

RELATÓRIO TÉCNICO

23 de março de 2012

Segundo programa de intercomparação laboratorial de
velocidade de fluidos

PARTICIPANTES
Skilltech e IPT

CT-13 - SUBCOMISSÃO DE VELOCIDADE DE FLUIDOS

RELATÓRIO TÉCNICO – CT-13 – VELOCIDADE DE FLUIDOS

TÍTULO: Segundo programa de intercomparação laboratorial de velocidade de fluidos
PARTICIPANTES: IPT e Skilltech
REFERÊNCIA: Subcomissão de velocidade de fluidos do CT-13

1 OBJETIVOS

- Realizar intercomparação laboratorial de velocidade de fluidos entre os laboratórios de anemometria da Skilltech e IPT; e
- Verificar se o erro normalizado da intercomparação está no intervalo ± 1 .

2 INTRODUÇÃO

O programa de intercomparação laboratorial de velocidade de fluidos iniciou-se em 2008 em virtude da criação do CT-13, da qual se originou a subcomissão de anemometria.

Essa subcomissão é formada atualmente pela Skilltech, IPT e INMETRO. Os dois primeiros são os laboratórios acreditados nessa área e o terceiro está em processo de ajustes técnicos do laboratório de anemometria, para que este possa entrar em operação.

Dessa forma, as intercomparações laboratoriais de velocidades de fluido ocorreram em caráter bilateral, somente com Skilltech e IPT participando do programa.

Esse relatório apresenta os resultados obtidos no segundo programa de intercomparação laboratorial de velocidade de fluidos. Porém, cabe um esclarecimento quanto ao tempo de execução desse programa de intercomparação, como descrito a seguir.

Para realizar o primeiro programa de intercomparação de velocidade de fluidos, foi selecionado o anemômetro Airflow LCA 6000 como equipamento itinerante. As calibrações foram realizadas na seguinte ordem: Laboratório 1 (Skilltech), Laboratório 2 (IPT) e Laboratório 1 (Skilltech). Ao realizar a análise dos dados da intercomparação, verificou-se que o padrão não apresentou repetitividade. Esse primeiro programa de intercomparação encerrou-se em 30 de março de 2010, porém com resultados não satisfatório, pois o Erro Normalizado chegou ao valor -2.

A subcomissão de velocidade de fluidos decidiu na reunião do CT-13 de março de 2010 o início do segundo programa de intercomparação laboratorial. Inicialmente foi selecionado o anemômetro a fio-quente Kimo TA5. Porém, durante o processo de calibração verificou-se que, por ser um equipamento que mede velocidade do vento nas condições "standard" de temperatura, massa específica do ar e pressão atmosférica, o valor dos resultados da calibração teriam pequenas diferenças de acordo com o procedimento adotado por cada laboratório para correção da velocidade obtida na condição ambiental do laboratório, para a condição "standard". Ou seja, nesse caso o erro normalizado poderia ser elevado devido à metodologia de correção do valor de laboratório para o valor "standard".



Dessa forma, optou-se por substituir o equipamento itinerante por um que realizasse as medições de velocidade do ar nas condições de laboratório, sem que houvesse necessidade de correções futuras. Assim, optou-se por utilizar um anemômetro ultrassônico da Airflow modelo UA6. Esse anemômetro foi calibrado no IPT e ao programar a calibração do mesmo na Skilltech ele sofreu uma pane elétrica. Nesse momento está em processo de envio para manutenção na Inglaterra e nova calibração.

Diante desse problema com o anemômetro ultrassônico, a subcomissão de velocidade de fluidos, representada pelos dois laboratórios participantes da intercomparação bilateral (Skilltech e IPT) se reuniu no dia 14 de março de 2012 e decidiu por calibrar um tubo de Pitot Dwyer, modelo 160, conectado a um micromanômetro digital.

Devido aos problemas técnicos descritos nos parágrafos anteriores, o segundo programa de intercomparação de velocidade de fluidos sofreu atrasos. Porém, neste relatório são apresentados os resultados finais e satisfatórios desse segundo programa de intercomparação.

