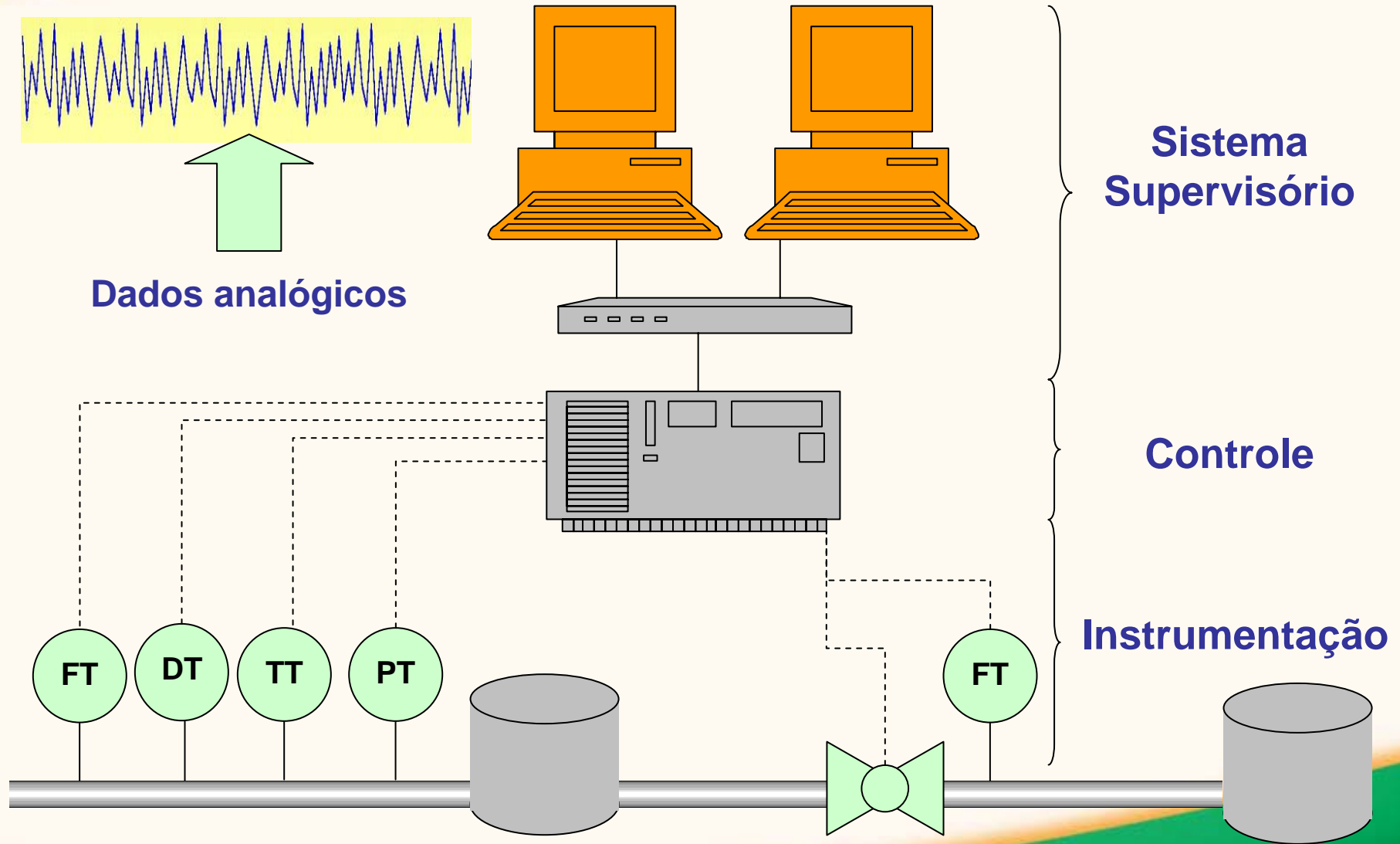




PETROBRAS TRANSPORTE S.A.
TRANSPETRO

A Metrologia da Transferência de Custódia de Petróleo e seus Derivados Líquidos: do fornecedor ao cliente



Dados analógicos

Sistema
Supervisório

Controle

Instrumentação



ROTEIRO

- Incerteza na calibração de transmissores, provador e turbina;
- Incerteza do volume totalizado pela EMED;
- Incerteza do volume deslocado em tanque;
- Incerteza na calibração de ultra-som;
- Aplicação da técnica de reconciliação de dados em uma movimentação.



