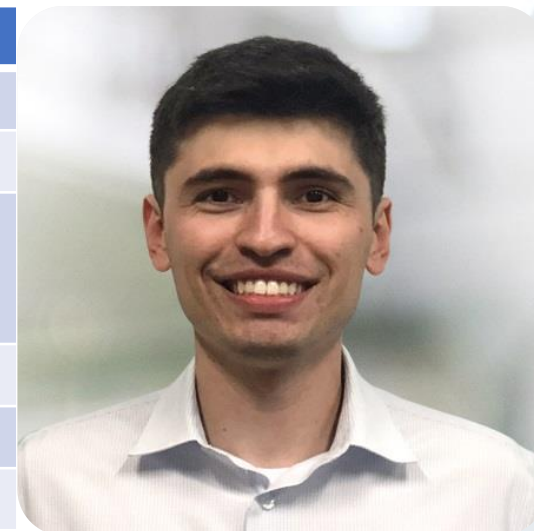


# Aplicação da Tecnologia de Dispersão Térmica na Medição de Eficiência em Fontes de Energia Renováveis

Currículo	
Nome	Fernando Silva
Função	Engenheiro de Aplicação
Formação	Bacharelado em Engenharia Elétrica (Facens) Especialização em Engenharia de Controle e Automação Industrial (Facens) [Cursando] MBA em Gestão de Projetos (USP)
Experiência	6 anos
Interesses	Instrumentação Industrial
Localização	Sorocaba/SP



# Tópicos

- Descarbonização
- Como podemos promover a descarbonização?
- O transmissor de vazão mássica termal

# Descarbonização e Eficiência Energética

As **fontes alternativas de energia** são impulsionadas pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa a fim de mitigar as mudanças climáticas.

Nesse contexto, as fontes alternativas de energia emergem como protagonistas cruciais na jornada rumo à **descarbonização** e a **eficiência energética**.

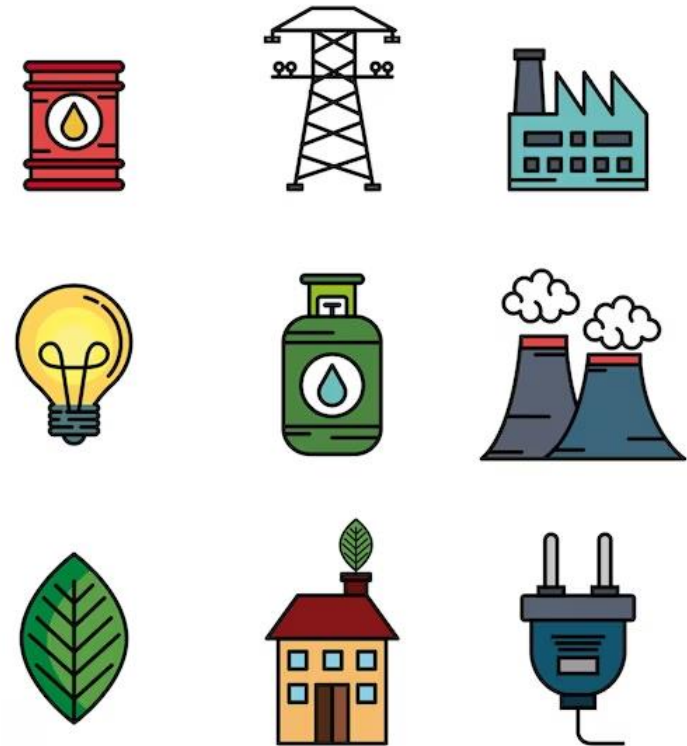
- **Descarbonização:** redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes da queima de combustíveis fósseis.
- **Eficiência Energética:** melhor aproveitamento da energia reduzindo o desperdício de recursos energéticos, como os combustíveis fósseis.



# Descarbonização e Eficiência Energética

Como podemos promover a descarbonização e a eficiência energética? Vamos observar alguns produtos industriais...

- O **gás natural**, o **gás de flare** e o **biogás** como combustível na geração de energia elétrica e em outras aplicações.
- O **ar de combustão** como comburente na geração de energia elétrica.
- A utilização do **ar de aeração** no tratamento de efluentes.
- A utilização do **ar comprimido** nas indústrias.



# Gás Natural

- Combustível fóssil composto principalmente por hidrocarbonetos leves, como metano, etano e propano.
- Principais aplicações:
  - Geração de energia elétrica
  - Cogeração (eletricidade e aquecimento)
- Papel na descarbonização:
  - Menos emissões de poluentes (dióxido de carbono, óxidos de enxofre etc.)
  - Mais eficiente, consumindo menos combustível



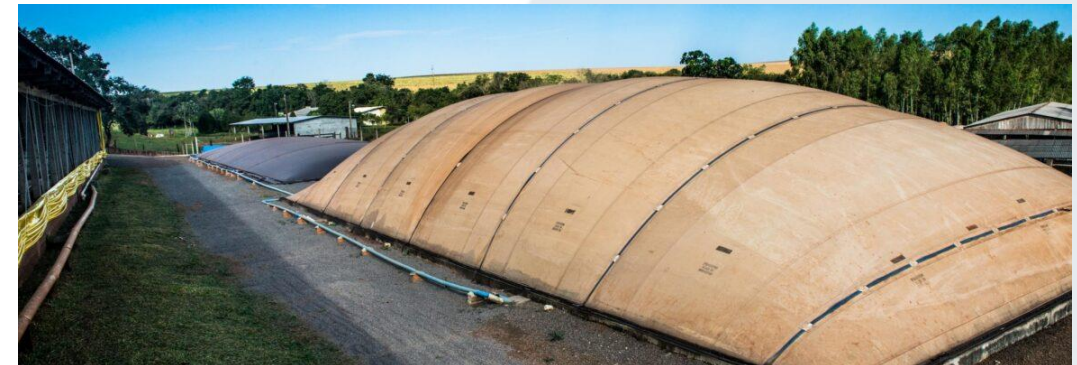
# Gás de Flare

- Gás residual da exploração e produção de óleo e gás e de processos em refinarias e petroquímicas. Mistura de hidrocarbonetos leves (metano, etano, propano e butano) e outros.
- Papel na descarbonização:
  - A queima reduz o metano (efeito estufa).
  - A utilização reduz o consumo de outros combustíveis aproveitando o potencial energético.



# Biogás

- Mistura de gases produzida a partir da decomposição anaeróbica de matéria orgânica, utilizado como fonte de energia renovável.
- Principais aplicações:
  - Geração de energia elétrica
  - Geração de calor
  - Cogeração (eletricidade e aquecimento)
  - Produção de biometano
- Papel na descarbonização:
  - Redução de emissões
  - Aproveitamento de resíduos





# Ar de Combustão

- O uso do ar de combustão adequado pode otimizar a eficiência da combustão, garantindo que o combustível seja queimado de forma mais completa e eficiente.
- Uma combustão mais eficiente resulta em menos desperdício de combustível, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia produzida.



