

Transdutores de Força

Célula de Carga

Neste capítulo vamos abordar um dispositivo bastante utilizado para medição de esforços mecânicos na indústria, os transdutores de força ou células de carga. Para um melhor entendimento dos princípios de funcionamento de uma célula de carga, devemos compreender os conceitos mecânicos e elétricos envolvidos e presentes nesse dispositivo.

No capítulo anterior, definimos que a força exercida em líquidos ou gases é chamada de pressão, porém, quando uma força é exercida em um material sólido como ferro ou madeira, por exemplo, o material sofre uma tensão ou stress, que tende a deformar a superfície atingida pela força. Força e deformação linear estão diretamente ligadas e são utilizadas para se referir a qualquer variação linear da dimensão de um corpo submetido a forças externas. Todo o corpo submetido a um esforço de tração ou compressão sofre uma deformação linear, proporcional ao valor do esforço aplicado. Desde que tal esforço não exceda o limite de elasticidade do material, essa deformação será **elástica**, ou seja, o corpo retornará à sua forma primitiva quando a força for retirada.

Os sólidos possuem uma característica chamada de **Elasticidade**, que define a propriedade pela qual um corpo se deforma pela ação de uma força e retorna à sua forma original ao se extinguir a ação da força deformante. Na prática não podemos afirmar que exista um corpo perfeitamente elástico, portanto, em aplicações reais, quando é retirada de um corpo uma força deformante ele não volta “exatamente” à sua forma primitiva. Existe, nesse caso, uma deformação residual. Porém desde que a força deformante não seja aplicada além de um certo limite, a deformação residual é desprezível, podendo o corpo ser considerado como perfeitamente elástico.

De acordo com o modo pelo qual a força é aplicada em um corpo, podemos definir os seguintes efeitos:

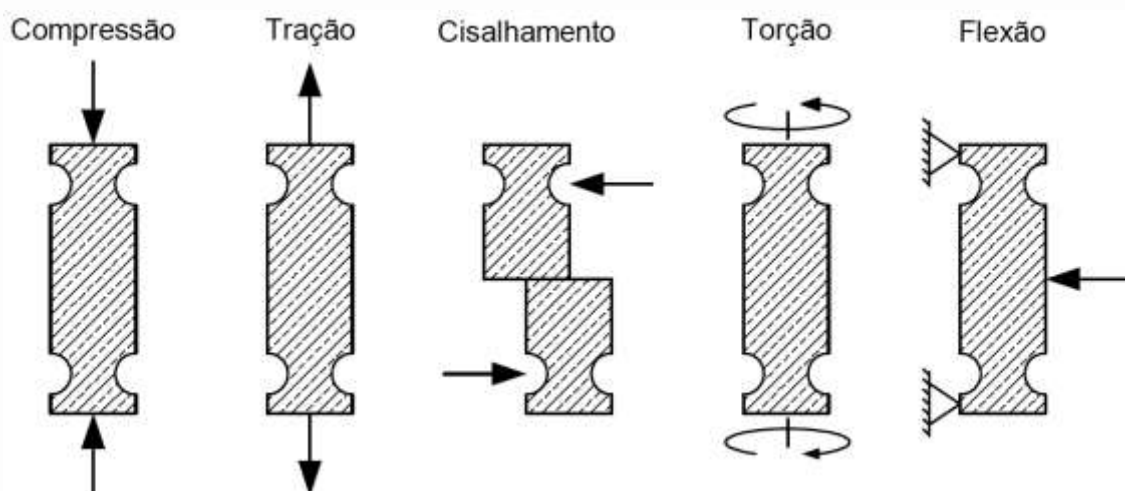


Figura 10.1



Quando os corpos são submetidos a forças excessivas, podemos causar uma perda na linearidade da elasticidade. Assim podemos definir que o **Limite da Elasticidade** de um corpo é a maior tensão a que se pode submeter um corpo sem que ele adquira uma deformação permanente, após esse ponto de LE (limite elástico) o corpo se deforma e não mais retorna à posição original primitiva. Nessa situação definimos que o corpo sofreu **Deformação Plástica** (DP).

Se a força aplicada for demasiadamente grande, excedendo os valores de LE, o corpo se rompe, ou seja, é destruído. Quando essa situação ocorre, definimos que o corpo atingiu seu **Ponto de Ruptura**. O valor da força aplicada a um corpo que proporciona o PR (ponto de ruptura) é definida como **Tensão de Ruptura do Material**, se a força aplicada no corpo atingir valores muito próximos à tensão de ruptura, o material é destruído.

No gráfico abaixo podemos identificar essas situações quando uma força é aplicada em um determinado corpo sólido, acompanhe:

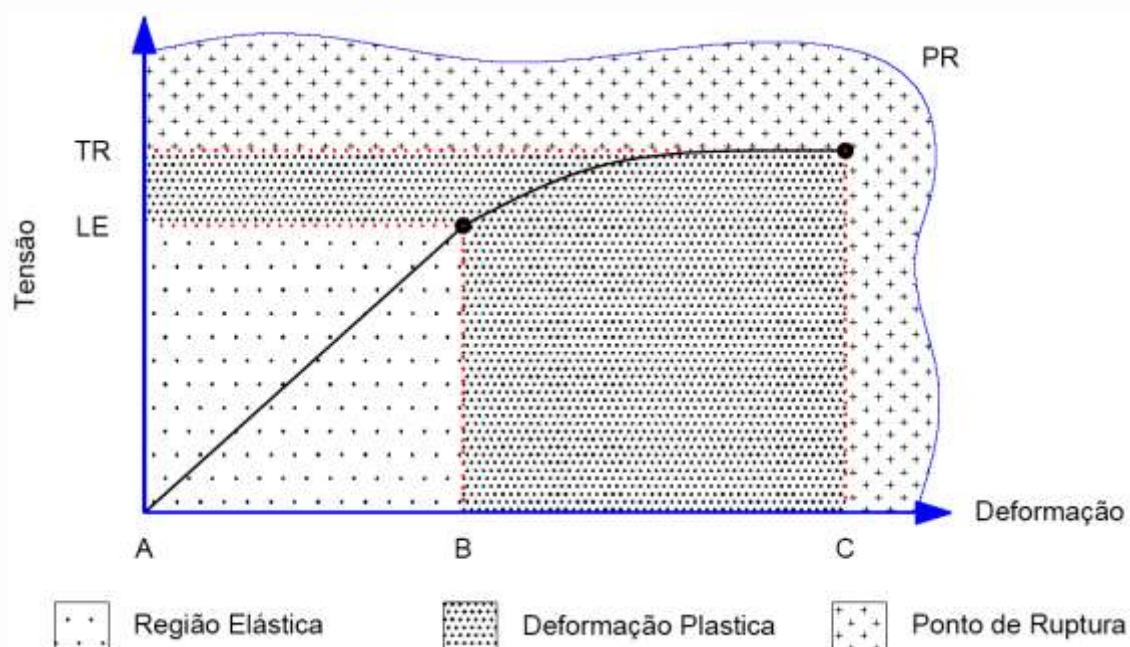


Figura 10.2

Analisando o gráfico apresentado na figura 10.2, podemos concluir que o trecho retilíneo compreendendo AB é denominado região de proporcionalidade ou região linear. Nessa região as tensões mecânicas (forças) são aplicadas, o corpo se deforma, porém retorna à sua posição original ou primitiva.

Se a tensão no corpo ultrapassar o limite de LE (limite de elasticidade), o corpo se deforma, mas não retorna à sua posição original, a região compreendida entre os pontos BC é chamada de região de deformação plástica. Nessa região o corpo ainda possui certa elasticidade, porém com sua linearidade comprometida.



Quando a tensão aplicada no corpo ultrapassar o ponto TR (tensão de ruptura), o corpo já não se deforma mais. Nessa região o corpo é destruído, ou seja, a força aplicada excedeu os limites de elasticidade suportada pelo material, causando sua destruição permanente.

Quando projetamos ou elaboramos aplicações em que a deformação de um corpo sólido é exigida, nunca dimensionamos os materiais para trabalharem na região plástica ou próximo ao ponto de ruptura, devemos considerar uma margem de segurança, para que o material não sofra danos permanentes.

10.1. O que é uma célula de carga

Uma célula de carga é um transdutor que converte energia mecânica em energia elétrica, ou seja, é um dispositivo que produz um sinal elétrico de saída proporcional à força aplicada em sua superfície de carga.

Os sensores utilizados em uma célula de carga utilizam-se dos pontos de deformação dos materiais vistos na figura 10.1 para medir o quanto o material está se deformando. As células de carga mais comuns são baseadas nos princípios de deformação por compressão e tração, porém podem também ser encontradas células de carga para medição de torção e flexão.

O princípio básico de medição da deformação em uma célula de carga baseia-se em sensores do tipo **Extensômetro de Resistência Elétrica** ou também chamados de **Strain Gage**, esse sensor é aplicado para medição de deformação em qualquer corpo rígido. Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica de um fio ou lâmina condutora devido à variação de suas dimensões. A resistência elétrica de um material condutor é determinada por três fatores básicos: tipo de material utilizado para fabricação do condutor (cobre, alumínio, níquel etc.), seção transversal (espessura do fio) e comprimento (em metros).

Nos condutores em forma de fio (filiformes), o valor da resistência é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal do condutor, assim podemos definir matematicamente essa relação, sendo que:

$$R = \frac{L}{S}$$

De forma que: R = Resistividade elétrica [Ω]

S = Seção transversal [mm²]

L = Comprimento [m]

Cada condutor possui um coeficiente específico de resistividade. Esse coeficiente é determinado pelas características físicas do material do qual o condutor é constituído, e é representado por um símbolo grego “ρ” (ro), portanto, para que a expressão matemática represente uma fórmula geral para



todos os tipos de condutores, devemos considerar esse coeficiente na expressão matemática, assim:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Sendo: R = Resistência do condutor [Ω]

ρ = Resistividade da cada material [$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$]

L = Comprimento do condutor [m]

S = Área da seção transversal do condutor [mm^2]

A área da seção transversal pode ser obtida por meio da expressão:

$$S = \pi \cdot r^2 \quad \pi \approx 3,1416 \quad r = \text{raio}$$

Os extensômetros de resistência elétrica são muito pequenos, aproximadamente do tamanho de um grão de feijão, e possuem uma configuração de uma grade ou filamento, fabricados com um fio ou fita condutora de espessura muito pequena, cerca de 0,0025 mm. Normalmente o material empregado para construção dos extensômetros é o “Constatan”, um condutor que apresenta características constantes com a variação de temperatura. Os extensômetros são montados em cima de uma película plástica adesiva, que facilita a montagem e a instalação no corpo das células de carga.