O objetivo deste trabalho é evidenciar metrologicamente como são tratados os sistemas de medição da PETROBRAS TRANSPORTE, a fim de minimizar desgastes entre fornecedor e cliente.



Calibração de transmissores

- Procedimento padronizado corporativo;
- Avaliação de incerteza;
 - Certificado de calibração do padrão (RBC);
 - Resolução do padrão e transmissor;
 - Desvio-padrão;
 - Erro sistemático remanescente;
 - Histerese.
- Critério de aceitação estabelecido baseado na Portaria 064 (Classe 0.3: $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$; $\pm 0,0010 \text{ g/cm}^3$ e $\pm 50 \text{ kPa}$).



Calibração do provador

Principais fontes de incerteza	Distribuição	Contribuição
Vaso padrão	Normal	55,6%
Repetitividade	Normal	43,8%
Fator de corr. de temperatura do vaso padrão (CTS ₁)	Normal	0%
Fator de corr. de temperatura do provador (CTS ₂)	Normal	0%
Fator de correção por deformação elástica do material do provador devido à pressão interna (CPS)	Normal	0%
Fator de correção devido à compressibilidade da água (CPL)	Normal	0%
Fator de corr. de temperatura entre provador e vaso padrão (CTDW)	Normal	0%



Calibração da turbina

Principais fontes de incerteza	Distribuição	Contribuição
Volume do provador a 15.C	Normal	4,82%
Repetitividade do MF	Normal	22,72%
Fator de correção de temp. do provador (CTSp)	Normal	2,66%
Fator de correção de pressão do provador (CPSp)	Normal	0,01%
Fator de corr. de temp. do fluido no provador (CTLp)	Normal	34,77%
Fator de corr. de pressão do fluido no provador (CPLp)	Normal	0,01%
Número de pulsos do medidor (Np)	Normal	0,20%
Fator K do medidor (Kn)	Retangular	0%
Fator de corr. de temp. do fluido no medidor (CTLm)	Normal	34,80%
Fator de corr. de pressão do fluido no medidor (CPLm)	Normal	0,01%

Incerteza máxima: 0,20%



Volume totalizado pela EMED

Principais fontes de incerteza	Distribuição	Contribuição
Meter factor (MF)	Normal	62%
Fator de correção do efeito da temperatura (CTL)	Normal	35%
Fator de correção do efeito da pressão (CPL)	Normal	0%
Correção de volume para 20.C (Ct,20)	Normal	3%
Número de pulsos (Np)	Retangular	0%
Fator k (k)	Normal	0%



Incerteza máxima: 0,30%

Volume deslocado no tanque

Principais fontes	Distribuição	Incerteza
Massa específica	Normal	$\pm 0,0020 \text{ g/cm}^3$
Temperatura do líquido no tanque	Retangular	$\pm 5 \text{ .C}$
Certificado de arqueação do INMETRO	Normal	$\pm 0,2\%$



Incerteza de medição no tanque : $\pm 0,58 \%$



% Volume deslocado no tanque	Incerteza de medição, %
100,00	0,58
88,79	0,65
77,61	0,76
55,21	1,15
32,82	2,12
21,62	3,40
16,03	4,72
10,43	7,47
4,83	16,65



Calibração do ultra-som

- Cálculo de fator e calibração de medidor ultra-sônico e operacional tendo como referência o tanque;
- Cálculo de fator e calibração de medidor ultra-sônico e operacional tendo como referência a EMED.