# Ar de Aeração

- 35 milhões de pessoas vivem sem água tratada.
- 100 milhões de pessoas sem coleta de esgoto.
- Apenas 50% do esgoto recebe tratamento.
- Os processos de tratamento de efluentes podem gerar emissões de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).
- Como podemos promover a descarbonização?
  - Utilização de equipamentos mais eficientes (bombas e sistemas de aeração)
  - Captura do metano produzido durante a decomposição da matéria orgânica, evitando sua liberação para a atmosfera
  - O metano capturado pode ser usado como biogás para geração de energia



# Ar Comprimido

- No Brasil, 35% da matriz energética é consumida pela indústria.
- Melhorar a eficiência energética é um desafio que passa diretamente pelos sistemas de ar comprimido: afinal, eles são responsáveis por mais de 40% dessa conta.
- Cada 1 bar de elevação de pressão aumenta em 7% o consumo de energia.
- O aumento da pressão da rede de ar em 1 bar também aumenta a perda por vazamentos em aproximadamente 13%.
- Vazamentos podem ser responsáveis por 20 a 30% da geração de ar comprimido.
- A eliminação de um pequeno vazamento de ¼" pode resultar em economia de custos de até US\$ 4.000 em um ano.



# Como medir?

Vimos a importância da medição de cada um desses produtos industriais.

No entanto, como podemos monitorá-los e controlá-los?



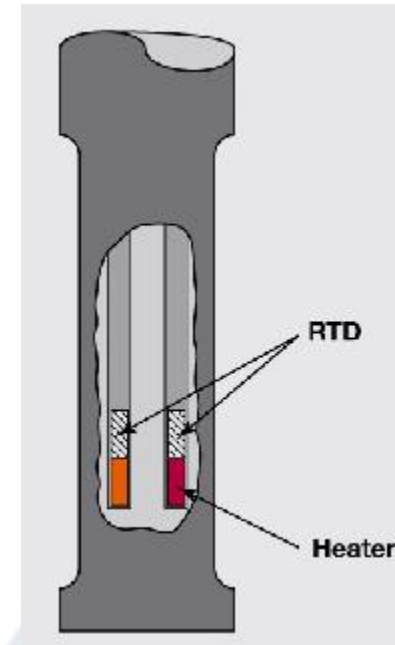
# Transmissor de Vazão Mássica Termal



Actual Gas Calibration	
0	Special ①
1	Air
2	Nitrogen
3	Hydrogen
4	Natural Gas
6	Digester Gas ②
7	Propane
8	Oxygen
Air Equivalency / Correlation	
5	Gas Correlation ①
9	Air Equivalency

# Princípio de Funcionamento

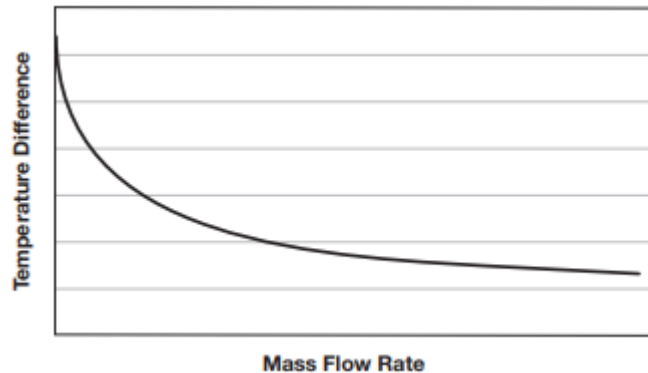
- Dispersão Térmica
- $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ 
  - $Q$  = quantidade de calor
  - $m$  = massa
  - $c$  = calor específico
  - $\Delta T$  = diferença de temperatura
- A taxa de transferência de calor é diretamente proporcional à vazão mássica que passa através do RTD aquecido. A relação entre a quantidade de calor e a vazão mássica é estabelecida durante a calibração.



# Potência Constante vs. Temperatura Constante

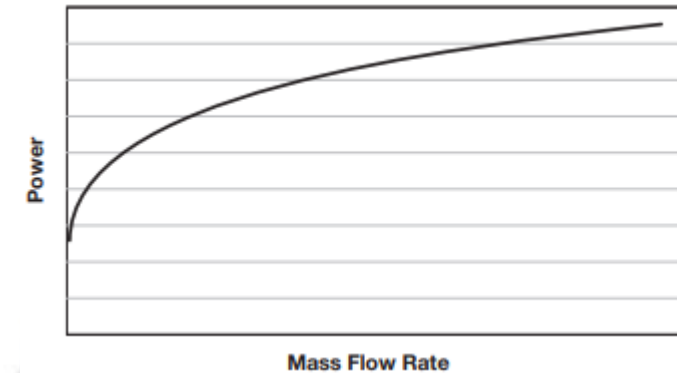
- Potência Constante:

- A tensão aplicada no RTD aquecido é constante.
- Tempo de resposta em baixa vazão é rápido.
- Tempo de resposta em alta vazão é lento.



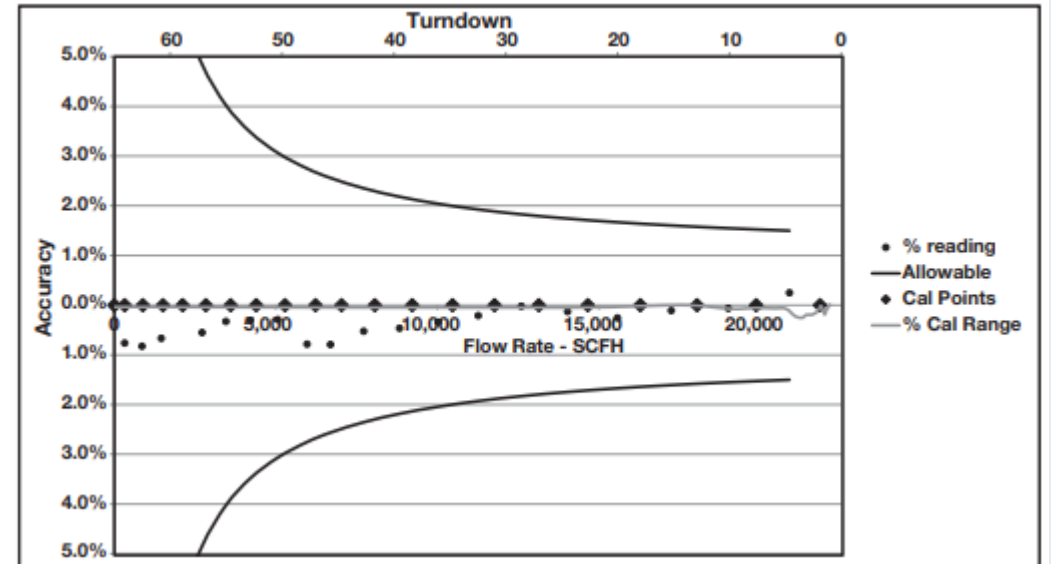
- Temperatura Constante:

- A diferença de temperatura entre os RTDs é constante.
- Tempo de resposta em baixa vazão é rápido.
- Tempo de resposta em alta vazão é rápido.



