



APRESENTAÇÃO

É objetivo deste manual orientar a escolha da válvula de controle sem, contudo, considerar aspectos técnicos de dimensionamento e qualificação de tecnologias dos seus respectivos fabricantes.

Este trabalho não tem escopo publicitário e tampouco pretende estabelecer críticas das mais diferentes técnicas construtivas e funcionais das válvulas de controle atualmente disponíveis para aplicação na indústria.

Aponta os pontos de destaque das diferentes situações dos processos industriais, visando determinar a melhor e mais correta válvula para uma aplicação específica, relatando detalhes práticos experienciados ao longo do tempo de trabalho no segmento de Instrumentação e Controle de Processos.

Não pretende cobrir todas as situações que normalmente ocorrem no dia a dia do técnico responsável pela condução de projetos da área de controle de processos.

Críticas e observações sobre o trabalho serão bem-vindas e acolhidas pois servirão para enriquecer o conteúdo deste manual, tornando-o cada vez mais útil e fonte confiável de consulta.

Eng. Antonio Faverney

NOTAS SOBRE O AUTOR

O Eng. Antonio Faverney é Engenheiro Eletricista – Modalidade Eletrônica, formado em 1982 pela FESP – Faculdade de Engenharia São Paulo.

Milita na área de Instrumentação e Controle de Processos desde 1973 e exerceu atividades de manutenção, projetos e montagem.

Atualmente é Sócio-Diretor da Poligon Válvulas Industriais.

Contato: +55(11) 3832-0206

+55(11) 99930-6959

ney@poligon.com.br

A válvula de controle é de vital importância para operação eficiente do processo. A válvula de controle deve ser selecionada, dentre os vários tipos disponíveis, pela compatibilidade com o processo. É importante que:

- A válvula tenha capacidade de atender as características físico-químicas do fluido do processo.
- A válvula tenha alcance de vazão (range) dentro dos limites de vazão máximo e mínimo do processo,
- A válvula tenha resolução que possibilite movimentos precisos para correção de até pequenas perturbações,
- A válvula tenha facilidade de execução de manutenção.

O procedimento para a seleção da válvula de controle mais adequada para uma determinada aplicação baseia-se num conjunto de dados e informações muito importantes:

- Condições de operação e informações relativas a processo e fluido.

De posse desses dados, prossegue a seleção, de forma correta, da melhor válvula para a aplicação.

O procedimento de seleção é bastante facilitado se for feita uma análise por etapas dos diversos e principais fatores que influenciam na escolha de uma válvula. Tais fatores são:

- Tipos de Controles;
- Tipos de Válvulas;
- Classe de Pressão;
- Característica de Vazão;
- Temperatura;
- Fluido;
- Nível de Vazamento;
- Alinhamento do Obturador / Haste / Sede;
- Materiais da Gaxeta;
- Materiais do Corpo e Internos;
- Dimensionamento;
- Cavitação e “Flashing”;
- Erosão e Abrasão;
- Nível de Ruído;
- Atuador e Acessórios;
- Instalação;
- Dados do processo necessários.

FUNDAMENTOS DA VÁLVULA DE CONTROLE

- As válvulas de controle alteram a vazão ao variar o curso.
- O curso da válvula varia em função do sinal de controle emitido pelo controlador.
- A alteração do curso muda a área da passagem do fluido.
- O sinal de controle vindo do controlador objetiva manter a variável controlada constante e igual ao valor desejado (set point).

Sempre atuando sobre a vazão, a válvula mantém constante a variável controlada do processo. As variáveis controladas mais usuais são: pressão, temperatura, vazão e nível.

As válvulas de controle modulante controlam

- A quantidade de água que entra ou sai de um reservatório para manter o **NÍVEL** do reservatório constante;
- A vazão do vapor que entra no trocador de calor para manter a **TEMPERATURA** do fluido aquecido constante;
- A vazão de nitrogênio que entra no tanque para manter a **PRESSÃO** constante;
- A **VAZÃO** do ar de combustão para manter a queima do combustível completa.

As grandezas destacadas em negrito (nível, temperatura, pressão e vazão), são exemplos de variáveis denominadas como “**VARIÁVEL CONTROLADA**” e o fluxo do fluido do processo através da válvula é denominado como “**VARIÁVEL MANIPULADA**”, ou seja, vazão de água, vazão de vapor, vazão de nitrogênio e vazão de ar.

Uma grande variedade de tipos de válvulas de controle está disponível no mercado, cada qual com seus prós e contras em função das diferentes aplicações.

Determinar qual a válvula que melhor atende a uma determinada aplicação é uma tarefa que impõe atenção aos detalhes.

As principais considerações em relação às exigências técnicas incluem:

- Precisão e resolução de controle,
- Manutenção e durabilidade.

A precisão do controle é a maneira como a válvula modifica a vazão, isto é, se a vazão varia em saltos; comportamento típico das válvulas com alto ganho tais como as válvulas de abertura rápida ou se a mudança é em rampa; comportamento típico das válvulas de ganho constante tal como as válvulas com característica inerente “linear” ou em incrementos iguais tal como as válvulas com característica inerente “igual porcentagem”.

A resolução do controle considera a amplitude das mudanças de vazão, ou seja, refere-se à capacidade de impor pequenas alterações no fluxo possibilitando a correção de pequenos desvios.

Dentre os diversos fatores componentes do cenário para a seleção da válvula de controle adequada, assume lugar de destaque a necessidade de conhecimento e perícia (expertise) do processo.

TIPOS DE CONTROLES

Existem basicamente dois tipos de controle:

- Duas posições (digital, controle biestável – ON-OFF) e
- Analógico (controle modulado – 4-20 mA).

Num sistema de controle de estado biestável, as válvulas de controle podem ser comandadas por simples contatos “abre-fecha” provenientes de chaves eletromagnéticas, eletropneumáticas ou pneumáticas. É o tipo mais simples de controle automático, possibilitando a utilização de uma válvula simples e de baixo custo.

No caso de controle modulado, a válvula modifica a sua posição de abertura/fechamento em função do valor do sinal analógico (4-20 mA) emitido pelo controlador. A aplicação exige mais acuidade (accuracy) da válvula de controle, sendo importante a precisão de posicionamento e tempo de resposta reduzido, tal que possibilite executar ajustes em processos com variável controlada rápida (constante de tempo baixa), por exemplo **CONTROLE DE VAZÃO**.

TIPOS DE VÁLVULAS - OPÇÕES DISPONÍVEIS

Dentre os diferentes tipos e tecnologias de válvulas de controle disponíveis, alguns apresentam características para utilização específicas e outros são indicados para aplicações de uso geral. É nesse grupo de válvulas de utilização mais geral que residem as principais dúvidas quanto a decisão da escolha. Esse grupo compreende as:

- válvulas tipo globo convencionais,
- válvulas globo com gaiola guiada,
- válvulas globo com obturador excêntrico rotativo,
- válvulas borboleta e
- válvulas esfera de controle.

As válvulas globo lineares são indicadas para controle de processos que não demandam amplo alcance de vazão (rangeability) controlável e, adicionalmente, por oferecerem acesso aos internos sem muita dificuldade. Tipicamente, na forma mais simples, elas consistem em um obturador cilíndrico com um assento circular (sede), geralmente integral com o corpo.

A válvula globo pode ser do tipo haste guiada, gaiola guiada e haste com guias superior e inferior. Válvula globo de haste com guias superior e inferior é melhor indicada para aplicações de uso geral e de baixa agressividade.

Válvula globo com gaiola guiada, embora muito mais cara, tem bom desempenho na maioria das aplicações em razão de apresentar características mais adequadas para operar sob cavitação, alto diferencial de pressão e ruído elevado.

As válvulas globo angulares são funcionalmente idênticas as do tipo globo linear e são indicadas para aplicações severas, incluindo ruído elevado e vaporização (cavitação e flashing).

A válvula de três vias tem uma entrada e duas saídas (distribuidora ou divergente) ou duas entradas e uma saída (misturadora ou convergente) e são largamente aplicadas nos processos industriais. Esta configuração permite a mistura de líquidos originados de tubulações diferentes ou para distribuição de fluido de origem única para dois destinos diferentes. As válvulas de três vias tipo globo tem arranjo de montagem diferente das válvulas de três via tipo esfera.

As válvulas globo de três vias têm aplicações típicas em controle de temperatura. Esta opção é usualmente disponibilizada nas versões de haste com uma guia ou gaiola. Não são recomendáveis para uso em condições severas, sendo mais indicadas para distribuição controlada de vazão em malhas de temperatura, nível ou pressão.

As válvulas esfera de três vias têm a mesma gama de aplicações que a válvula globo, porém com a vantagem de poderem controlar fluxo de fluidos viscosos, agregantes, solidificantes, abrasivos, com sólidos em suspensão, etc.

As válvulas esfera de controle modulam o fluxo através da rotação em 90° (¼ de volta) de um obturador esférico com uma ou mais passagens. As válvulas esfera de controle têm larga aplicação dependendo da tecnologia incorporada nos componentes internos.

As válvulas tipo globo, retas ou angulares, possuem passagem interna tortuosa e requerem maior queda de pressão para atingir uma determinada vazão em razão do alto valor do F1 (baixa recuperação de pressão). Contudo, mantêm os mesmos parâmetros funcionais.

As válvulas esfera de controle apresentam passagem do fluido livre, em continuidade da tubulação e, conseqüentemente, possuem melhor qualidade de controle; faixa de vazão controlável com maior alcance (rangeability) e ainda suportam operação em condições severas. Sua configuração provê benefícios relevantes no controle de vazão de fluido com sólidos em suspensão. As válvulas esfera de controle não apresentam dificuldade

para execução de limpeza em processos com fluídos agregantes e/ou solidificantes. As válvulas esfera de controle do tipo esfera pendular ou flutuante são a melhor indicação para controle de vazão de fluídos gelatinosos e/ou solidificáveis. Podem ser equipadas com entrada de fluído para limpeza e descarga do descarte para assegurar que a cavidade interna do corpo e da esfera fique livre de obstruções.

A válvula esfera de controle, na posição fechada, não submete o engaxetamento à pressão e não é necessário verificar a contra vedação. Essa verificação é imperativa para válvulas tipo globo, retas ou angulares. A contra vedação é um ponto importante a ser verificado no caso de válvulas de controle com pressão a jusante, para que não ocorra vazamento pelo engaxetamento.

Todos os tipos de válvulas podem ser acionados através de atuadores elétricos, pneumáticos, manuais ou hidráulicos.

A tabela dá uma visão geral das aplicações dos diferentes tipos de válvulas. Como evidenciado, as válvulas esfera de controle são as que têm melhor desempenho em controle de vazão sob condições adversas.

