



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Civil  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações



hab.labEEE

**Inovação no desenvolvimento e construção de  
Habitações de Interesse Social multifamiliares  
para promoção da Eficiência Energética e do  
Conforto Ambiental**

Relatório interno

**Relatório de calibração dos equipamentos de medição  
dos parâmetros de conforto térmico**

Código: HB-RT-16-01

Versão: 01

Data: 20/08/2024

**Projeto: Inovação no desenvolvimento e construção de Habitações de Interesse Social multifamiliares para promoção da eficiência energética e do conforto ambiental**

Convênio:

---



**Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC**

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade  
Florianópolis, SC – CEP 88040-900  
<http://www.ufs.br>



**Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina – FEESC**

Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade  
Florianópolis, SC– CEP 88040-370  
<http://www.feesc.org.br>



**Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP**

Praia do Flamengo 200, 1º andar, Bairro Flamengo  
Rio de Janeiro, RJ – CEP 22210-907  
<http://www.finep.gov.br/>

Realização:

---



**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE**

Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil  
Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade  
Florianópolis, SC – CEP 88040-970  
+55 48 3721 5184  
[labeee.ctc@contato.ufsc.br](mailto:labeee.ctc@contato.ufsc.br)  
<http://labeee.ufsc.br>

**Coordenação:** Prof. Roberto Lamberts, PhD

**Elaboração:** Renata De Vecchi  
Mateus Bavaresco  
Matheus Soares Geraldi

## Sumário

<b>Sumário.....</b>	<b>1</b>
<b>Apresentação.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
1.1. Objetivos da calibração.....	4
<b>2. Equipamentos de medição.....</b>	<b>4</b>
2.1. Delta Ohm HD32.3TC - Thermal Microclimate Data Logger.....	4
2.2. Ibutton DS1923.....	5
2.3. Termômetro de mercúrio.....	6
2.4. Testo 735.....	6
<b>3. Procedimentos de calibração.....</b>	<b>7</b>
3.1. Sensores de temperatura e umidade relativa do ar e de globo da HD32.3TC.....	7
3.2. Sensores de velocidade do ar da HD32.3TC.....	8
3.3. Ibuttons DS1923.....	8
<b>4. Resultados da primeira calibração.....</b>	<b>9</b>
4.1. Temperatura de bulbo seco.....	10
4.1.1. Sensor HP3217R – Delta Ohm.....	10
4.1.2. Sensor TP3275 – Delta Ohm.....	11
4.1.3. Sensor DS1923 – Ibutton.....	12
4.2. Umidade relativa do ar.....	15
4.2.1. Sensor HP3217R – Delta Ohm.....	15
4.2.2. Sensor DS1923 – Ibutton.....	15
4.3. Velocidade do ar (Delta Ohm).....	17
<b>Referências.....</b>	<b>20</b>

## Apresentação

Este documento foi elaborado no âmbito do Convênio de Cooperação Técnico-Financeira celebrado entre a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), e a FEESC (Fundação de Ensino de Engenharia), de número de referência 1536/22 (contrato número 01.22.0580.00) e intitulado Inovação no desenvolvimento e construção de habitações de interesse social multifamiliares para promoção da eficiência energética e conforto ambiental, também chamado de hab.labeee.

O convênio possui as seguintes frentes de trabalho:

1. Gerenciamento do projeto;
2. Revisão de Literatura;
3. Resiliência
4. Experimentos;
5. Industrialização.

Este documento integra a frente de trabalho focada nos experimentos de campo, documentando todos os procedimentos utilizados para realizar a calibração dos equipamentos de medição adquiridos para as análises de conforto térmico (estação Delta Ohm e Ibuttons), bem como todos os resultados encontrados.

## 1. Introdução

O Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012) define a calibração de sensores e equipamentos como uma operação que busca estabelecer relação entre os valores aferidos e as incertezas de medição conforme os padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas. Em uma calibração, o sensor é submetido a testes em que se observam as variáveis indicadas (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar e de globo) e a correspondência com o padrão previamente estabelecido, já aferido por um equipamento de qualidade atestada. Ou seja, é um procedimento que busca verificar se o sensor está medindo conforme deveria e, caso contrário, o quanto esses valores registrados diferem da referência.