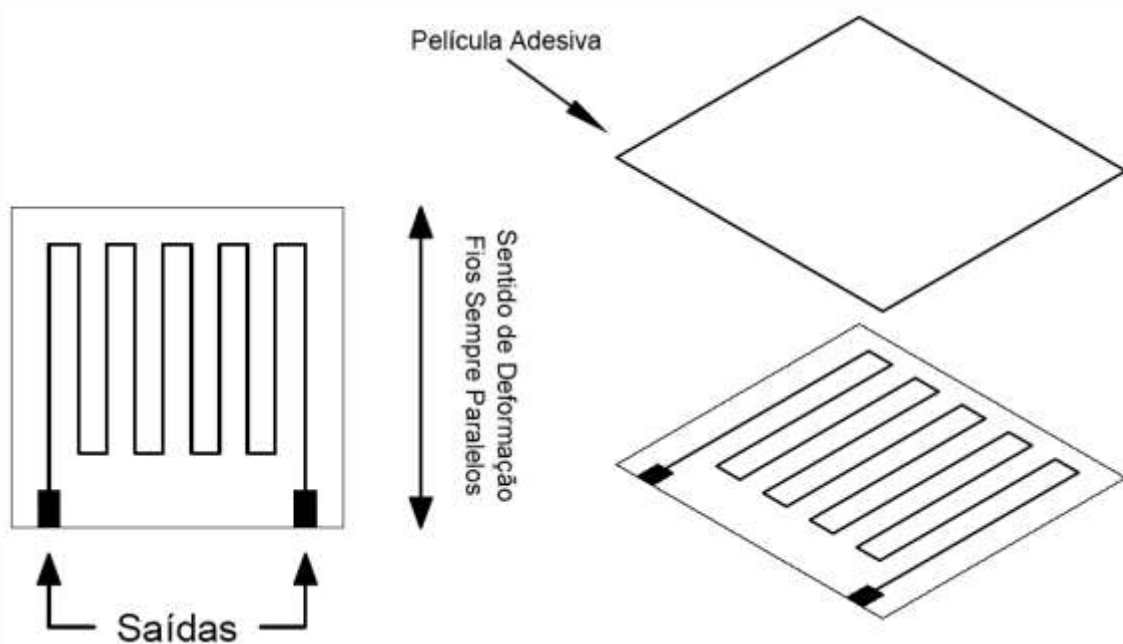


Figura 10.3



Na figura 10.3 podemos visualizar o extensômetro e sua configuração básica, quando o extensômetro é aplicado em uma superfície sólida por meio de uma película adesiva especial, toda a deformação que a superfície sofrer será transmitida mecanicamente para a película do extensômetro. Note que sensor deverá ser montado segundo as orientações do sentido e direção dos condutores. Geralmente as células de carga possuem um ou mais de um extensômetros montados em sua superfície.

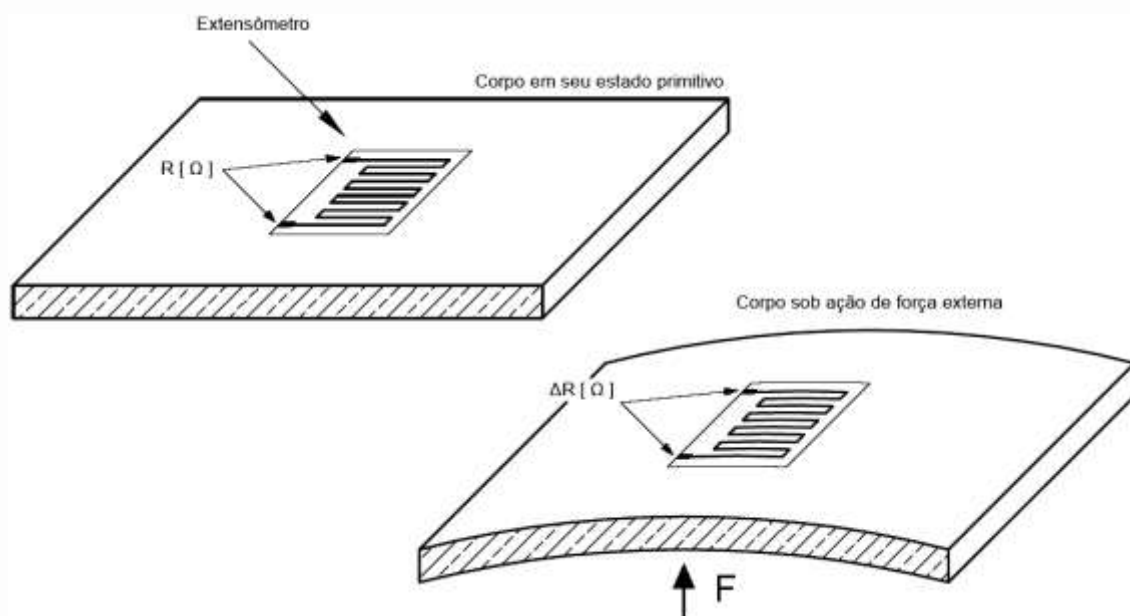


Figura 10.4

Com base nesses princípios, podemos determinar que, quando um corpo está sob ação de uma força externa, o condutor aplicado também sofre a ação da força aplicada. Então, desde que a força não ultrapasse o seu limite elástico (LE), sua resistência elétrica sofrerá alteração devido à deformação do condutor, e será proporcional à força aplicada.

Quando a força aplicada é de tração, o comprimento do condutor aumenta, portanto a sua resistência elétrica também aumenta. Já quando a força aplicada é de compressão, a resistência elétrica diminui, pois o comprimento do fio também diminui.

10.1.1 Tipos de Extensômetros

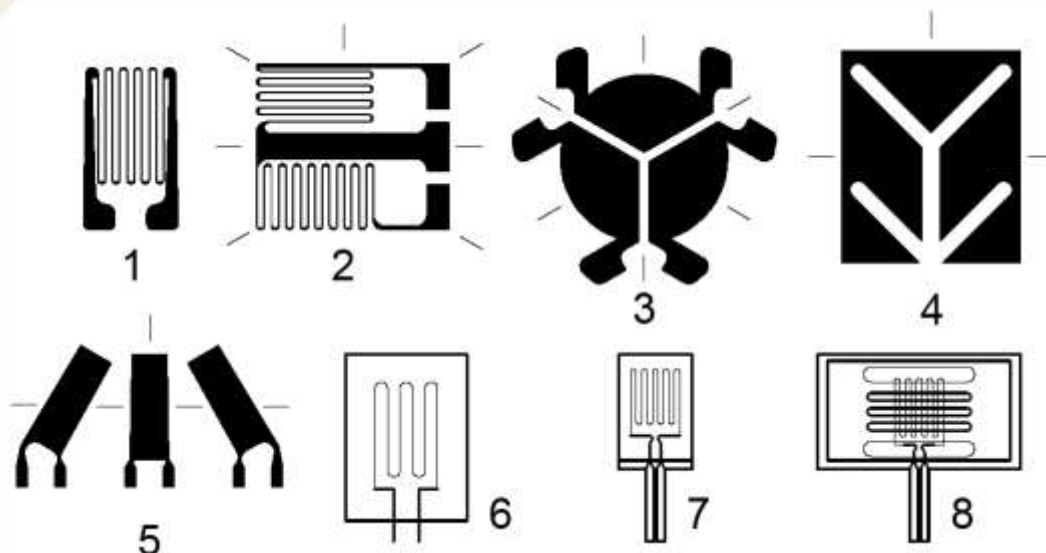


Figura 10.5

Os extensômetros podem ser fabricados em diversas formas e geometrias. Desse modo podem ser instalados em qualquer superfície ou material, como, por exemplo, em estruturas metálicas, pontes, aviões e até em foguetes, mas a sua principal aplicação é na medição de peso. Por meio das configurações das células de carga é possível a construção de balanças para qualquer capacidade, desde as pequenas, até as utilizadas em supermercados, panificadoras e açougues, como em pesagens industriais, para pesagem de caminhões, silos, esteiras etc. Na figura 10.5 podemos visualizar alguns modelos de extensômetros fabricados.

Classificação:

- 1 – Extensômetro uniaxial, lâmina metálica
- 2 – Dois elementos em roseta, 90°
- 3 – Três elementos em roseta, 60°
- 4 – Dois elementos em roseta, 60°
- 5 – Três elementos em roseta, 45°
- 6 – Uniaxial fio
- 7 – Uniaxial fio
- 8 – Uniaxial fio com suporte removível

Nota: os tipos mais usuais são os modelos uniaxiais fio (1, 6 e 7)

Os materiais para fabricação desses sensores devem ser diferenciados, pois não podem sofrer variação de resistência em função da temperatura. Por essa razão são poucos os materiais condutores indicados para construção dos extensômetros; dentre esses materiais podemos destacar o constatan (o mais utilizado), algumas ligas de níquel-cromo, e o elinvar iso-elástico, e para fabricação de extensômetros que operam em ambientes com temperatura elevada são utilizados materiais a base de uma liga de platina-tungstênio.



10.2. Características Elétricas

Após conhecermos os princípios básicos de um extensômetro de resistência elétrica, vamos compreender como podemos extrair os sinais elétricos que desejamos para medição do esforço sofrido pelo dispositivo. O princípio é bastante simples e se baseia em um circuito em ponte balanceada ou também conhecida como ponte de Weatstone, basicamente esse circuito pode medir com precisão pequenas variações de resistência e identificar por meio da variação da corrente elétrica que existe alterações na resistividade do circuito.

O circuito da ponte de Weatstone utiliza um miliamperímetro de precisão altamente sensível, juntamente com uma fonte de tensão que, com uma associação adequada de resistores, pode indicar quando um elemento resistivo está sofrendo alguma alteração. O circuito pode ser identificado da seguinte forma:

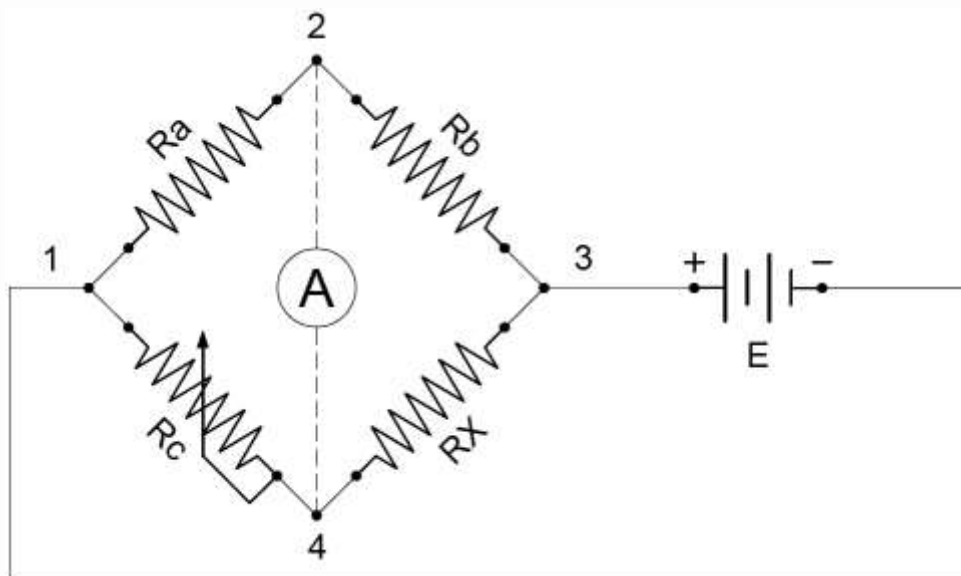


Figura 10.6

O miliamperímetro indica a condição de equilíbrio da ponte, os resistores R_a e R_b são resistores fixos de alta precisão e são definidos como “braços da razão” do circuito. R_c é um resistor variável que também possui alta precisão e é utilizado para calibrar a resistividade de ponte, definido como “braço padrão”, o resistor R_X é o resistor a ser medido, ou seja, um valor de resistência desconhecido que, ao ser inserido no circuito, pode ser identificado com precisão por meio da indicação do amperímetro no centro da ponte.