# Características

- Performance:
  - Faixa de operação (Velocidade): 0,05 a 275 Nm/s
  - Erro (Vazão mássica): 1% da leitura + 0,5% do fundo de escala
  - Erro (Temperatura): 1 °C
  - Repetibilidade: 0,5%
  - Rangeabilidade: 100:1
  - Tempo de Resposta: 1 a 3 s





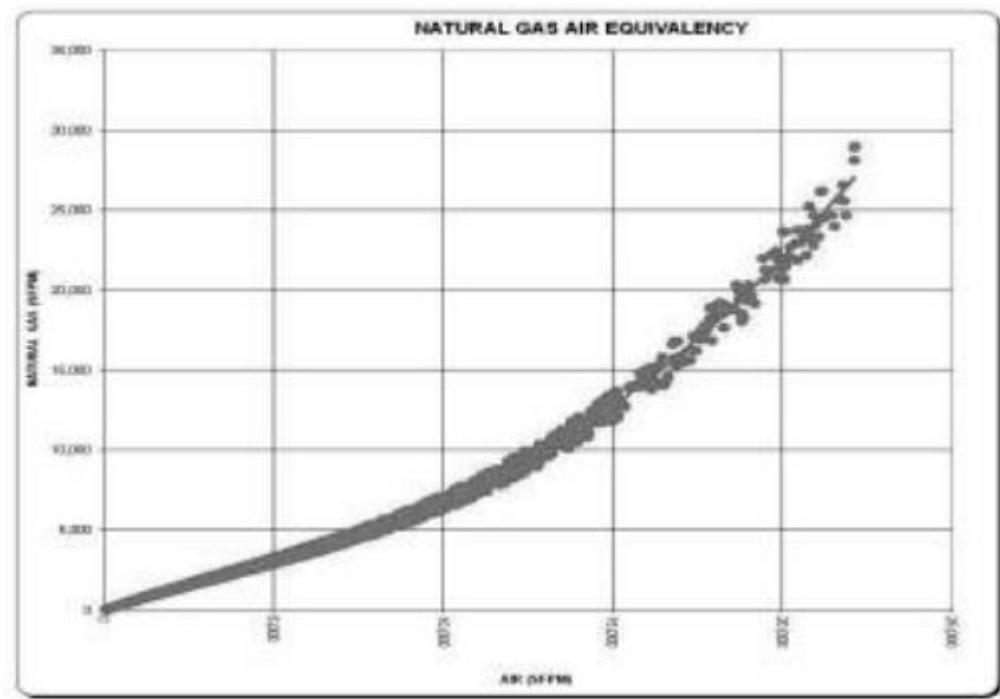
# Vantagens do Produto

- Aceita todas as tensões de entrada VDC ou VAC
- Segunda saída mA para saída de temperatura ou segunda faixa de fluxo opcional
- Saída de pulso opcional
- Eletrônica integral ou remota
- Invólucro giratório para permitir a visualização do visor de qualquer posição
- Pré-calibrado e configurado para a aplicação do usuário. Pronto para instalar.
- totalização de fluxo
- Sondas de aço inoxidável e Hastelloy com ampla seleção de conexões de processo
- Todas as caixas à prova de explosão com aprovação FM, FMC, ATEX e IEC para áreas perigosas
- Sondas de inserção e projetos de corpo de fluxo
- Capacidade de substituir sondas/placas de circuito em campo
- PACTware™ para configuração, diagnóstico e tendências
- SIL 1 com valor SFF de 88%
- Calibração rastreável NIST e ISO 17025
- Montagem de torneira quente opcional
- HART®, comunicação AMS, FOUNDATION fieldbus
- Teclado de 4 botões para entrada de dados
- Duas calibrações de gás disponíveis
- Recurso de comutação automática para redução extrema



# Calibração

- Calibração rastreável NIST e ISO 17025
- Calibração de 10 a 30 pontos (melhor precisão)



5300 Belmont Road  
Downers Grove, Illinois 60515-4499  
Phone: 630-969-4300  
Fax: 630-969-9489  
[info@magnetrol.com](mailto:info@magnetrol.com)

## CALIBRATION CERTIFICATE

Model TA2 Thermal Dispersion Mass Flow Transmitter

Customer	Outotec Tecnologia Brasil Ltda.
Reference	M-686904
Model	TA2-A1B0-130
Probe	TER-A11A-030
Date	November 1, 2011
Serial Number	686904-01-008

Calibration Type	
Gas Type	Air

Advanced Configuration	
STP Conditions	
Temperature	70.0 F
Pressure	1 atm

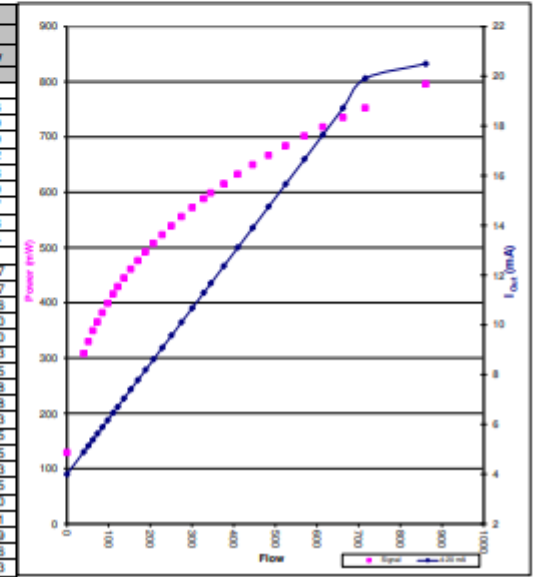
I/O Configuration		
Controlled by...	4mA	20mA
NCMhr	0.00	720.00

Factory Configuration					
Probe Parameters		Control Parameters		Gas Parameters	
T <sub>g</sub>	46097064	Set Pt.	14	Density kg/m <sup>3</sup>	1.190060
F <sub>g</sub>	37370	Lo Cal	25.002000	TCC-A	0.962170
ZFS	128.880	Hi Cal	18.576000	TCC-B	1.637100
U-L	4573.154			TCC-C	-1.190600
L-L	226.631			Gas Coeff Ag	0.000000E+00
				Gas Coeff Bg	1.000000E+00
				Gas Coeff Cg	0.000000E+00
				Gas Coeff Dg	0.000000E+00
				Gas Coeff Eg	0.000000E+00

Factory Configuration values are entered using password '123'

System Configuration		
	Units	Value
Volumetric Flow	NCMhr	
Mass Flow	kg/hr	
Temperature	F	
Density	kg/m <sup>3</sup>	
Line Size	4" Sch 40	
Area	0.0884	sq ft