Existem métodos distintos para a calibração dos sensores, e que consideram principalmente o tipo de sensor e as necessidades de medição. No entanto, não existem métodos gerais documentados por pesquisas que permitam uma calibração para a aferição de variáveis precisamente exatas. Sendo assim, nas calibrações definidas como protocolo do projeto Hab.LabEEE, serão utilizados parâmetros de proximidade física de medição e similaridade de valores comparados, observando-se principalmente dois fenômenos: i) o erro dos valores registrados, em que será considerada a diferença acusada no sensor testado e o valor de referência utilizado; e ii) a incerteza de medição, considerando-se o intervalo de precisão definido pelo fabricante e os resultados de calibração. Como referência para a aferição do erro dos equipamentos, serão utilizadas as informações do fabricante, descritas nas tabelas 2 e 3, e conforme especifica a ISO 7726 (1998). Tais valores estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de referência de acordo com a grandeza medida

Grandeza	Símbolo	Classe C (conforto)		
		Intervalo de medição	Precisão	Tempo de resposta (90%)
Temperatura do ar	$t_a$	10 °C a 40 °C	Requerida: $\pm 0,5$ °C Desejável: $\pm 0,2$ °C  Estes níveis devem ser garantidos pelo menos para um desvio $ t_r - t_a $ equivalente a 10 °C	O menor possível. Valor especificado como característica do instrumento de medição
Velocidade do ar	$v_a$	0,05 m/s a 1,00 m/s	Requerida: $\pm (0,05 + 0,05.v_a)$ m/s Desejável: $\pm (0,02 + 0,07.v_a)$ m/s  Estes níveis devem ser garantidos para qualquer direção do fluxo dentro de um ângulo sólido ( $\cdot$ ) = $3 \pi$ Sr	Requerida: 0,5 s Desejável: 0,2 s
Umidade absoluta; expressa como a	$p_a$	0,5 kPa a 3,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa	O menor possível. Valor especificado como

Grandeza	Símbolo	Classe C (conforto)		
		Intervalo de medição	Precisão	Tempo de resposta (90%)
pressão parcial de vapor d'água			Este nível deve ser garantido para uma diferença $ t_r - t_a $ de pelo menos 10 °C	característica do instrumento de medição

### 1.1. Objetivos da calibração

Garantir que os equipamentos utilizados pelos diferentes parceiros atuantes no projeto Hab.LabEEE apresentem registros de medição equiparáveis. Assim, os efeitos do clima e microclima nos locais de medição poderão ser considerados com maior fiabilidade.

Todos os equipamentos considerados para as medições de campo (estações Delta Ohm HD32.3TC e Ibuttons DS1923) foram calibrados antes do envio e início das medições em campo, e também após a finalização de todos os levantamentos, conforme orientado por manuais de boas práticas em calibração. Portanto, ao final dos estudos de campo das 10 universidades participantes, todos os equipamentos devem ser enviados novamente para o LabEEE.

## 2. Equipamentos de medição

### 2.1. Delta Ohm HD32.3TC - *Thermal Microclimate Data Logger*

De acordo com o manual do equipamento, a estação HD32.3TC é um instrumento portátil indicado para análise de microclima e qualidade do ar interno (QAI). Na versão adquirida para a execução do projeto (Figura 1), é possível registrar a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido com a ventilação natural, temperatura do termômetro de globo, umidade relativa do ar e a velocidade do ar. A partir desse conjunto de sensores, automaticamente são calculados o *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) interno, a temperatura radiante média, os índices *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), e índices TU e DR (turbulência e *draft rate*). De acordo com o manual da estação, as informações relacionadas à faixa de medição, precisão e resolução dos sensores estão descritas na Tabela 2. O tempo de resposta necessário para se atingir 95% do valor final da medição é de 15 minutos.

Tabela 2. Características técnicas dos sensores de medição da HD32.3TC

Sensor	Faixa de medição	Precisão	Resolução
Temperatura de bulbo seco (HP3217R)	-40 °C a 100 °C	1/3 DIN 15 °C a 35 °C (1,5 + 1,5% measure)%	0,1 °C
Umidade relativa do ar (HP3217R)	0 a 100%	±1,5% (0 a 90%) ±2% (90 a 100%)	0,1%
Velocidade do ar omnidirecional	0,02 a 5 m/s	± (0,05 + 0,5% measure) m/s	0,01 m/s

Sensor	Faixa de medição	Precisão	Resolução
(AP3203)			
Temperatura de globo (TP3275)	-30 °C a +120 °C	1/3 DIN 15 °C a 35 °C (1,5 + 1,5% measure)%	0,1 °C

