TEQ141- Sistema de Controle e Instrumentação

Introdução à Instrumentação Industrial

Profª Ninoska Bojorge

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF

Objetivos do curso

- Capacitar o aluno na identificação e seleção dos sistemas de instrumentação e controle aplicados na indústria, descrevendo os seus principais elementos no que tange aos princípios envolvidos e principais características.
- Interpretação da Terminologia e Simbologia da Instrumentação empregada na Industria Química
- Interpretar os significados da medição de:
  - Pressão, Temperatura, Nível, Vazão, etc.
- Conhecer terminologia de Controle
  - Malha Fechada Simples e Múltiplas
  - Ajuste de PID

Bibliografia

Livros Textos*:*

Apresentados ao longo do curso, alem das enunciadas na programação

ISA (Instrumentation, Systems, and Automation Society)
Sociedade **I**nternational para **A**utomação – Ajuste padrão da Automação

http://www.isarj.org.br/

Outros web links: serão fornecidos ao longo do curso

Definição de Instrumentação

De acordo com a organização norte-americana *Instrument Society of America - ISA*, um instrumento industrial é:

Todo dispositivo usado para

direta ou indiretamente

medir e/ou controlar uma variável.

Nesta definição inclui-se, segundo a ISA, elementos/sensores primários, elementos finais de controle, dispositivos computacionais, dispositivos elétricos como alarmes, chaves e botoeiras. E o termo não se aplica a partes que são componentes internos do Instrumento (norma ANSI/ISA-S5.1-1984-R-1992).

Definição de Instrumentação

- Ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

- Conjunto de técnicas para o projeto de desenvolvimento e construção de equipamentos eletrônicos.

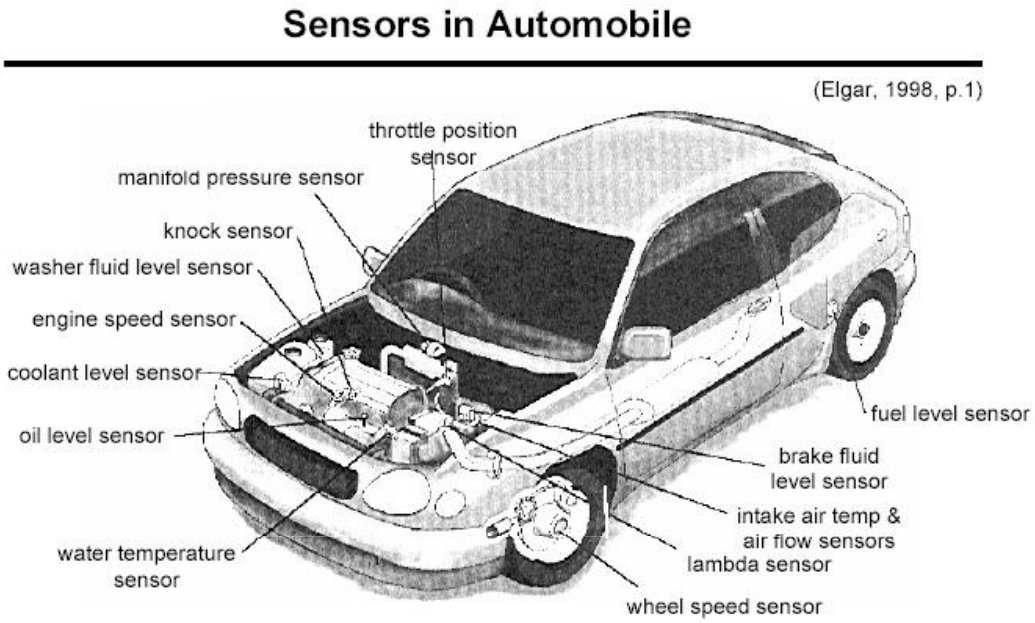
Definição de Instrumentação

- INSTRUMENTO

  Equipamento eletrônico que manipula sinais elétricos que representam grandezas físicas

- FUNÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO
  - Medição de grandezas físicas
  - Quantificação de grandezas experimentais
  - Monitoramento de variáveis de processos
  - Controle e atuação de sistemas
  - Geração de sinais

Definição de Instrumentação



Sensors in a car measure temperature, pressure, liquid level, flow, displacement, velocity, and emissions

Instrumentação nas indústrias

Indústria de óleo e gás

Indústrias farmacêuticas

Usinas de Açúcar e Álcool

Indústrias Químicas e Petroquímica

Fonte: https://www.smar.com/

Instrumentação nas industrias

Medição

As variáveis de processos que são medidas incluem:

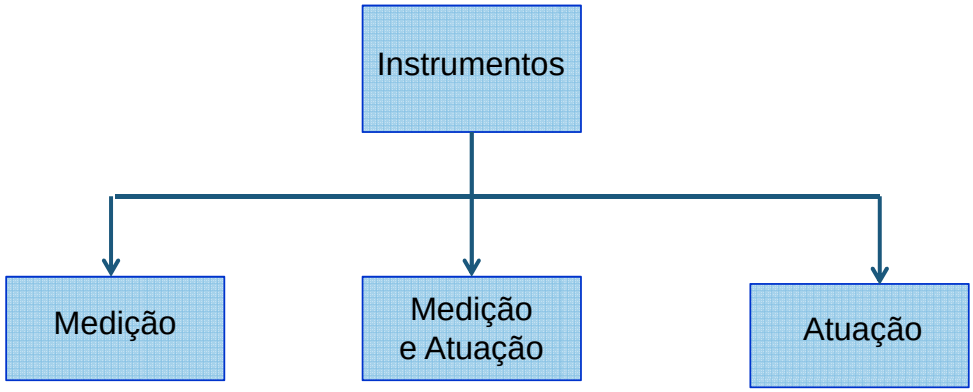
- Pressão, Temperatura, Nível, Vazão, Umidade, Velocidade, Movimento, densidade, condutividade, pH, luz, qualidade, quantidade, e muito mais.

Os dispositivos que processam ou realizam as medições são chamados:

- Sensores, transdutores, transmissores, indicadores, monitores, gravadores, coletores de dados e sistemas de aquisição de dados.

Instrumentação Industrial

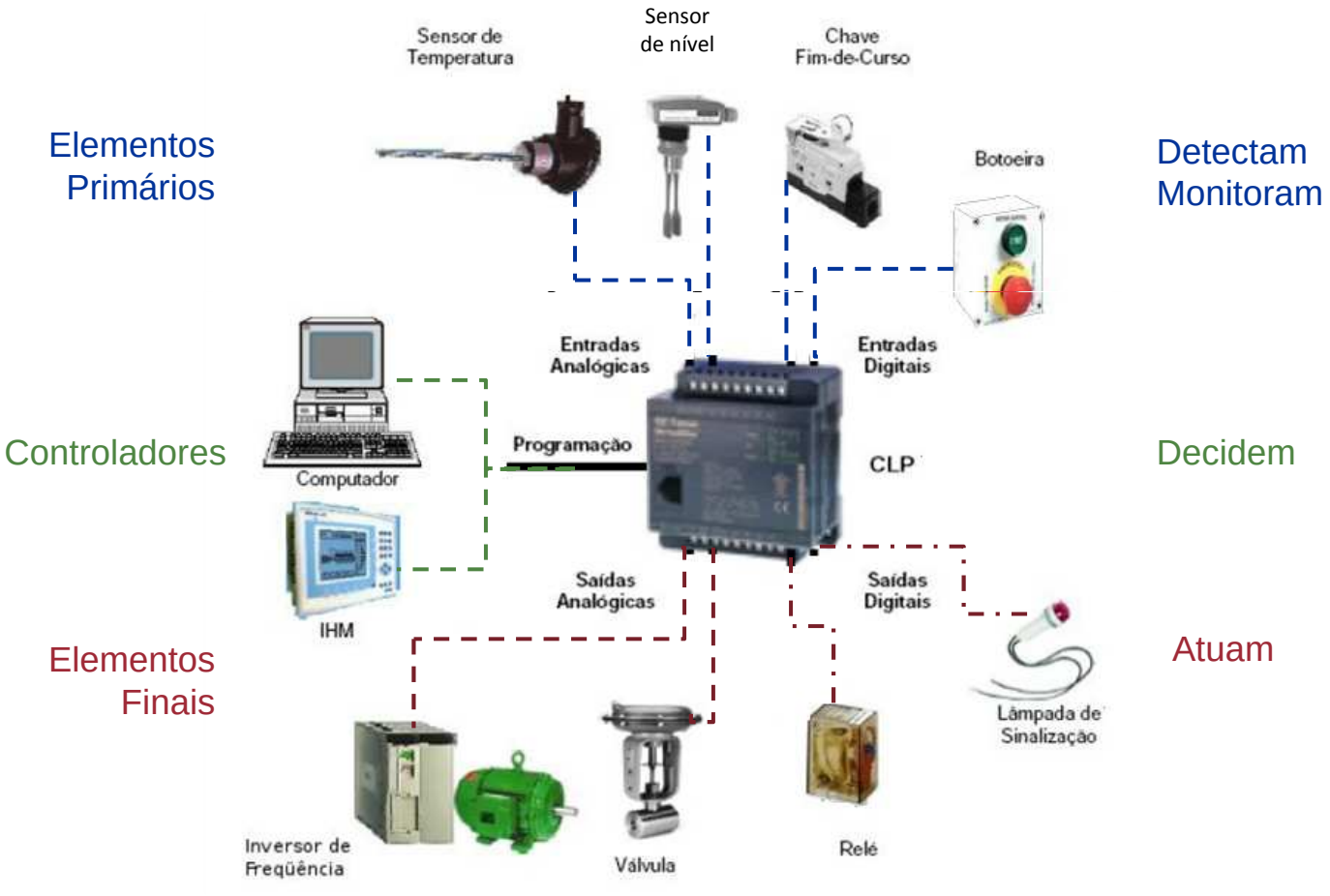
uma primeira classificação para os instrumentos é:



Termômetros
Manômetros
Velocímetros,
Medidores de vazão
Medidores de nível, etc.