TIPO DE FLUÍDO	TIPOS DE VÁLVULAS									
	GLOBO LINEAR			GLOBO ANGULAR LINEAR		GLOBO TRÊS VIAS LINEAR		ESFERA DUAS VIAS		ESFERA TRÊS VIAS
	HASTE GUIADA	GAIOLA GUIADA	GUIA SUP. E INF.	HASTE GUIADA	GAIOLA GUIADA	HASTE GUIADA	GAIOLA GUIADA	ESFERA CARACT.	SEDE CARACTERIZ.	SEDE CARACTERIZ.
LIMPO										
SUJO										
VISCOSO										
CORROSIVO										
PASTOSO										
ABRASIVO										
FIBROSO										
VAPOR SUPERAQ.										
VAPOR SATURADO										

	APLICAÇÃO TÍPICA
	CONSULTAR O FABRICANTE
	NÃO RECOMENDADO

PONTOS RELEVANTES DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

Durante o processo de seleção, outros pontos importantes devem ser observados e avaliados para assegurar que a válvula selecionada possua as seguintes funcionalidades:

- Características construtivas adequadas para manter o mesmo desempenho ao operar sob todas as condições do processo compreendidas entre os limites máximo e mínimo da vazão. Controle da vazão sob quaisquer condições é um aspecto crítico da malha de controle. Inconsistências no controle resultarão em atrasos na produção e perda de matéria prima.
- Desempenho satisfatório para controle de fluxo de qualquer tipo de fluído, seja limpo, sujo, viscoso, corrosivo, abrasivo, alta pressão, alta temperatura, não importando o estado (líquido ou gás). A instalação de filtros e sistemas de limpeza na tubulação do fluído de um processo é uma boa prática embora adicione a tarefa de manutenção destes filtros. Manter a estabilidade do controle da vazão é um ponto importante a ser considerado.
- O custo unitário de manutenção, direto e indireto, deve ser levado em consideração durante o procedimento de seleção do tipo de válvula. O custo poderá ser um fator decisivo no caso de mais de um

tipo de válvula ser considerado como adequado para uma determinada aplicação. Tem impacto no custo de manutenção a forma como é realizado e mantido o posicionamento do obturador com a sede para vedação. O ideal é que seja sem calços ou materiais endurecidos como visto nas válvulas esfera segmentada e excêntrica rotativa. A facilidade de acesso ao engaxetamento para ajuste e inspeção, a existência de estrias ou acoplamento na haste facilitando a remoção do atuador, repercute favoravelmente no custo de manutenção frente a amplitude do tempo de reparo.

Especial atenção deve ser dedicada às válvulas esfera de controle. Elas têm alcance de vazão (range) da ordem de 150:1. Essa vantagem é verificada pela ampla distância entre o valor da máxima e da mínima vazão controlável. Essa vantagem assume vital importância por ocasião do aumento da capacidade produtiva da planta, visto não ser necessário substituir a válvula de controle por outra com maior capacidade de vazão. O alto CV, faz da válvula esfera de controle, se comparada a tradicional válvula globo, a vanguarda das válvulas de controle.

A geometria e operação do conjunto haste/esfera é tal que permite à válvula esfera de controle operar nas mais adversas condições, mesmo em presença de sólidos em suspensão tais como areia e carepas. Nestas mesmas situações, seria difícil para uma válvula globo manter bom desempenho porque demandará constantes manutenções.

CLASSE DE PRESSÃO

Determinar a máxima temperatura e pressão de operação é a primeira ação para selecionar a classe de pressão da válvula de controle. Para esta tarefa deve ser seguida a norma B16.5 do ANSI - American National Standards Institute. A maioria dos fabricantes de válvulas de controle atende aos requisitos dessa norma. Nela são estabelecidas diversas classes de pressão em função da condição operacional de pressão / temperatura do fluido e do respectivo material de construção.

Algumas pessoas, por desinformação, atribuem como máxima pressão de trabalho da válvula o valor da classe. Esta prática, além de errada, é também perigosa porque não considera a temperatura de trabalho.

O efeito da temperatura sobre o material é a redução da máxima pressão de trabalho. O valor atribuído a classe da válvula é nominal e serve apenas como um referencial para diferenciação da capacidade operacional da válvula.

As tabelas, a seguir, são para as classes de pressão 150 e 300. Os dados são parciais por praticidade e foram extraídos da norma por serem os mais usuais. Outras classes de pressão constam da norma.

ANSI B16.5 – CLASSE 150 (PARTE)			
TEMP. DE TRABALHO	MATERIAL		
	ASTM A216 Gr. WCB (AÇO CARBONO)	ASTM A351 Gr. CF8 (AÇO INOX 304)	A351 Gr.CF8M (AÇO INOX 316)
°C	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
-29 a 38	20,0	19,3	19,3
93	18,3	16,2	16,5
149	16,2	14,4	15,1
204	14,1	13,4	13,7
260	12,0	12,0	12,0
316	9,8	9,8	9,8
343	8,8	8,8	8,8
371	7,7	7,7	7,7

ANSI B16.5 – CLASSE 300 (PARTE)

TEMP. DE TRABALHO	MATERIAL		
	ASTM A216 Gr. WCB (AÇO CARBONO)	ASTM A351 Gr. CF8 (AÇO INOX 304)	A351 Gr.CF8M (AÇO INOX 316)
°C	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
-29 a 38	52,0	50,6	50,6
93	47,5	42,2	43,6
149	46,1	38,0	39,4
204	44,6	34,8	36,2
260	42,2	32,7	33,7
316	38,7	30,6	31,6
343	37,6	30,2	31,3
371	37,6	29,9	30,2

Para uso da tabela, segue um exemplo:

DADOS DO PROCESSO

Material: ASTM A351 Gr. CF8 (AÇO INOX 304)

Temperatura de trabalho: 100 °C

Máxima pressão de trabalho: 14 kgf/cm²

Para determinar a classe de pressão é melhor iniciar pela tabela de 150 lbs. O custo das válvulas nesta classe é menor.

A temperatura de trabalho (100 °C) para o material indicado (CF8) está contida no intervalo

Temperatura	Pressão
93°C	16,2 kgf/cm ²
149°C	14,4 kgf/cm ²

Qual a máxima pressão de trabalho para a temperatura de 100 °C?

Por interpolação resulta que para a temperatura 100 °C a máxima pressão é 15,98 kgf/cm²

Como a máxima pressão de trabalho (14 kgf/cm²) é inferior ao valor calculado (15,98 kgf/cm²), a classe de pressão a ser considerada para a válvula será 150 lbs.

Um ponto importante, porém, frequentemente negligenciado, é a queda de pressão através da válvula. Dependendo do tipo de construção, a capacidade de suportar altos diferenciais de pressão é consideravelmente diferente. A título de exemplo; a válvula globo, com ou sem gaiola, pode controlar satisfatoriamente mesmo que a diferença entre a pressão de entrada e saída seja próxima da pressão limite da classe do corpo.

A válvula borboleta não é recomendada para altos diferenciais de pressão em razão do alto torque de abertura e fechamento. Válvula borboleta concêntrica com corpo revestido internamente é utilizada em aplicações onde vedação estanque é necessária ou ainda em aplicações com fluidos corrosivos. Têm construção bastante simples, consistindo de um anel de borracha que forra internamente a parede do corpo e é resistente ao fluido do processo. A utilização deste tipo de válvula, é limitada pela máxima pressão diferencial de 100 psi (7,0 kgf/cm²) e pelo tipo de borracha em função da temperatura do fluido. O disco neste tipo de válvula pode ser concêntrico, bi e tri excêntrico.

Os discos excêntricos permitem mais tempo de serviço estanque.

A válvula borboleta concêntrica, de corpo revestido, é fabricada em diâmetros a partir de 2" até 24" (API 609) e estanqueidade verificada conforme a API 598. Em aplicações onde a temperatura do fluido não permite o uso de elastômero para vedação estanque, são empregadas válvulas borboleta tecnicamente melhor elaboradas (tri excêntricas), capazes de operar com diferenciais de pressão que superam os limites apresentados pelas válvulas borboleta concêntricas, porém, mesmo assim, ainda comportam apenas diferenciais de pressão inferiores aos das válvulas globo.

As válvulas borboleta de qualquer tecnologia, para executar controle modulante, tem característica inerente igual porcentagem até o curso de 60°. Por esta razão, as válvulas borboletas devem ter considerado o Cv máximo na abertura de 60° para fins de dimensionamento.

Válvulas tipo globo, construídas com obturador balanceado (técnica utilizada para movimentar a haste da válvula com atuador de porte reduzido, com menos força, mais rápido e mais sensível) ou válvulas esfera de controle com esfera pendular balanceada ou ainda válvulas com esfera pivotada (trunnion) que são as que melhor atendem serviço com alto diferencial de pressão.

Muitas vezes a tarefa de selecionar a válvula de controle é dificultada pela dubiedade e até mesmo ausência dos dados de processo. Os dados do processo devem, obrigatoriamente, ser consistentes e confiáveis. Na eventualidade dos documentos de engenharia, tais como folha de dados, memória de cálculo, "data book", etc, não estarem disponíveis, os dados necessários à seleção podem ser levantados no local onde a válvula será instalada. As informações sobre os limites da pressão, limites da faixa de vazão máxima e normal de trabalho, tipo e temperatura do fluido são fundamentais para dimensionamento e seleção da válvula de controle.

Como procedimento prático, seguem alguns exemplos de como levantar dados:

- A pressão de entrada (P1 - montante) da válvula pode ser apurada pela pressão de saída da bomba que movimentava o fluido.
- A pressão de saída (P2 – jusante) da válvula pode ser apurada pela mínima pressão de trabalho do equipamento alimentado pela válvula. Esta informação geralmente consta da placa do equipamento e foi anotado pelo fabricante. O equipamento pode ser um trocador de calor, um reator, serpentina num tanque, etc.
- Se o fluido for movimentado por uma bomba volumétrica positiva, seja engrenagem, diafragma, pistão, fuso, etc, a pressão de entrada da válvula (P1) será determinada pela altura da válvula em relação a bomba (coluna de líquido). Se não for praticável esta forma, será necessário instalar um manômetro na tubulação onde será instalada a válvula.
- A vazão, dado vital para fins de avaliação do tamanho da válvula, pode ser determinada considerando a vazão máxima da bomba associada.

CARACTERÍSTICA INERENTE

Como já foi amplamente comentado anteriormente, a característica inerente, em que pesem os inúmeros trabalhos realizados e publicados, continua sendo um dos fatores menos compreendidos.

São duas as mais conhecidas e também mais utilizadas: LINEAR e IGUAL PORCENTAGEM.

Do ponto de vista da hidrodinâmica a válvula é um orifício através do qual se estabelece o fluxo de um fluido.

Desde que o fluxo não seja com um líquido em cavitação (vaporizando), existe uma relação entre a vazão Q através da válvula e a diferença de pressão entre a entrada e saída (Δp a montante/ jusante), dada por:

$$Q = C_v \Delta P^{1/2}$$

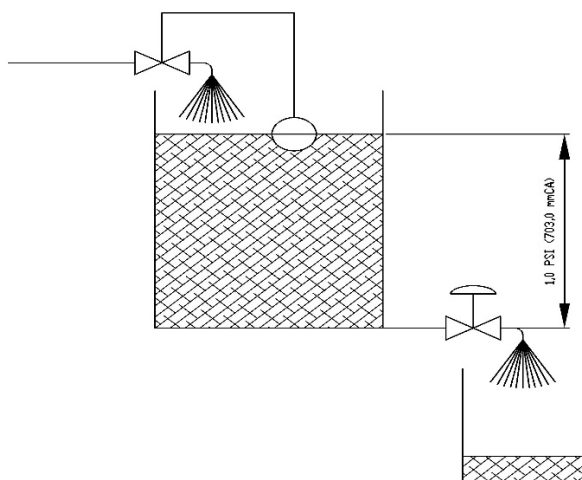
O valor do C_v é uma característica do escoamento, pelo que dependerá do orifício e do fluido, ou seja, depende do diâmetro da válvula, do seu tipo, da sua abertura e das características do fluido, em particular da sua viscosidade.