Analisando o circuito, podemos identificar que, quando a ponte está em equilíbrio, não flui corrente elétrica pelo amperímetro, ou seja, não existirá diferença de potencial nos pontos 2 e 4, $V_{2-4} = 0$, nessa situação dizemos que a ponte está em equilíbrio ou balanceada, como os resistores R_a , R_b e R_c são resistores de valores conhecidos por meio dos princípios matemáticos da lei de OHM podemos afirmar que:



$$RX = \frac{Rb}{Ra} \times Rc$$

Desse modo, quando todas as resistências forem iguais, a ponte estará balanceada, ou seja, não existirá fluxo de corrente entre os pontos 2 e 4.

Agora, partindo desse princípio, podemos concluir que, em circuitos baseados no princípio da ponte de Wheatstone em que as resistências são iguais, qualquer variação em uma ou mais resistências causa um fluxo de corrente elétrica pelo miliamperímetro, logo podemos fazer um arranjo em ponte com extensômetros e com a medição do fluxo da corrente elétrica que circulará no circuito caso os extensômetros venham sofrer deformação, podemos identificar o quanto de deformação mecânica o sistema está submetido. Para isso devemos montar os extensômetros em um circuito de ponte de Wheatstone em uma superfície sólida que facilite e oriente a deformação do material em um sentido específico, acompanhe a ilustração abaixo:

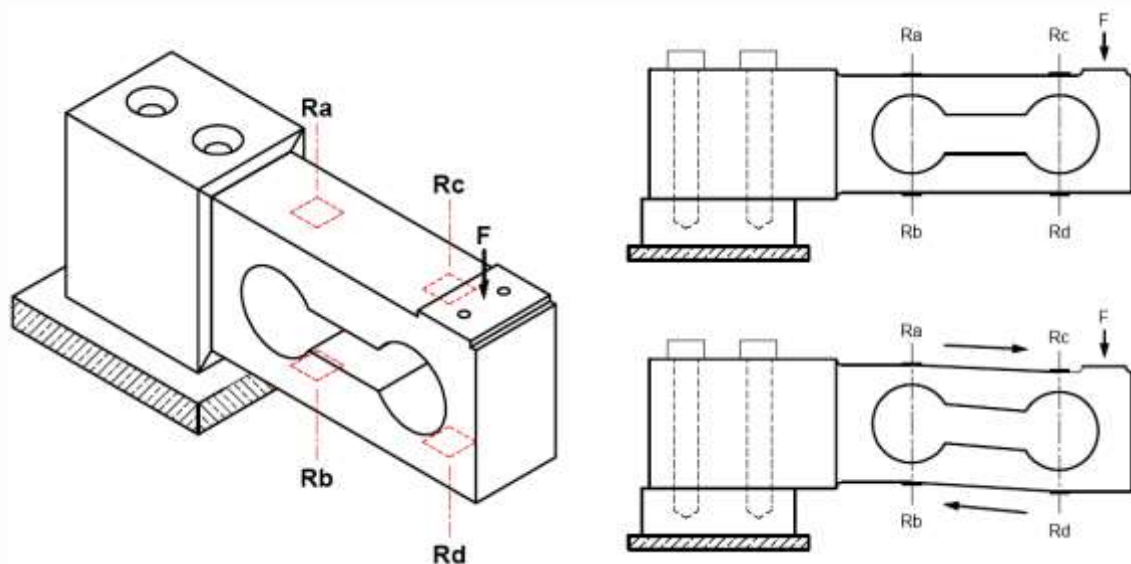


Figura 10.7

Verificando a configuração da figura 10.7, podemos notar que os extensômetros Ra, Rb, Rc e Rd estão posicionados de forma estratégica no bloco de prova, essa configuração é o que chamamos de “célula de carga”. Observe que a célula de carga é fabricada com furos centrais que, em tese, enfraquecem a estrutura mecânica do bloco e, além de facilitar a deformação do material, dá a orientação ao sentido da força aplicada. Quando a célula de carga está em repouso, os extensômetros teoricamente estão em sua posição primitiva, ou seja, como estão ligados na configuração da ponte de Wheatstone e estão sem esforço algum, o circuito estará balanceado e a corrente elétrica não fluirá pelo ramo central do circuito. Porém, quando a célula de carga é submetida à ação de uma força externa “F”, o bloco sofre uma pequena deformação, muito sucinta e quase que invisível ao olho humano, porém



suficiente para causar mudanças nos extensômetros. Nessa situação, desde que a força aplicada não exceda os limites mecânicos do material (limite elástico), os extensômetros Ra e Rd são forçados a diminuir de diâmetro, aumentarão de comprimento e por consequência suas resistências elétricas aumentarão, o inverso acontecerá nos extensômetros Rb e Rc. Os fios desses extensômetros serão forçados a aumentar de diâmetro e seu comprimento diminuirá, causando assim uma diminuição em suas resistências elétricas.

Nesse momento o circuito em ponte montado com extensômetros estará desbalanceado, gerando uma pequena corrente elétrica, proporcional à força aplicada na célula de carga. Com a medição dessa corrente elétrica, podemos calcular com imensa precisão o valor da força aplicada na superfície da célula de carga.

Um dos principais componentes da célula de carga é o corpo sólido utilizado como base para os extensômetros, ou seja, é ele que é submetido às forças externas de deformação. Sendo assim o metal para fabricação desse componente deve ser dimensionado com muita cautela, pois um material sem as características corretas pode trazer imprecisão nas leituras e a não linearidade na deformação do material inviabiliza o dispositivo.

Dentre os materiais mais utilizados para fabricação das células de carga, podemos destacar os metais com alto limite de escoamento, como as ligas de silício e manganês, o bronze ao berílio e os mais comuns e utilizados são as ligas de alumínio zircal. Todos esses materiais recebem tratamentos térmicos para obtenção do máximo rendimento e elasticidade do material.

Ao verificarmos todas essas características, podemos definir os princípios fundamentais da célula de carga, ou seja, a transformação de um esforço mecânico em um sinal elétrico proporcional à força aplicada.

Esse sinal elétrico disponível para medição dos esforços mecânicos da célula de carga varia na faixa de 0 a 30 milivolts. Esses valores são reais e usuais, devido ao fato de que a grande maioria das células de carga são fabricadas para trabalhar com um suprimento de tensão de 10 Vcc a 15 Vcc. Isto causa uma relação padrão de 2 mV x V aplicado, ou seja, a cada unidade de Volt aplicado na alimentação da célula de carga teremos na saída 2 milivolts, isso equivale a dizer que, se tivermos uma célula de carga com capacidade de 10 Kg, ao alimentarmos essa célula com 10 Vcc, em sua carga máxima 10 Kg teremos na saída 20 mV, seguindo a proporcionalidade, se aplicarmos uma carga de 5 Kg a saída será de 10 mV, e assim por diante. Se, ao invés de aplicarmos 10 Vcc na alimentação da célula de carga aplicarmos 15 Vcc, a relação muda proporcionalmente, com carga máxima (10 Kg) a saída será de 30 mV, com meia carga (5 Kg) a saída será de 15 mV, e assim linearmente com cargas de zero até a capacidade máxima do dispositivo. Essa relação é definida como sendo a “**Sensibilidade**” da célula de carga. Podemos identificar esta relação no gráfico abaixo, acompanhe:



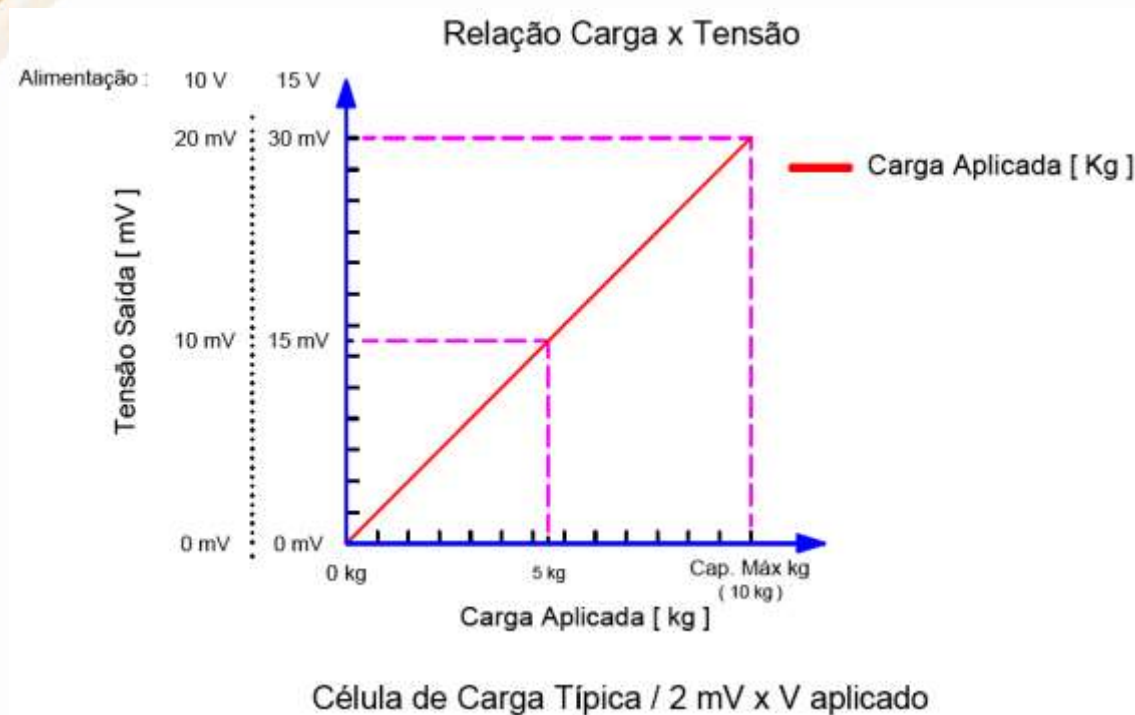


Figura 10.8

Essa relação de sensibilidade é típica e a mais comum, no entanto podem ser encontradas no mercado células de carga com sensibilidade de 1 mV/V ou 3 mV/V, porém são pouco usuais e indicadas para aplicações especiais.

Essas características são definidas pelos valores de resistência obtidos com a associação dos extensômetros utilizados na ligação, tipicamente o valor padrão de resistência de cada extensômetro é de 275 Ω , na prática esse valor é muito próximo, entretanto variações nas faixas de 250 Ω a 350 Ω são toleradas. Nesse caso é gerada uma pequena corrente elétrica devido à não igualdade dos valores de resistência, geralmente essa diferença é muito pequena, gerando uma corrente elétrica também muito pequena. Nessa situação o próprio circuito ou indicador responsável pela leitura do sinal faz a compensação, mas se esse valor for demasiadamente alto o erro pode ser compensado com a adição de resistores externos entre os fios de ligação da célula de carga, os valores de alimentação do circuito são estipulados entre 10 Vcc a 15 Vcc em função da limitação da corrente máxima no circuito. Esses valores são identificados como “**Tensão de Excitação**” da célula de carga.