3 METODOLOGIA

O segundo programa de velocidade de fluidos foi realizado com o seguinte conjunto utilizado como equipamento itinerante:

- Tubo de Pitot estático do fabricante Dwyer, modelo 160, baseado na ASTM, TAG: AP-14 conectado a micromanômetro digital do fabricante Furness, modelo FCO510, tag PC-16.

As calibrações foram realizadas com duas rampas de subida nos seguintes pontos: (2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 17 - 18) m/s. Como ajustar a velocidade medida pelo tubo de Pitot estático (também conhecido como tubo Prandtl) para os valores exatos e inteiros descritos anteriormente não é viável (já que medições são realizadas obtendo um diferencial de pressão e depois esse é convertido para velocidade do fluido em função do valor de sua massa específica no momento da medição), optou-se por fazer as medições em valores próximos aos estipulados e depois realizar uma regressão linear de Velocidade Indicada por Velocidade Verdadeira, e então obter o erro normalizado considerando esses valores. Para que os valores da regressão linear possam ser utilizados com segurança, é importante haver uma boa linearidade entre os valores verdadeiros e indicados. Para isso, é determinado o valor do coeficiente de correlação. Se eles forem superiores a 0,9995 a linearidade é alta e os dados da regressão linear podem ser utilizados com segurança.

3.1 EQUIPAMENTOS E PADRÕES UTILIZADOS

Por ser um intercomparação bilateral, são citados os nomes dos laboratórios, assim como os resultados obtidos por cada um.



IPT - laboratório 1

Tubo de Pitot do tipo estático AP-01 em conjunto com micromanômetro PC-10 (faixa de 2 até 13 m/s). Certificados de calibração das barras padrões números 100 247-101 e 100 252-101 de 15 e 09.02.2010, rastreados à RBC. Recalibração a cada 5 anos.

Tubo de Pitot do tipo estático AP-01 em conjunto com Manômetro de coluna de líquido PC-07 (faixa de 14 até 18 m/s). Certificados de calibração número 108 423-101 e 108 424-101 de 16.03.2011, rastreado à RBC. Recalibração a cada 2 anos.

Sensores de temperatura TR-163, TR-164 e TR-166, tipo PT-100, conectados aos indicadores de temperatura TI-63, TI-64 e TI-66, com calibração interna rastreada a padrões RBC. Data da calibração: 28.01.2011 e com recalibração a cada 2 anos.

Medidor de pressão atmosférica PA-12. Certificado de calibração, número 110 635-101 de 04.07.2011, rastreado à RBC. Recalibração a cada 5 anos.

Skilltech - laboratório 2

Tubo de Pitot do tipo estático em conjunto com manômetro de coluna inclinada, marca Airflow, modelo Type IV, número de série 83637 (faixa de 2 até 18 m/s). Certificados de calibração N1171233P, rastreado à UKAS, com validade até outubro de 2012.

4 RESULTADOS**4.1 PRIMEIRA CALIBRAÇÃO – IPT**

A primeira calibração foi realizada no IPT. Os resultados são mostrados na Tabela 1, que contém os valores dos diferenciais de pressão verdadeiro e indicado. Esses valores foram convertidos para velocidade do ar utilizando a Eq. (1), na qual o valor da massa específica do ar, determinada nas condições do laboratório, está mostrado abaixo da tabela.

$$v = C \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: v é a velocidade obtida; C é o coeficiente de pressão (adotado 0,997 conforme manual do fabricante), ΔP é o diferencial de pressão lido; e ρ é a massa específica do ar calculada para cada ponto de medição.

Nas tabelas são identificados: ΔP_{ind} – diferencial de pressão indicado; v_{ind} – velocidade do ar indicada; ΔP_v – diferencial de pressão verdadeiro; v_v – velocidade do ar verdadeira; e U_v – incerteza expandida da medição.