É, pois, necessário especificar as condições. Deste modo, para uma determinada válvula (diâmetro nominal e tipo), define-se coeficiente de escoamento C_v como sendo a vazão de água a 15 °C que por ela passa na condição totalmente aberta, expresso em galões por minuto (gpm), quando a diferença de pressão montante / jusante é de 1,0 PSI (703,0 mmCA).

Segue uma sugestão de uma maneira prática para a determinação do C_v de uma válvula. O nível do tanque é controlado e mantido constante para manter, no fundo, a pressão de 1,0 PSI (703,0 mmCA).

Executa-se um ensaio para cada porcentagem de abertura da válvula, preferivelmente em degraus próximos entre si, tal como 10%.

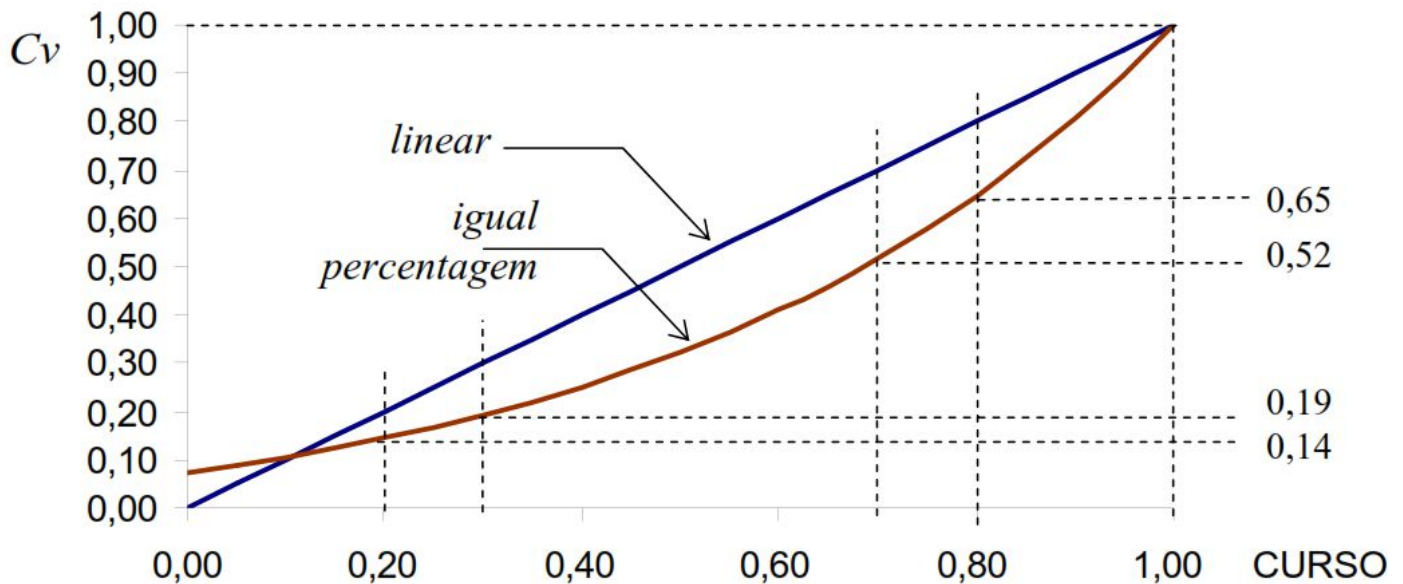
A cada avanço do curso deve ser anotada a variação por um minuto, do volume do tanque inferior em galões (3,78 litros).



Desta forma são obtidas as curvas características inerentes da válvula.

Conforme o tipo de corpo o formato do obturador, seguem duas curvas características inerentes típicas de válvulas mais usuais:

- a característica da válvula linear e
- a característica da válvula de igual percentagem.



A válvula linear, quando submetida a uma variação da sua abertura, origina uma variação de vazão proporcional à variação de abertura. Se a vazão mudar linearmente com o curso, isto é, 25% do curso, resulta na vazão de 25%, 50% de curso resulta na vazão de 50% e segue desta forma até 100% da vazão máxima da válvula, trata-se de válvula de controle com característica inerente LINEAR.

A válvula de igual percentagem dá origem a uma variação de vazão proporcional ao valor percentual de curso.

Resumidamente, Característica Inerente é a forma como a vazão varia de acordo com a mudança da posição de abertura da válvula com pressão diferencial constante.

A CARACTERÍSTICA INERENTE deve ser cuidadosamente determinada para pleno êxito da aplicação da válvula na malha de controle.

Para correta seleção da CARACTERÍSTICA INERENTE, primeiramente é preciso esclarecer qual é a variável a ser controlada na malha de controle. O processo tem comportamento dinâmico; na maioria dos casos LINEAR e NÃO LINEAR.

De maneira geral, a característica inerente da válvula deve ser tal que linearize o processo, permitindo que o controle seja estável e a variável controlada deixe de ser variável para tornar-se constante. A função da válvula de controle é estabilizar a variável controlada. Para este fim, a característica inerente é de suma importância.

Caso a alteração da vazão que ocorre em razão da alteração do curso da válvula (GANHO DA VÁLVULA) não seja adequada para correção do desvio da variável controlada, nível por exemplo; ela ficará fora do valor desejado (set point) por tempo tal que prejudique algum parâmetro do processo, provocando aumento de rejeitos, retrabalhos e até acidentes fatais. Como exemplo, uma falha no controle do nível do tubulão causa explosão da caldeira.

Portanto, uma válvula com alto ganho proporciona uma grande variação de vazão para uma pequena variação do curso, enquanto que o inverso ocorre para uma válvula com baixo ganho, ou seja, uma pequena variação de vazão para uma grande variação do curso.

Uma válvula com característica de vazão “abertura rápida”, apresenta ganho muito alto até aproximadamente 20% do seu curso. Nesse ponto a vazão é total. No restante do curso, a vazão não aumenta significativamente em razão do ganho ser praticamente nulo. Este tipo de válvula é adequado para controle tipo liga-desliga (on-off).

Uma válvula com característica de vazão “linear”, teoricamente, tem ganho constante e unitário durante todo o seu curso, enquanto que a válvula com características de vazão “igual porcentagem” mostra ganho baixo na região inicial do curso e conforme o curso aumenta o ganho da válvula também aumenta.

As características de vazão apresentadas até aqui, conhecidas como inerentes, são válidas na condição de queda de pressão (ΔP) através da válvula constante.

A válvula quando instalada não opera sob queda de pressão constante devido à inúmeras variações que ocorrem no processo. Nessa condição, como resultado, obteremos uma característica de vazão real que é denominada INSTALADA conforme será explicado mais adiante. Os fabricantes somente informam as características INERENTES frente a impossibilidade de ser reproduzida em bancada de teste todas as condições de vazão que ocorrem nos mais diferentes processos.

Casos práticos mostram que a característica instalada da válvula com característica inerente igual porcentagem ser aproxima da característica inerente linear e vice-versa.

Para se estabelecer de forma correta a necessária característica de vazão de uma válvula é exigida uma análise dinâmica do sistema, de tal forma que o ganho da válvula possa compensar adequadamente as variações do ganho do processo.

A experiência e as inúmeras análises realizadas mostram que quando houver dúvida é melhor escolher uma característica inerente igual porcentagem.

A utilização de uma característica linear onde, por exemplo, uma igual porcentagem seria uma melhor escolha, geralmente nos conduz a um sistema instável. Entretanto, a recíproca raramente produz instabilidade no sistema.

A válvula selecionada deve se enquadrar nas características inerentes linear, igual porcentagem ou outra característica de controle.

Diferentes condições de processo requerem diferentes características de controle.

Saiba quais são as condições do processo, avalie e selecione a válvula com a característica adequada.

Antes de selecionar a característica inerente, deve ser esclarecida a variável controlada da malha de controle em que a válvula irá operar.

Segue tabela prática e orientativa para a correta seleção da característica inerente da válvula de controle:

VARIÁVEL	PROCESSO	$\frac{\Delta P_{\text{máx.}}}{\Delta P_{\text{Min.}}}$	CARACTERÍSTICA INERENTE
VAZÃO com sinal de medição proporcional ao ΔP	NÃO LINEAR	5:1	IGUAL PORCENTAGEM
		< 5:1	LINEAR
VAZÃO com sinal de medição proporcional a vazão	LINEAR	2.5:1	IGUAL PORCENTAGEM
		< 2.5:1	LINEAR
NÍVEL	LINEAR	2.5:1	IGUAL PORCENTAGEM
		< 2.5:1	LINEAR
pH	NÃO LINEAR	2:1	IGUAL PORCENTAGEM
		< 2:1	LINEAR
PRESSÃO (Gás ou líquido)	LINEAR	2:1	IGUAL PORCENTAGEM
		<2:1	LINEAR
TEMPERATURA	NÃO LINEAR	-	IGUAL PORCENTAGEM

NOTAS:

- $\Delta P_{\text{máx.}}$ é o ΔP à mínima vazão.
- Se este valor não estiver disponível, deve ser utilizado o $\Delta P_{\text{máx.}}$ para dimensionamento do atuador (ΔP de bloqueio).
- $\Delta P_{\text{min.}}$ é o ΔP à máxima vazão.

As recomendações acima são aplicáveis na maioria dos casos práticos encontrados.

Existem casos onde estas recomendações não são aplicáveis e devendo-se proceder análise do sistema levando-se em consideração:

- A variação da perda de pressão (ΔP) através da válvula, de vazão mínima para a vazão máxima,
- Tipo de equipamento gerador de movimento do fluido: bomba, compressor, etc,
- A curva característica,
- Perdas de pressão dinâmicas do sistema.

Nos casos em que os dados não permitem a correta avaliação, é melhor optar por IGUAL PORCENTAGEM.

A faixa de controle (rangeability) da válvula deve ser verificada, frente as necessidades do processo.

Os acessórios de comando e monitoração da válvula devem apresentar conectividade compatível com os equipamentos de gerenciamento e controle do processo.

As curvas características de uma válvula dependem do conjunto sede / obturador. No entanto a obtenção de características com uma forma desejada também é obtida da seguinte maneira:

- Pela forma do obturador. Como exemplo citam-se as válvulas “V-port” que são válvulas de segmento esférico com um corte com a forma de um V.
- Utilizando um “feedback” não linear do posicionador. Esta solução é comum em válvulas pneumáticas, em que a realimentação da posição é feita por meio de um came.
- Interpondo entre a saída do posicionador e o atuador um algoritmo gerador de uma curva. Este método é usado nos posicionadores eletrônicos.

Os fabricantes americanos não utilizam a nomenclatura aqui apresentada, embora os conceitos sejam equivalentes. Em vez do parâmetro kv utilizam um parâmetro equivalente Cv, que é definido de modo análogo, mas em unidades americanas.