O diagrama elétrico típico de ligação de células de carga comerciais pode ser observado na figura 10.9, lembrando que esse diagrama reflete um padrão comercial para fabricação de células de carga utilizadas em sistemas industriais e em células utilizadas em balanças comerciais de uso geral. O usuário, no entanto, deve consultar a documentação técnica da célula de carga para confirmação das características elétricas do dispositivo utilizado.



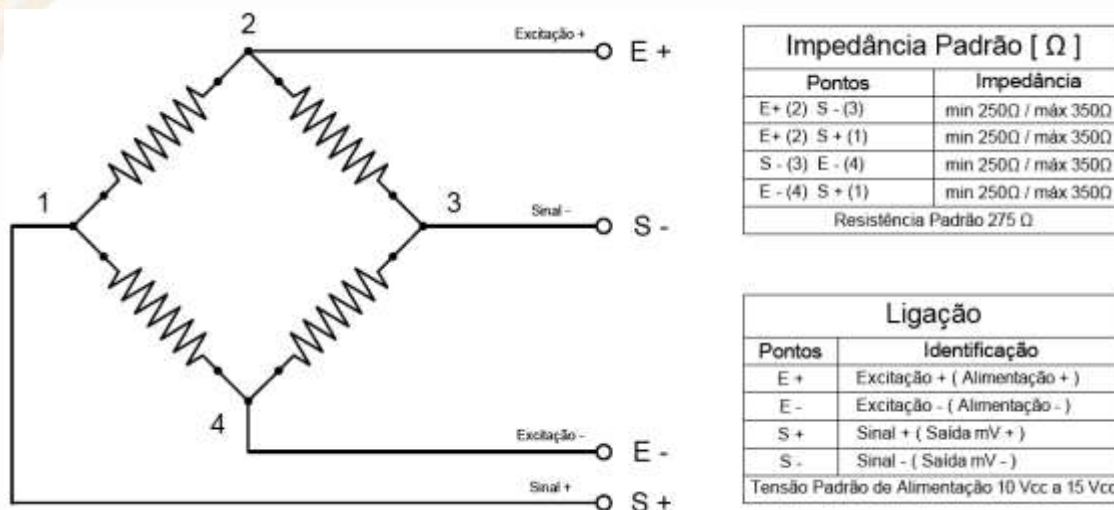


Figura 10.9

Na prática o usuário pode deparar com situações em que os valores de resistividade de cada ponto estão alterados. Esse sintoma é observado quando o elemento indicador não registra valor zero após a retirada da carga do sensor, ou indica valores diferentes para a mesma carga aplicada (erro de repetibilidade). Isso pode acontecer devido à fadiga mecânica do material, sobrecargas constantes sobre a célula de carga, falha em um dos extensômetros, perda de elasticidade no elemento sólido, tempo de vida útil da célula ultrapassado, dentre outros fatores. Nessa situação o usuário pode tentar “ressuscitar” a célula de carga adicionando resistores externos estrategicamente conectados nos pontos de ligação para tentar compensar a diferença na resistividade dos elementos sensores (extensômetros), os pontos de ligação podem ser observados na figura 10.10. As compensações realizadas são definidas como “compensação do spam” e “compensação de zero”, de maneira que spam se refere ao valor máximo de indicação e o zero ao valor mínimo.

Compensação de Células de Carga

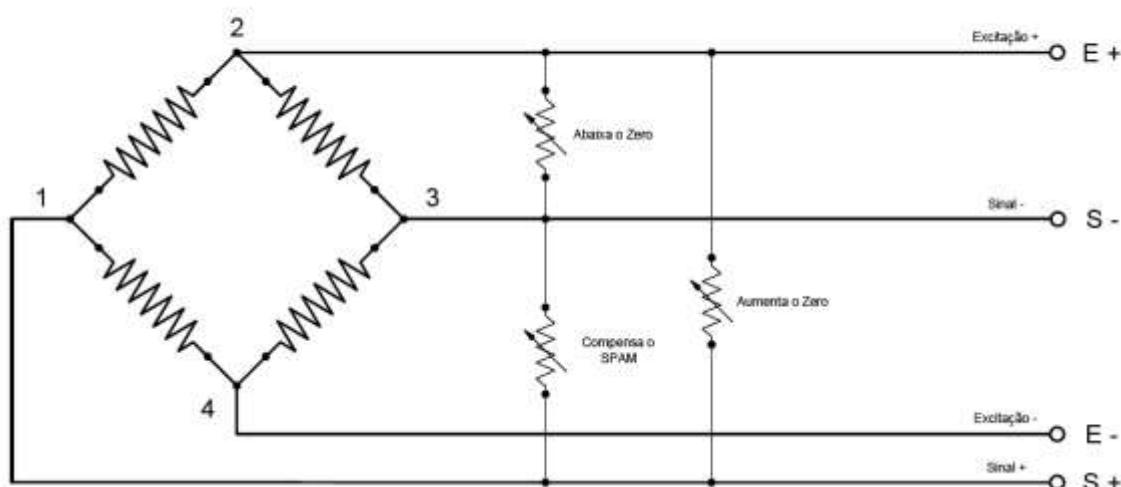


Figura 10.10



A maneira mais prática de se proceder as compensações é por meio da utilização de potenciômetros de precisão, do tipo multivoltas. Os valores de resistência devem ser observados nos pontos de E+ e S+, E+ e S-. Durante a calibração, utilize os valores de referência de resistência da figura 10.9, se possível utilize potenciômetros de valores entre $3K\Omega$ e $20K\Omega$ no máximo. Após a calibração retire os potenciômetros e substitua por resistores de precisão com os valores mais próximos aos verificados nos potenciômetros após a calibração. Dica: compense sempre o SPAM antes de compensar o zero, isso minimiza e facilita o trabalho de compensação.

10.3. Ligação de uma Célula de Carga

A ligação de uma célula de carga é bastante simples, o usuário deverá apenas atentar aos conceitos básicos envolvidos com dispositivos de instrumentação, de forma que o ruído elétrico externo à instalação pode influenciar na precisão do equipamento, portanto os cuidados são os mesmos observados nas ligações dos sensores de temperatura e pressão. Como os sinais envolvidos no circuito operam na ordem de milivolts, o cabeamento utilizado para interligação da célula de carga com o indicador/controlador deve ser preferencialmente blindado, com uma de suas extremidades aterradas, isso evita que interferências externas influenciem no bom funcionamento do dispositivo. Outro fator que deve ser observado quando se trata de células de carga é o fato de a interferência eletromagnética (EMI) causar grandes distúrbios nos circuitos de medição e amplificação dos sinais provenientes da célula de carga. Nesse caso o usuário deve atentar a essas particularidades e prever na instalação recursos para minimizar esse tipo de interferência no circuito.

Quando deparamos com situações em que a célula de carga está posicionada a uma certa distância do equipamento indicador/controlador (geralmente acima de 5 metros), podem ocorrer falhas ou imprecisão nas leituras, isso se dá ao fato de que o comprimento e a impedância da fiação causa uma queda de tensão no sinal de saída da célula de carga. Para esse tipo de aplicação existem células de carga providas de fios paralelos ligados junto ao ponto de alimentação nos extensômetros. Esses fios são definidos como "Sense +" e "Sense -", e tem a simples função de proporcionar ao equipamento indicador a leitura do valor da tensão elétrica que alimenta a célula, em outras palavras, o indicador é capaz de realizar a medição de tensão em cima da célula de carga e realizar a compensação devido à queda de tensão no circuito. O funcionamento desse mecanismo é bastante simples, a figura 10.11 abaixo ilustra esse mecanismo.



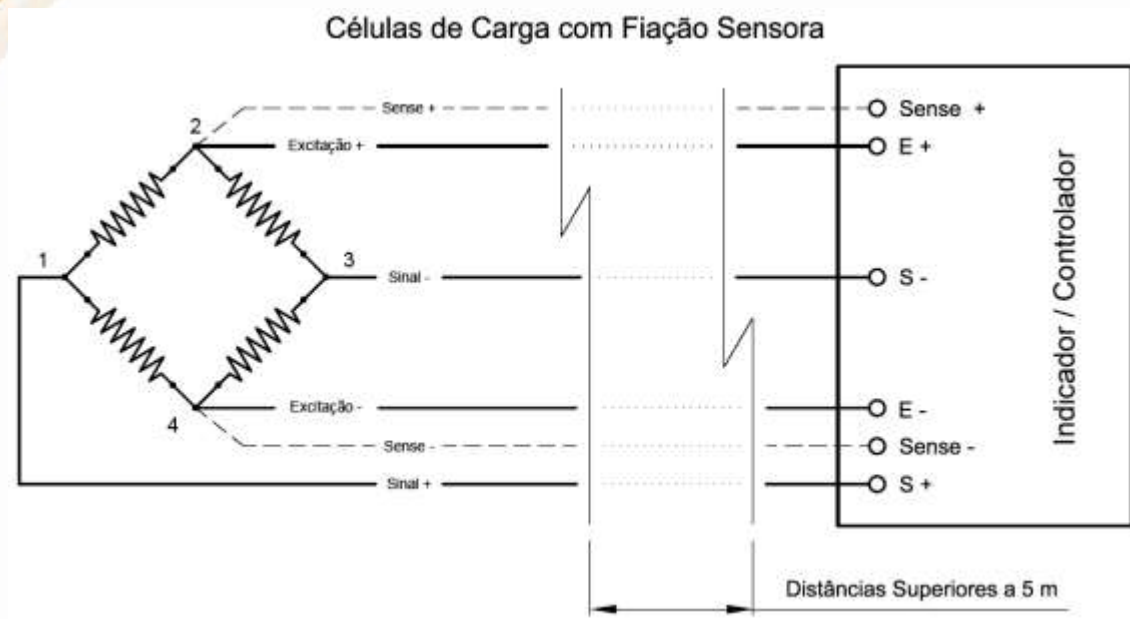


Figura 10.11

O princípio de funcionamento do mecanismo sensor em ligações de células de carga funciona da seguinte maneira:

- Os fios “sense +” e “sense –” estão conectados aos pontos de alimentação da célula de carga
- O indicador/controlador envia um nível de tensão de alimentação para o circuito em ponte com os extensômetros ($\approx 10 \text{ Vcc}$)*
- Devido ao comprimento e à resistividade do cabo de ligação, existirá uma pequena queda de tensão ($\approx 1 \text{ Vcc}$)*
- Portanto, os pontos 2 e 4 na célula de carga estão submetidos a um nível de tensão menor do que o indicador forneceu ($\approx 10 - 1 = 9 \text{ Vcc}$)*
- Os fios “sense +” e “sense –” possuem o mesmo comprimento e resistividade dos fios “excitação +” e “excitação –”, portanto a queda de tensão na conexão com o equipamento indicador/controlador será idêntica à queda na alimentação dos pontos 2 e 4 ($\approx 9 - 1 = 8 \text{ Vcc}$)*
- O indicador/controlador compensa automaticamente a queda de tensão no equipamento, garantindo a relação de $2\text{mV} \times V$ aplicado, típica de uma célula de carga.