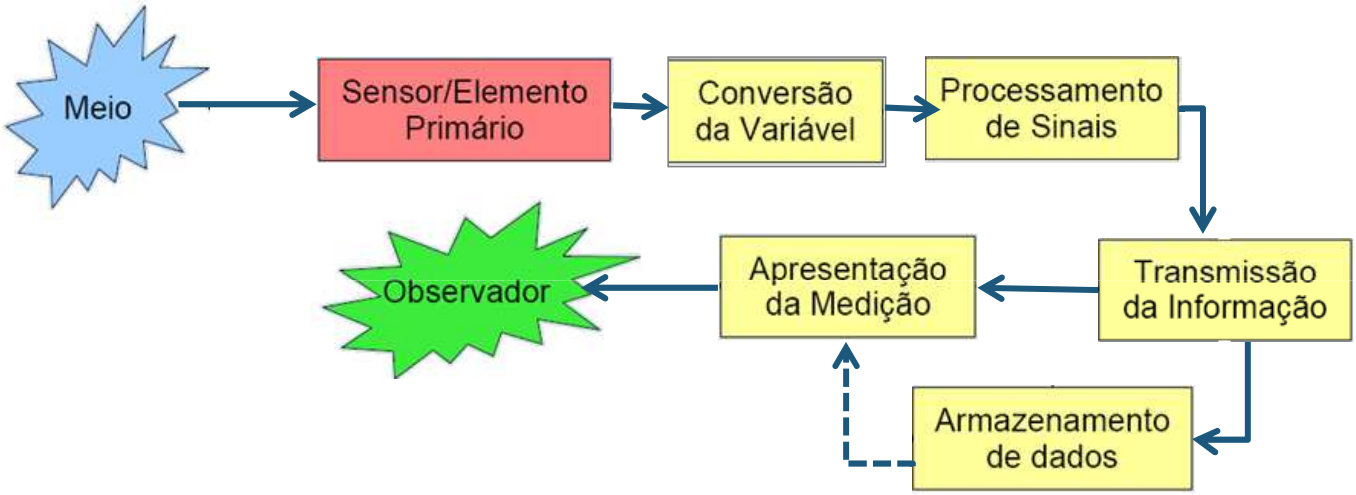
Termostatos
Pressostatos, chaves de fim de curso, etc.

Válvulas manuais e automáticas, motores de passo, inversores de frequência, motores elétricos, bombas, aquecedores, etc.



Fluxograma do Sistema de Medição

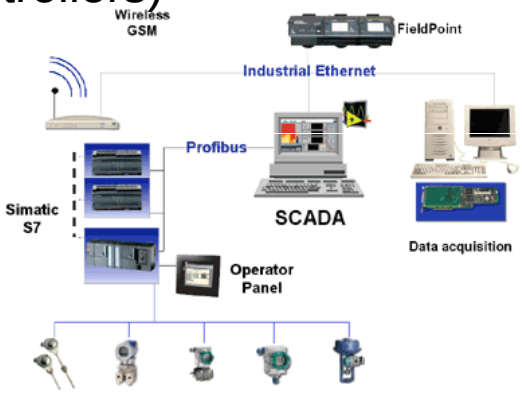
Um **Instrumento de Medição** pode ser representado com um conjunto de sub-sistemas com funções específicas. Um possível Diagrama Funcional:



Elementos Controladores

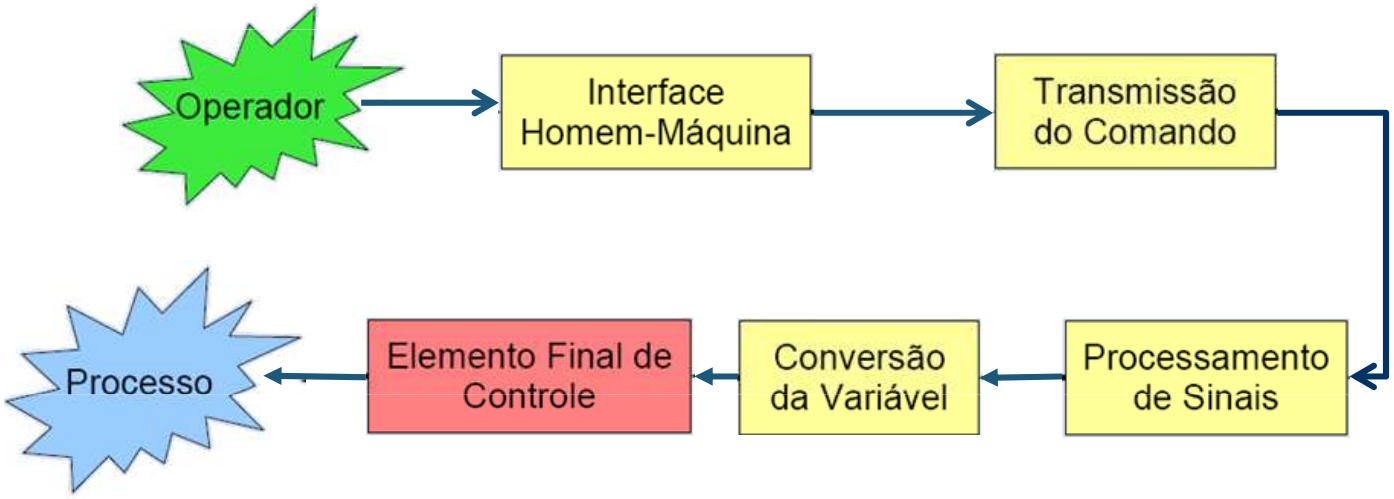
Controladores proporcionam a ação de controle necessária para posicionar o EFC em um ponto necessário para manter a PV no SP desejado.

- PID (single loop feedback controller)
- DCS (distributed controllers)
- PLC (programmable logic controllers)



Fluxograma dos Instrumentos de Atuação

Diagrama Funcional:

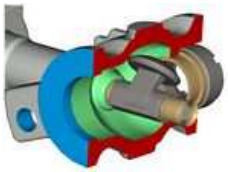


Elementos de Controle

Estes são os dispositivos que o controlador opera:

Elementos finais de controle

- válvulas pneumáticas,
- válvulas solenoides,
- válvulas rotativas,
- motores,
- switches,
- relés,
- variadores de frequência.



Classificação dos Instrumentos

INSTRUMENTOS CLASSIFICADOS POR

- Função
- Tipo de sinal
- Tipo de transmissão.

Classificação dos Instrumentos

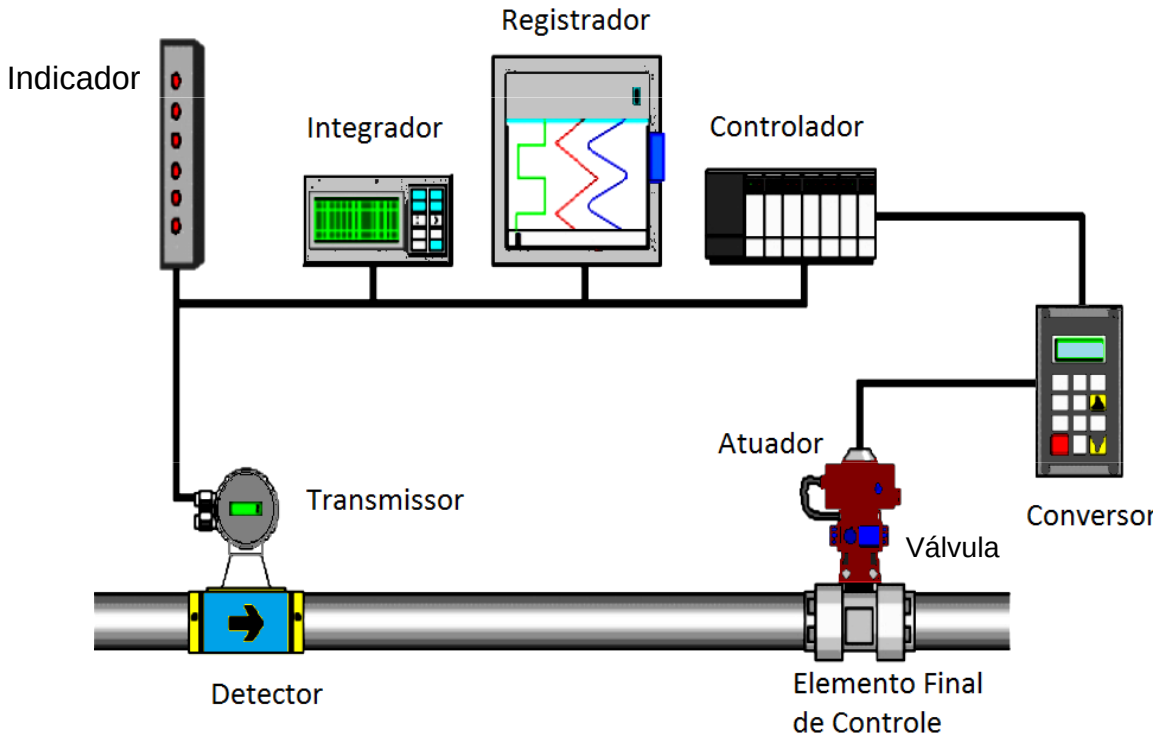
- **Função**

  Os instrumentos podem estar interligados entre si para realizar uma determinada tarefa nos processos industriais.