Instrument Setup				
Data Pt.	Customer Calibration Data		Table A Values	
	Units	4-20 mA output	Signal mV	Velocity SFFM
1	0.00	4.00	128.88	0.00
2	40.20	4.89	308.09	221.46
3	51.34	5.14	329.85	280.79
4	62.12	5.38	349.49	345.19
5	73.21	5.63	385.35	412.42
6	85.00	5.89	381.83	484.73
7	97.72	6.17	398.86	563.50
8	111.21	6.47	416.03	647.77
9	121.65	6.70	428.93	713.38
10	136.86	7.04	444.93	809.34
11	153.11	7.40	460.92	912.41
12	170.35	7.78	478.39	1022.17
13	188.79	8.20	492.05	1139.97
14	207.85	8.61	507.46	1260.76
15	229.52	9.08	522.93	1394.70
16	250.96	9.58	539.15	1538.90
17	274.39	10.11	555.72	1693.73
18	300.67	10.68	571.99	1859.35
19	328.18	11.29	588.21	2036.98
20	345.25	11.67	598.77	2147.28
21	376.43	12.37	615.48	2348.83
22	410.09	13.11	632.66	2588.65
23	445.69	13.90	649.74	2797.15
24	484.06	14.76	666.87	3045.73
25	524.97	15.67	684.09	3310.85
26	569.62	16.66	701.72	3600.40
27	614.07	17.65	718.13	3888.71
28	662.64	18.73	735.29	4203.79
29	716.05	19.91	752.67	4550.36
30	861.13	20.50	795.79	5402.13



# Auto Switching

- Permite a comutação automática (*auto switching*) entre uma Tabela A de baixa vazão e uma Tabela B de alta vazão.
- É necessário ter uma calibração dupla e diferenças distintas de vazão entre as tabelas.

Exemplo:

- Aplicação: Medição de gás de flare
- Composição do gás: 25% butano e 75% buteno
- Vazão de operação normal: 34 kg/h
- Vazão de emergência: 28.100 a 29.200 kg/h
- Calibração:
  - Tabela A: 0 (4 mA) a 150 (20 mA) kg/h
  - Tabela B: 151 (4 mA) a 30.000 (20 mA) kg/h



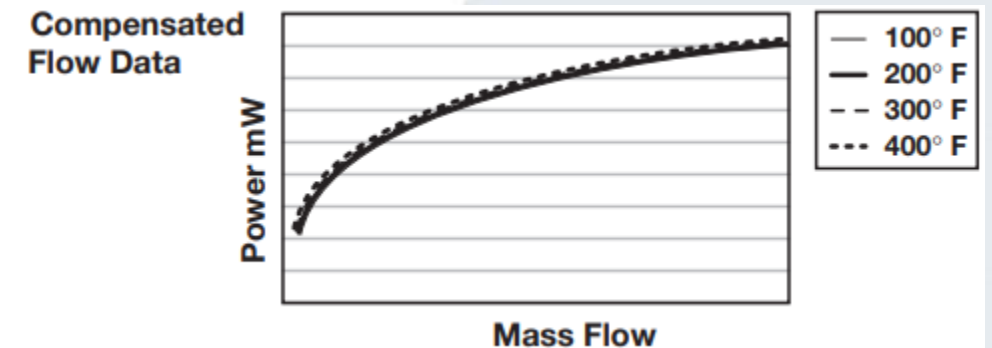
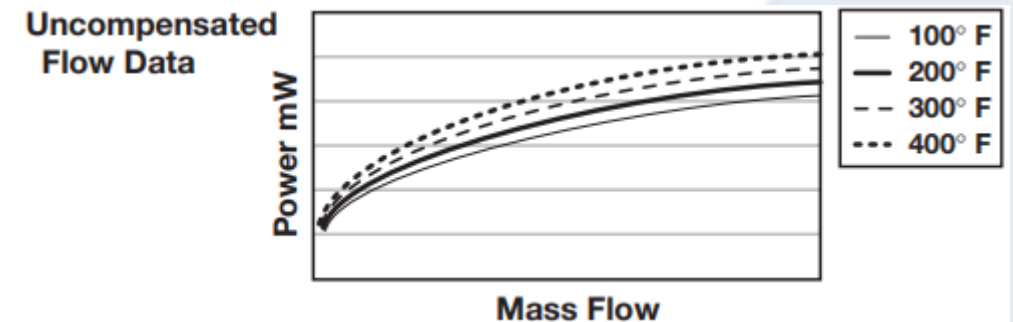
# Duas Curvas de Calibração

- Pode ser calibrado com dois gases diferentes (por exemplo, biogás e biometano), permitindo que o usuário faça a troca entre as tabelas de calibração.
- Se o instrumento for calibrado para ar ou equivalência de ar, os dados vão para a Tabela A e a Tabela B fica em branco.
- Se o instrumento for calibrado para um gás específico, ele também será calibrado para ar. Os dados do gás vão para a Tabela A e os dados do ar para a Tabela B. A calibração para ar adicional é gratuita.



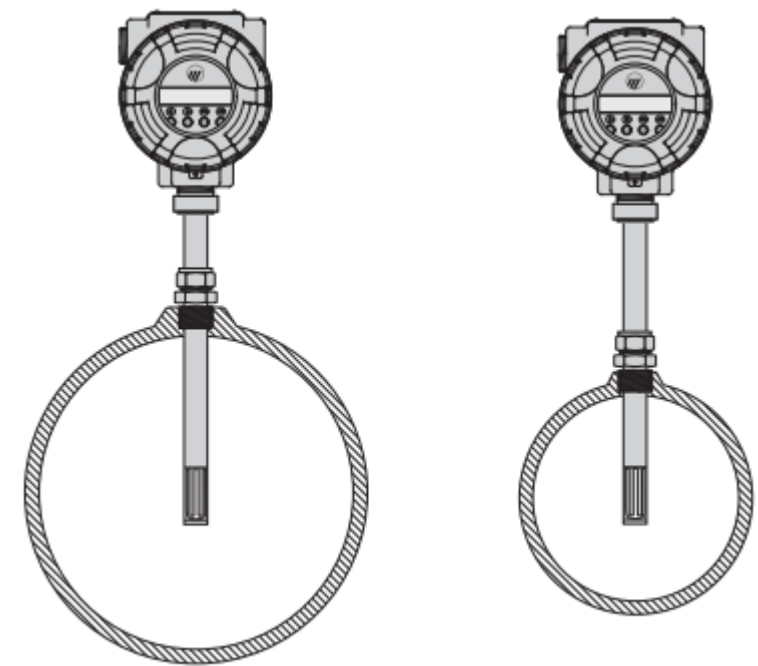
# Compensação de Temperatura

- As propriedades dos gases que afetam a transferência de calor por convecção também são afetadas pela mudança de temperatura. Essas propriedades incluem condutividade térmica, viscosidade, densidade e calor específico.
- A compensação de temperatura envolve medir a temperatura e depois aplicar uma correção na medição de vazão com base na temperatura de operação.