Figura 1. Delta Ohm HD32.3TC Thermal Microclimate



Fonte: <https://environmental.senseca.com/product/hd32-3tc-thermal-microclimate-pmv-ppd-wbgt/>

## 2.2. Ibutton DS1923

O equipamento é um registrador de dados de baixo custo com alta duração de bateria e de pequenas dimensões (Figura 2), que mede a temperatura e a umidade relativa do ar. As informações relacionadas à faixa de medição, precisão e resolução dos Ibuttons estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características técnicas dos Ibuttons

Medição	Faixa de medição	Precisão	Resolução
Temperatura de bulbo seco (°C)	-20°C a +85°C	+/- 0.5 °C (-10 °C a +65 °C)	Programável 0.5°C - 8 bit 0.0625°C - 11 bit
Umidade relativa do ar (%)	0 a 100%	-	-

Figura 2. Ibutton DS1923



Fonte: <http://www.maximus.co.nz/Products/iButton-Products>

### 2.3. Termômetro de mercúrio

Este equipamento foi utilizado como referência principal nas calibrações de temperatura de bulbo seco, emprestado pelo LabTermo (Figura 3). Tem escala interna em graus Celsius °C (divisão de 0,05 °C), capilar transparente e enchimento a Mercúrio (Hg). A unidade utilizada na calibração dos equipamentos possui faixa de medição de 19 °C a 21 °C.

Figura 3. Termômetro de mercúrio de alta precisão



Fonte: [www.lojaprolab.com.br/termometro-quimico-escala-interna-em-mercurio-30-50-c-94935](http://www.lojaprolab.com.br/termometro-quimico-escala-interna-em-mercurio-30-50-c-94935)

### 2.4. Testo 735

Este equipamento foi utilizado como segunda referência para as calibrações de temperatura de bulbo seco, emprestado pelo LabTermo. Possui uma sonda de imersão/penetração (Sonda Pt100) de elevada precisão com exatidão do sistema de 0,05 °C e resolução de 0,001 °C. A sonda utilizada possui selo de calibração NBR ISO/IEC 17025 (2017). No túnel de vento, novamente utilizou-se uma outra especificação de sonda no Testo 735 para velocidade do ar com medição unidirecional.



### 3. Procedimentos de calibração

#### 3.1. Sensores de temperatura e umidade relativa do ar e de globo da HD32.3TC

Os procedimentos de medição e calibração dos sensores de temperatura de bulbo seco, temperatura de globo (sem o globo negro) e de umidade relativa do ar serão conduzidos na TR4Cs - *Test Room for Comfort Studies* (Figura 4). A TR4CS (<https://labeee.ufsc.br/index.php/pt-br/tr4cs>), é um ambiente controlado projetado para a avaliação do conforto humano, com área de 9,72 m<sup>2</sup> e volume de 60 m<sup>3</sup>. Trata-se de uma sala dimensionada para acomodar até três estações de trabalho, com uma janela de 1 m<sup>2</sup> com vista para o exterior. A câmara está equipada com um condicionador de ar do tipo cassete que possui dutos direcionados para as extremidades do ambiente, o que possibilita o controle de vazão. Possui, ainda, sistema de renovação e filtragem de ar para garantir condições adequadas durante a realização de experimentos.

Figura 4. TR4Cs - Test Room for Comfort Studies



Fonte: <https://labeee.ufsc.br/index.php/pt-br/tr4cs>

A calibração dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar das estações HD32.3TC foi realizada de com todos os sensores agrupados e próximos um dos outros, considerando as mesmas condições de operação do ambiente em todos os ensaios - temperatura do condicionador de ar fixada em 20 °C, persiana e ambiente fechado durante todo o período de registros para impedir diferenças de pressão. A calibração foi realizada em uma primeira rodada para os 10 sensores de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do ar (HP3217R) dispostos em 3 tripés com 4 pontos de fixação cada, e numa segunda rodada para os 10 sensores de temperatura de bulbo seco (TP3275), fixados nestes mesmos 3 tripés, sem o globo negro acoplado.