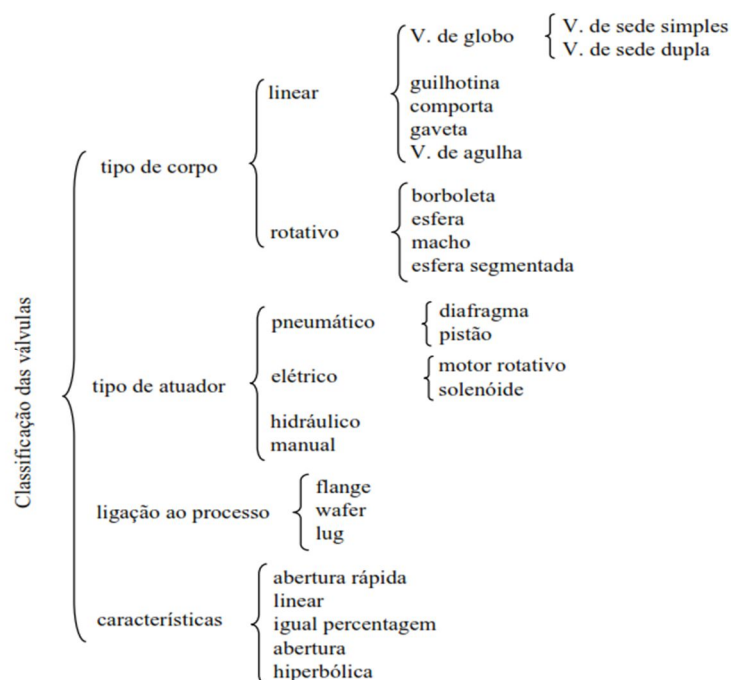
Para uma determinada válvula (diâmetro nominal DN e tipo), define-se o coeficiente de vazão Cv como sendo a vazão de água que por ela passa, expresso em galões por minuto, quando a diferença de pressão montante / jusante é de 1 PSI. Um pequeno cálculo conduz à relação:

$$C_v = 1,167 K_v$$

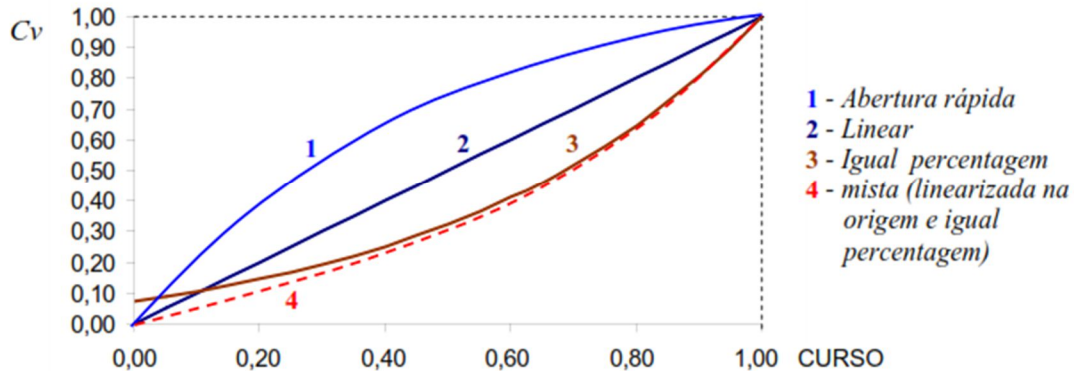
Uma válvula com a característica igual percentagem, para um determinado acréscimo da abertura, produz uma variação de vazão menor quando a abertura é pequena do que a vazão quando é grande. Por isso se designa também por válvula de abertura lenta.

Poderá, por vezes, haver necessidade de ter uma grande vazão quando a válvula se encontra fechada ou próximo dessa posição. Diz-se então que é necessária uma válvula de abertura rápida.

A classificação das válvulas quanto ao tipo de abertura é conforme segue:

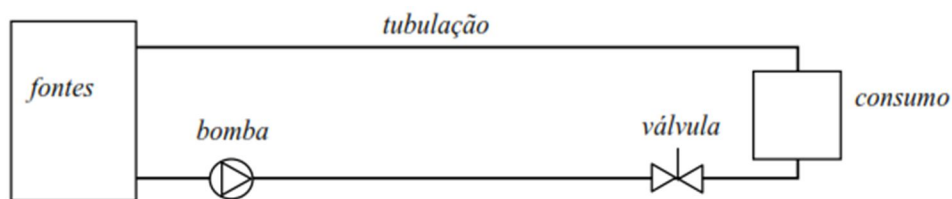


O gráfico mostra a forma das características dessas válvulas. As válvulas de igual percentagem são por vezes designadas por válvulas exponenciais.

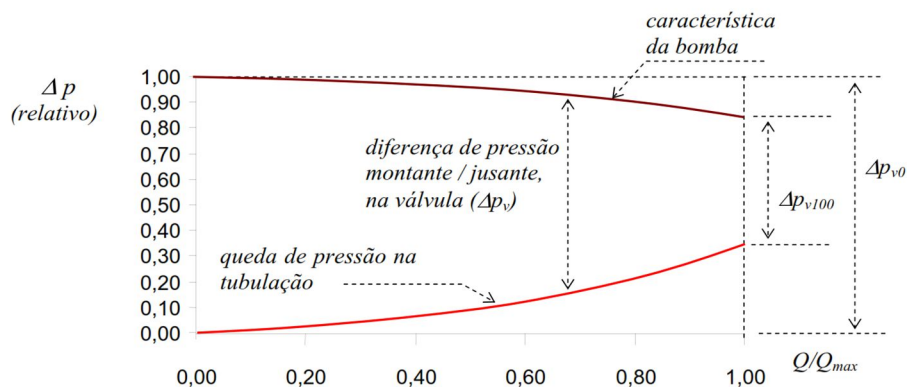


Até aqui apresentaram-se as características de uma válvula admitindo que a diferença de pressão montante / jusante é constante. Na prática uma válvula encontra-se inserida num circuito hidráulico em que as pressões variam conforme as vazões. Como a válvula de controle ao atuar provoca mudanças na vazão, as pressões no circuito hidráulico irão variar e consequentemente a pressão montante/jusante irá variar com a abertura.

A relação vazão/curso não seguirá a forma da característica da válvula. Considere-se o circuito hidráulico da figura.



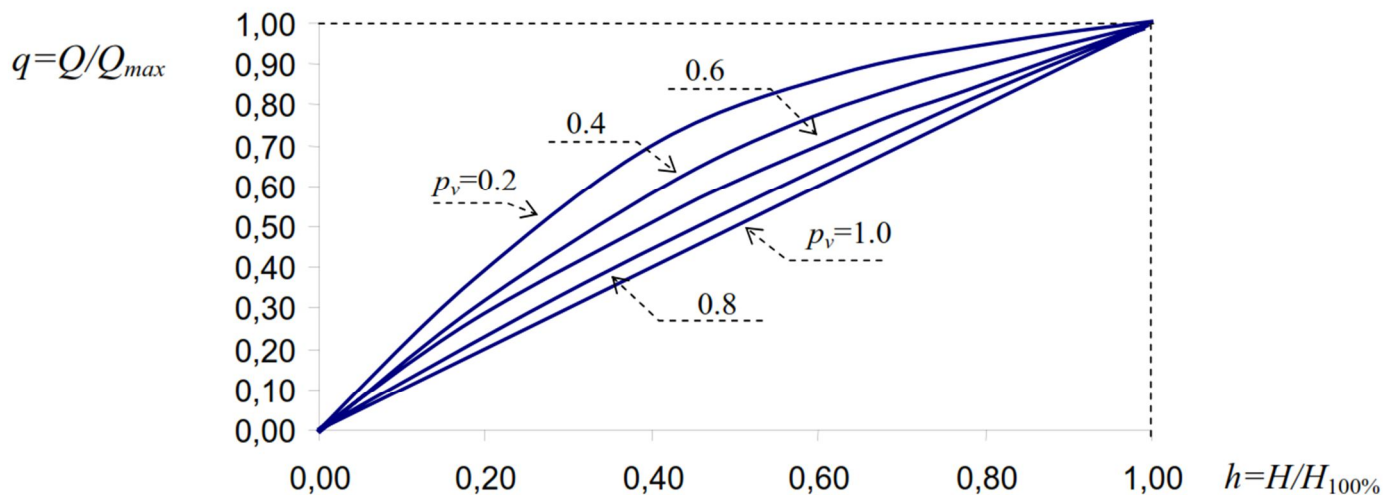
A bomba característica pressão/vazão decrescente. Na tubulação (consumo e fontes incluídos) a queda de pressão aumenta aproximadamente com o quadrado da vazão. Nestas condições a pressão disponível na válvula diminui com a sua abertura (Fig. 22.11), e, portanto, a característica da válvula em operação difere da característica teórica a Δp constante.



Define-se autoridade da válvula pela relação entre a diferença de pressão montante/jusante com a válvula completamente aberta e a mesma diferença de pressão com a válvula completamente fechada, ou seja,

$$p_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}}$$

A característica operacional de uma válvula depende da curva característica inerente e da autoridade da válvula, como segue:



Características de operação de uma válvula linear

Observe que a válvula linear apresenta características operacionais semelhantes às características inerentes de uma válvula de abertura rápida. Nas características operacionais deixa de se representar, em ordenadas, C_v/C_{vs} , uma vez que nesta situação o Δp não é constante e igual a 1,0 PSI, e no caso o Δp varia com a abertura.

Define-se ganho de uma válvula pela relação entre a variação do valor relativo da vazão q , e a correspondente variação relativa da posição da haste de comando h :

$$G = \Delta q / \Delta_{\text{curso}}$$

O ganho é definido em relação às características operacionais, que se refere a uma válvula linear. Por esta razão também é dado o nome de ganho instalado. O ganho de uma válvula é função da sua abertura relativa h . A expressão pode ser escrita na forma:

$$\Delta q = G \Delta_{\text{curso}}$$

Como consequência, conhecido o ganho instalado de uma válvula, pode obter-se o incremento relativo de vazão multiplicando o ganho pelo incremento relativo da abertura.

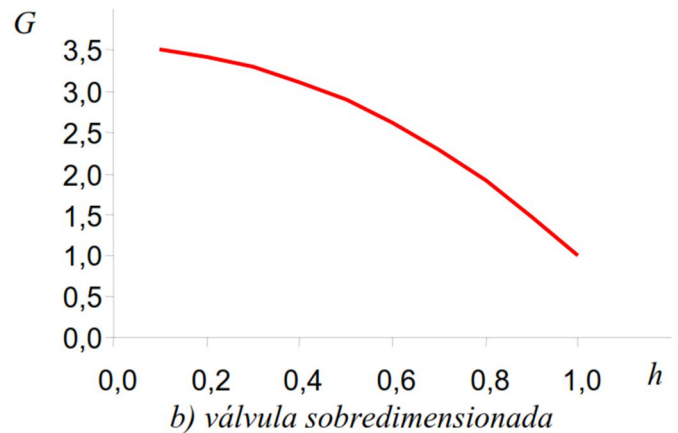
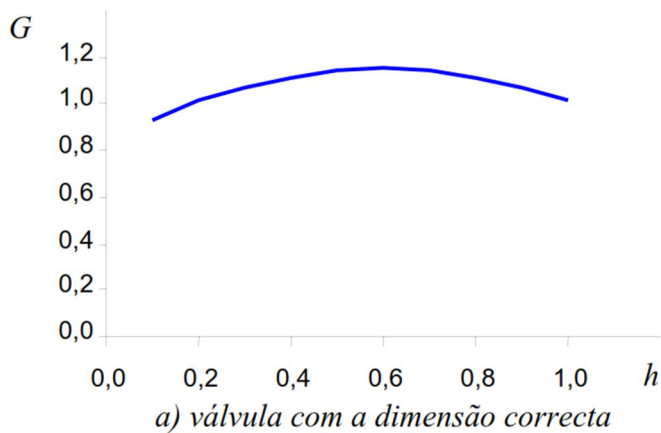
Em sistemas de controle que utilizem controladores PID, e estes são a maioria dos sistemas usados na indústria, é importante que o ganho instalado da válvula se mantenha relativamente uniforme na região de funcionamento. Variações de ganho elevadas tornam o desempenho do controle irregular. Um ganho pequeno exige um curso grande para a haste de comando da válvula e um ganho elevado torna o controle ruidoso, com a vazão demasiado sensível a pequenas variações da abertura da válvula.

