladores universais, bastando, para isso, que o controlador possua uma entrada analógica padrão de tensão ou corrente. Com a utilização de um controlador universal, o usuário pode indicar um valor de pressão em qualquer escala que deseje. Como visto no exemplo anterior, no tópico 9.4, em que abordamos a interface do sensor com um CLP, com a vantagem de não ser necessário proceder cálculos de linearização, pois os controladores universais fazem essa função de forma automática, o usuário deve inserir os valores mínimos e máximos da escala e o controlador processa



o sinal de forma automática e disponibiliza o valor para controle em malha ou simplesmente para indicação digital.