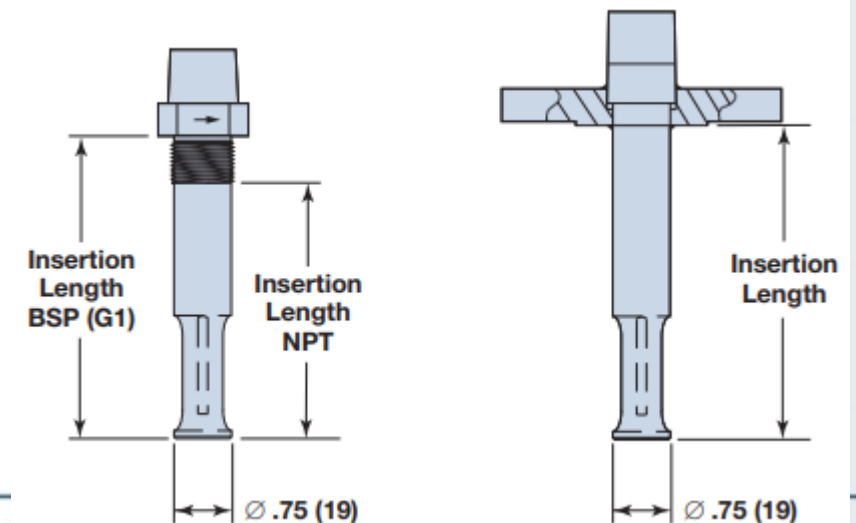


# Sonda de Inserção

- Conexões ao processo:
  - Encaixe de compressão (*compression fitting*)
  - Rosca
  - Flange
- Vantagens do *compression fitting*:
  - Permite o reajuste da inserção da sonda para uma melhor leitura (em linhas de diâmetros maiores)
  - Permite a utilização da mesma sonda em linhas de diferentes diâmetros
  - Acessório que pode ser trocado em caso de danos



Probe Installation in Different Pipe Sizes



# Hot Tap

- Vantagens do *hot tap*:
  - Possibilita que a sonda seja removida ou reinstalada sem ter que parar o processo (drenar e despressurizar a tubulação)
  - Previne vazamentos quando a sonda é removida
  - Previne a “explosão” da sonda quando removida sob pressão



# Flow Body

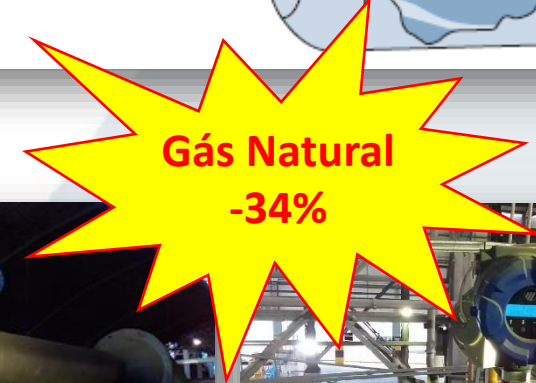
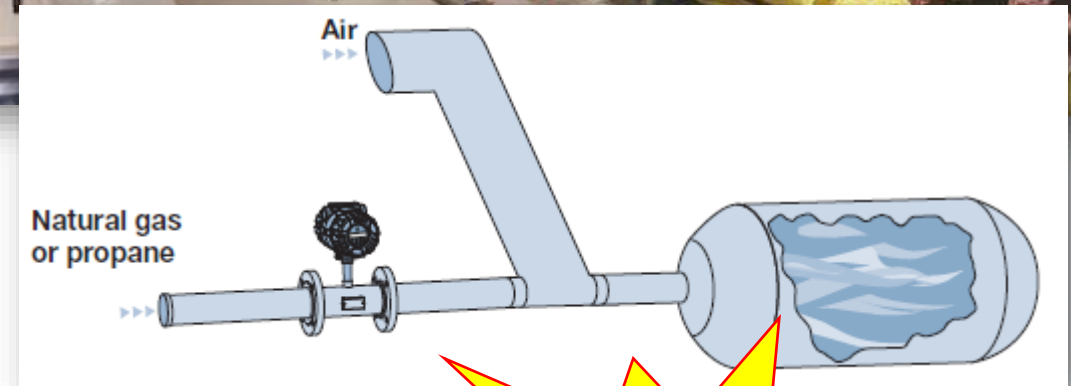
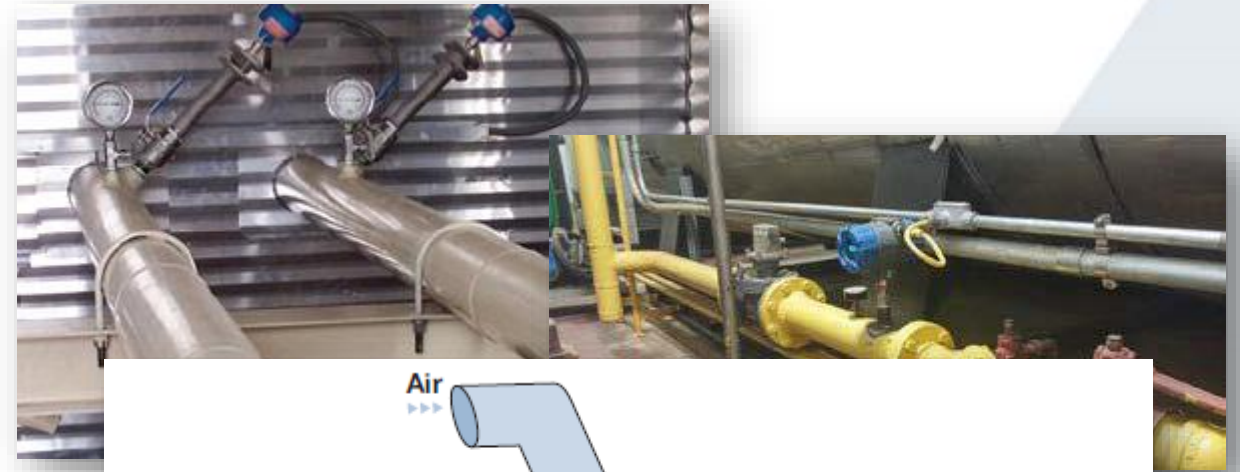
- Com corpo em aço carbono ou aço inox 316/316L (sensor sempre em aço inox 316/316L)
- Com *design* soldado
- Para linhas de ½" a 4"
- Com rosca ou flange nas conexões ao processo
- Com ou sem placa condicionadora