Como regra básica o ganho de uma válvula de controle deverá estar compreendido entre os limites 0.5 e 2, para não se fazer sentir apreciavelmente a não linearidade:

$$0.5 < G < 2$$

Uma vez que o ganho instalado depende da vazão através da válvula, é de esperar que o dimensionamento da válvula afete a curva de ganho instalado. Na Fig. 22.13 representa-se o

ganho instalado para duas válvulas do mesmo tipo, em que apenas o diâmetro nominal é diferente.



Ganho instalado, em duas válvulas do mesmo tipo

TEMPERATURA

A temperatura do fluido é outro fator operacional a ser considerado. As precauções quanto a seleção da válvula em função de sua adequação a temperatura de trabalho não pode ser negligenciada.

Processos com altas ou baixas temperaturas devem receber especial atenção. No caso de temperaturas elevadas, 315 °C por exemplo, fica totalmente eliminada a possibilidade de utilização de qualquer válvula com vedações por elastômeros. Em caso de temperaturas muito altas, da ordem de 650 °C, há necessidade de tipos e materiais especiais de construção para corpo e internos.

Para aplicações a baixas temperaturas (até -50 °C) e também criogênicas (-150°C e inferiores), devem ser empregados materiais de construção e vedações que tolerem as condições sem risco de degradação.

IMPORTÂNCIA DO FLUÍDO PARA A SELEÇÃO DO MATERIAL

O conhecimento detalhado das características do fluido é de vital importância para correta aplicação da válvula de controle.

Saber se o fluido é corrosivo, erosivo, abrasivo, pastoso, viscoso, com sólidos em suspensão, sujo, limpo é informação altamente significativa para determinação dos materiais da válvula.

Um fluido sujo ocasionará erosão e abrasão, sendo imperativo que a válvula seja feita com materiais adequados para tal aplicação. Sob o aspecto construtivo, as válvulas com passagem reta são a melhor indicação.

A válvula esfera de controle é perfeitamente adequada para controle de vazão de fluidos sujos. Válvulas esfera de controle com esfera e haste feitos de materiais com dureza acima de 35 HRC, como os aços inoxidáveis 17-4PH e 440C são recomendadas.

Revestir com Stellite 6 é uma boa alternativa. O Stellite 6 é uma liga base cobalto que mantém as suas propriedades até em altas temperaturas. Foi projetada para ser aplicada em superfícies que sofrem desgaste. Possui excelente resistência à oxidação e abrasão. Pode trabalhar em temperaturas que variam de 320°C a 600°C. Muito utilizada em sedes de válvulas do tipo esfera e gaveta pois possui baixo coeficiente de atrito.

Uma outra alternativa muito utilizada é a NITRETAÇÃO, que é um processo termoquímico que proporciona maior dureza à superfície das peças, proporcionando maior resistência à fadiga externa e fricção. Este tratamento é indicado para obter peças com maior dureza na superfície, aumentando a resistência contra desgaste, fadiga, corrosão e calor. Os aços que melhor se prestam a este tratamento são aços nitralloy. São ligas de aços que contêm cromo, molibdênio, alumínio e algum níquel.

Em geral, a nitretação é feita após endurecimento e revenimento. Assim, as partes nitretadas não precisam de nenhum tratamento térmico adicional, o que contribui para um baixo nível de distorção ou deformação. A nitretação deve ser, preferivelmente, por método a gás. Este método proporciona camada dura com espessura entre 0,15 a 0,80 mm.

A opção por válvulas feitas em materiais resistentes a corrosão tal como os aços inoxidáveis AISI 304, 316, 304L, 316L é uma alternativa viável.

Para casos extremos ligas tipo Hastelloy C276, Monel, Alloy 20, etc, podem ser consideradas.

O emprego de aço inoxidável na fundição de válvulas é feito mais no sentido de se evitar a ação corrosiva do meio, ficando, pois, de certo modo, em segundo plano, as condições relativas à resistência mecânica.

As peças fundidas de aço inoxidável são empregadas com o objetivo de resistir à ação corrosiva de soluções aquosas, à temperatura ambiente ou próxima, gases quentes e de líquidos de elevado ponto de ebulição, em temperaturas próximas de até 650°C.

Todas as peças de aço fundido resistente à corrosão contêm cromo acima de 11% e a maioria delas, níquel de 1 a 30%. O teor de carbono se situa geralmente abaixo de 0,20%, sendo às vezes da ordem de 0,03%.

Obedecem a esta linha, de um modo geral, as composições dos aços das séries 300 e 400, podendo ainda conter pequenas porções de molibdênio, em alguns e nióbio em outros.

O molibdênio – adicionado entre 2 e 3% - melhora a resistência à corrosão geral. Essas ligas são muito usadas para aplicações sujeitas à ação da água do mar.

NÍVEL DE VAZAMENTO – ESTANQUEIDADE

Ao lado da temperatura e fluído, um outro fator de importância na seleção da válvula de controle é a estanqueidade, ou seja, é importante definir o limite de vazamento aceitável com a válvula totalmente fechada.

Assim, dependendo da exigência de vedação que o processo requer é que deve se basear a escolha do tipo de construção de internos ou tipo de válvula.

Severas especificações de estanqueidade geralmente encarecem o custo da válvula. Justificam-se apenas caso o quesito estanqueidade envolva segurança.

O limite de vazamento tolerável no processo é classificável pela Tabela I ou Tabela II.

Para válvulas totalmente estanques, especificar que o teste de vedação seja conforme a norma API 598.

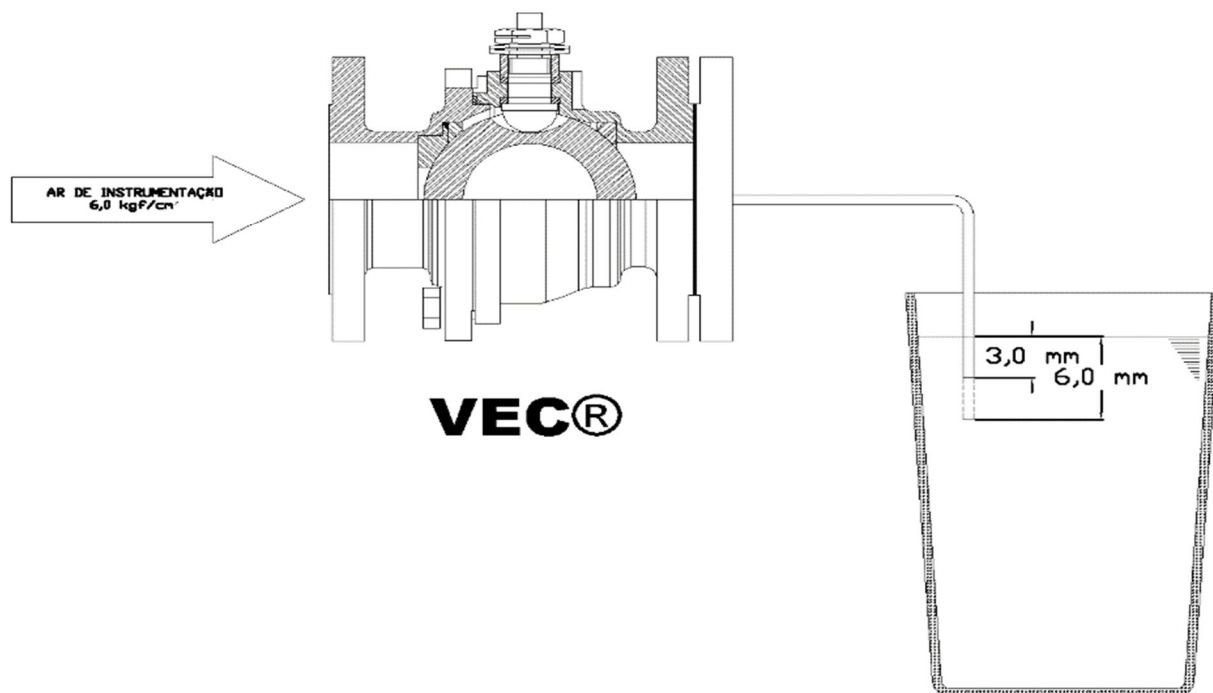
TABELA I - CLASSIFICAÇÃO DE TAXA DE VAZAMENTO - FCI 70.2

CLASSE DE VAZAMENTO	VAZAMENTO MÁXIMO ACEITÁVEL	PROCEDIMENTO DE TESTE
Classe I	Vazamento não controlado	Não exigido
Classe II	0,5% do CV $\pm$ 10%	O fluido de teste pode ser ar ou água 4,0 barg ou $\pm$ 5% do ΔP máx. (PSI)
Classe III	0,1% do CV $\pm$ 10%	O fluido de teste pode ser ar ou água 4,0 barg ou $\pm$ 5% do ΔP máx. (PSI)
Classe IV	0,01% do CV $\pm$ 10%	O fluido de teste pode ser ar ou água 4,0 barg ou $\pm$ 5% do ΔP máx. (PSI)
Classe V	0,0005 ml/minuto X Ø da sede (poleg.) X ΔP (PSI)	O fluido de teste pode ser ar ou água 4,0 barg ou $\pm$ 5% do ΔP máx. (PSI) ou conforme Tabela II
Classe VI	Conforme Tabela II	Fluido de teste nitrogênio ou ar Usar o menor de 50 PSIG ou ΔP máx (PSI)

TABELA 2 - CLASSE VI - FCI 70.2

Diâmetro nominal da sede	ml/minuto	Bolhas/minuto
< 1"	0,15	1
1 1/2"	0,30	2
2"	0,45	3
2 1/2"	0,60	4
3"	0,90	6
4"	1,70	11
6"	4,00	27
8"	6,75	45
10"	11,10	-
12"	16,00	-
14"	21,60	-
16"	28,40	-

A contagem das bolhas por minuto deve ser através de um dispositivo apropriado e um recipiente com volume de aproximadamente 200 ml (pode ser um copo), contendo cerca de 150 ml de água. O dispositivo consiste num tubo com diâmetro externo de 6,0 mm, parede de 1,0 mm, imerso perpendicularmente (90°) à superfície da água, entre 3 a 6 mm, com a ponta reta (sem chanfro) e sem rebarbas.



ALINHAMENTO OBTURADOR / HASTE / SEDE

O tipo de guia do conjunto vedante é um fator importante a ser considerado. Quando se tratar de aplicações em alta pressão, o bom desempenho das guias garante a estabilidade operacional da válvula.

Válvulas com conjunto haste / obturador de deslocamento linear e guiado apenas na parte superior, são mais susceptíveis aos esforços internos desalinhadores provocados pela turbulência do fluido e, portanto, são indicadas para serviço com diferencial de pressão limitado até 100 PSI (7,0 kgf/cm²).