  A associação desses instrumentos chama-se malha e em uma malha cada instrumento executa uma função

Classificação dos Instrumentos

- **Função**



Classificação dos Instrumentos

- **Função**

INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
Detector	São dispositivos com os quais conseguimos detectar alterações na variável do processo. Pode ser ou não parte do transmissor.
Transmissor	Instrumento que tem a função de converter sinais do detector em outra forma capaz de ser enviada à distância para um instrumento receptor, normalmente localizado no painel.
Indicador	Instrumento que indica o valor da quantidade medida enviado pelo detector, transmissor, etc.
Registrador	Instrumento que registra graficamente valores instantâneos medidos ao longo do tempo, valores estes enviados pelo detector, transmissor, Controlador etc.
Conversor	Instrumento cuja função é a de receber uma informação na forma de um sinal, alterar esta forma e a emitir como um sinal de saída proporcional ao de entrada.
Unidade Aritmética	Instrumento que realiza operações nos sinais de valores de entrada de acordo com uma determinada expressão e fornece uma saída resultante da operação.
Integrador	Instrumento que indica o valor obtido pela integração de quantidades medidas sobre o tempo.
Controlador	Instrumento que compara o valor medido com o desejado e, baseado na diferença entre eles, emite sinal de correção para a variável manipulada a fim de que essa diferença seja igual a zero.
Elemento final de controle	Dispositivo cuja função é modificar o valor de uma variável que leve o processo ao valor desejado.

Classificação dos Instrumentos

- **Segundo a Utilização de Fontes de Energia:**

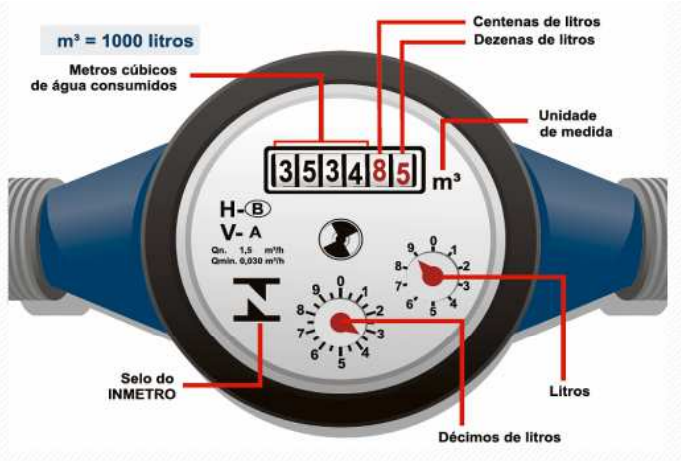
  Passivos: utilizam a energia do próprio meio, ou energia humana/animal para funcionarem.

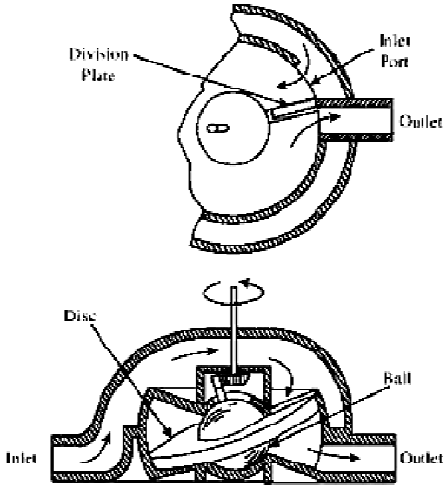
  Instrumentos de medição deste tipo devem ser adequadamente dimensionados para minimizar a interferência sobre a variável a ser medida, devido ao fato de absorverem energia do próprio meio para funcionarem. de acionamento

  - Termômetro de mercúrio;
  - Manômetro de tubo em U;
  - Régua milimétrica;
  - Válvula manual (e.g. torneira);
  - Hidrômetro doméstico.

Classificação dos Instrumentos

Hidrômetro residencial





Princípio: medidor de disco nutante.

Classificação dos Instrumentos

- **Segundo a Utilização de Fontes de Energia:**

Ativos: utilizam outra fonte de energia para o seu funcionamento.

- Instrumentos Eletrônicos usados para medir grandezas mecânicas, hidráulicas e térmicas;
  - Válvulas pneumáticas;
  - Bombas centrífugas.

Classificação dos Instrumentos

- **Tipo de Sinais produzidos ou manipulados:**

Os equipamentos podem ser agrupados conforme o tipo de sinal transmitido ou o seu suprimento

- Pneumático
- Hidráulico
- Elétrico

Classificação dos Instrumentos

- **Sinais de pneumáticos**

  sinais produzidos por alteração da pressão do ar (ou gás) num tubo de sinal proporcional à mudança medido em uma variável de processo.

  Faixa padrão da indústria comum: 3 -15 psig (0.2 a 1.0 kgf/cm^2)

  - 3 corresponde ao valor limite inferior (LRV)
  - 15 corresponde ao valor superior da faixa (URV).

Sinalização pneumático ainda é comum. No entanto, desde o advento de instrumentos eletrônicos na década de 1960, a redução dos custos envolvidos na execução de fio de sinal elétrico através de uma planta ao invés de executar os tubos de ar comprimido fez tecnologia de sinal pneumática menos

Classificação dos Instrumentos

❖ Pneumático

Vantagem:	Desvantagens:
Poder operá-los com segurança em áreas onde existe risco de explosão (centrais de gás, por exemplo).	• Necessita de tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para seu suprimento e funcionamento; • Necessita de equipamentos auxiliares para fornecer aos instrumentos ar seco, e sem partículas sólidas; • Transmissão é limitada a ~ 100m; • Vazamentos ao longo da linha de transmissão; • Não permite conexão direta aos computadores.

Classificação dos Instrumentos

- **Sinais Hidráulicos**

Similar ao tipo pneumático e com desvantagens equivalentes, o tipo hidráulico utiliza-se da variação de pressão exercida em óleos hidráulicos para transmissão de sinal.

São especialmente utilizados em aplicações onde torque elevado é necessário ou quando o processo envolve pressões elevadas.

Classificação dos Instrumentos

❖ Hidráulicos

Vantagem:	Desvantagens:
▪ Podem gerar grandes forças e assim acionar equipamentos de grande peso e dimensão; ▪ Resposta rápida.	• Precisa de tubulações de óleo para transmissão e suprimento; • Precisa de inspeção periódica do nível de óleo bem como sua troca. • Precisa de equipamentos auxiliares, tais como reservatório, filtros, bombas, etc.

Classificação dos Instrumentos

- **Sinais Analógicos/ Elétricos**

  São feitos utilizando sinais elétricos de corrente ou tensão.

  São largamente usado em todas as indústrias, onde não ocorre risco de explosão.

  Assim como na transmissão pneumática, o sinal é linearmente modulado em uma faixa padronizada representando o conjunto de valores entre o limite mínimo e máximo de uma variável de um processo qualquer.

  Padrões utilizados: sinais contínuos (4 – 20 mA ou
  1 – 5 V ou
  0 – 10 V ou
  0 – 24 V)

Classificação dos Instrumentos

❖ Elétricos

Vantagens:	Desvantagens:
▪ Permite transmissão para longas distâncias com poucas perdas; ▪ A alimentação pode ser feita pelos próprios fios que conduzem o sinal de transmissão; ▪ Necessita de poucos equipam. auxiliares; ▪ Permite fácil conexão aos computadores; ▪ Fácil instalação; ▪ Permite operações matemáticas de forma fácil	• Precisa de técnico especializado para sua instalação e manuten. ; • Exige utilização de instrumentos e cuidados especiais em instalaç. localizadas em áreas de riscos; • Exige cuidados especiais na escolha do encaminhamento de cabos ou fios de sinais; • Os cabos de sinal devem ser protegidos contra ruídos elétricos.

Classificação dos Instrumentos

- **Sinais Digitais:** correspondem aos níveis ou valores que são combinados de maneiras específicas para representar variáveis de processo e também carregam outras informações, tais como informações de diagnóstico discretos.
- A metodologia utilizada para combinar os sinais digitais é referido como protocolo.
- Os fabricantes podem usar um protocolo digital livre ou de propriedade. Protocolos abertos são aqueles que qualquer um que está desenvolvendo um dispositivo de controle pode usar. Protocolos proprietários são de propriedade de empresas específicas, e só pode ser utilizado com sua permissão.
- Protocolos digitais abertos incluem o HART (*Highway Addressable Remote Transduce*) protocolo FOUNDATION ™ Fieldbus, Profibus, DeviceNet®, e o protocolo Modbus®.

Classificação dos Instrumentos

Digital

Vantagens:	Desvantagens:
Não necessita ligação ponto a ponto por instrumento; Pode utilizar um par trançado ou fibra óptica para transmissão dos dados; Imune a ruídos externos; Permite configuração, diagnósticos de falha e ajuste em qualquer ponto da malha; e Menor custo final.	Existência de vários protocolos no mercado, o que dificulta a comunicação entre equipamentos de marcas diferentes. Caso ocorra rompimento no cabo de comunicação pode-se perder a informação e/ou controle de várias malha.