* Valores utilizados como exemplo.



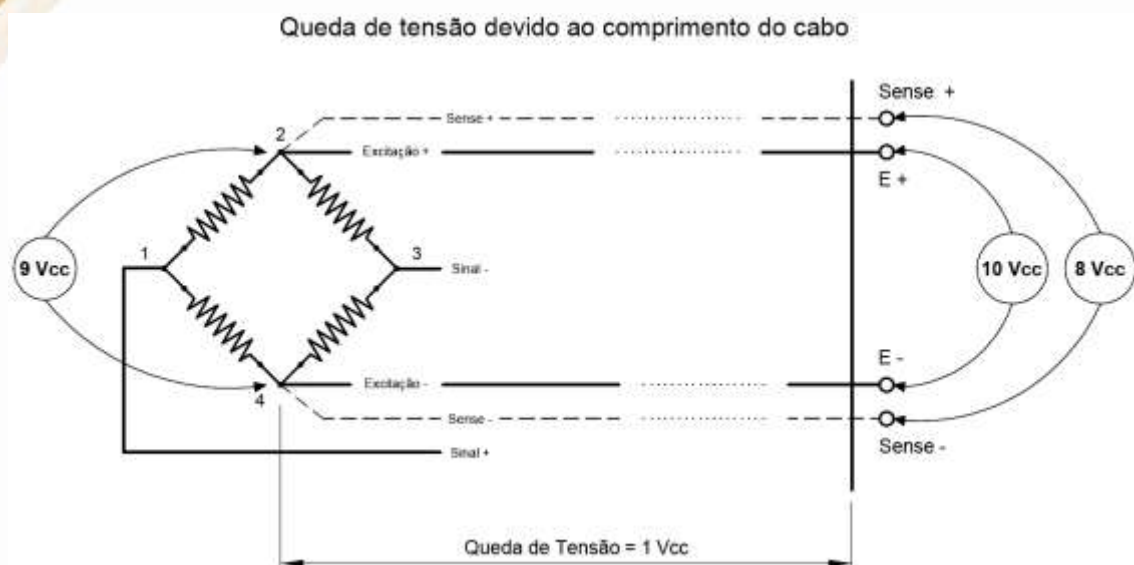


Figura 10.12

10.4. Interface com o CLP

Em algumas aplicações, é necessário que o dispositivo transdutor de força (célula de carga) envie informações para um CLP. Com auxílio das operações lógicas e matemáticas, o usuário pode desenvolver um programa para que o CLP execute a função de uma balança. Em sistemas industriais isso é muito comum sistemas de dosagens automáticos, monitoramento de nível em silos, totalizadores de produção e batelada são exemplos desse tipo de aplicação em que o CLP pode executar a função de um indicador ou controlador de pesagem ou simplesmente indicador de deformação dos esforços recebidos em uma estrutura ou equipamento.

Para essa conexão, o CLP deve ser dotado de uma entrada analógica, capaz de receber sinais de tensão na ordem de milivolts. Alguns CLPs possuem entradas analógicas na ordem de 0 a 50 mV, mas são dispositivos que fogem ao convencional, são poucos os fabricantes que possuem entradas analógicas com essa faixa de operação, por essa razão geralmente demandam um custo mais elevado, por outro lado o usuário pode optar por inserir no circuito um transdutor que converta o sinal proveniente da célula de carga (0 ~ 30 mV) para um sinal analógico padrão mais usual, ou seja, pode se conectar ao CLP com os sinais padrões de corrente e tensão (4 a 20 ma ou 0 a 10 Vcc). Nessa situação o usuário tem à sua disposição entradas analógicas comuns de uso geral disponíveis de forma standard na maioria dos CLPs fabricados.

Esses transdutores são muito comuns e fáceis de adquirir, podem converter inúmeros sinais de entradas em muitos sinais de saída. São dotados de circuitos eletrônicos ativos, que além de transformar o sinal de entrada, podem filtrar eventuais ruídos elétricos que possam interferir na qualidade do sinal, além de promover uma isolação entre os dispositivos de campo com os dispositivos de controle. Alguns exemplos desses transdutores podem ser observados abaixo, na figura 10.13.



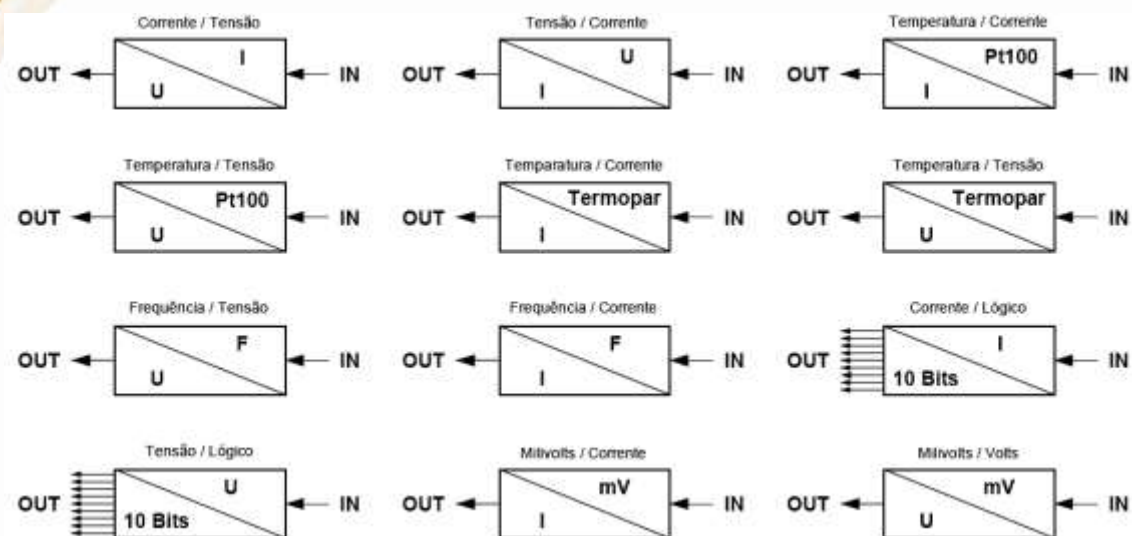


Figura 10.13

A metodologia para confecção do programa no CLP segue os mesmos princípios de linearização vistos anteriormente quando trabalhamos com sensores de temperatura e transdutores de pressão. O usuário deverá conhecer a resolução da entrada analógica utilizada e desenvolver um programa que transforme o valor numérico disponível nos registradores internos do CLP em valores correspondentes em peso ou outra escala que desejar, por exemplo “N” ou “g” (Newtons, gramas etc.). Observando que o usuário deve atentar às particularidades de ligação, evitando a instalação do cabeamento junto com a fiação de potência, ou a falta de aterramento na malha do cabo de interligação da célula de carga ao CLP.

10.4.1 Linearização de Escala Numérica

Ao contrário de algumas aplicações nas quais utilizamos interfaces analógicas padrão para medição de alguma grandeza, como temperatura ou pressão, quando utilizamos um transdutor de peso do tipo célula de carga geralmente não obtemos um sinal calibrado na entrada, ou seja, quando utilizamos um transdutor de temperatura ou pressão temos valores conhecidos para escala mínima e escala máxima, por exemplo, um transdutor de temperatura x corrente, calibrado para 200°C, significa que para uma temperatura de 0 °C na entrada do transdutor teremos 4 ma na saída e para uma temperatura de 200 °C 20 ma, ou 4 ma para 0 bar e 20 ma para 10 bar, para um transdutor com range de 0 a 10 bar, isso é possível porque podemos calibrar os transdutores em bancada com um padrão conhecido antes de inserirmos no circuito, já quando trabalhamos com células de carga isso é mais complexo, pois existem variáveis que só podem ser consideradas no local da aplicação, por exemplo, quando efetuamos a medida de peso em um silo para controle de nível devemos considerar o peso morto do sistema, em outras palavras toda a parte mecânica ou estrutural da aplicação que não é considerada na medição, como motores, parafusos, tubulações, fiações etc. Ou ainda em aplicações em que é necessário o zero flutuante, como, por exemplo, em uma balança industrial, em que constantemente o usuário utiliza a plataforma de pesagem para medição de recipientes que necessitam de TARA



ou ZERO. Esse recurso é utilizado quando o usuário considera o peso líquido do que está sendo pesado, ou seja, desconta o peso do recipiente, como todos os recipientes não possuem um peso exatamente igual ao outro, pequenas correções no “zero” do sistema são necessárias.

Desse modo o usuário deve construir um programa no CLP para que absorva essas variações. Se for pré-fixado um valor de escala mínima e máxima para linearização da entrada analógica, com certeza a aplicação apresentará falhas quando em regime de trabalho. Esse tipo de programa é bastante simples de ser elaborado, para isso iremos utilizar o bloco de função de linearização, visto anteriormente no capítulo 9.4 (figura 9.7) e uma função definida como “MOV” ou “STORE”, ou seja, mover ou gravar dados. Essa função tem a simples atribuição de mover ou copiar os dados contidos em um registrador numérico para outro, este é um comando muito comum, praticamente todos os CLPs disponíveis no mercado possuem esta função.

Para demonstrar esse tipo de recurso, iremos considerar um exemplo prático, real e muito simples, um CLP funcionando como uma balança, que terá como interface com o usuário dois botões, um para calibração de peso “zero” e outro para calibração de peso “spam”, (plataforma vazia e plataforma com peso padrão de referência). Para isso vamos atribuir ao nosso exemplo os seguintes dados abaixo:

Tipo de transdutor:

- Célula de carga com capacidade de 100 kg e sensibilidade padrão de 2 mV/V.

Entrada analógica do CLP:

- Entrada analógica de tensão com características elétricas de entrada de 0 a 50 mV, corrente contínua.
- Resolução da entrada analógica de 12 bits

Capacidade máxima de trabalho da balança:

- 75 Kg

Tensão de excitação da célula de carga:

- 12 Vcc

Para demonstração da metodologia, novamente vamos utilizar como referência o CLP da família *Vision* da Unitronics®, em que com a utilização de uma entrada analógica para o sinal da célula de carga, vamos endereçar os valores nos registradores de inteiros internos (MI) que são capazes de armazenar variáveis de 16 bits (0 a 65535), e duas entradas digitais (I), que servirão para ligação dos botões de calibração da balança, então, como exemplo, definimos que:



Registradores de Inteiros (MI)

Endereço	Descrição	Valores Possíveis
MI 0	Valor numérico proveniente da entrada analógica da célula de carga.	0 a 65535
MI 1	Valor numérico de peso padrão de referência	0 a 75 [kg]
MI 2	Valor numérico de calibração de zero	0 a 65535
MI 3	Valor numérico de calibração de spam	0 a 65535
MI 4	Valor de peso linearizado (indicador de peso real)	0 a 75 [kg]

Entradas Digitais (I)

Endereço	Descrição	Valores Possíveis
I 0	Botão de calibração zero .	0 ou 1
I 1	Botão de calibração de spam	0 ou 1

Antes de iniciarmos a elaboração do programa, é necessário realizar algumas considerações:

1 - A célula de carga possui características padrões de 2 mV/V de sensibilidade, com capacidade de 100 Kg, excitada com uma fonte de tensão de 12 Vcc, portanto seguindo as características elétricas do dispositivo a saída da célula poderá variar de 0 mV a 24 mV, ou seja, sem carga na célula a saída será de 0 mV, com carga máxima 100 Kg a saída apresentará no máximo 24 mV. Como nossa balança foi especificada para operar com peso máximo de 75 Kg, desde que seguindo essas especificações, a tensão máxima de saída da célula de carga será de 18 mV, obtidos por meio da simples relação matemática de regra de três:

$$\frac{100 \text{ kg}}{75 \text{ kg}} = \frac{24 \text{ mV}}{X \text{ mV}} \quad \therefore 100 \text{ kg} \cdot X \text{ mV} = 75 \text{ kg} \cdot 24 \text{ mV} \quad \therefore X \text{ mV} = \frac{75 \text{ kg} \cdot 24 \text{ mV}}{100 \text{ kg}}$$

$$X = 18 \text{ mV}$$



2 - A entrada analógica utilizada é especificada para operação da faixa de 0 a 50 mV, com resolução de 12 Bits, como o sinal proveniente da célula de carga estará entre 0 e 18 mV em condições normais, e no máximo de 24 mV em situação de sobrecarga, a entrada analógica com limite de 50 mV não será danificada.