Válvulas com conjunto haste / obturador de deslocamento linear guiado na parte superior e também na inferior, são menos susceptíveis aos esforços internos desalinhadores provocados pela turbulência do fluido, e, portanto, são adequadas para serviço com diferenciais de pressão superiores a 100 PSI (7,0 kgf/cm²).

Válvulas com conjunto haste / obturador de deslocamento linear e guiado por gaiola, não são afetadas pelos esforços internos desalinhadores provocados pela turbulência do fluido. Das válvulas de deslocamento linear, são as que melhor suportam diferenciais de pressão que ultrapassam 1000 PSI (70 kgf/cm²).

A seleção do material constituinte da guia do conjunto haste / obturador é também um fator muito importante. Exige especial atenção, principalmente, quando se tratar de serviço com fluidos abrasivos, erosivos, pressões elevadas e alta acima de 350 °C.

As válvulas de controle rotativas, de diferentes tipos e tecnologias tais como esfera pendular (flutuante), esfera pivotada (trunnion), esfera caracterizada, orifício caracterizado e obturador excêntrico também demandam cuidados na seleção do sistema de guia dos respectivos conjuntos vedantes.

As válvulas de controle rotativas, de esfera pendular, passagem plena (full bore) ou com orifício caracterizado, não possuem haste guiada. Alguns fabricantes desenvolveram um engaxetamento que mantém estável a posição da haste, garantindo a integridade da vedação por longo tempo. São aplicáveis em processos que demandam válvulas de controle classe ANSI B16.5 – 150 e 300 lbs.

As válvulas de controle rotativas com esfera pivotada (trunnion), esfera caracterizada e obturador excêntrico; todas possuem haste com dupla guia (superior e inferior). As válvulas com esfera pivotada (trunnion) são indicadas para serviços que exigem classe ANSI 600 lbs e acima.

MATERIAIS DA GAXETA

A menos que haja especificação em contrário, as válvulas de controle vêm equipadas com o material de gaxeta padrão do fabricante.

Os principais materiais utilizados isoladamente para a gaxeta são: amianto, grafite e PTFE.

O amianto, de baixo custo, é estável até temperaturas da ordem de 450 °C, porém, possui um alto coeficiente de atrito, além de ter uso restringido pela legislação.

O grafite possui um coeficiente de atrito menor e tem como vantagem ampla faixa de aplicação em função da temperatura, já que ele é considerado estável para temperatura superior a 1000 °C em serviço com fluidos não oxidantes. Em temperatura superior a 550 °C e atmosfera oxidante, o grafite transforma-se em dióxido de carbono. Na prática o uso do grafite está limitado à temperatura de até 400 °C em caso de aplicações em fluidos oxidantes, e de 650 °C para fluidos não oxidantes. O grafite não sendo um material facilmente deformável, requer maiores forças de aperto através do preme gaxeta a fim de possibilitar uma operação livre de vazamentos através da haste da válvula.

Os materiais à base de politetrafluoretileno (PTFE), são mais inertes quimicamente que os anteriormente citados, além de possuírem baixíssimos coeficientes de atrito; fatores esses que lhes conferem excepcionais qualidades de utilização como material de selagem. Talvez o principal inconveniente do PTFE seja o fato de requerer um melhor acabamento superficial da haste da válvula, e, caso essa superfície ou a da gaxeta for ligeiramente danificada, deve-se esperar vazamentos através da caixa de gaxetas. O limite de utilização do PTFE em função da temperatura é de -200 à +212 °C para serviços contínuos. A utilização de material composto é uma prática bastante comum, aproveitando-se as vantagens de, por exemplo, dois materiais diferentes. É o caso do amianto grafitado, amianto impregnado com PTFE, etc.

Todo e qualquer tipo de gaxeta requer alguma manutenção periódica. Embora a gaxeta de anéis sólidos em “V” de PTFE comprimida por mola seja a que menos manutenção exija, deve-se sempre esperar a possibilidade de um pequeno vazamento. Se devido às condições e características da aplicação, for estritamente necessária uma operação totalmente livre de vazamentos através da gaxeta, deverá, então, ser especificado um castelo com fole de vedação. Pelo fato do alto custo da fabricação desse tipo de castelo, a sua especificação somente poderá ser justificada em casos estritamente necessários, tais como, fluidos inflamáveis, tóxicos ou extremamente caros. Como alternativa, pode ser válvula com engaxetamento duplo.

A lubrificação da haste é uma prática bastante comum e às vezes necessária dependendo do tipo de material utilizado na gaxeta.

As gaxetas de PTFE não necessitam de lubrificação auxiliar da haste, enquanto que nas gaxetas a base de amianto, é necessária lubrificação.

A composição do lubrificante é opcional, porém ele deve ser compatível tanto com o fluido de processo quanto com o material da gaxeta.

Para temperaturas moderadamente altas e baixas, (-40 a 260 °C) os lubrificantes à base de silicone são amplamente utilizados.

DIMENSIONAMENTO

Uma válvula **não** deverá ser dimensionada pelo diâmetro da tubulação onde será instalada. Quase sempre a válvula corretamente dimensionada para um local é de diâmetro nominal inferior ao diâmetro nominal da tubulação, pelo que há necessidade de construir e instalar reduções na tubulação.

A inclusão de uma válvula com o diâmetro nominal da tubulação implica em válvulas de maior custo e com más características de controle, uma vez que a válvula funcionará quase sempre com uma abertura muito pequena, com um ganho instalado elevado e, portanto, trazendo uma grande incerteza nas variações de vazão.

Por outro lado, se for excessivamente reduzido o diâmetro nominal de uma válvula pode aparecer uma perda de carga indesejável (ou até incomportável no circuito hidráulico), originando um aumento de velocidade do fluido, o que poderá dar origem a fenômenos de cavitação e a ruído excessivo. A experiência mostra que uma válvula de controle **não** deverá funcionar com **abertura superior a 70 %, em média**.

O dimensionamento de uma válvula faz-se por qualquer dos métodos indicados a seguir:

O cálculo da capacidade de vazão (Cv) da válvula de controle, constitui-se numa etapa importantíssima e deve ser executada após ter sido selecionado o tipo da válvula e a sua característica de vazão.

O dimensionamento consiste em determinar o diâmetro da válvula que melhor execute o controle do processo em questão. Não deve ser pequena (subdimensionada) tal que impeça a passagem da requerida quantidade de fluxo, nem a ponto de operar quase fechada (sobre dimensionada), ocasionando desgaste prematuro das partes internas, instabilidade do controle e desnecessariamente com maior custo.

Pode-se dimensionar pelas equações padronizadas da Norma ANSI/ISA S75.01, que substituem oficialmente a antiga formulação sugerida pela FCI 62.1.

Tais fórmulas, constituem-se no procedimento mais exato e completo até hoje conhecido. Sua utilização é recomendada sempre que se desejar obter um valor o mais otimizado possível.

As devidas precauções devam ser tomadas em casos de líquidos em regime de cavitação ou em “flashing”, líquidos viscosos, gases em escoamento crítico, e no caso do uso de válvulas de alta recuperação de pressão, nas quais devido à inerente alta capacidade da válvula, possa ser instalada uma válvula de diâmetro 2 ou 3 vezes menor que o diâmetro da linha. Isso significa uma substancial correção do valor do Cv, pois haverá de se considerar as quedas de pressão adicionais na redução e expansão instalados antes e depois da válvula respectivamente.

Esta forma de dimensionar válvulas é de longe a mais indicada para o caso de projetos em que haja necessidade de dimensionar um número elevado de válvulas.

Uma vez que as válvulas são dispositivos caros, o usuário deverá confirmar que está usando o programa de dimensionamento de forma correta, por exemplo procurando dimensionar algumas válvulas que estejam em funcionamento com bom desempenho.

Deverá também consultar diversos fornecedores, pedir-lhes para efetuar o dimensionamento das mesmas válvulas e comparar os resultados. Há que ter em conta que alguns fornecedores de válvulas, com o intuito de tornarem as propostas competitivas, apresentam válvulas dimensionadas para operarem com abertura acima de 70%.

O usuário precisa de ter o cuidado de saber se os dados do processo irão evoluir no tempo, em particular no que se refere as vazões máximas, visto que é normal aumentarem com sucessivas modificações das instalações.

CAVITAÇÃO E “FLASHING”

Em adição as características anteriormente apresentadas, o desempenho de uma válvula de controle pode depender de outros fatores como a cavitação, o “*flashing*”, as incrustações, a corrosão e o ruído, cujos conceitos que segue com maior nível de detalhes.

A cavitação é um fenômeno físico que se manifesta nos líquidos em movimento rápido, onde devido ao aumento de velocidade associado a uma diminuição da seção da veia líquida, há uma grande baixa de pressão conhecida como “*vena contracta*”. Se a redução da pressão superar a pressão de vapor do líquido, poderá então ocorrer a ebulição do líquido, que poderá originar desprendimento violento de bolhas de vapor. As bolhas assim formadas, ao seguirem as linhas de corrente, progridem até a região onde a pressão volta a aumentar, e colapsam originando picos de pressão elevados, que poderão atingir pontualmente valores da ordem de 1450 PSI (102 kgf/cm²), dando origem a ondas de choque esféricas. Se estas ondas se formarem junto às paredes das válvulas, estas vão sendo erodidas e chegando até furar o corpo da válvula. Se o líquido contiver partículas em suspensão, dá-se também a projeção delas sobre as paredes da válvula, agravando ainda mais o fenômeno.

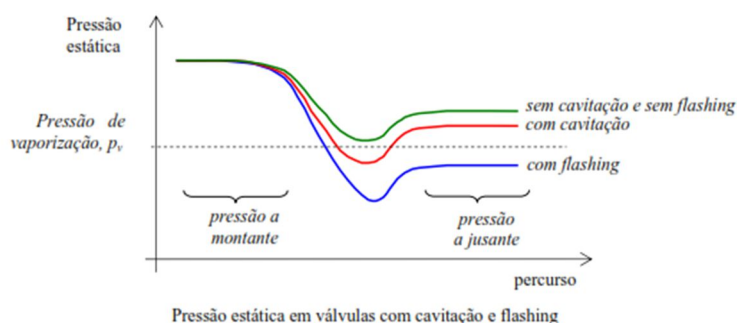
Além de danificar a superfície interna das válvulas, a cavitação dá origem a ruídos intensos e desagradáveis.

Para eliminar a cavitação, não se deve permitir que a pressão do fluido fique inferior a pressão de vapor.

A redução da cavitação pode ser feita de modos diversos, conforme segue:

- Se possível, modificar o circuito hidráulico de forma a que a válvula não seja instalada numa zona em que a pressão possa ser muito baixa.
- Colocar a jusante da válvula um orifício de restrição para criar uma perda de carga adicional, fracionando o Δp de modo a aumentar a contra pressão na válvula, reduzindo assim o seu Δp , porém mantendo o diferencial total necessário.
- Utilizar válvula com multi-estágios ou com gaiola com vários orifícios.
- Utilizar válvula angular.
- Utilizar materiais e revestimento das superfícies internas da válvula adequados ao regime de escoamento.