Padrões de Transmissão de Sinais

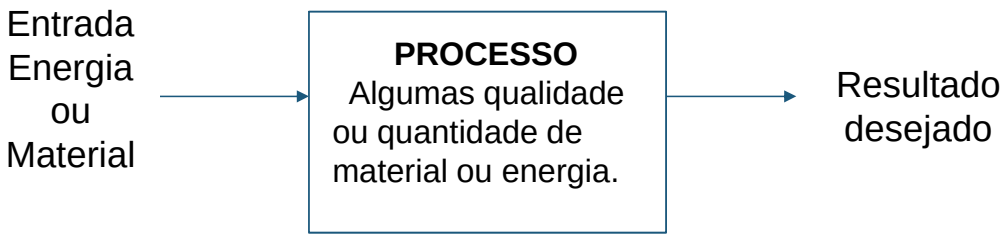
Padrões de envio de sinais de medições/comandos em Instrumentação Industrial:

- Sinais de pressão : 3 psi a 15 psi (libras por polegada quadrada);
- Sinais de corrente : 4 mA a 20 mA;
- Sinais de tensão : 1 V a 5 V.

O valor mínimo enviado diferente de zero possibilita testar se o instrumento está funcionando, mesmo que o valor da medição ou do comando seja nulo.

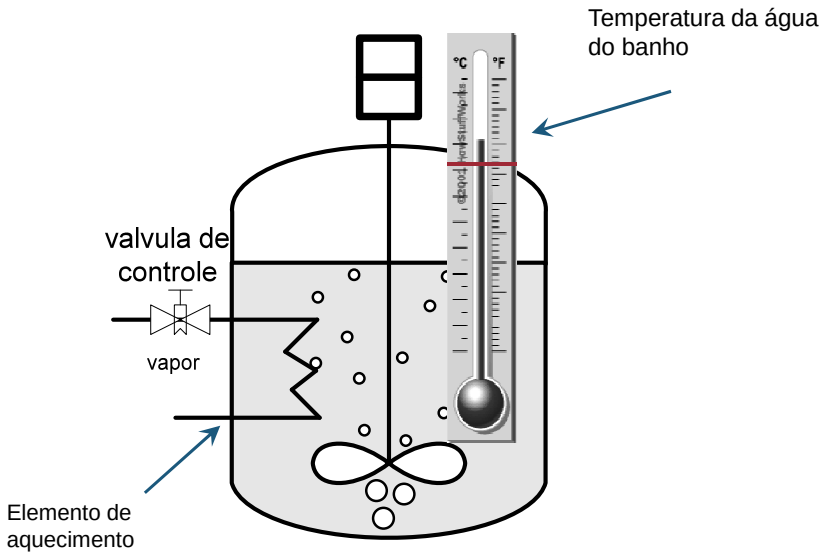
Visão de Automação de Processos

O processo é "a parte de uma operação de automação que utiliza energia mensurável por alguma qualidade, tais como pressão, temperatura, nível, vazão, (e muitas outras) para produzir mudanças na qualidade ou na quantidade de algum material ou energia".



Exemplo da Temperatura do Processo

Objetivo deste processo : manter constante a temperatura do banho de água.



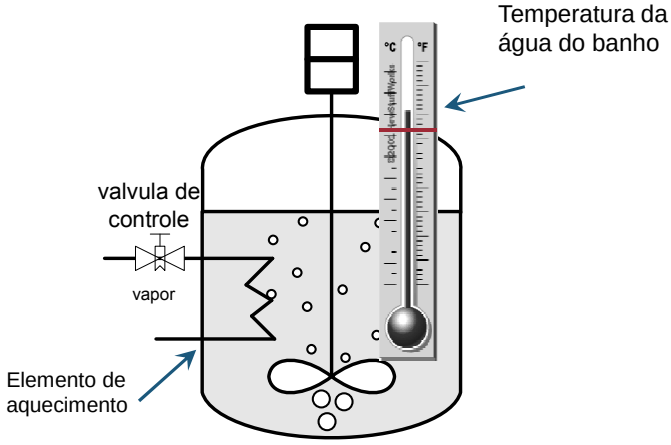
Terminologia do processo de Temperatura

Processo: temperatura do meio no reator

Meios de medição: Termômetro. (Indicador de Temperatura, TI)

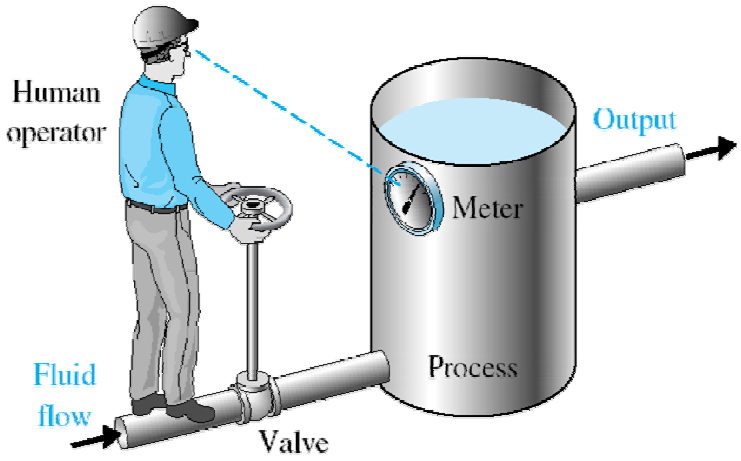
Set Point - SP : A temperatura do processo é mantido num valor desejado

Elemento Final de controle: válvula de controle, a traves da qual passa vapor (agente de controle) que é usado para variar a temperatura pela abertura e fechamento da mesma.



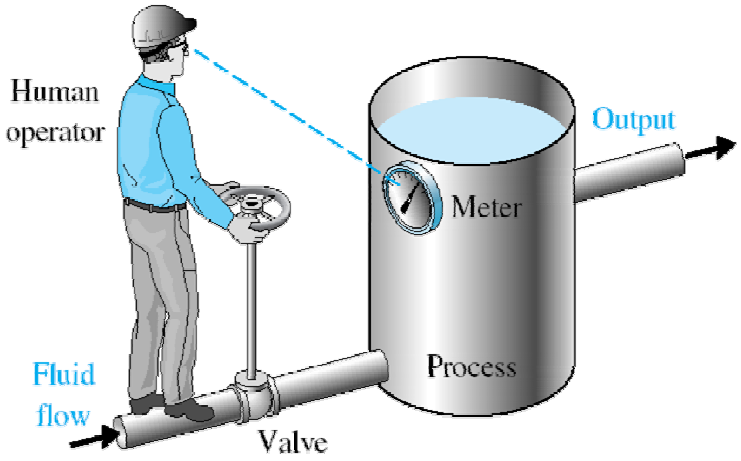
Processo do Nível

O objetivo do controle : manter um nível constante do fluido no interior do tanque (por exemplo, 100 litros ± 20 litros). A válvula manual é aberta e fechada a fim de manter o nível do tanque desejado.



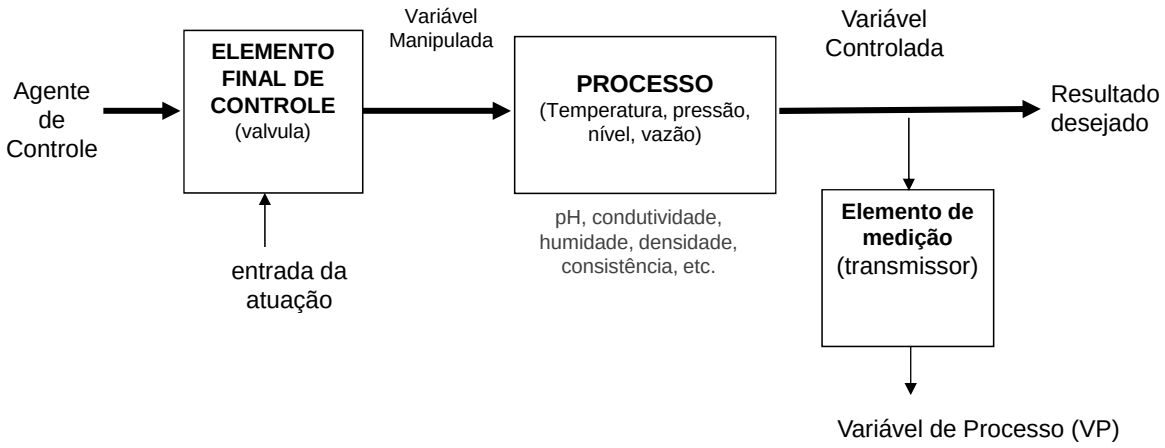
Processo do Nível... cont.