Os três conjuntos de tripés da estação foram posicionados com a maior proximidade física possível dos sensores de referência (que devem estar posicionados na horizontal), em um local fixo e próximo ao centro do ambiente. A calibração ocorreu por 1 hora, considerando-se 30 minutos de resposta para a estabilização dos sensores e 30 minutos de medição, com registros programados para cada 1 minuto. Os valores foram aferidos de acordo com a referência adotada (mercúrio e Testo 735-2 Pt100) a cada 10 minutos, totalizando 4 registros (minuto 0, 10, 20, e 30). Posteriormente, estes valores foram transformados em médias a cada 5 minutos (média simples entre o valor anterior e o posterior ao tempo determinado). Os

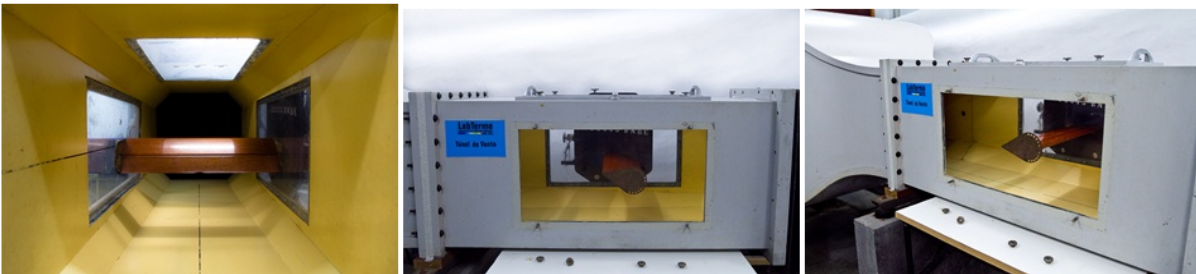
valores registrados a cada 1 minuto nos equipamentos em calibração foram transformados em valores para cada 5 minutos por média simples, considerando os 3 registros anteriores e posteriores ao tempo determinado.

Os valores de temperatura de bulbo seco foram comparados com os valores registrados pela referência, e os valores de umidade relativa do ar foram registrados e comparados entre si para a simples aferição de valores. Todos os resultados registrados foram documentados em planilha e avaliados por proximidade de valores, observando-se o erro dos valores registrados em relação à referência.

### 3.2. Sensores de velocidade do ar da HD32.3TC

Os sensores de velocidade do ar foram submetidos a testes no túnel de vento (Figura 5), localizado no Laboratório de Ciências Térmicas (LabTermo). De acordo com informações do LabTermo (<https://www.labtermo.ufsc.br/Experimentos/tuneldevento.html>), o túnel de vento é do tipo soprador, marca Plint & Partners, e foi importado da Inglaterra em 1972. É composto de um ventilador radial tipo Sirocco, que insufla o ar em direção à seção de testes. Antes desta, ocorre uma expansão para a redução da velocidade e intensidade de turbulência, seguida de uma redução progressiva de área. Possui uma saída livre, com perfil de velocidade bastante uniforme, o que permite a calibração de instrumentos como anemômetros, velômetros, etc. Foi dotado de um conversor de frequência que permite um controle da rotação do motor elétrico de acionamento, podendo-se realizar testes a baixas velocidades, sem o inconveniente do ruído, que representava o conjunto trabalhando à rotação nominal.

Figura 5. Túnel de vento no LabTermo



Fonte: [www.labtermo.ufsc.br/Experimentos/tuneldevento.html](https://www.labtermo.ufsc.br/Experimentos/tuneldevento.html)

Os testes foram feitos para diferentes intervalos de velocidade do ar, variando de 0,05 a 5,00 m/s. Os sensores foram posicionados na barra indicada nas imagens, junto com o sensor de referência (Testo 735-1) utilizado para testes no túnel. Todos os valores medidos foram documentados em planilha, por sonda, sendo posteriormente avaliados por proximidade e observando-se o erro entre os valores registrados e a referência.

### 3.3. Ibuttons DS1923

Os Ibuttons foram calibrados em conjunto com os sensores de temperatura da estação Delta Ohm, por um período de 3 horas. Todos os 120 sensores adquiridos para o projeto foram programados para a medição concomitante em intervalos de 1 minuto, e colocado em uma placa de isopor retangular para evitar interferências maiores. Todos os registros foram comparados com os valores do sensor de referência (mercúrio). Os valores de umidade relativa do ar foram comparados entre todos os Ibuttons, registrado o erro médio entre eles.

#### 4. Resultados da primeira calibração

As calibrações dos sensores das estações Delta Ohm e Ibuttons previamente ao envio às Universidades parceiras ocorreu nos dias 12 e 13 de junho/24 conforme definido pelo protocolo de calibração do projeto. Os sensores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, e de globo da estação, e de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar dos Ibuttons foram calibrados na TR4CS no dia 12/06 (Figura 6) e de velocidade do ar da estação no túnel de vento no dia 13/06 (Figura 7). Os resultados encontrados estão descritos nos itens abaixo.