O “*flashing*” é um fenômeno que ocorre também devido à vaporização do líquido por efeito da baixa de pressão, diferindo da cavitação pelo fato de não haver em seguida um aumento suficiente da pressão, passando assim o líquido ao estado gasoso e nele permanecendo. A pressão final do fluido é inferior à pressão de vaporização do líquido. O “*flashing*” pode provocar vibrações da válvula e ruído, embora as suas consequências não sejam tão graves como as da cavitação. A redução do “*flashing*” faz-se usando técnicas análogas às utilizadas para a cavitação. Na figura que segue estão representadas as respectivas perdas de carga na corrente líquida no interior da válvula para os casos em que não há nem cavitação nem “*flashing*”, para o caso em que há cavitação e para o caso em que há “*flashing*”.



CORROSÃO

Designa-se por **corrosão** o ataque químico, por parte do fluido em escoamento, aos materiais constituintes de um equipamento.

Nas válvulas a corrosão ataca o corpo, o obturador e até a própria sede.

A corrosão origina um aumento da rugosidade no interior das paredes do corpo, provocando um aumento da seção interna, degradando as características do escoamento, além de reduzir o máximo limite de pressão aplicável (derating) mudando a classe de pressão para menor. Em casos extremos poderá conduzir à ruptura das paredes da válvula e consequentemente à sua inutilização.

A corrosão poderá ser atenuada de duas formas:

- Adicionando ao fluido um produto neutralizante (se tal for possível) ou
- Selecionando adequadamente os materiais do **revestimento interno** da válvula, do obturador e da sede.

Observe que a corrosão é um fenômeno químico, sendo devida ao ataque químico das paredes da válvula pelo fluido, enquanto que a cavitação é um fenômeno físico pois são ondas de choque e projeções de partículas, líquidas ou sólidas, que danificam as paredes da válvula.

Chamam-se incrustações a depósitos de minerais sobre a superfície interna da válvula, ou de outro equipamento.

Normalmente estes depósitos são de materiais calcários, sendo frequentes em válvulas de água.

As incrustações provocam uma diminuição da seção interna, redução essa que pode ser tão elevada, a ponto de impedir a passagem do fluido. Provocam ainda um aumento da rugosidade das superfícies internas.

O conjunto destes dois fatores pode conduzir a perdas de carga elevadas, com a consequente degradação das características.

As incrustações poderão ser atenuadas de diversas maneiras:

- Adicionar ao fluido um produto anti-incrustação (se tal for possível),
- Selecionar um material adequado para revestimento interno da válvula ou
- Efetuar manutenção corretiva com a frequência adequada.

RUÍDO

O ruído produzido numa válvula de controle é devido à sobreposição de vários fatores, dos quais os mais importantes são os dois últimos mencionados, a cavitação e o “flashing”, com particular importância para a cavitação.

Válvulas destinadas ao controle de vazão de gás poderão dar origem a ruído, designado por ruído aerodinâmico. Denomina-se ruído hidrodinâmico ao ruído que é introduzido pela passagem de líquido através da válvula.

Além de legalmente não ser permitido, o ruído incomoda e nos líquidos é um indicador da existência de cavitação. O ruído deve ser medido a 1 m da superfície da tubagem, a 1 m a jusante do flange de saída da válvula.

A NR 15 estipula as condições de ruído no ambiente de trabalho:

LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA RUÍDO CONTÍNUO OU INTERMITENTE

NÍVEL DE RUÍDO DB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

O método de cálculo do ruído produzido por uma válvula de controle encontra-se especificado na norma ISA 75.17 – “Control Valve Noise Measurement and Prediction”.

ATUADOR E ACESSÓRIOS

Chama-se atuador, de uma forma genérica, ao dispositivo instalado na válvula para modular a posição, abrindo e fechando, para variar a vazão.

Quanto à capacidade de desempenho de um atuador, esta pode ser analisada em função de três fatores principais:

- Fonte de suprimento (natureza do sinal e valores),
- Característica de posicionamento de segurança em caso de falha e
- Capacidade motora.

Quanto ao tipo de fonte de suprimento no local da válvula, dificilmente deixaremos de ter suprimento pneumático ou elétrico, porém é conveniente confirmar.

A grande maioria dos atuadores hoje utilizados são de natureza pneumática utilizando sinais de comando de até 100 PSI (7,0 kgf/cm²).

Quanto à característica de posicionamento de segurança em caso de falha, pode-se classificar esse aspecto da seguinte maneira:

- Sistema de segurança por falha inerente ao atuador,
- Sistema de segurança por falha não inerente ao atuador.

Alguns atuadores possuem essa característica de forma inerente, como é o caso do atuador pneumático tipo mola e diafragma. Outros necessitam a especificação desse item opcional, o que significa um custo adicional, como é o caso do atuador pneumático à pistão de dupla ação, atuador elétrico, etc.

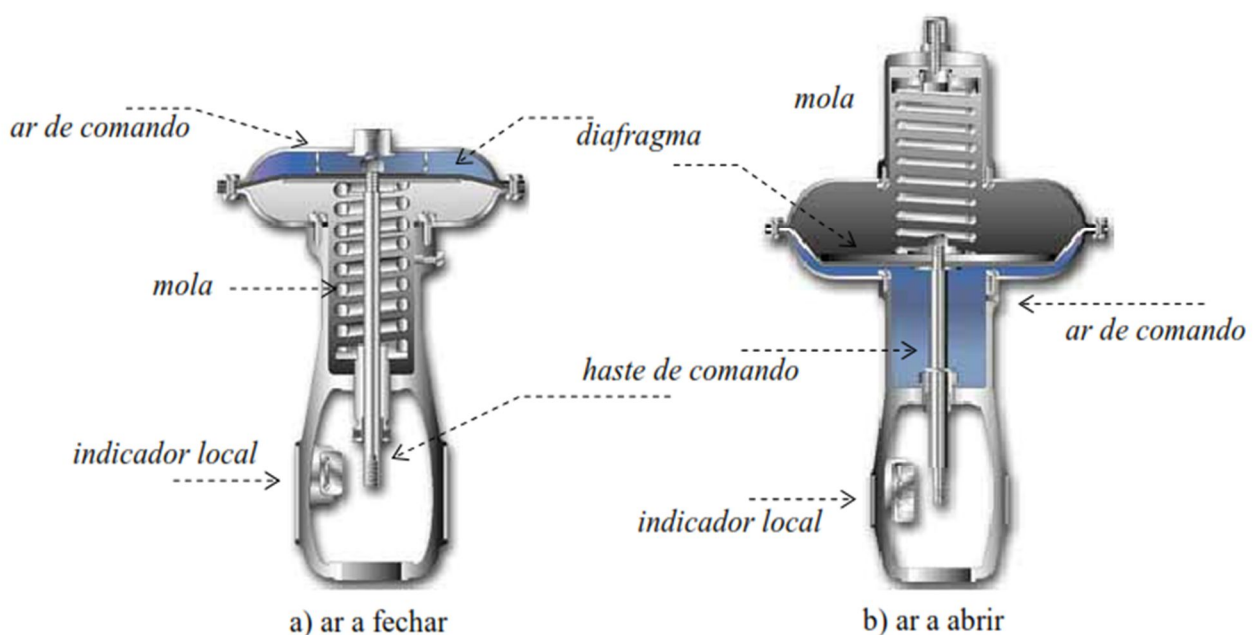
Quanto à capacidade motora, o atuador deve possuir cerca de 20% adicionais de torque ou empuxo para a específica aplicação, proporcionando funcionamento estável e confiável.

Os atuadores classificam-se, de acordo com o tipo de energia que utilizam, em pneumáticos, elétricos, hidráulicos e manuais.

Conforme o tipo de corpo de válvula, um atuador será linear ou rotativo.

Iniciando com atuadores pneumáticos, os atuadores com diafragma são muito utilizados em válvulas lineares.

O atuador posiciona a haste de comando da válvula de acordo com a pressão de ar. Seguem figuras em corte, como exemplo, dois atuadores pneumáticos de diafragma, um que necessita de ar para fechar e outro que necessita de ar para abrir.



Atuador linear pneumático de diafragma

O atuador pneumático recebe um sinal pneumático, de pressão variável de acordo com a posição que se pretende para a haste. Este sinal de comando é normalmente obtido no posicionador. A força F que o ar de comando, em contato com o diafragma, exerce sobre a haste é dada por:

$$F = pS$$

sendo p a pressão do ar e S a área do diafragma. A título de exemplo, para um diafragma com o diâmetro de 25 cm, uma pressão de ar de 6,5 kgf/cm produz uma força superior a 3000 kg. Esta força é equilibrada pela força da mola e pela reação do obturador.

Selecionar o atuador e seus acessórios constitui a etapa final do procedimento da seleção de uma válvula de controle.

Os principais tipos de atuadores utilizados em controle modulado são:

- Pneumático a diafragma, com mola e sem mola (dupla ação);
- Pistão pneumático, linear ou rotativo, com mola e sem mola (dupla ação);
- Motor elétrico;
- Eletro-hidráulico e
- Hidráulico.

Os atuadores pneumáticos de qualquer tipo, porém sem mola, não permitem posição de falha segura (aberta/fechada) no caso de falta de ar comprimido. Para assegurar condição de falha em segurança é necessário que seja empregado um reservatório com volume e pressão de ar suficiente para um único acionamento. Estes atuadores são denominados “última posição”.

Determinar qual a condição de falha segura, ou seja, qual a posição da válvula no caso de ausência de ar comprimido é de primordial importância. O processo deve ser cuidadosamente avaliado para análise da consequência de falha da válvula.

A válvula de controle pode assumir uma das três condições:

- Falha aberta (FO - FAIL OPEN),
- Falha fechada (FC – FAIL CLOSE),
- Permanece na posição que está (FL – FAIL LOCK).

O atuador pneumático tipo diafragma e mola é amplamente utilizado por permitir condição de falha segura, isto é, a válvula pode ficar totalmente aberta ou fechada com falta de ar comprimido. Opera normalmente com sinal de pressão de ar nas faixas 3–15 PSI e 6-30 PSI, podendo ser diretamente acionado pelo sinal de saída do controlador pneumático sem necessitar de posicionador. Aceita calibração para operar com sinal de comando na faixa de 0,2-1,0 kgf/cm².

A sua principal desvantagem e, portanto, fator que limita o seu uso, é não permitir sinal de comando superior a 50 PSI (3,5 kgf/cm²) devido ao limite de resistência mecânica do diafragma. Isso, por exemplo, limita a sua utilização em aplicações sob elevada queda de pressão, a menos que a válvula seja balanceada.

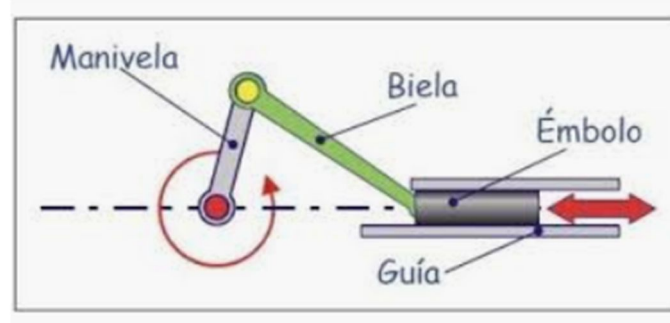
O tamanho (FORÇA) do atuador deve ser determinado considerando-se a força resultante da pressão do processo atuando sobre a área do obturador da válvula. Observar se a válvula é do tipo fluxo tendendo a abrir (FTO – flow to open) ou fechar (FTC – flow to close).