- **Processo:** Nível
- **Variável Controlada:** Pressão no fundo do reservatório
- **Ponto de Controle:** O nível do fluído no tanque (SP = 100 L)
- **Meios de Medição:** Indicador de Nível (Cabeça da Pressão)
- **Agente de Controle :** Volume do fluído estocado
- **Variável manipulada :** Taxa do fluído (gpm)



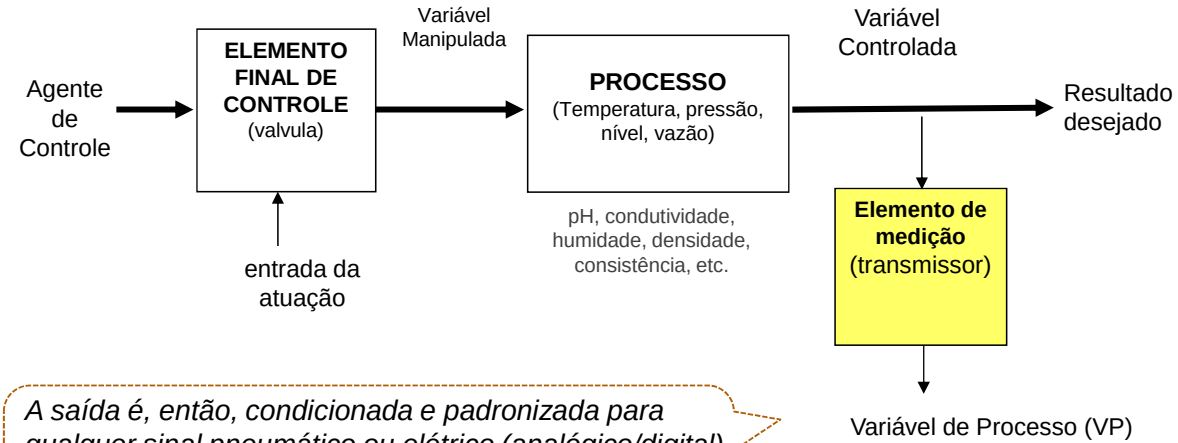
Representação Básica de um Processo

O processo é mantido no ponto desejado (SP), alterando o EFC com base no valor do PV



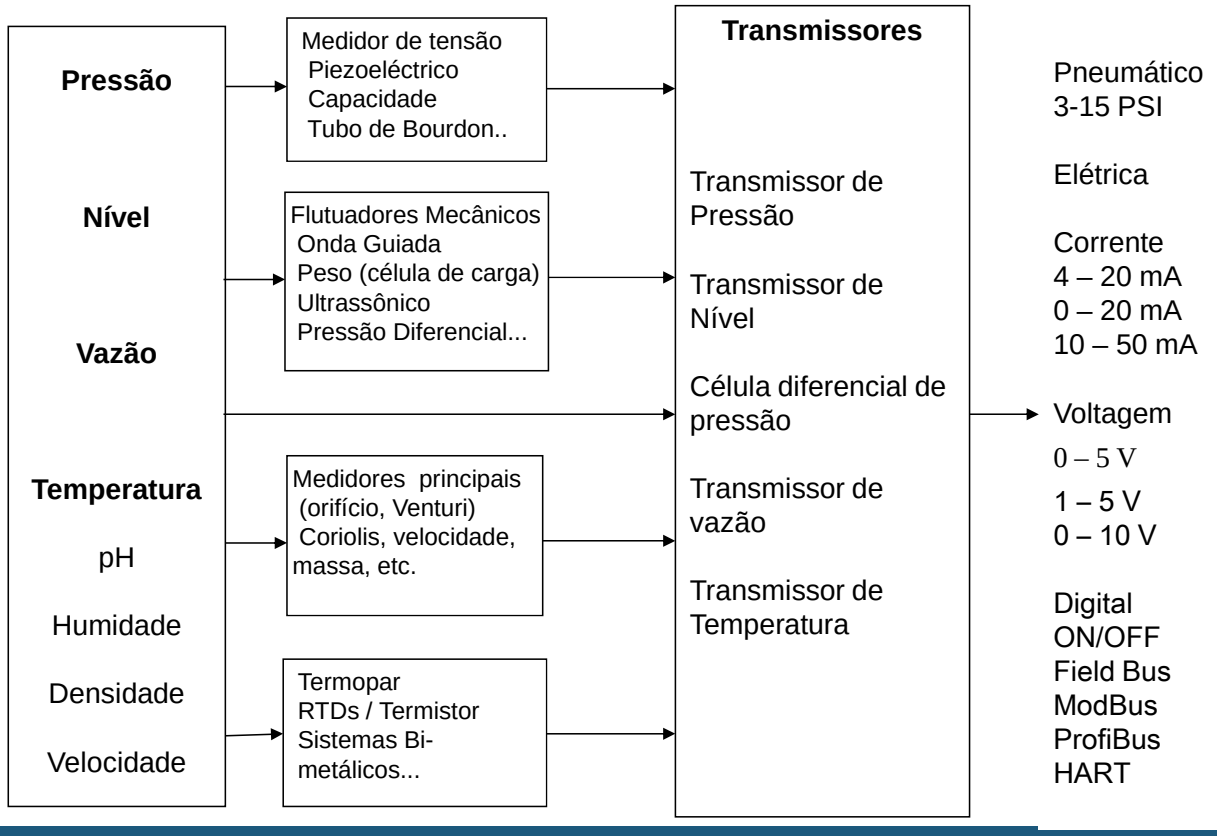
Representação Básica de um Processo

O elemento de medição fornece o sinal padronizado que representa o estado do processo, ou seja, se o processo está no ponto desejado.



A saída é, então, condicionada e padronizada para qualquer sinal pneumático ou elétrico (analógico/digital) que representa o estado do processo.

Elementos de Medição



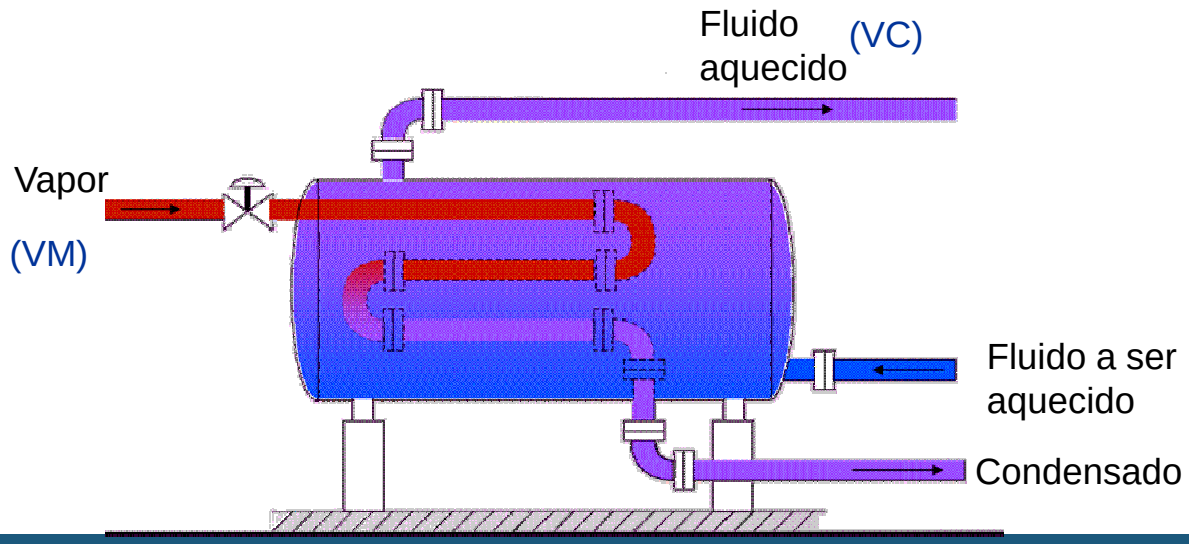
Conceito de Controle de Processos

- Em todos os processos industriais é indispensável o controle das variáveis, tais como: PRESSÃO, NÍVEL, VAZÃO, TEMPERATURA, pH, CONDUTIVIDADE, VELOCIDADE, UMIDADE, etc. Sendo assim, para que haja um perfeito controle, empregasse em alguns sistemas:
  - Sistema em malha aberta;
  - Sistema em malha fechada.

Sistema em Malha Aberta

- Informação sobre a variável controlada não é utilizada para ajustar qualquer das variáveis de entrada.

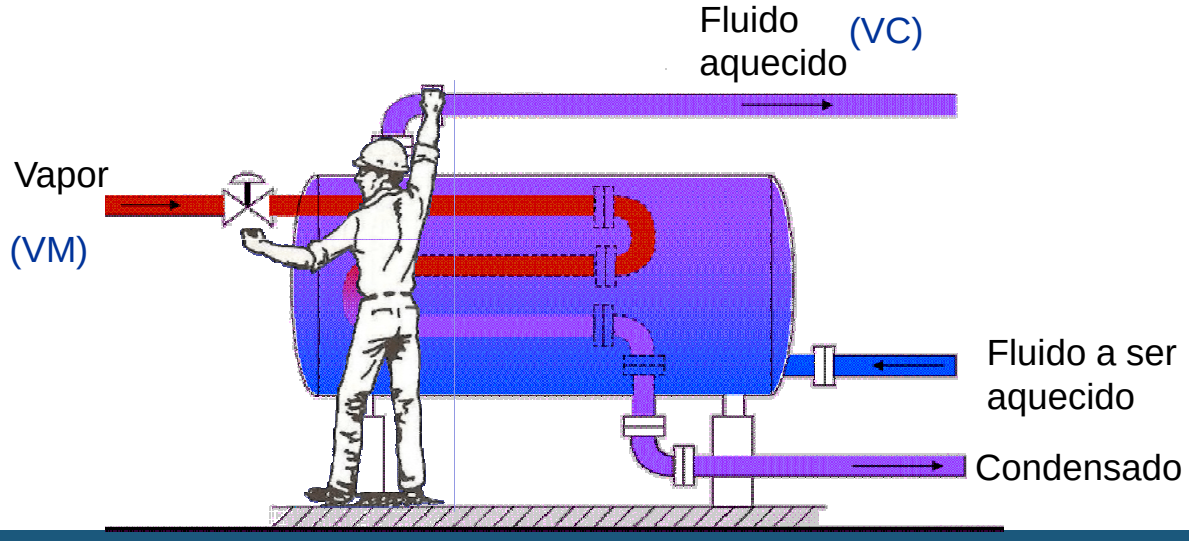
  Exemplo: Trocador de calor



Sistema em Malha Fechada

- Variáveis controladas sofrem correções a medida que as variáveis de entrada são atuadas.