Figura 6. Da esquerda para a direita: sensores de temperatura de globo (sem o globo encaixado) medindo  $T_{bs}$ , sensores de temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) e umidade relativa do ar (UR), e ibuttons medindo  $T_{bs}$  e UR durante calibração realizada no dia 12/06/24 na TR4CS

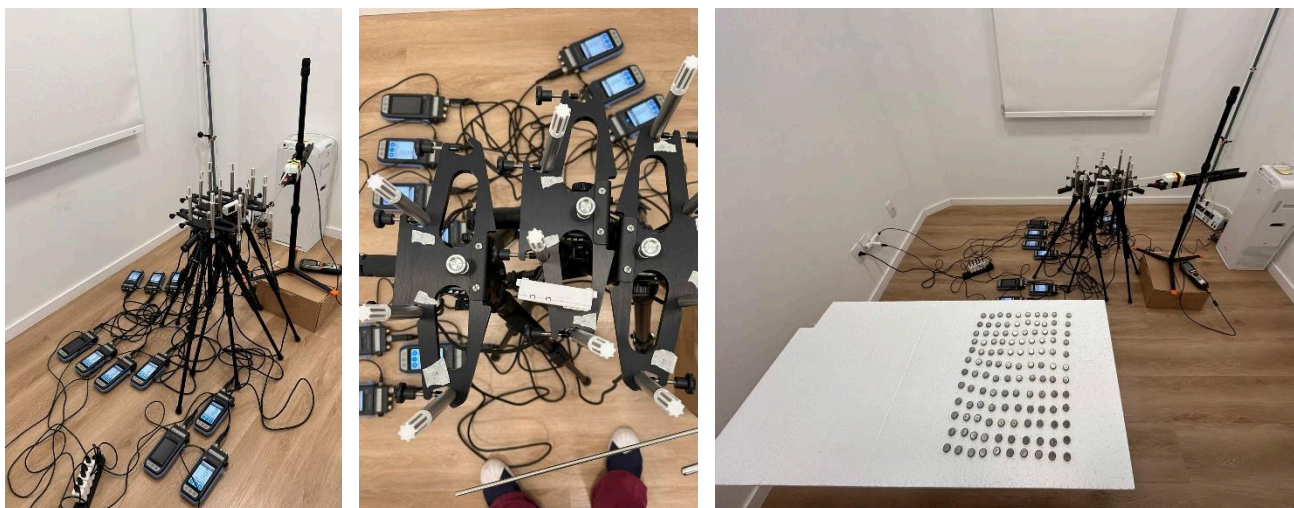
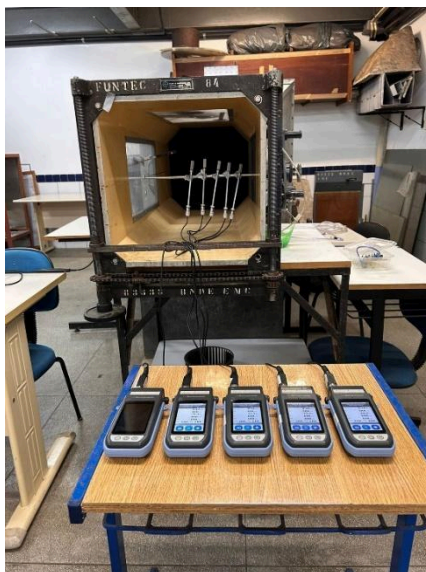


Figura 7. Calibração dos sensores de velocidade do ar realizada no dia 16/06/24 no túnel de vento



## 4.1. Temperatura de bulbo seco

### 4.1.1. Sensor HP3217R – Delta Ohm

Os valores registrados durante o procedimento de calibração dos sensores estão resumidos na Tabela 4. O início da gravação de dados dos sensores ocorreu às 13h40m, aguardando-se os 30 minutos pré-determinados para a estabilização dos sensores. A calibração ocorreu, então, a partir das 14h10m, finalizando às 14h40m.

O erro calculado para cada um dos sensores em relação a referência principal (termômetro de mercúrio) está descrito na Tabela 5. O maior erro encontrado durante o registro de todas as medições em relação a referência foi de 0,269 °C, o que segundo o fabricante está dentro da faixa de precisão do equipamento (registro de temperatura: 19,871 °C; precisão calculada  $\pm 0,357$  °C) e segundo a ISO 7726 (1998) está dentro da acuracidade requerida. O sensor com o maior e o menor erro calculado em relação à referência foi o 7459; o maior erro médio também foi encontrado para esse mesmo sensor. O erro médio entre os sensores foi de 0,051 °C. Na Figura 8 observa-se um gráfico resumo com a comparação entre todos os valores registrados nos sensores da estação Delta Ohm ao longo da medição (estabilização e calibração). O erro médio entre os sensores de temperatura de bulbo seco foi de 0,168 °C.