3 - Outra importante consideração sobre a entrada analógica escolhida é o fato de possuir uma resolução de 12 bits, portanto os valores possíveis que o registrador interno endereçado para a entrada analógica poderá assumir estarão entre 0 e 4095, obtidos pela equação:

$$2^{N^{\circ} \text{ de Bits}} = \text{Resolução}$$

$$2^{12} = 4096$$

Como essa resolução é especificada para os limites de 0 a 50 mV, quando o registrador de inteiro endereçado à entrada apontar para o valor 0, a entrada estará submetida a um nível de tensão de 0 mV, o mesmo registrador irá indicar um valor de 4095 quando o nível de tensão atingir 50 mV, e assim linearmente para valores intermediários de tensão aplicados na entrada. Porém, verificando as características da célula de carga, sabemos que ela poderá fornecer em regime normal de trabalho valores entre 0 mV e 18 mV. Nesse caso temos que compreender que não será utilizada a resolução total da entrada analógica (12 bits). Assim, novamente, com uma simples expressão matemática, podemos calcular a resolução real de nossa balança, acompanhe:

$$\frac{50 \text{ mV}}{18 \text{ mV}} = \frac{4095}{X} \quad \therefore 50 \text{ mV} \cdot X = 18 \text{ mV} \cdot 4095 \quad \therefore X = \frac{18 \text{ mV} \cdot 4095}{50 \text{ mV}}$$

$$X = 1474,2 \approx 1474$$

Portanto, quando a balança estiver submetida à carga nominal de 75 Kg, o registrador interno endereçado para recepcionar o valor da entrada analógica indicará aproximadamente 1474.

Voltando para o exemplo, podemos agora desenvolver as linhas de programa necessárias para transformar um CLP em uma balança, para isso utilizaremos basicamente dois blocos de função disponíveis para utilização lógica no programa, linearização e MOV (Store Direct).

Na primeira linha do programa (figura 10.14), visualizamos a primeira situação de calibração do sistema. Quando o botão de calibração de zero que está conectado à “entrada 0” (I 0) for acionado, o bit atribuído como um contato aberto se fecha. Nessa situação a linha se torna verdadeira e a condutividade lógica é obtida, assim o bloco de função “STORE” também torna-se verdadeiro, e realiza a função de mover ou copiar os dados presentes no registrador de inteiro “MI 0” para o registrador de inteiro “MI 2”, lembrando que o registrador “MI 0” está com o valor numérico correspondente à entrada da célula de carga



e “MI 2” estará com o valor de referência mínima para o bloco de função de linearização mais adiante.

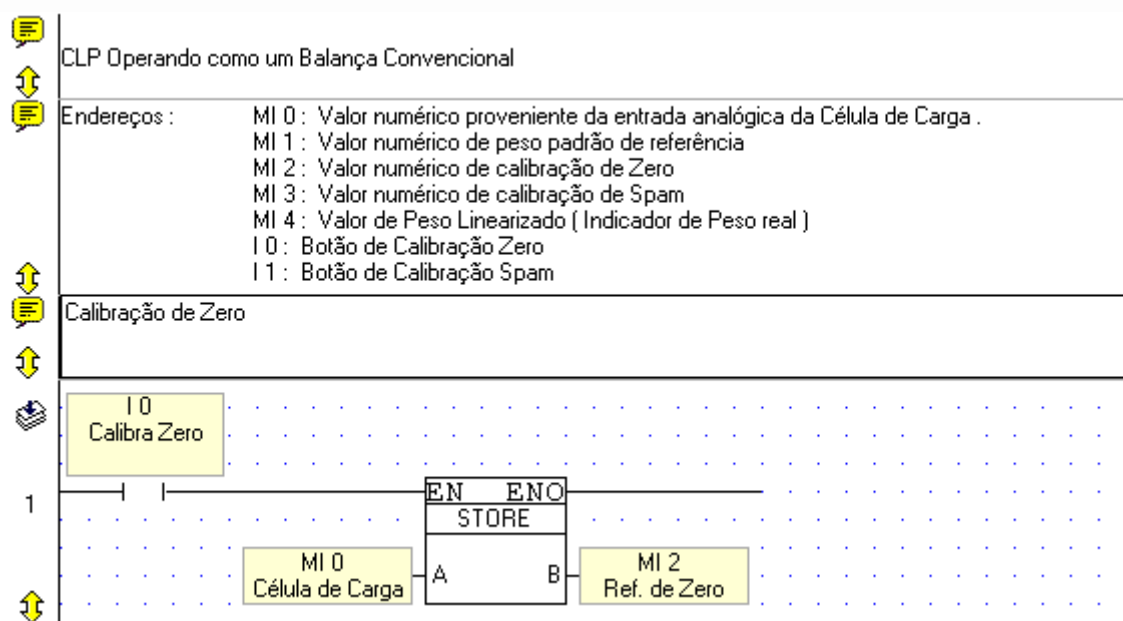


Figura 10.14

A função de calibrar o zero é necessária, pois, após montada a célula de carga na estrutura mecânica de pesagem (plataforma / prato), o peso adicional da estrutura mecânica adiciona um peso morto à balança, em outras palavras, se a plataforma ou prato utilizado para pesagem possuir massa igual a 1 kg, a célula de carga indicará essa diferença. Portanto, para calibração de zero, a balança deverá estar completamente montada, com todos os acessórios e dispositivos necessários para montagem (parafusos, porcas, arruelas etc.) já inclusos e fixados a célula de carga, e conseqüentemente, sem nenhum tipo da carga sobre a plataforma ou prato de pesagem.

Essa função informa ao CLP que o sinal que a célula de carga está enviando no momento da calibração equivale à indicação de peso zero, ou seja, 0 Kg.

Na segunda linha de programa, é apresentada a função de “calibração de spam”, ou seja, é o ponto no qual informamos ao CLP que um peso padrão conhecido está posicionado sobre a balança. Em nosso exemplo o peso padrão escolhido foi o valor máximo de trabalho, 75 kg, os princípios são os mesmos utilizados na linha 1 do programa (figura 10.14), porém com uma única diferença: a plataforma de pesagem deverá estar montada com todos os acessórios e com o peso padrão conhecido de 75 kg posicionada em cima da plataforma ou prato de pesagem. O valor contido no registrador de inteiro “MI 0” nesse momento será referente ao valor de deformação da célula de carga correspondente ao peso padrão, ou seja, 75 kg.

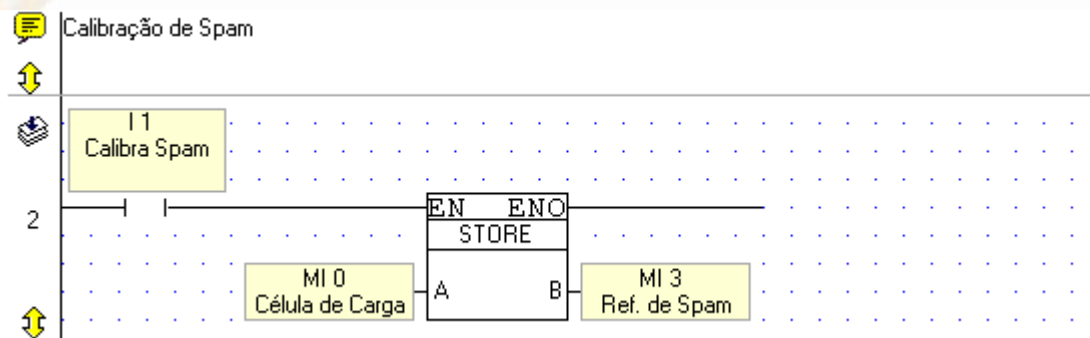
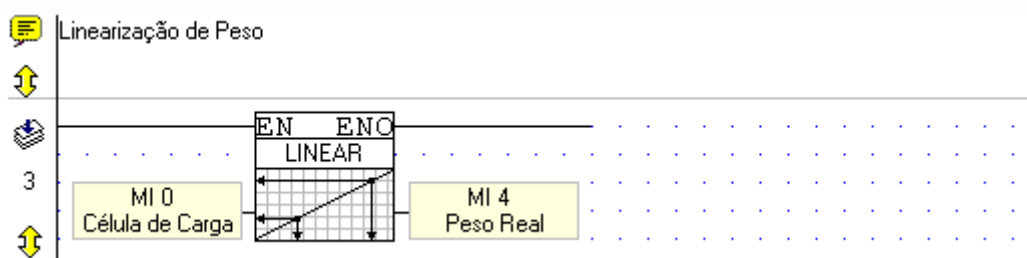


Figura 10.15

Na segunda linha do programa (figura 10.15) visualizamos a segunda situação de calibração do sistema. Quando o botão de calibração de spam que está conectada à “entrada 1” (I1) for acionado, o bit atribuído como um contato aberto se fecha e garante a condutividade lógica da linha. Dessa forma o bloco de função “STORE” realiza a função de mover ou copiar os dados presentes no registrador de inteiro “MI 0” para o registrador de inteiro “MI 3”, lembrando que o registrador “MI 0” está com o valor numérico correspondente à entrada da célula de carga com o valor de referência ao peso padrão aplicado na plataforma ou prato de pesagem. O registrador “MI 3” será utilizado na próxima etapa do programa, quando definirmos a linearização e o escalonamento do sinal analógico da célula de carga.

Essa função informa ao CLP que o sinal que a célula de carga está enviando no momento da calibração equivale à indicação de peso spam ou peso padrão, ou seja, 75 Kg.

Por fim, temos a última linha de programação, a linha 3 (figura 10.16) apresenta a seqüência lógica responsável pelo escalonamento e linearização do sinal proveniente da célula de carga em um valor numérico correspondente ao peso ou esforço aplicado na balança na escala de Kg. A função utilizada é a de linearização, como visto anteriormente, esta função é básica e disponível na grande maioria do CLPs fabricados atualmente.