O atuador pneumático tipo pistão tem surgido com bastante força nos últimos anos, principalmente em decorrência da crescente tendência a utilização das válvulas rotativas.

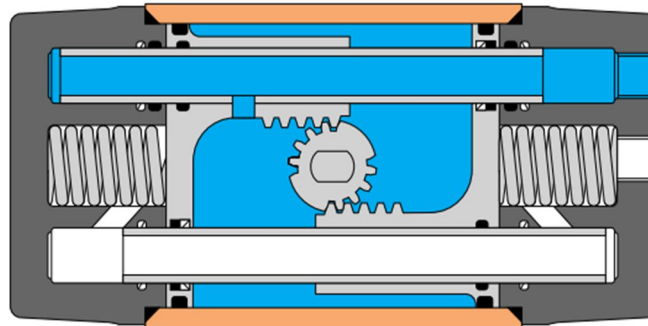
A principal vantagem do atuador a pistão, linear ou rotativo, está na sua capacidade de funcionar com sinais de

pressão de até 100 PSI (7,0 kgf/cm²).

Os atuadores a pistão linear utilizam um sistema de biela / manivela para converter movimento linear em rotativo.



Os atuadores a pistão rotativo utilizam um sistema de pinhão / cremalheira para converter movimento linear em rotativo.



São disponíveis nas versões com e sem mola de retorno, havendo assim, em caso de controle modulado, necessidade da utilização de um posicionador de simples ou dupla ação (atuador sem mola).

Atuadores tipo pinhão / cremalheira são muito utilizados em válvulas rotativas tipo borboleta, esfera e globo rotativa excêntrica.

Os atuadores elétricos não são muito utilizados em controle automático, devido a sua operação lenta e peso excessivo. Não apresenta sistema inerente de posição de segurança em caso de falha.



Atuador elétrico

Os atuadores eletro-hidráulicos apresentam características ótimas para o desempenho do controle modulado.

Devido a sua alta robustez e resistência, elevada força de atuação e compatibilidade com os sinais analógicos da instrumentação eletrônica, são indicados para serviço severo.

Em razão do elevado custo, do tamanho e da manutenção, impedem a sua utilização mais ampla.

Os atuadores hidráulicos apresentam características de utilização semelhantes aos eletros hidráulicos.



Atuador eletro hidráulico

Os atuadores pneumáticos tipo diafragma / mola nem sempre requerem o uso de posicionador para serviço em controle modulado. Por outro lado, válvulas de controle modulado acionadas por atuadores pneumáticos tipo pistão, linear ou rotativo, necessitam obrigatoriamente do uso de posicionador.

A decisão do uso do posicionador num atuador pneumático tipo diafragma / mola deve ser realizada com critério. O uso de posicionadores nesse tipo de atuador às vezes é uma necessidade para compensar a força do fluido de processo agindo sobre o obturador.

A função do posicionador é colocar a haste de comando da válvula na posição determinada pelo sinal recebido do controlador. Por meio de uma realimentação da posição da haste, o sinal com a informação sobre a abertura da válvula é levado ao posicionador.

O posicionador deve ter classificação elétrica de acordo com a classificação da área onde a válvula será instalada.



Posicionador eletropneumático 4-20 mA

INSTALAÇÃO

Remova as tampas protetoras das extremidades da válvula de controle e verifique se o interior da válvula está limpo e livre de materiais estranhos. Se necessário, limpe o interior da válvula.

Em instalações novas, deve-se proceder a limpeza da tubulação antes de instalar a válvula de controle. Carepas e outros materiais sólidos irão prejudicar o funcionamento da válvula. A superfície de vedação da sede é extremamente susceptível a danos causados por respingos de solda e restos de jateamento com areia.

Parafusos, porcas, prisioneiros e juntas devem ser adequados ao serviço da válvula de controle. As normas e códigos aplicáveis devem ser atendidos.

A válvula de controle deve ser montada observando o sentido indicado pela seta fixada no corpo. A seta indica a direção do fluxo.

Deve ser evitada a instalação em locais cuja temperatura ambiente seja superior a 60 °C. A não observância desta regra irá provocar danos aos acessórios, dentre eles o posicionador.

Sempre que possível, instale a válvula de controle numa posição tal que possibilite a remoção do atuador para eventual manutenção sem que seja necessário remove-la da tubulação.

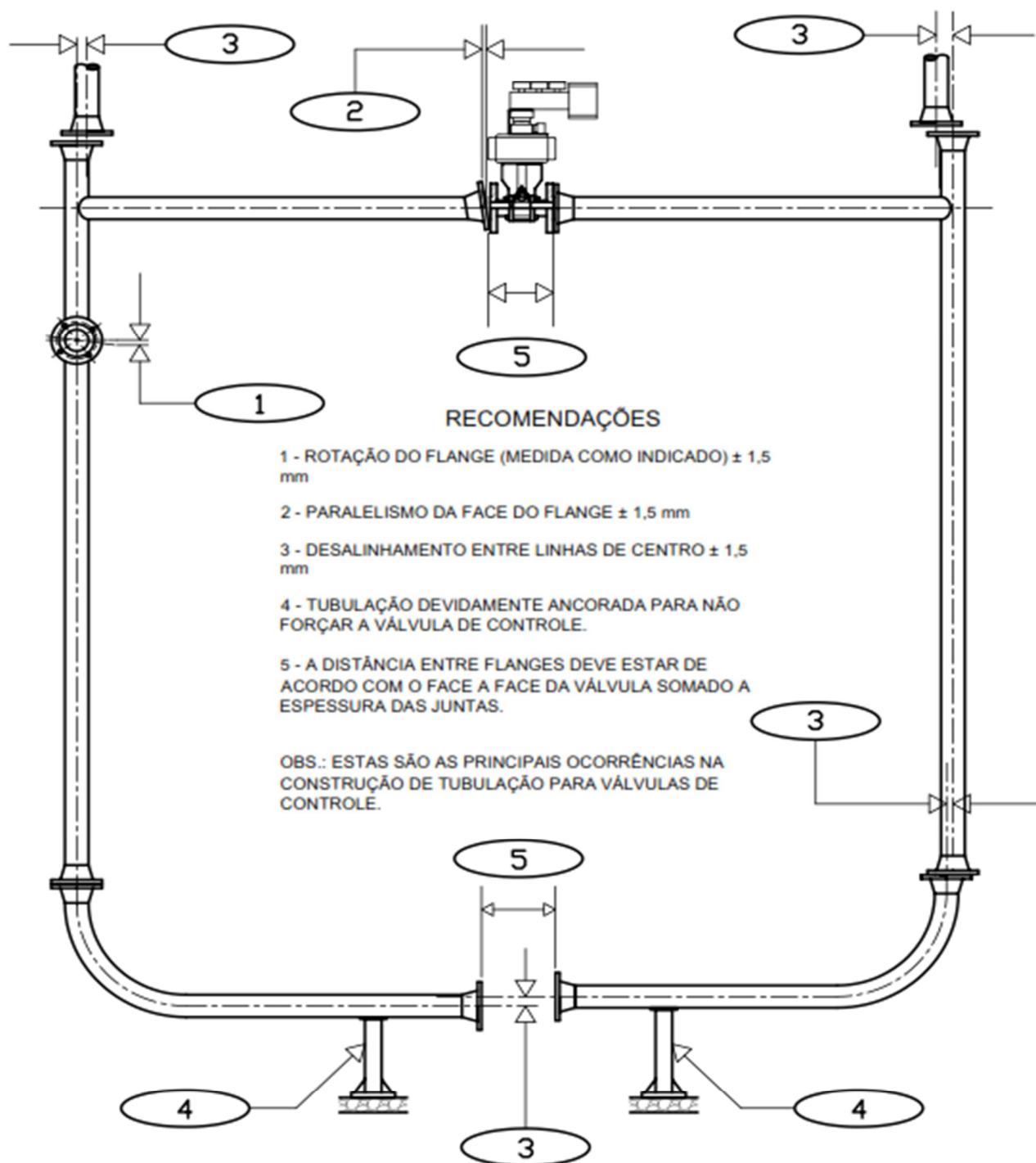
O atuador nunca deve ter contato com qualquer ponto de tubulação visto que a ocorrência de vibrações pode, não só danificá-lo bem como, provocar operação incorreta.

Verifique o local de instalação. Avalie se há espaço suficiente para alojar todo o conjunto da válvula de controle com livre acesso aos acessórios tais como posicionador, filtro-regulador, válvula solenoide, fim-de-curso, eletrodutos, “tubing”, etc. A posição de instalação pode ser qualquer uma compreendida entre a vertical e a horizontal (0-90°). Deve ser evitada a montagem com o atuador na posição 180° (atuador voltado para o piso).

Na tubulação devem ser verificados tanto o alinhamento quanto o paralelismo dos flanges, o espaço entre flanges (face-a-face) e direcionamento da tubulação. As falhas encontradas devem ser prontamente corrigidas antes de proceder a instalação da válvula de controle. Os esforços originados pelo desalinhamento “corrigido” forçadamente através da conexão da válvula introduzem deformações no corpo da válvula de controle que resultarão em desgaste prematuro das vedações e consequente perda da estanqueidade. Uma tubulação bem apoiada minimiza as tensões na válvula de controle causada por vibrações originadas em equipamentos rotativos tais como bombas, agitadores, etc.

A figura a seguir ilustra as falhas mais comuns que ocorrem na montagem da tubulação e que devem ser verificadas antes da instalação de válvula de controle.

As tolerâncias dimensionais são limites máximos aceitáveis para instalação de válvula de controles.



DADOS DO PROCESSO NECESSÁRIOS PARA DIMENSIONAMENTO

VAZÃO DE LÍQUIDOS

Vazão máxima, normal e mínima	Temperatura máxima, normal e mínima	Pressão de entrada na vazão máxima, normal e mínima	Pressão de saída na vazão máxima, normal e mínima
Densidade relativa	Viscosidade na temperatura e pressão	Pressão de vapor e crítica	Diâmetro da tubulação de entrada e de saída e schedule

VAZÃO DE GASES E VAPORES

Vazão máxima, normal e mínima	Temperatura máxima, normal e mínima	Pressão de entrada na vazão máxima, normal e mínima	Pressão de saída na vazão máxima, normal e mínima
Densidade absoluta	Peso molecular	Relação de calores específicos cp/cv	Diâmetro da tubulação de entrada e de saída e schedule

O dimensionamento da válvula de controle, em caráter preliminar, pode ser feito utilizando-se ábacos, gráficos, tabelas e equações simplificadas. Os resultados, Cv e tamanho obtidos por estes métodos servem para avaliação dos cálculos apresentados pelos fornecedores.

Cálculos mais apurados são efetuados por diferentes algoritmos.

Há fabricantes de válvulas de controle que disponibilizam, gratuitamente, programas para dimensionamento que, embora dedicados aos seus respectivos produtos, são também aplicáveis para outras linhas de válvulas de diferentes fabricantes.

O método de cálculo normalizado pela ANSI/ISA-75.01.01 (IEC 60534-2-1) Flow Equations for Sizing Control Valves é o mais empregado.

Há pacotes de software que implementam a norma e auxiliam no dimensionamento. O aplicativo “Instrucalc” é um dentre os muitos disponíveis e é bastante utilizado.