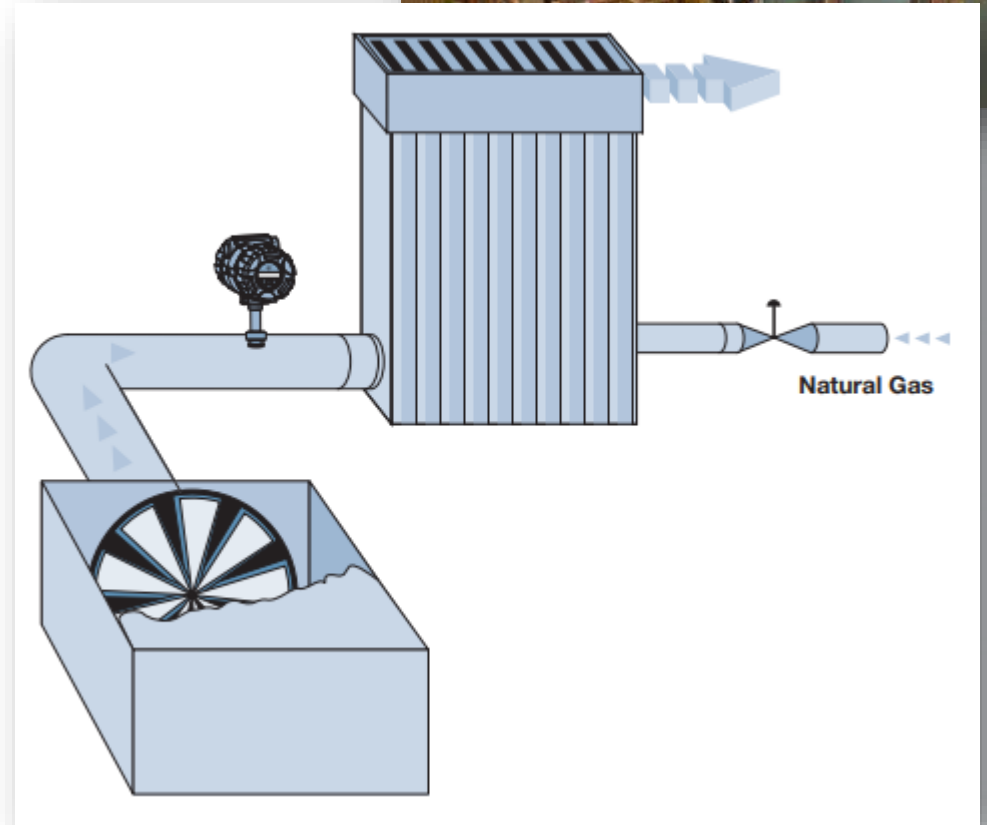
# Gás Natural

- Medição com eficiência da vazão instantânea e da vazão totalizada de combustível para fornos, aquecedores ou caldeiras. Esses dados podem ser usados para alocação interna ou para relatar taxas de emissão.
- Objetivos:
  - Otimização do rendimento da caldeira
  - Gerenciamento do consumo de combustível
- Vantagens:
  - Vazão mássica direta
  - Totalizador incorporado
  - Facilidade na configuração e operação
  - Instalação fácil
  - Alta rangeabilidade (100:1)
  - Boa sensibilidade em baixa vazão



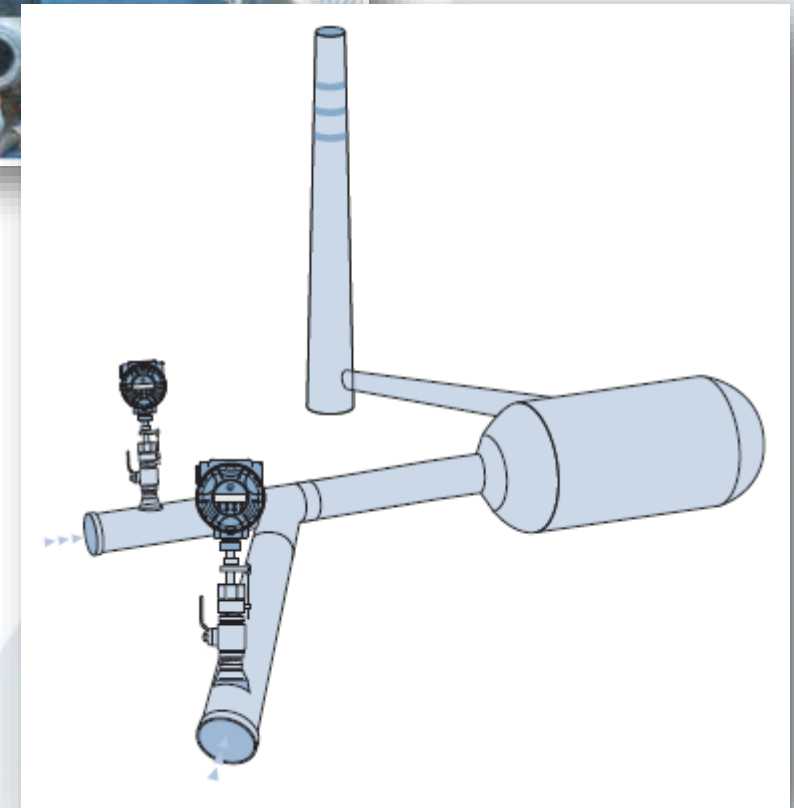
# Ar de Combustão

- Medição da vazão do ar de combustão para a caldeira. O sinal é enviado para o DCS onde é usado para ajustar a vazão de gás natural.
- Objetivos:
  - Manter a eficiência da relação estequiométrica entre o ar de combustão e o gás combustível (gás natural ou propano)
- Vantagens:
  - Vazão mássica direta
  - Alta repetibilidade (0,5%)
  - Alta rangeabilidade (100:1)



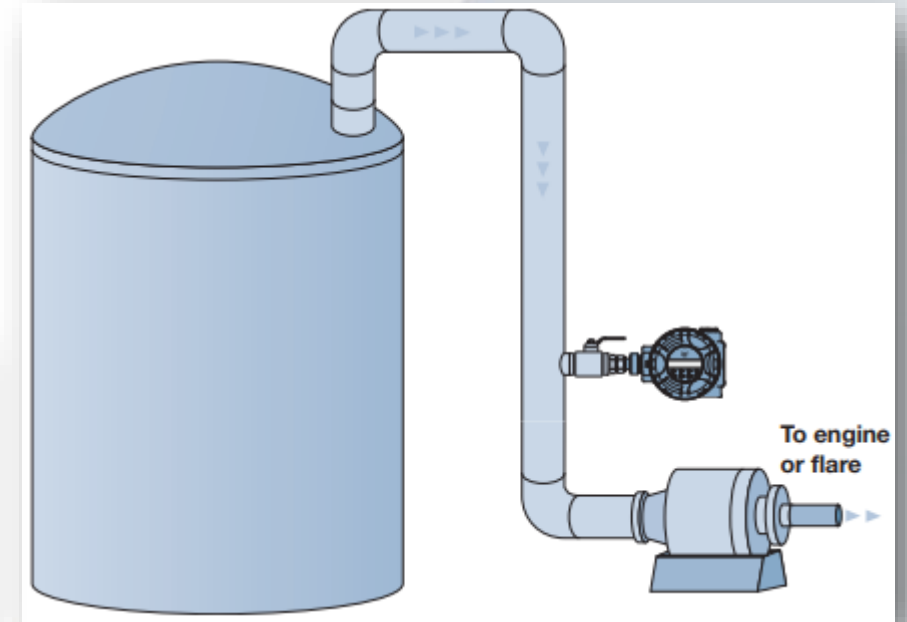
# Gás de Flare

- Medição de vazão em diferentes seções da linha de flare.
- Vantagens:
  - Boa sensibilidade em baixa vazão.
  - Capacidade de comutação automática (*auto switching*) entre várias curvas de calibração para uma maior rangeabilidade.
  - Remoção fácil se a limpeza for necessária.