RECONCILIAÇÃO DE DADOS

- Os dados estão “brigados” e precisam ser reconciliados?



Técnica que permite que as medições obtidas sejam ajustadas de modo a atender uma restrição de processo (balança de massa ou energia).

RECONCILIAÇÃO DE DADOS

- **Agregar qualidade à informação.**

$$F = (\underline{x}^M - \underline{x})^T V^{-1} (\underline{x}^M - \underline{x})$$

Erros aleatórios normalmente distribuídos.

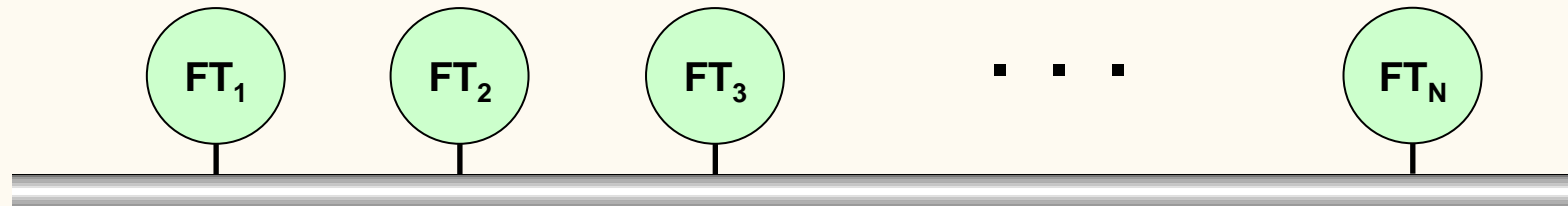


- Aplicação *on line*: acompanhamento de calibrações e/ou vazamentos;
- Aplicação *off line*: fechamento de balanço.



**MELHORA O SISTEMA DE MEDIÇÃO
COMO UM TODO**

N medições („redundâncias“)



Modelo do processo:

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_N$$

$$\min F = (\mathbf{x}^M - \mathbf{x})^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{x}^M - \mathbf{x})$$

Vetor
medições:

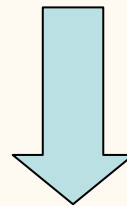
$$\mathbf{x}^M = \begin{bmatrix} m_1^{meas} \\ m_2^{meas} \\ \vdots \\ m_N^{meas} \end{bmatrix}$$

Valores reconciliados satisfazendo
o modelo de processo:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} m_1^{rec} \\ m_2^{rec} \\ \vdots \\ m_N^{rec} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1^{rec} = m^{rec} \\ m_2^{rec} = m^{rec} \\ \vdots \\ m_N^{rec} = m^{rec} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m^{rec} \\ m^{rec} \\ \vdots \\ m^{rec} \end{bmatrix}$$

$$\min F = (\mathbf{x}^M - \mathbf{x})^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{x}^M - \mathbf{x})$$

$$F = \begin{bmatrix} m_1^{meas} - m_1^{rec} \\ m_2^{meas} - m_2^{rec} \\ \vdots \\ m_N^{meas} - m_N^{rec} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_N^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} m_1^{meas} - m_1^{rec} \\ m_2^{meas} - m_2^{rec} \\ \vdots \\ m_N^{meas} - m_N^{rec} \end{bmatrix}$$



$$F = \left[\frac{(m_1^{meas} - m_1^{rec})^2}{\sigma_1^2} + \frac{(m_2^{meas} - m_2^{rec})^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(m_N^{meas} - m_N^{rec})^2}{\sigma_N^2} \right]$$

Para o modelo, o problema de minimização tem solução analítica:

$$\min F \Rightarrow \frac{\partial F}{\partial m^{rec}} = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial m^{rec}} = \left[-\frac{2 \cdot (m_1^{meas} - m^{rec})}{\sigma_1^2} - \frac{2 \cdot (m_2^{meas} - m^{rec})}{\sigma_2^2} - \dots - \frac{2 \cdot (m_N^{meas} - m^{rec})}{\sigma_N^2} \right] = 0$$