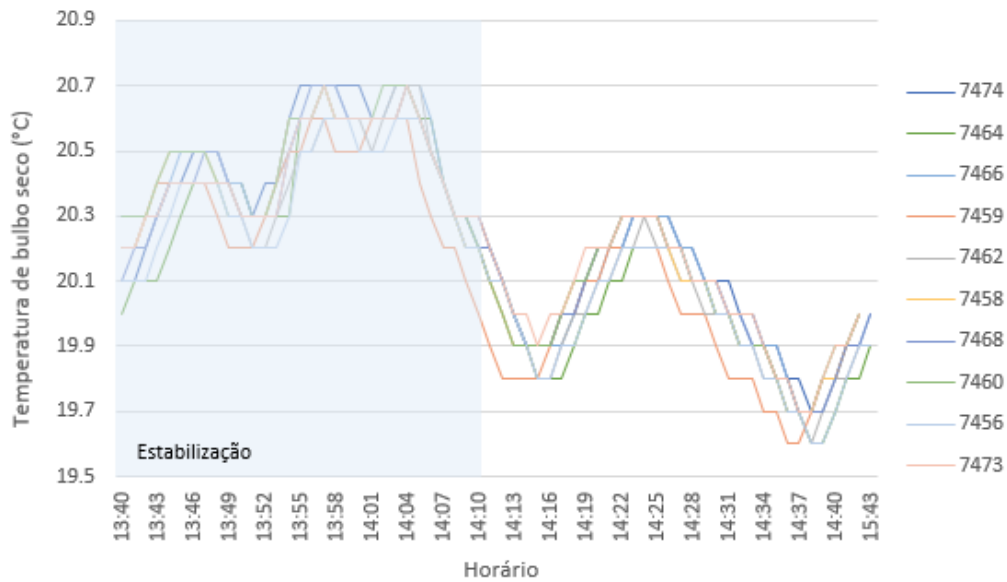
Tabela 4. Registro de valores durante a calibração da temperatura de bulbo seco

	TEMPERATURA BULBO SECO												
	Horário	Mercúrio	Testo 735-2	7474	7464	7466	7459	7462	7458	7468	7460	7456	7473
Estabilização	13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibração	14:10	20,240	20,023	20,229	20,186	20,214	20,000	20,157	20,157	20,214	20,171	20,186	20,229
Calibração	14:15	20,140	20,006	19,971	19,900	19,957	19,871	19,900	19,957	19,971	19,957	19,914	20,014
Calibração	14:20	20,040	19,988	20,143	20,014	20,114	20,114	20,071	20,171	20,157	20,171	20,057	20,186
Calibração	14:25	20,070	19,903	20,257	20,171	20,257	20,129	20,186	20,229	20,243	20,243	20,186	20,243
Calibração	14:30	20,100	19,817	20,100	20,029	20,071	19,900	20,000	20,014	20,057	20,029	20,029	20,071
Calibração	14:35	19,925	19,673	19,871	19,800	19,843	19,700	19,771	19,800	19,829	19,800	19,771	19,843
Calibração	14:40	19,750	19,528	19,833	19,700	19,783	19,783	19,750	19,817	19,783	19,833	19,717	19,833

Tabela 5. Erro calculado para os sensores testados em relação à referência (termômetro mercúrio)