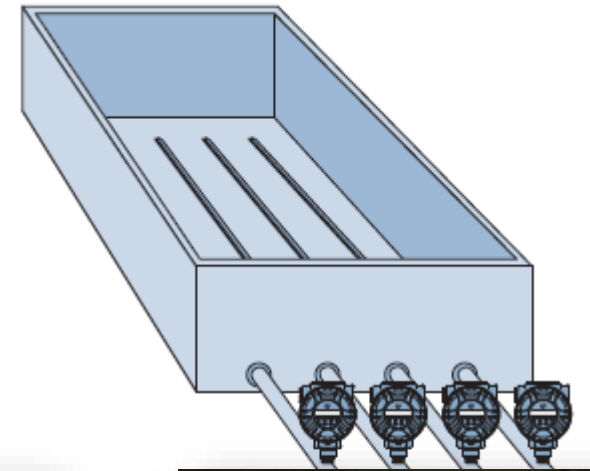
# Biogás

- O gás de um digestor contém uma mistura de metano e dióxido de carbono saturado com umidade. Esta é uma medição de vazão difícil devido à baixa vazão e pressão.
- Vantagens:
  - Boa sensibilidade em baixa vazão.
  - Baixa queda de pressão.
  - Tolerância a mudanças de temperatura e pressão.
  - Duas curvas de calibração (biogás e biometano).



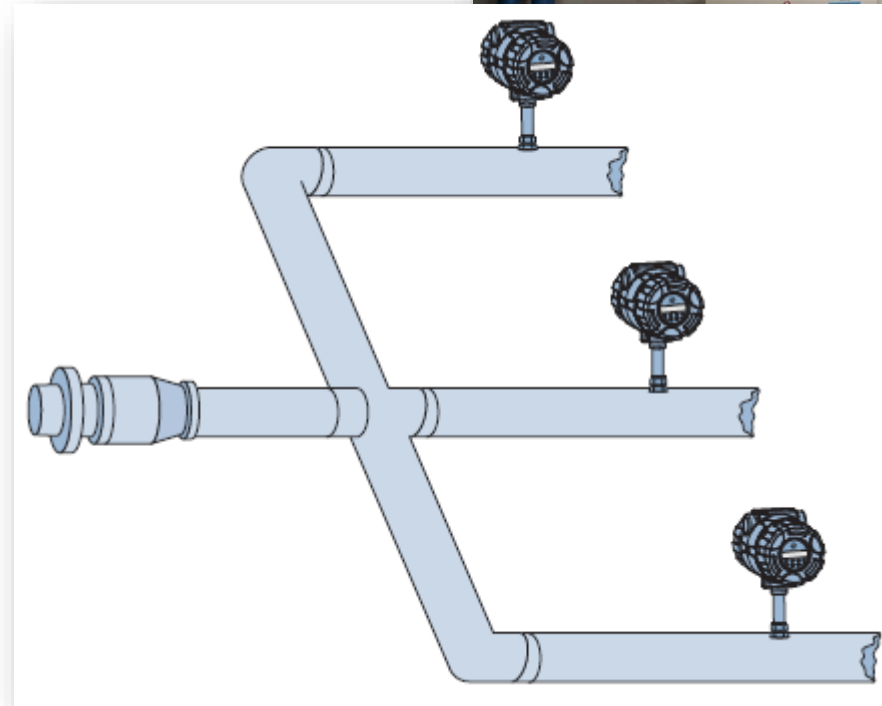
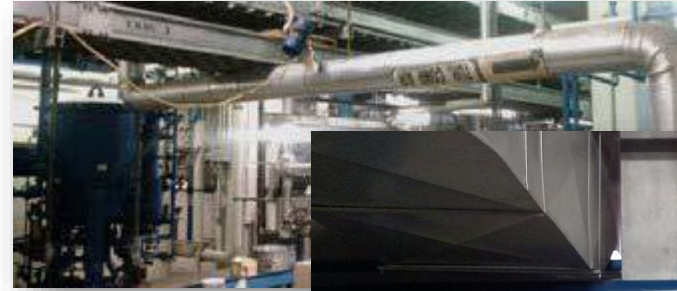
# Ar de Aeração

- Medição e balanço da vazão para cada seção do tanque de aeração em estações de tratamento de efluentes.
- Vantagens:
  - Baixo custo de instalação
  - Vazão mássica direta
  - Alta repetibilidade (0,5%)



# Ar Comprimido

- Medição da vazão mássica em diferentes linhas de ar comprimido para determinar a eficiência do compressor ou uso da planta para alocação interna.
- Vantagens:
  - Vazão mássica direta
  - Alta rangeabilidade (100:1)
  - Totalização da vazão
  - Instalação fácil