A medida reconciliada é:

$$m^{rec} = \frac{\frac{m_1^{meas}}{\sigma_1^2} + \frac{m_2^{meas}}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{m_N^{meas}}{\sigma_N^2}}{\frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{1}{\sigma_N^2}}$$

Com $N = 3$, assume a seguinte incerteza padrão:

$$u_{m^{rec}}^2 = \left(\frac{\sigma_2^2 \sigma_3^2}{\sigma_2^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_2^2} u_{m_1^{meas}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_1^2 \sigma_3^2}{\sigma_2^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_2^2} u_{m_2^{meas}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_2^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_3^2 + \sigma_1^2 \sigma_2^2} u_{m_3^{meas}} \right)^2$$

Para variâncias iguais: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_N^2$

$$m^{rec} = \frac{m_1^{meas} + m_2^{meas} + \dots + m_N^{meas}}{N}$$

$$u_{m^{rec}} = \frac{u_{m_i^{meas}}}{\sqrt{N}}$$



Para $N = 2$ (dois medidores): $m_1 = m_2$

Relação entre variâncias	Medida reconciliada	Incerteza minimizada
$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$m^{rec} = \frac{m_1^{meas} + m_2^{meas}}{2}$	$u_{m^{rec}} = 0.71 \cdot u_{m_1^{meas}}$
$2\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$m^{rec} = \frac{2m_1^{meas} + m_2^{meas}}{3}$	$u_{m^{rec}} = 0.82 \cdot u_{m_1^{meas}}$
$4\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$m^{rec} = \frac{4m_1^{meas} + m_2^{meas}}{5}$	$u_{m^{rec}} = 0.89 \cdot u_{m_1^{meas}}$
$8\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$m^{rec} = \frac{8m_1^{meas} + m_2^{meas}}{9}$	$u_{m^{rec}} = 0.94 \cdot u_{m_1^{meas}}$
$\infty\sigma_1^2 \cong \sigma_2^2$	$m^{rec} \cong m_1^{meas}$	$u_{m^{rec}} \cong u_{m_1^{meas}}$
$n_1\sigma_1^2 = n_2\sigma_2^2$	$m^{rec} = \frac{n_1m_1^{meas} + n_2m_2^{meas}}{n_1 + n_2}$	$u_{m^{rec}} = \frac{\sqrt{n_1^2 u_{m_1^{meas}}^2 + n_1 n_2 u_{m_1^{meas}}^2}}{n_1 + n_2}$



Modelo Proposto





Modelo Proposto

	Volume, m ³	Incerteza, %
Tanque	1005	0,58
EMED	1000	0,30
Ultra-som	990	0,50

O volume reconciliado é de **999 m³**, com uma incerteza de medição minimizada de **0,24%**.



CONCLUSÃO

- A fim de melhorar a incerteza de medição com tanques, recomenda-se que se tenha uma **melhor homogeneização** do líquido no seu interior, que se utilize quase que a **totalidade do seu volume** durante a transferência, que a medição de nível pelo ENRAF seja periodicamente checada com a trena, bem como se estabeleça, junto ao INMETRO, critérios mais rígidos na **arqueação** do mesmo.
- Quanto à medição de turbina com provador, recomenda-se o acompanhamento do fator da turbina, através de cartas de controle.



CONCLUSÃO

- Recomenda-se que tanto o acompanhamento “on line” de **erros sistemáticos**, quanto o **erro máximo admissível** entre sistemas de medição sejam baseados na técnica de **Reconciliação de Dados**, em substituição a valores históricos.



PETROBRAS TRANSPORTE S.A.
TRANSPETRO

ELCIO CRUZ DE OLIVEIRA
PETROBRAS TRANSPORTE S.A.

21 32119223

elciooliveira@petrobras.com.br