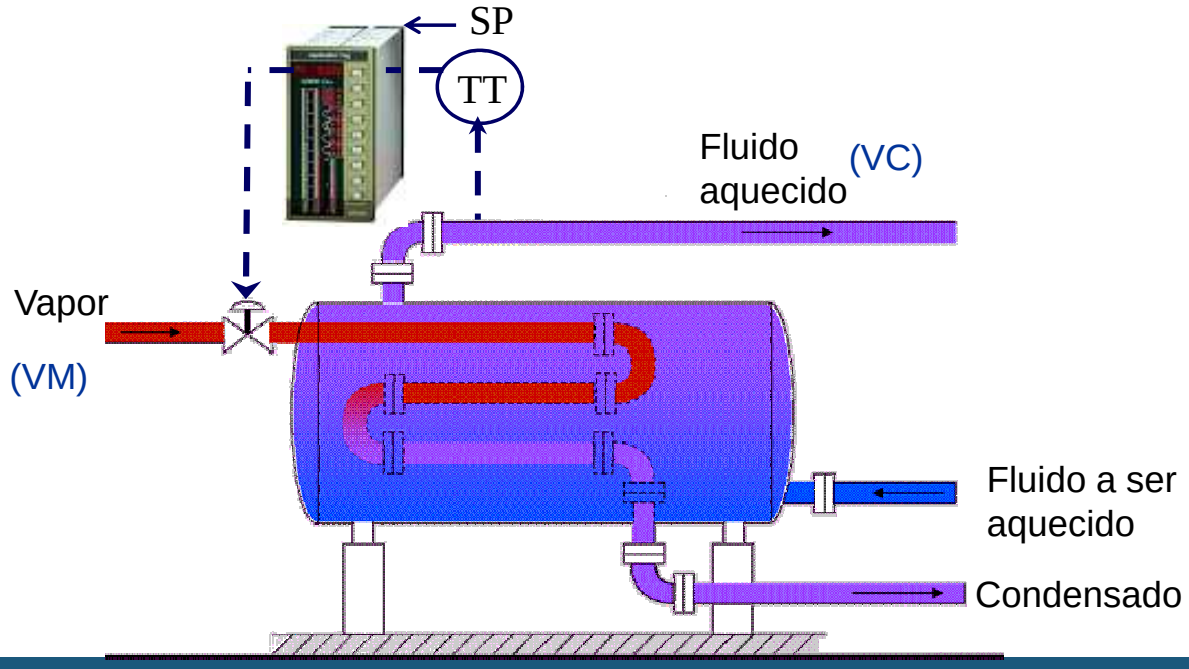
  Exemplo: Controle Manual do Trocador de calor



Sistema em Malha Fechada

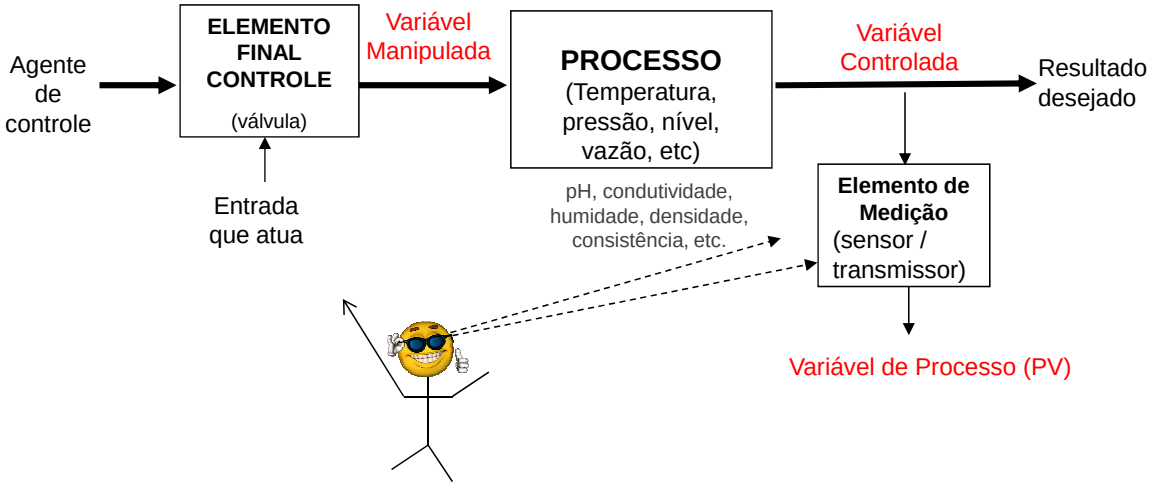
- Variáveis controladas sofrem correções a medida que as variáveis de entrada são atuadas.

Exemplo: Controle Automático do Trocador de calor



Sistema em Malha Fechada Manual (Blocos)

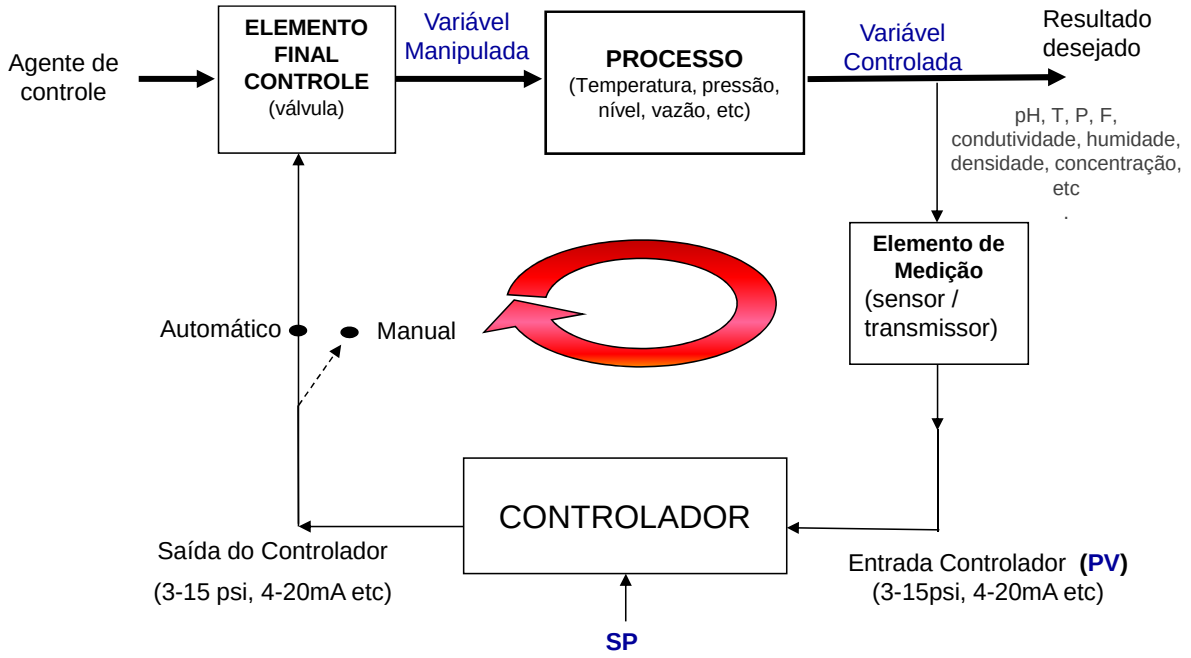
Malha aberta (ou controle manual) é usado quando ocorre uma mudança muito pequena na variável de processo (PV).



A ação corretiva é fornecido pela feedback manual

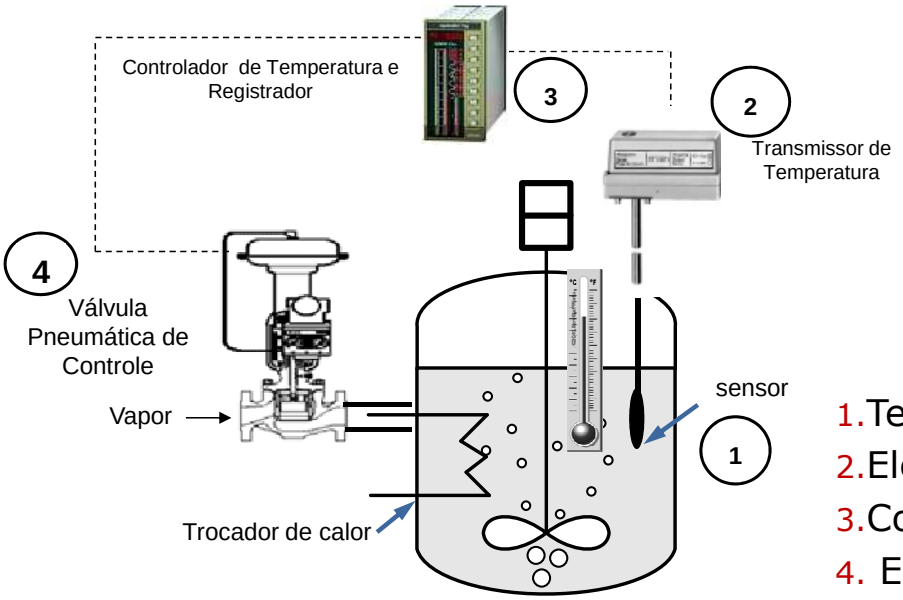
Sistema em Malha Fechada (Blocos)

Malha fechada ou de controle realimentado fornece uma ação corretiva baseada no desvio entre o PV e SP



Malha de Controle Feedback

O TT fornece o sinal (PV), que representa o estado do processo sendo controlado. Os TIC compara o PV com o SP e abre e fecha o EFC para manter o processo em equilíbrio.