Valores médios das condições ambientais

ρ	1,070 kg/m ³	massa específica do ar
TBS	26,91 °C	temperatura de bulbo seco
TBU	22,40 °C	temperatura de bulbo úmido

Patm 93,06 kPa pressão atmosférica
 U.R. 68,77 % umidade relativa

Coefficientes da regressão linear:

inclinação: 1,0175
 intercepção -0,0512 m/s
 coeficiente de correlação: 0,99997

Tabela 1. Primeira calibração – realizada no IPT

IPT - 1						
ΔP_{ind} (Pa)	v_{ind} (m/s)	ΔP_v (Pa)	v_v (m/s)	U_v (m/s)	Valores Inteiros (m/s)	Regressão Linear (m/s)
2,18	2,01	2,23	2,03	0,07	2,00	1,98
4,99	3,05	4,95	3,03	0,07	3,00	3,00
8,83	4,05	8,97	4,08	0,07	4,00	4,02
13,65	5,03	13,92	5,08	0,07	5,00	5,04
19,87	6,07	20,35	6,15	0,08	6,00	6,05
26,77	7,05	27,34	7,12	0,09	7,00	7,07
35,17	8,08	35,87	8,16	0,10	8,00	8,09
44,03	9,04	44,71	9,11	0,10	9,00	9,11
54,91	10,10	56,09	10,20	0,11	10,00	10,12
79,02	12,12	80,38	12,22	0,13	12,00	12,16
92,45	13,11	94,47	13,25	0,14	13,00	13,18
107,42	14,13	110,79	14,35	0,15	14,00	14,19
122,83	15,11	127,16	15,38	0,16	15,00	15,21
139,57	16,11	144,00	16,37	0,17	16,00	16,23
159,40	17,22	164,22	17,48	0,18	17,00	17,25
178,47	18,22	183,49	18,48	0,19	18,00	18,26

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

4.2 SEGUNDA CALIBRAÇÃO – SKILLTECH

A segunda calibração foi realizada na Skilltech. Os resultados são mostrados na Tabela 2, que contém o valores dos diferenciais de pressão verdadeiro e indicado, que foram convertidos para velocidade do ar utilizando o valor da massa específica do ar mostrada abaixo da tabela. Nessa tabela também são mostrados, na última coluna, os valores de U_v obtidos por regressão linear a partir dos dados experimentais.

Valores médios das condições ambientais

ρ 1,107 kg/m³ massa específica do ar
 TBS 20,52 °C temperatura de bulbo seco
 Patm 93,24 kPa pressão atmosférica
 U.R. 54,35 % umidade relativa



Coefficientes da regressão linear:

inclinação: 0,9988
intercepção 0,0107 m/s
coeficiente de correlação: 0,99977

Tabela 2. Segunda calibração – realizada na Skilltech

Skilltech							
ΔP_{ind} (Pa)	V_{ind} (m/s)	ΔP_v (Pa)	V_v (m/s)	U_v (m/s)	Valores Inteiros (m/s)	Regressão Linear (m/s)	U_v (m/s)
2,83	2,25	2,69	2,20	0,11	2,00	2,01	0,10
5,89	3,25	5,91	3,25	0,12	3,00	3,01	0,12
10,09	4,25	10,22	4,28	0,13	4,00	4,01	0,13
15,70	5,31	16,13	5,38	0,15	5,00	5,00	0,15
22,98	6,42	23,12	6,44	0,19	6,00	6,00	0,17
32,42	7,63	31,72	7,54	0,20	7,00	7,00	0,19
41,34	8,62	41,40	8,62	0,22	8,00	8,00	0,21
52,00	9,66	52,16	9,68	0,24	9,00	9,00	0,23
63,48	10,68	64,52	10,76	0,35	10,00	10,00	0,34
77,20	11,77	77,96	11,83	0,36	12,00	12,00	0,36
93,40	12,96	93,13	12,94	0,37	13,00	13,00	0,37
110,40	14,09	109,15	14,01	0,38	14,00	13,99	0,38
129,25	15,25	126,36	15,08	0,39	15,00	14,99	0,39
142,55	16,03	145,17	16,18	0,41	16,00	15,99	0,40
165,68	17,29	164,53	17,23	0,42	17,00	16,99	0,42
185,66	18,28	186,04	18,30	0,43	18,00	17,99	0,43

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95% e foi calculada de acordo com o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição ABNT-INMETRO terceira edição.

4.3 TERCEIRA CALIBRAÇÃO – IPT

A terceira calibração foi realizada no IPT com intuito de verificar se havia uma concordância entre os resultados da calibração inicial e a final. Os resultados mostraram boa concordância, com desvio inferior a 0,03 m/s. Os resultados são mostrados na Tabela3.