	ERRO DE MEDIÇÃO - TEMPERATURA BULBO SECO												
	Horário	Mercúrio	Testo 735-2	7474	7464	7466	7459	7462	7458	7468	7460	7456	7473
Estabilização	13:40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	13:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibração	14:10	20,240	0,217	0,011	0,054	0,026	0,240	0,083	0,083	0,026	0,069	0,054	0,011
Calibração	14:15	20,140	0,135	0,169	0,240	0,183	0,269	0,240	0,183	0,169	0,183	0,226	0,126
Calibração	14:20	20,040	0,052	-0,103	0,026	-0,074	-0,074	-0,031	-0,131	-0,117	-0,131	-0,017	-0,146
Calibração	14:25	20,070	0,168	-0,187	-0,101	-0,187	-0,059	-0,116	-0,159	-0,173	-0,173	-0,116	-0,173
Calibração	14:30	20,100	0,283	0,000	0,071	0,029	0,200	0,100	0,086	0,043	0,071	0,071	0,029
Calibração	14:35	19,925	0,253	0,054	0,125	0,082	0,225	0,154	0,125	0,096	0,125	0,154	0,082
Calibração	14:40	19,750	0,222	-0,083	0,050	-0,033	-0,033	0,000	-0,067	-0,033	-0,083	0,033	-0,083
	MAIOR #	-	0,283	0,169	0,240	0,183	0,269	0,240	0,183	0,169	0,183	0,226	0,126
	MENOR #	-	0,052	-0,187	-0,101	-0,187	-0,074	-0,116	-0,159	-0,173	-0,173	-0,116	-0,173
	MÉDIO	-	0,190	-0,020	0,066	0,004	0,110	0,061	0,017	0,001	0,009	0,058	-0,022

Figura 8. Curva de medição dos valores de temperatura de bulbo seco dos sensores Delta Ohm



#### 4.1.2. Sensor TP3275 – Delta Ohm

Os valores do sensor de medição da temperatura de globo, sem a fixação do globo negro, estão resumidos na Tabela 6. O início da gravação de dados para este conjunto de sensores ocorreu às 15h05m, aguardando-se os 30 minutos pré-determinados para a estabilização e resposta. A calibração ocorreu, então, a partir das 15h35m, finalizando às 16h05m.

Tabela 6. Registro de valores durante a calibração da temperatura de bulbo seco do sensor de globo negro

	TEMPERATURA BULBO SECO (SENSOR GLOBO NEGRO)												
	Horário	Mercúrio	Testo 735-2	7474	7464	7466	7459	7462	7458	7468	7460	7456	7473
Estabilização	15:05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	15:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	15:25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibração	15:35	20,120	19,966	19,943	19,900	19,943	19,914	19,957	19,971	19,957	20,029	19,957	19,957
Calibração	15:40	20,035	19,842	19,814	19,957	19,871	19,800	19,957	19,929	19,814	19,900	19,886	19,886
Calibração	15:45	19,950	19,718	19,729	19,729	19,757	19,686	19,743	19,729	19,743	19,843	19,729	19,700
Calibração	15:50	20,160	19,945	20,086	20,086	20,129	20,043	20,086	20,100	20,129	20,186	20,129	20,057
Calibração	15:55	20,370	20,172	19,943	20,143	20,000	19,957	20,114	20,086	19,971	20,043	20,029	19,986
Calibração	16:00	20,085	19,896	19,614	19,743	19,629	19,586	19,743	19,729	19,586	19,671	19,629	19,657
Calibração	16:05	19,800	19,620	19,571	19,529	19,571	19,543	19,586	19,586	19,571	19,671	19,543	19,543