1. Temperatura do processo
2. Elemento de Medição
3. Controlador
4. Elemento final de controle

Definições

- Instrumentação

  Um sistema de instrumentação para aquisição de dados e controle compreende:

  - aquisição de dados através da utilização de sensores / transdutores
  - conversão em informação útil, para o controle de um processo ou sistema, através de atuadores.

Definições

- Física e Engenharia baseiam-se em relações entre quantidades mensuráveis
- Significado só é obtido se houver estimativa do erro ou incerteza e refletir a precisão com que foi medido

  Logo as grandezas possuem:

  - Valor numérico
  - Indeterminação
  - Unidade Ex.: Temperatura de forno: (100 ± 2ºC)

Definições

- Quanto maior for a precisão requerida, mais demorado e mais caro será o processo de medida.
- A instrumentação deverá buscar o método que forneça a informação (digital ou analógica) com a precisão necessária ao processo.

Definição do Erro

- ERRO (ABSOLUTO) DE MEDIÇÃO
  É o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro.
- ERRO RELATIVO DE MEDIÇÃO
  Erro de medição dividido pelo valor verdadeiro.
- ERROS SISTEMÁTICOS
  Descrevem erros de leituras se apresentam de um lado da medida correta (sempre positivos ou sempre negativos)

Definição do Erro

- **ERROS ESTATÍSTICOS OU ALEATÓRIOS**
  São perturbações na medida que podem atuar positivamente ou negativamente sobre a medida em relação ao seu valor verdadeiro, tal que erros positivos e negativos ocorram em igual número de vezes em uma série de medidas sobre uma mesma grandeza.

Definição do Erro

PROPAGAÇÃO DE ERROS

- Na maioria das aplicações o valor da grandeza é determinada a partir da medição direta de outras grandezas. Logo, calculadas a partir de valores experimentais e de uma equação de definição

Definição do Erro

- **ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO**

  Geralmente é fornecido em função do fundo de escala (expresso em percentual)

  Ex.: Um voltímetro que possui erro de 5% de fundo de escala está sendo utilizado na escala de 1.000V para medir uma tensão de 220V.

  Qual é o erro da medida?

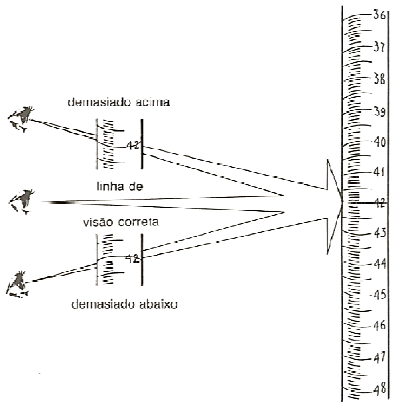
$$U = 220V \pm 0.05x\left(\frac{1000}{220}\right) = (220 \pm 23\%)\ V$$

Definição do Erro

- **ERRO EM INSTRUMENTO ANALÓGICO**

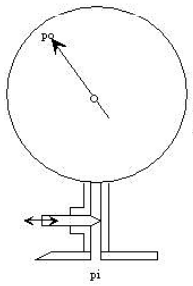
  - **Erro de Paralaxe**

    Incorreto posicionamento do usuário em relação ao equipamento.
    Quanto maior o ângulo entre a linha de visão do usuário e uma reta perpendicular à escalar, maior será o erro.



  - **Erro de Interpolação**

    Posicionamento do ponteiro de medição em relação à escala do equipamento.



Definição do Erro

- **ERRO EM INSTRUMENTO DIGITAL**
  - ✓ Paralaxe e Interpolação são eliminados.
  - ✓ A resolução desses instrumentos é a mudança de tensão que faz variar o bit menos significativo no display do medidor.
  - ✓ O erro é uma combinação de fatores.

Definição do Erro

- **Padrão**

  Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

Definição do Erro

- **Padrão de Referência**

  Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

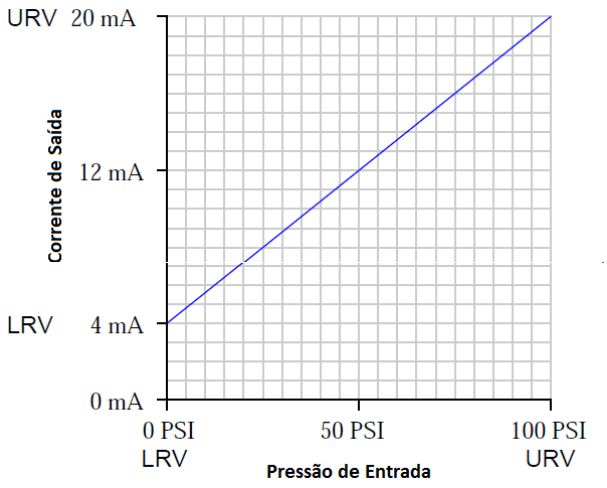
Conceitos

- **Faixa medida (Range):** conjunto de valores compreendido entre os limites máximo e mínimo nos quais a quantidade medida, recebida ou transmitida pode variar. Ex.: 20 a 160°C

- **Alcance (Span)** é a diferença algébrica, isto é a "distância numérica" entre os limites inferior e superior do range.

  Exemplo: de 0 a 100 PSI, onde o span é de 100- 0 = 100 PSI.

  O Span é igual a URL – LRL.



Conceitos

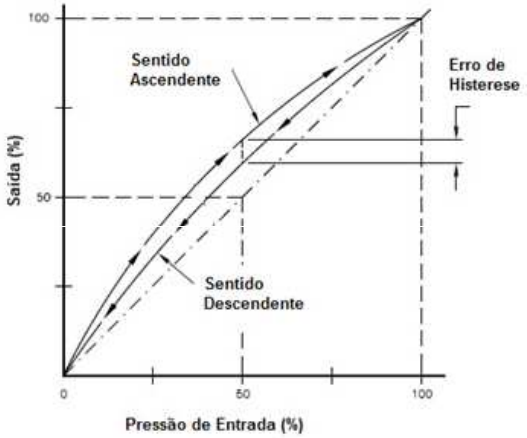
- **Repetibilidade:** é a medida da capacidade de um instrumento repetir a mesma saída (medida) para um dado valor, quando a mesma entrada precisa é aplicada várias vezes. Existem duas definições matemáticas possíveis para repetibilidade:

$$Rp = \frac{máx - \min}{fundo\ escala} * 100$$

$$Rp = \frac{maior\ desvio - média}{fundo\ escala} * 100$$

Conceitos

- **Histerese**: o efeito da histerese é notado em instrumentos que possuem comportamento diferente para entrada crescente em relação a entrada decrescente.



Conceitos

- **Sensibilidade**: indica uma medida da mudança na saída de um instrumento para uma alteração da variável medida e é conhecida como a *função de transferência*, ou seja,

  Quando a saída de um transdutor de pressão variar 3,2 mV para uma mudança na pressão de 1 psi , a sensibilidade é de 3,2 mV / psi.

  Alta sensibilidade em um instrumento é o desejado como este dá amplitudes de saída mais elevadas, mas isto pode ser ponderadas contra linearidade, o range, e a precisão.

- **Offset** ou **erro** – diferença entre o valor medido pelo instrumento e o valor real da grandeza. Ex.: +5% ou -5%.

Conceitos

- **Precisão:** é a medida da consistência do sensor e indica a sua *repetibilidade,* isto é qual a capacidade do sensor em indicar o mesmo valor, estando nas mesmas condições de operação, em um dado período de tempo.

- **Exatidão (Accuracy)**: indica o quanto o sensor é capaz de indicar um valor próximo do valor verdadeiro**.** A exatidão é indicada em termos da "*inexatidão*", por exemplo: ±2 % ou +1% ou -3 %.

  Obs.: Não há sentido em se falar de exatidão de um instrumento isoladamente. Deve-se levar em consideração o meio e as entradas (perturbações).

  Em geral, os instrumentos são especificados em termos de sua exatidão (accuracy) e não da sua precisão. A especificação informa o valor da exatidão em termos de percentagem em torno do valor exato (para mais ou para menos), isto é, informa o *desvio* que o instrumento pode proporcionar.

Terminologia

- **Exatidão** – capacidade do instrumento apresentar resultados próximos ao valor verdadeiro.
  - Percentual do valor lido;
  - Percentual do fundo de escala;
  - Percentual do span.