Valores médios das condições ambientais

ρ 1,077 kg/m³
TBS 26,20 °C
TBU 18,90 °C
Patm 93,15 kPa
U.R. 51,67 %

Coefficientes da regressão linear:

inclinação: 1,0147

intercepção -0,0276 m/s
 coeficiente de correlação: 0,99999

Tabela 3. Terceira calibração realizada no IPT – verificação do comportamento do instrumento calibrado

IPT - 2							
ΔP_{ind} (Pa)	V_{ind} (m/s)	ΔP_v (Pa)	V_v (m/s)	U_v (m/s)	Valores Inteiros (m/s)	Regressão Linear (m/s)	Desvio entre 1ª e 3ª calibração (m/s)
2,21	2,02	2,23	2,02	0,07	2,00	2,00	0,02
5,02	3,04	5,20	3,09	0,07	3,00	3,02	0,02
9,01	4,07	9,10	4,09	0,07	4,00	4,03	0,01
13,80	5,04	13,93	5,06	0,07	5,00	5,05	0,01
20,00	6,06	20,31	6,11	0,08	6,00	6,06	0,01
26,55	6,99	27,24	7,08	0,09	7,00	7,08	0,01
35,09	8,05	35,88	8,14	0,10	8,00	8,09	0,00
43,70	8,98	44,85	9,10	0,10	9,00	9,10	-0,01
54,71	10,05	55,79	10,15	0,11	10,00	10,12	0,00
79,35	12,12	81,01	12,24	0,13	12,00	12,15	-0,01
92,93	13,11	95,29	13,28	0,14	13,00	13,16	-0,02
108,51	14,17	111,28	14,35	0,15	14,00	14,18	-0,01
124,08	15,16	127,41	15,36	0,16	15,00	15,19	-0,02
139,87	16,10	143,78	16,32	0,17	16,00	16,21	-0,02
159,87	17,21	164,01	17,43	0,18	17,00	17,22	-0,03
178,60	18,19	183,51	18,44	0,19	18,00	18,24	-0,02

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

4.4 ERRO NORMALIZADO

O erro normalizado (EN), calculado por meio da Eq.(2), foi inferior a ± 1 , como mostrado na Tabela 4, a plotado no gráfico ilustrado na Figura 1.

$$EN = \frac{V_{IPT} - V_{Skilltech}}{\sqrt{U_{IPT}^2 + U_{Skilltech}^2}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Na Tabela 4 são mostrados os valores das três calibrações realizadas. Devido à excelente linearidade entre valores indicados e valores verdadeiros, como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de correlação da 3 calibrações (todos são superiores a 0,99977), os valores mostrados na Tabela 4 são os obtidos de regressão linear da curva de valor indicado x valor verdadeiro. Isso foi realizado para que todos os pontos da curva fossem coincidentes.

Tabela 4. Velocidades e erro normalizado

Comparação das calibrações							
V_{ind}	V_{IPT-1}	$U_{V IPT-1}$	$V_{Skilltech}$	$U_{V Skilltech}$	V_{IPT-2}	$U_{V IPT-2}$	E.N.
(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	
2,00	1,98	0,07	2,01	0,10	2,00	0,07	0,23
3,00	3,00	0,07	3,01	0,12	3,02	0,07	0,05
4,00	4,02	0,07	4,01	0,13	4,03	0,07	-0,1
5,00	5,04	0,07	5,00	0,15	5,05	0,07	-0,21
6,00	6,05	0,08	6,00	0,17	6,06	0,08	-0,25
7,00	7,07	0,09	7,00	0,19	7,08	0,09	-0,32
8,00	8,09	0,10	8,00	0,21	8,09	0,10	-0,38
9,00	9,11	0,10	9,00	0,23	9,10	0,10	-0,44
10,00	10,12	0,11	10,00	0,34	10,12	0,11	-0,34
11,00	11,14	0,12	11,00	0,35	11,13	0,12	-0,39
12,00	12,16	0,13	12,00	0,36	12,15	0,13	-0,43
13,00	13,18	0,14	13,00	0,37	13,16	0,14	-0,47
14,00	14,19	0,15	13,99	0,38	14,18	0,15	-0,48
15,00	15,21	0,16	14,99	0,39	15,19	0,16	-0,52
16,00	16,23	0,17	15,99	0,40	16,21	0,17	-0,55
17,00	17,25	0,18	16,99	0,42	17,22	0,18	-0,57
18,00	18,26	0,19	17,99	0,43	18,24	0,19	-0,58

Na Figura 1 é mostrada a curva do erro normalizado obtida no segundo programa de intercomparação laboratorial de velocidade de fluidos.