Linearization							
Params	Func	Operand	Address			Format	Description
IN	X1	MI	2			DEC	Ref. de Zero
	Y1	D#	0			DEC	Linear conversion: Y1 Value
	X2	MI	3			DEC	Ref. de Spam
	Y2	MI	1	75		DEC	Peso Padrão de Referência
	X	MI	0			DEC	Célula de Carga
OUT	Y	MI	4			DEC	Peso Real

Figura 10.16

Os valores obtidos com os passos “calibração de zero” e “calibração de spam”, foram armazenados nos registradores de inteiros endereçados como “MI 2” e “MI 3”, que fazem indicação aos valores de referência de zero e spam, respectivamente. Na configuração do bloco de função de linearização temos que inserir 6 variáveis, as quatro primeiras se referem aos dados para a equação matemática que governa a inclinação da reta de linearização. Em outras palavras, são os valores mínimos e máximos que desejamos para o cálculo de linearização, onde X1 e X2 se referem aos valores do eixo “X”, valores estes atribuídos à entrada analógica da célula de carga, sendo “X1” valor mínimo (referência de zero “MI 2”) e “X2” é o valor máximo (referência de spam “MI 3”). As outras duas variáveis Y1 e Y2 se referem aos valores do eixo “Y”. Esses valores são atribuídos à faixa de linearização. Em nosso caso a escala de peso desejada, de 0 a 75 kg, onde “Y1” faz referência à escala mínima (0 kg), e “Y2” faz referência à escala máxima (75 kg).

Note que os valores nos registros “Y1” e “Y2” são compostos por dois tipos de variáveis. Em “Y1”, o valor programado é “D# 0”, a sigla D# indica que o número a seguir, no caso o algarismo “0”, é uma constante, ou seja, é um valor numérico fixo que não pode ser alterado ou modificado, somente com uma nova compilação do programa é possível modificar este valor. Essa variável foi pré-fixada, pois a aplicação determina que a “calibração de zero” deverá ser sempre com a plataforma ou prato de pesagem sem carga. No registro em “Y2” foi atribuído um registrador de inteiro endereçado por “MI 1”. Nesse caso o valor de peso padrão (75 kg) pode ser inserido ou modificado pelo usuário a qualquer momento, através de teclas numéricas na IHM, ou via entradas digitais ou analógicas. Essa variável pode ser modificada em situações em que o usuário não disponha de um peso padrão de 75 Kg. Nesse caso o usuário pode inserir um outro valor de peso conhecido para referência de “calibração de spam”, desde que coloque no momento da calibração um valor de peso correspondente ao valor programado, já que a função de linearização necessita somente de dois pontos para determinação do fator de referência.

Abaixo visualizamos graficamente a relação entre essas variáveis.



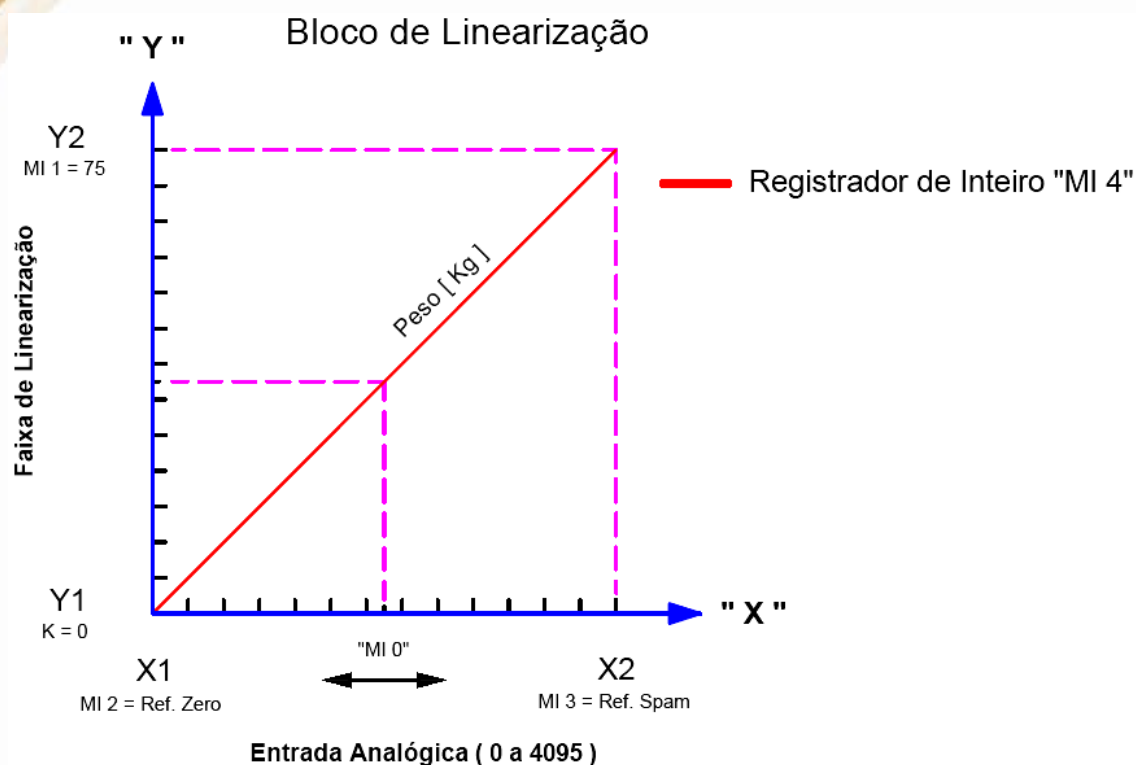


Figura 10.17

Esse tipo de aplicação é muito comum em indústrias e o exemplo ilustrado é básico, a metodologia utilizada tem a função de referenciar o usuário a elaborar seu próprio programa baseado nas necessidades da aplicação. Os blocos e funções utilizadas fazem parte da metodologia do fabricante Unitronics® para CLPs da linha Vision, o usuário deve verificar a documentação técnica do fabricante do CLP utilizado, antes da elaboração do programa.

10.5. Tipos de Célula de Carga

No mercado existem inúmeras possibilidades e aplicações para diversos modelos de transdutores de força, seja para aplicação industrial seja comercial, vários modelos são elaborados para atender à grande maioria das aplicações, porém todos os modelos possuem um mesmo princípio de funcionamento: a deformação do material quando submetido a forças externas. Abaixo podemos visualizar alguns modelos fabricados, bem como suas aplicações típicas.



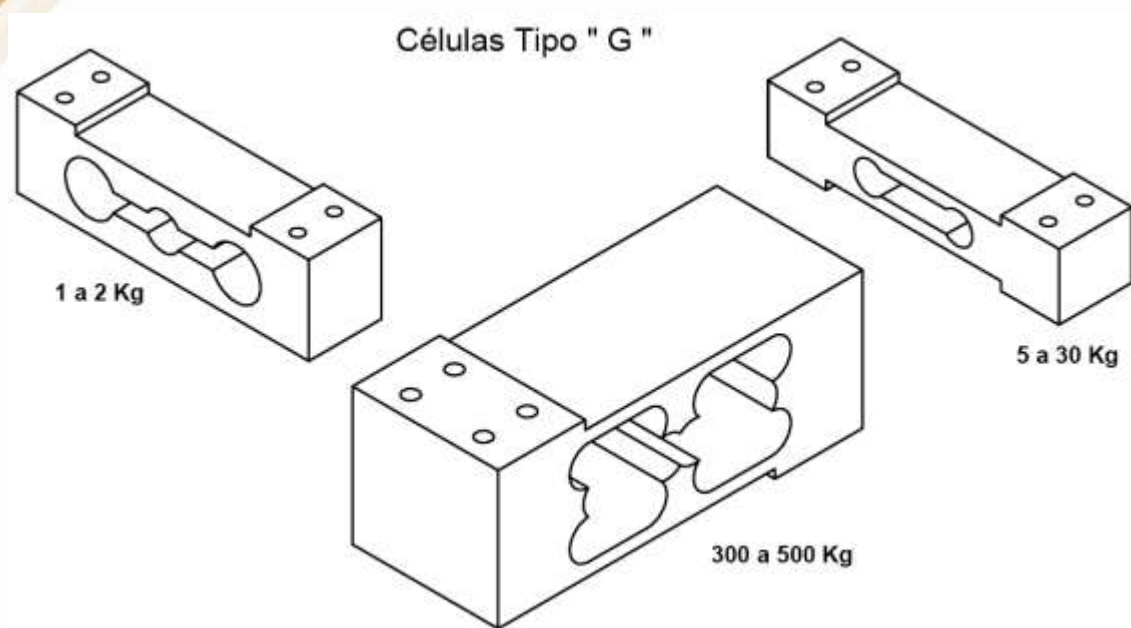


Figura 10.18

As células de carga tipo “G” são produzidas basicamente em alumínio anodizado e indicadas para aplicações em balanças de supermercados, farmácias, açougues, plataformas de pesagem de até 500 kg e pequenas ou médias automações. Possuem em geral uma sensibilidade padrão de 2 mV/V e excitação indicada na faixa de 10 a 15 Vcc. Ideal para aplicações quando a força aplicada age com o princípio de compressão.

Faixas de carga encontradas: 1 / 2 / 5 / 10 / 20 / 30 / 50 / 100 / 200 / 300 / 500 Kg

As células de carga tipo “I” e tipo “L” são fabricadas com ligas de aço Cr / Ni / Mo, aço inoxidável e níquel químico, possuem a característica de serem muito resistentes à corrosão e podem ser aplicadas ao ar livre e são indicadas para sistemas de pesagem de silos e tanques, plataformas de pesagem de alta precisão, sistemas de pesagem industrial, estruturas metálicas, máquinas em movimento etc. Sua sensibilidade característica é de 1 mV/V e são aplicadas onde as forças agem pelos princípios de compressão e tração.