# Comprimento de Inserção e Trecho Reto

Recomendações conforme o manual do fabricante

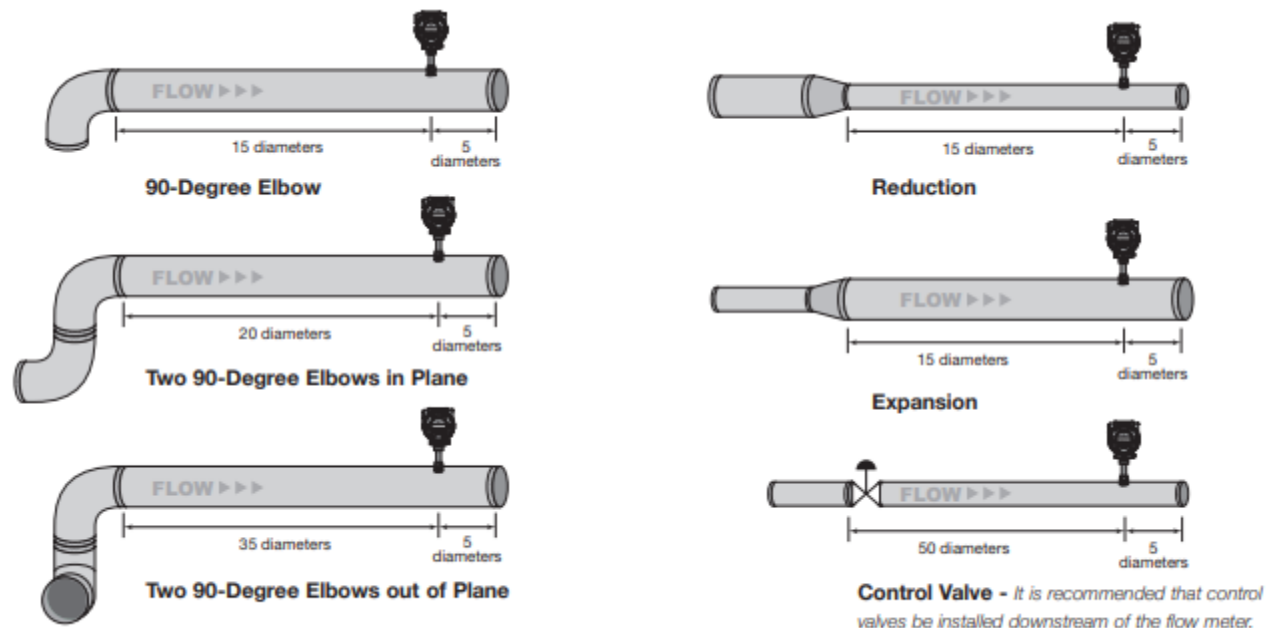
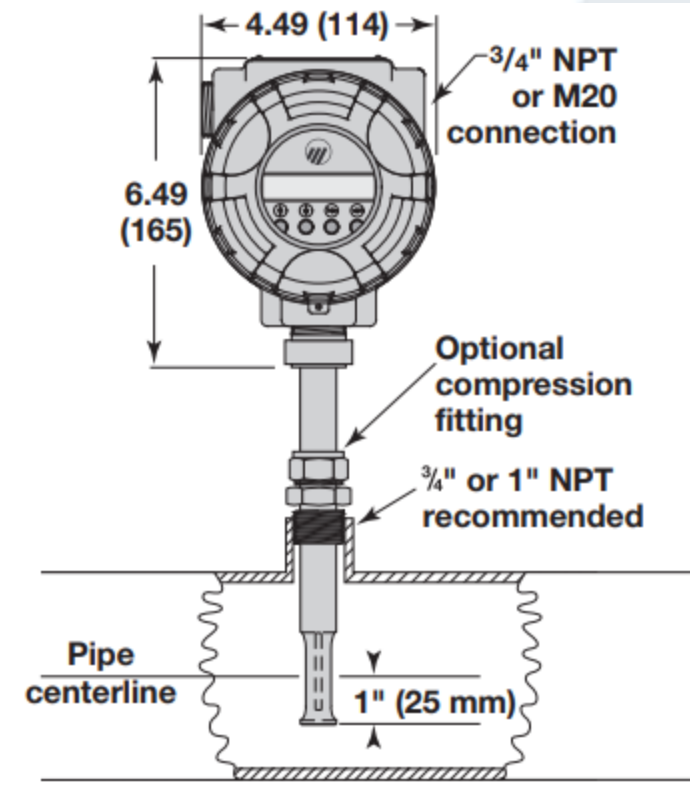
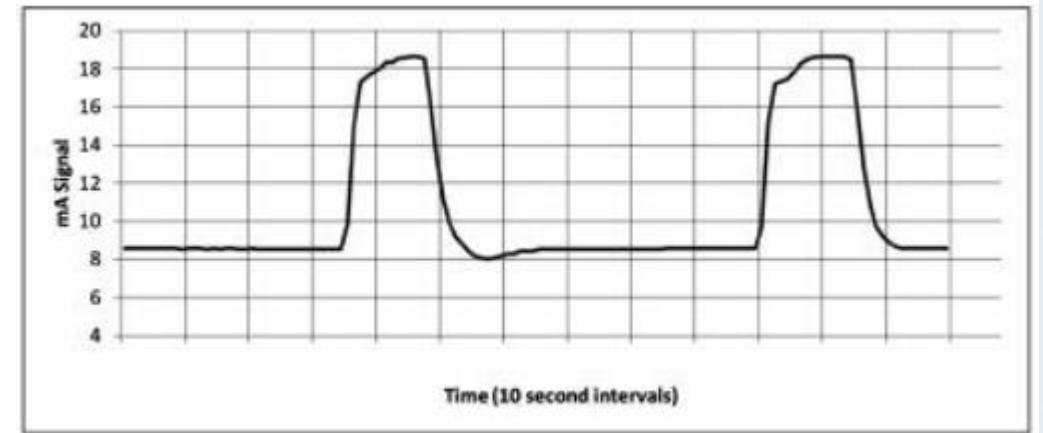


Figure C - Probe Installations



# Limitações da Tecnologia

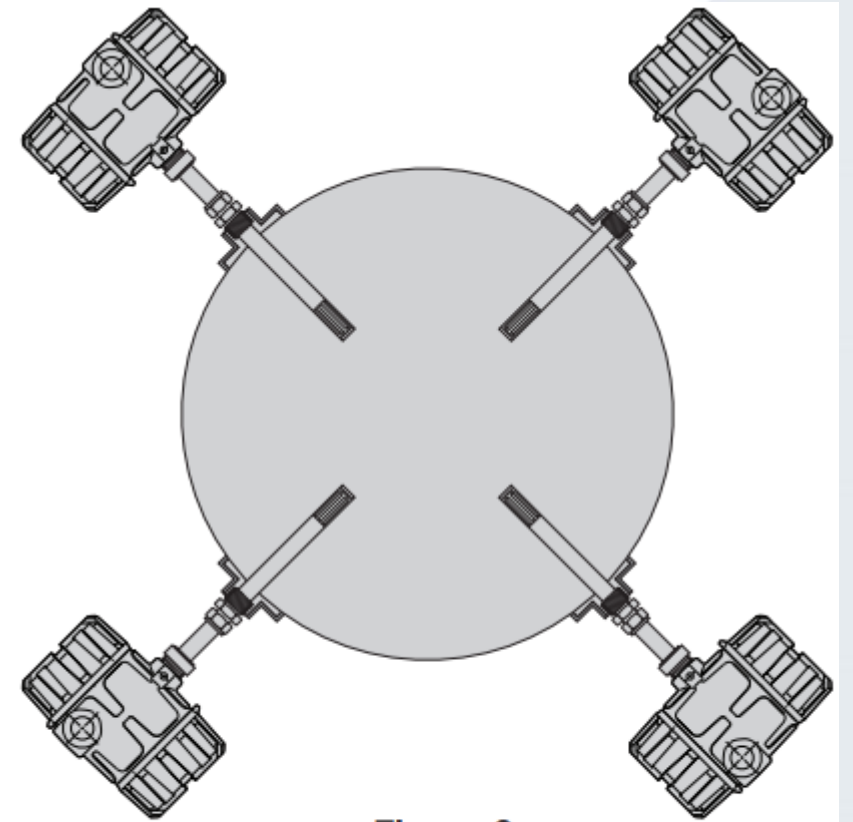
- **Condensação:** Gotículas de umidade que entram em contato com o RTD aquecido aumentando o resfriamento do RTD. A umidade no estado de vapor não é um problema.
- **Agregamento:** O acúmulo na sonda reduzirá a taxa de transferência de calor, diminuindo assim o resfriamento e indicando uma vazão menor que a vazão real.
- **Mudanças na composição do gás:** O instrumento é calibrado para a transferência de calor criada por uma composição de gás específica. Se a composição do gás mudar, a taxa de transferência de calor mudará, afetando a precisão geral da medição de vazão. Pequenas mudanças na composição não terão um efeito perceptível.





# Condensação

- Recomenda-se a instalação da sonda em um ângulo de 45°.
- Dependendo do processo, recomenda-se a aplicação de um separador de condensado.



**Figure 6**  
Install the TA2 at an Angle  
where Condensed Moisture  
may be Present

# Agregamento

- Recomenda-se a verificação periódica da sonda e o desenvolvimento de um histórico de frequência de limpeza.
- Recomenda-se a utilização do Hot Tap ou de uma válvula com um encaixe de compressão para a remoção e a reinstalação da sonda.





Obrigado!

[www.alutal.com.br](http://www.alutal.com.br)

Soluções de alta tecnologia para:



Medição de Custódia



Analítica



Temperatura



Nível



Fluxo



Vibração



Pressão



Gases



Controle de Fluxo



Aquecimento



International Society of Automation  
Setting the Standard for Automation™