Exemplo

Para um sensor de temperatura com range de 50 a 250 ºC e valor medindo 100ºC, determine o intervalo provável do valor real para as seguintes condições:

✓ Exatidão 1% de Fundo de Escala

valor real= 100°C ± (0,01x250) = 100°C ± 2,5°C

✓ Exatidão 1% do Span

valor real= 100°C ± (0,01x200) = 100°C ± 2,0°C

✓ Exatidão 1% do valor lido (instantâneo)

valor real= 100°C ± (0,01x100) = 100°C ± 1,0°C

Exercicios

2) Um sensor de temperatura tem um intervalo de 0 a 120 ° C e uma exatidão absoluta de ± 3 ° C. Qual é a sua exatidão em % de fundo de escala?

Exatidão em % fundo de escala= ±(3 × 100/120)% = ± 2.5%

3) Um sensor de pressão tem uma faixa de 30-125 kPa e a exatidão absoluta é ± 2 kPa. Qual é sua exatidão de fundo de escala e de span?

Exatidão em % fundo de escala = ± 2 kPa*(100 %/125 kpa) = ±1.6%

Exatidão em % fundo do span = ± 2 kPa*(100 %/95 kpa) = ±2.1%

4) Uma balança de mola tem um span de 10 a 120 kg, a precisão absoluta é ± 3 kg. Qual é a sua exatidão de fundo de escala e de span?

Exercicios

5) Um instrumento de vazão tem uma exatidão de (a) ± 0,5 % de leitura e (b) 0,5% de fundo de escala. Se o range do instrumento é de 10 a 100 L/s, o Qual é a sua exatidão absoluta em 45 L/s?

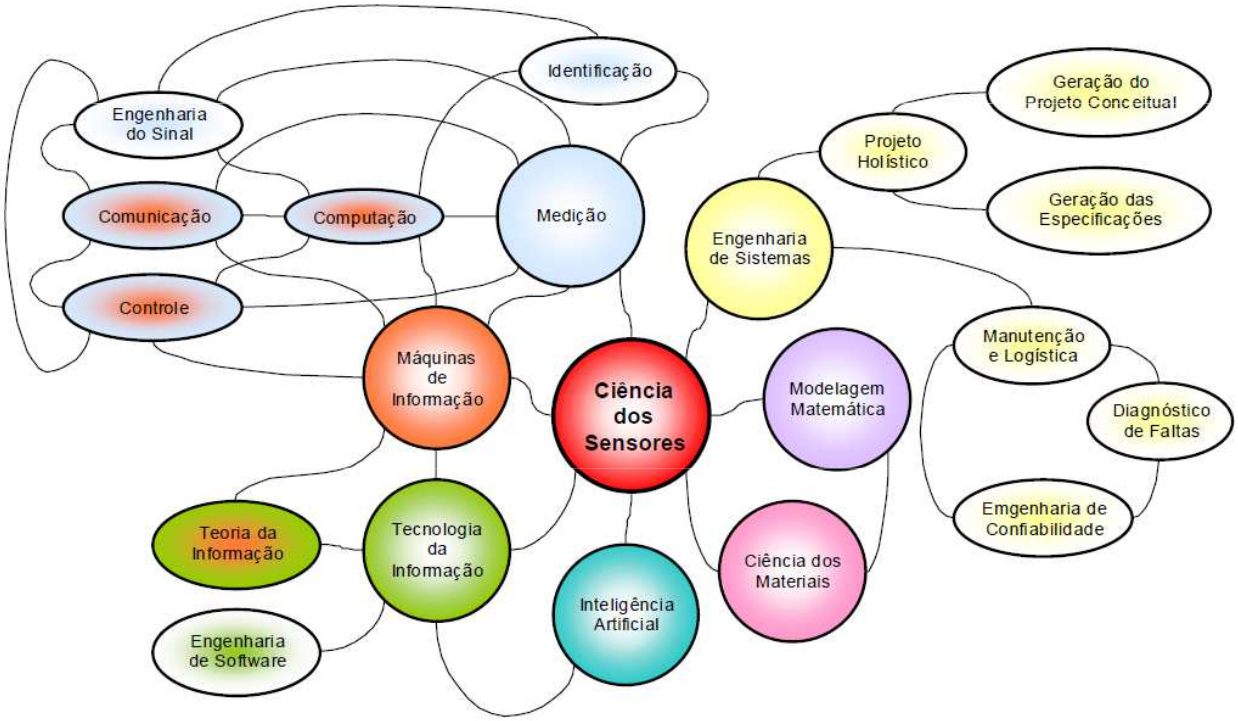
a) Exatidão absoluta = ± (45*0.5/100) L/s= ±2.5 L/s

b) Exatidão absoluta = ± (100*0.5/100) L/s= ±0.5 L/s

6) Plote um gráfico do seguinte para um leituras do sensor de pressão para determinar se há histerese, e em caso afirmativo, qual é a histerese como uma percentagem do fundo de escala?

Pressão real (kPa)	0	20	40	60	80	100	80	60	40	20	0
Manômetro (kPa)	0	15	32	49.5	69	92	87	62	44	24	3

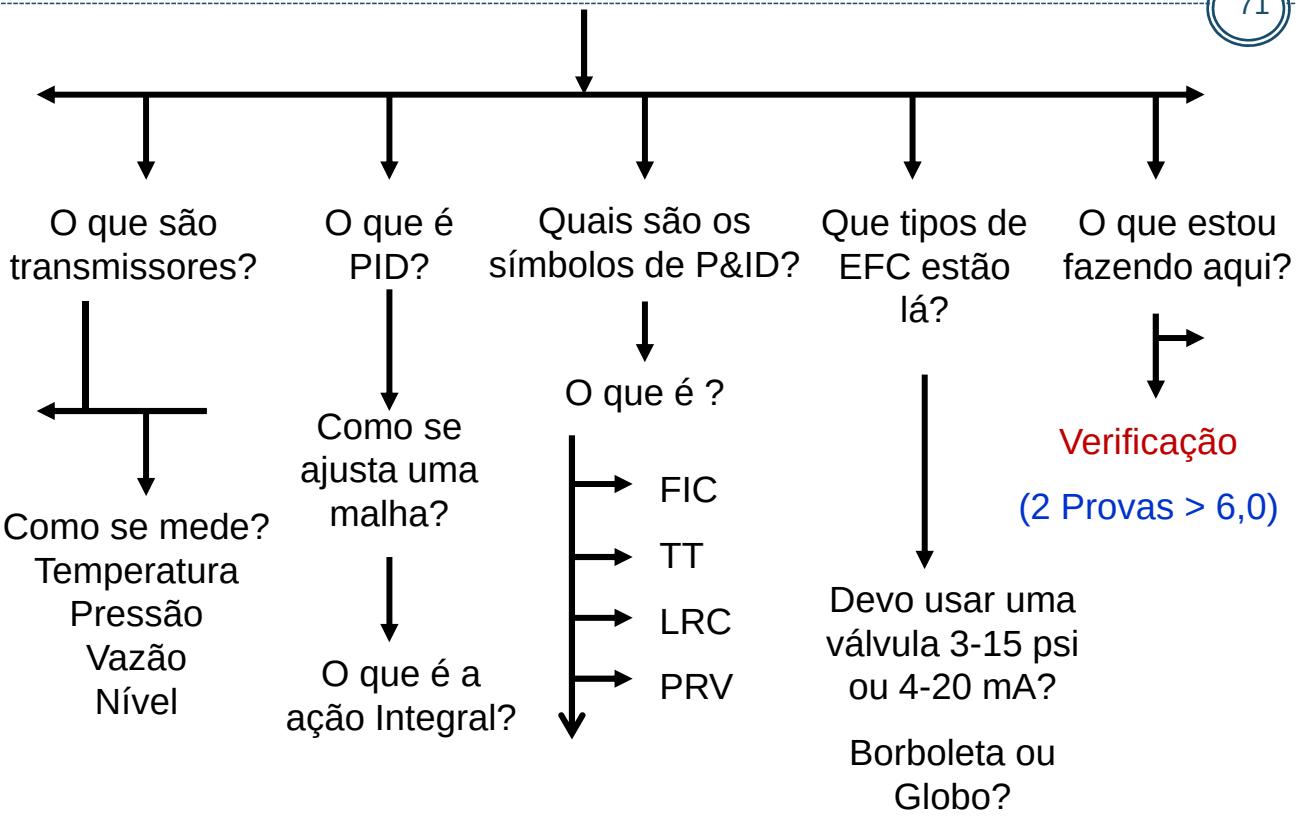
Diagrama das diversas disciplinas que compõem a Ciência dos Sensores



Em resumo

- A automação do processo faz uso de instrumentos para manter o processo em alguma condição desejada.
- Instrumentação comum usado em um malha de processo são os elementos de medição (geralmente transmissores), os controladores (normalmente um controlador PID), e do Elemento Final de Controle (geralmente algum tipo de válvula)
- Os meios de medição fornece o sinal de feedback (PV) utilizados na malha do processo. O controlador opera o EFC com base na diferença entre o PV e SP.
- O equilíbrio do processo é mantido quando a diferença entre o PV e SP é zero ou constante (offset?)

Seguinte?


O que são transmissores?
Como se mede?
Temperatura
Pressão
Vazão
Nível
O que é PID?
Como se ajusta uma malha?
O que é a ação Integral?
Quais são os símbolos de P&ID?
O que é ?
FIC
TT
LRC
PRV
Que tipos de EFC estão lá?
Devo usar uma válvula 3-15 psi ou 4-20 mA?
Borboleta ou Globo?
O que estou fazendo aqui?
Verificação
(2 Provas > 6,0)