Faixas de carga: 250 / 500 Kg 1 / 2 / 5 / 10 ton

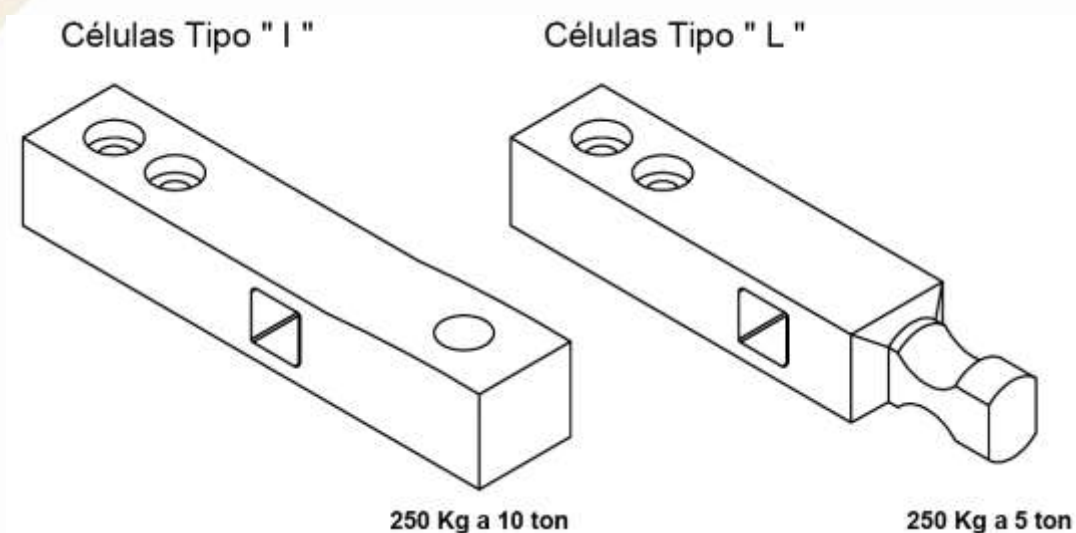


Figura 10.19

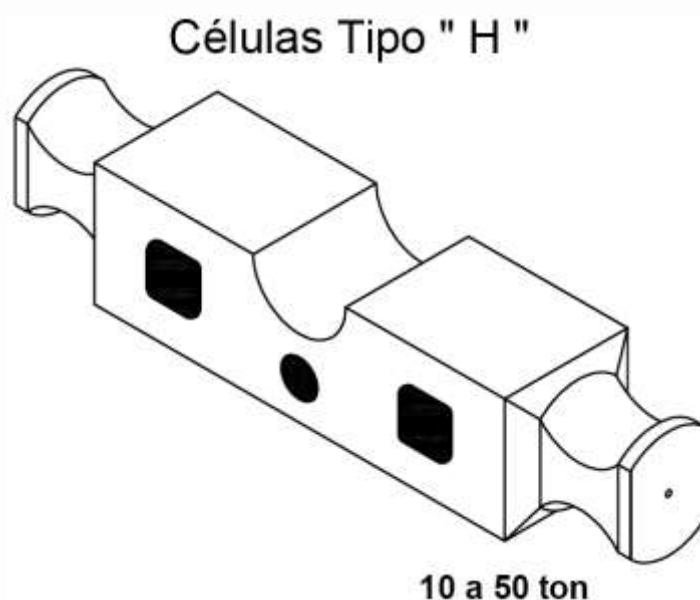


Figura 10.20

10

As células do tipo "H" ou "M" são dispositivos para medição de altas cargas de tração e compressão, podem suportar cargas de até 50 toneladas e são produzidas em ligas de aço Cr / Ni / Mo, aço inoxidável e níquel químico, sendo comumente aplicadas em balanças rodoviárias, ferroviárias, marítimas, balanças siderúrgicas etc. Podem ser encontradas com sensibilidade padrão de 2 mV/V ou 1 mV/V.

Faixas de carga: 10 / 20 / 30 / 50 ton



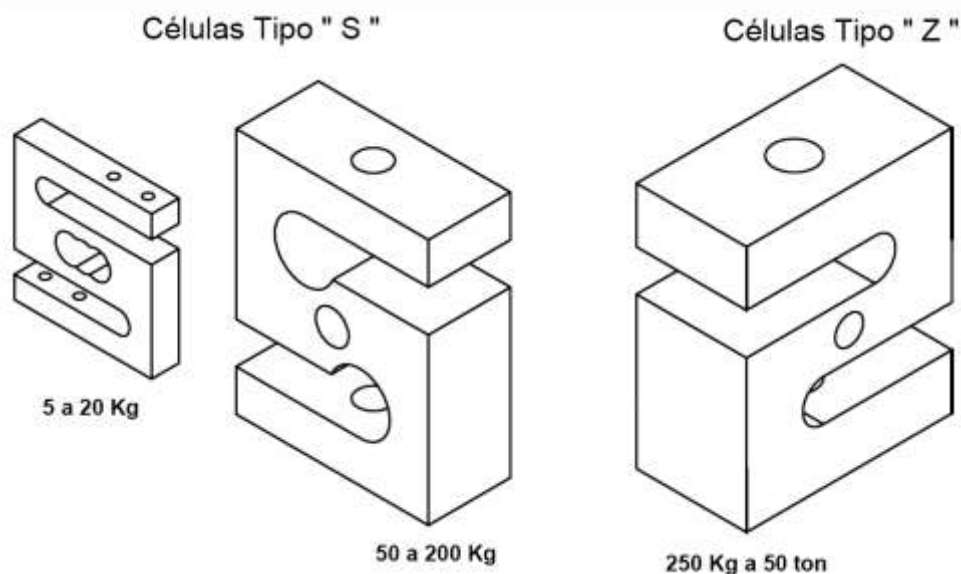


Figura 10.21

As células do tipo "S" e "Z" são comuns em ambientes industriais, são indicadas para ser utilizadas em sistemas em que a força age como tração, devido à sua faixa de carga e o material de que é produzido, geralmente aço inox ou alumínio, são muito empregadas em indústrias alimentícias e frigoríficas, em aplicações típicas de pesagem em balanças de plataforma, silos, balanças suspensas e principalmente na conversão de balanças mecânicas para eletrônicas. Sensibilidade padrão de 2 mV/V.

Faixas de carga: 5 / 10 / 20 / 50 / 100 / 200 / 250 / 500 kg

1 / 2 / 5 ton

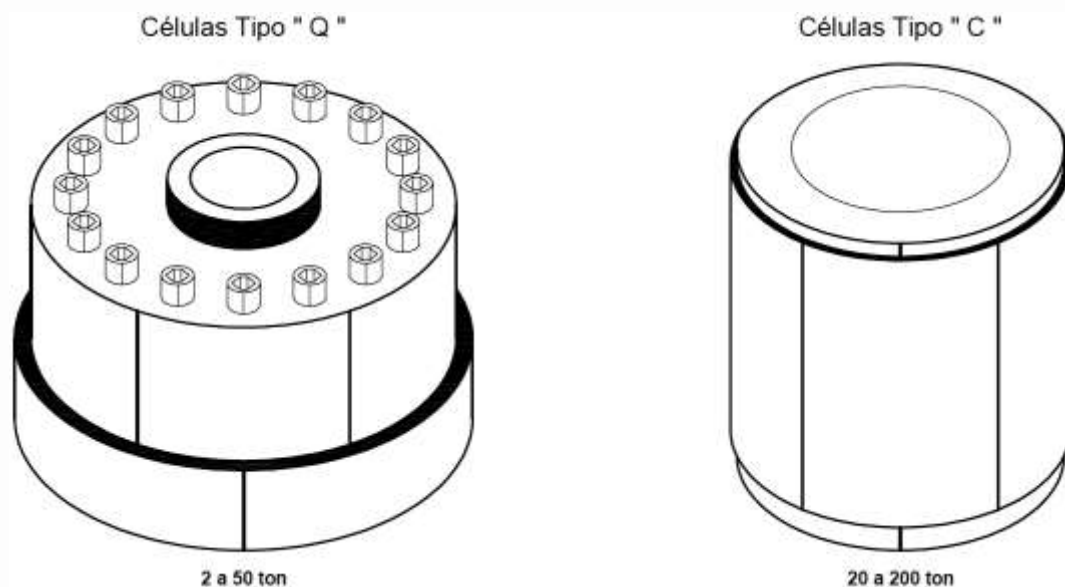


Figura 10.22

Na figura 10.22, podemos visualizar um tipo incomum de célula de carga, o tipo coluna. Essas células de carga são os dispositivos mais robustos



encontrados atualmente para medições de forças de compressão, projetadas para trabalharem na faixa de carga de até 200 ton, são produzidas em aço Cr / Ni / Mo, aço inoxidável e níquel químico e indicadas para aplicações pesadas em plataformas de petróleo, máquinas de ensaio de laboratório, edifícios etc. Possuem a codificação "Q" ou "C" e sensibilidade padrão de 1 mV/ V, e, na maioria das vezes, são produzidas sob encomenda.

Faixas de carga: 2 / 5 / 10 / 20 / 50 / 100 / 200 ton

Um bom exemplo de integração de uma célula de carga com a aplicação é o modelo "TC" descrito na figura 10.23. Essa configuração representa uma célula de carga montada juntamente com um cabo de aço de um guindaste, dessa forma o usuário pode medir com precisão a tensão em que o cabo está submetido, e conseqüentemente, correlacionar o valor com o peso levantado. Esse tipo de célula possui sensibilidade padrão de 2 mV/V e não é difícil de ser encontrada. Pode atuar nas faixas de carga entre 1 a 14 ton, muito utilizadas em pontes rolantes, guindastes, talhas, e sistemas de içamento.

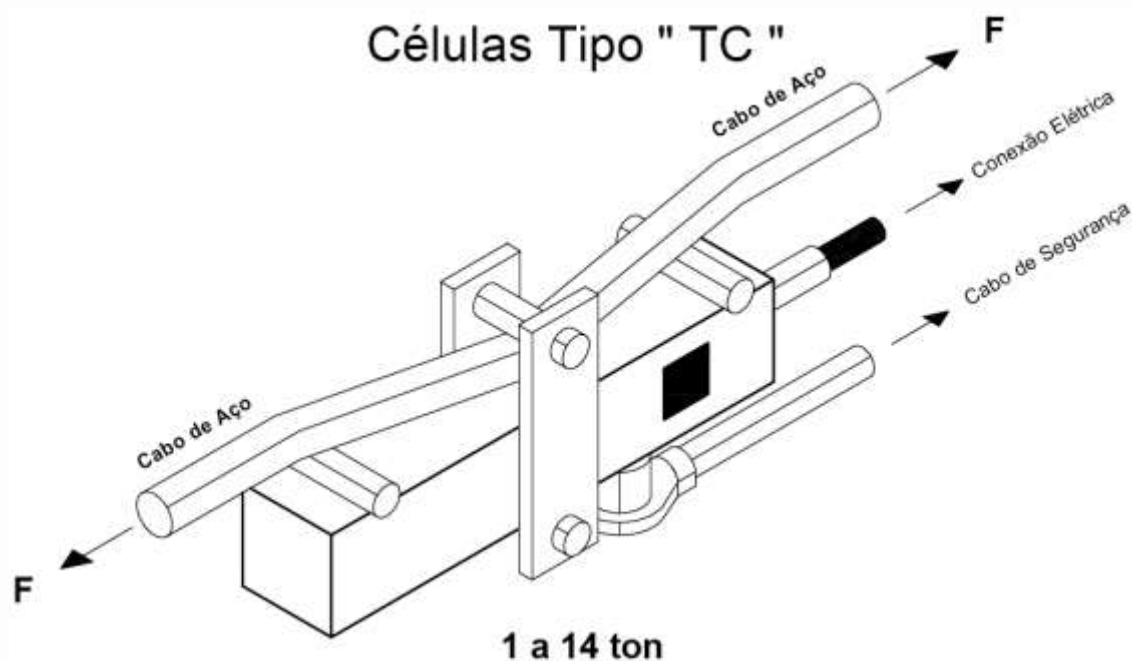


Figura 10.23

Os modelos apresentados no tópico 10.5, representam os modelos mais comuns e usuais disponíveis no mercado atual, porém outras configurações são possíveis, fabricantes diferentes apresentam soluções diferentes para cada tipo de aplicação. O usuário, antes de fazer a integração desses dispositivos em sua aplicação, deve verificar junto a documentação técnica do fabricante as características mecânicas e elétricas do dispositivo.