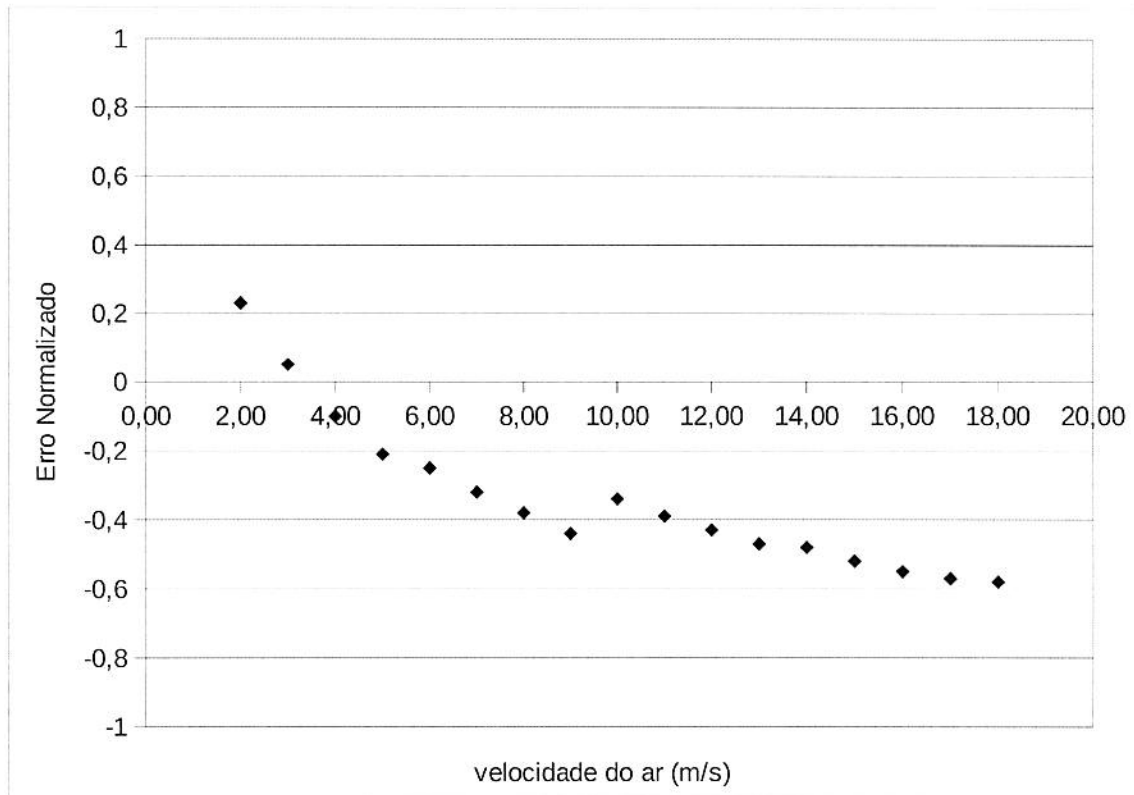


Figura 1. Erro normalizado

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no segundo programa de intercomparação laboratorial de velocidades de fluidos foi satisfatório. Pois, o erro normalizado ficou entre (+0,23 e – 0,58) m/s e também houve grande linearidade em cada calibração, pois, nas duas calibrações realizadas no IPT, o coeficiente de correlação obtido foi: 0,99997 e 0,99999, e na calibração realizada na Skilltech, o coeficiente de correlação obtido foi 0,99977.

Data da execução dos ensaios: De 15 até 19 de março de 2012

São Paulo, 23 de março de 2012

CENTRO DE METROLOGIA DE FLUIDOS
Laboratório de Vazão



Gilder Nader
Físico
Supervisor dos Ensaios
R.E. nº 8 465