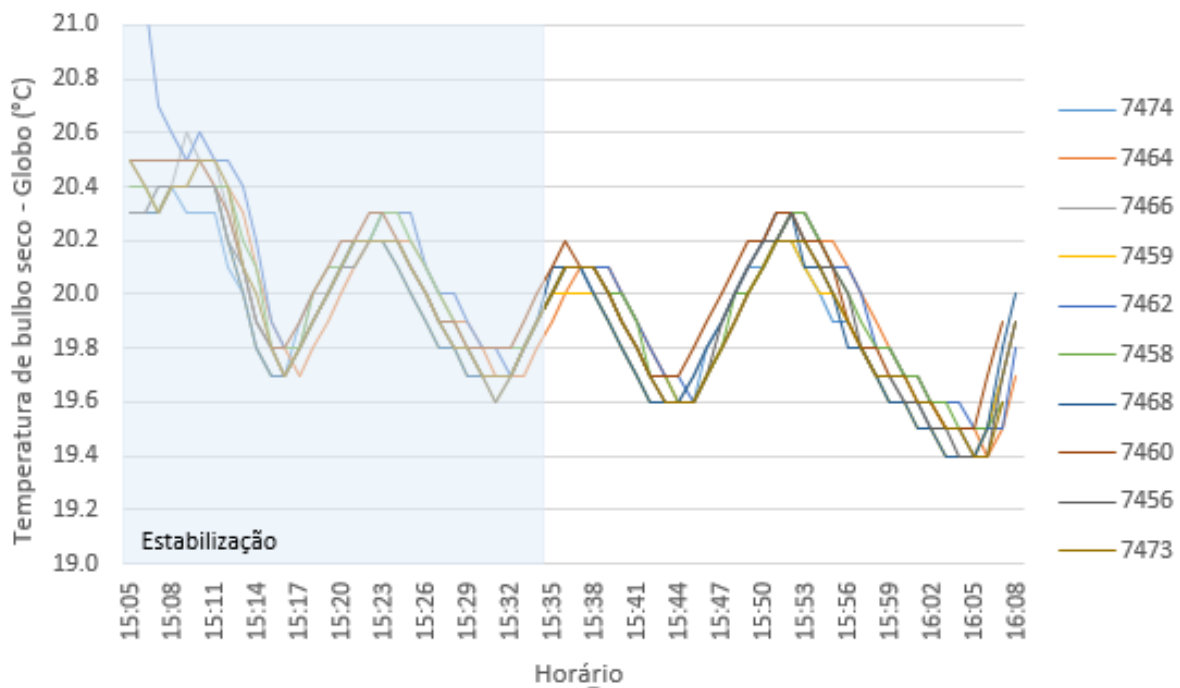
O erro calculado para cada um dos sensores em relação a referência principal (termômetro de mercúrio) está descrito na Tabela 7. O maior erro encontrado durante o registro de todas as medições em relação a referência foi de 0,499 °C (um pouco superior ao encontrado para os sensores de temperatura de bulbo seco), o que segundo o fabricante está fora da faixa de precisão do equipamento (registro de temperatura: 19,586 °C; precisão calculada para este valor de  $\pm 0,350$  °C). No entanto, de acordo com a ISO 7726 (1998), este erro está dentro da acuracidade requerida. O sensor com o maior erro foi o 7468, e com o menor erro calculado foi o 7460. O erro médio entre todos os sensores foi de 0,227 °C. Na Figura 9

observa-se o gráfico resumo que inclui a comparação entre todos os valores registrados para a temperatura de bulbo seco do sensor de globo da estação Delta Ohm, ao longo da medição completa (estabilização e calibração). Embora o erro entre os sensores e o valor de referência tenha sido maior que o especificado pelo fabricante, entre as sondas do mesmo modelo o erro médio encontrado foi de 0,155 °C.

Tabela 7. Erro calculado para todos os sensores testados em relação à referência (termômetro mercúrio)

	Horário	Mercúrio	ERRO DE MEDIÇÃO - TEMPERATURA BULBO SECO (SENSOR GLOBO NEGRO)										
			Testo 735-2	7474	7464	7466	7459	7462	7458	7468	7460	7456	7473
Estabilização	15:05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	15:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilização	15:25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibração	15:35	20,240	0,154	0,177	0,220	0,177	0,206	0,163	0,149	0,163	0,091	0,163	0,163
Calibração	15:40	20,140	0,193	0,221	0,078	0,164	0,235	0,078	0,106	0,221	0,135	0,149	0,149
Calibração	15:45	20,040	0,232	0,221	0,221	0,193	0,264	0,207	0,221	0,207	0,107	0,221	0,250
Calibração	15:50	20,070	0,215	0,074	0,074	0,031	0,117	0,074	0,060	0,031	-0,026	0,031	0,103
Calibração	15:55	20,100	0,198	0,427	0,227	0,370	0,413	0,256	0,284	0,399	0,327	0,341	0,384
Calibração	16:00	19,925	0,189	0,471	0,342	0,456	0,499	0,342	0,356	0,499	0,414	0,456	0,428
Calibração	16:05	19,750	0,180	0,229	0,271	0,229	0,257	0,214	0,214	0,229	0,129	0,257	0,257
MAIOR #	-	-	0,232	0,471	0,342	0,456	0,499	0,342	0,356	0,499	0,414	0,456	0,428
MENOR #	-	-	0,154	0,074	0,074	0,031	0,117	0,074	0,060	0,031	-0,026	0,031	0,103
MÉDIO	-	-	0,194	0,260	0,205	0,231	0,284	0,191	0,199	0,250	0,168	0,231	0,248

Figura 9. Curva de medição dos valores de temperatura de bulbo seco do sensor de globo negro



#### 4.1.3. Sensor DS1923 – Ibutton

As medições efetuadas com os Ibuttons foram comparadas com os valores registrados pelo termômetro de referência e entre eles mesmos. Na Figura 10 são apresentadas as diferenças médias para cada sensor entre os valores medidos e a referência de mercúrio, além das diferenças máximas e mínimas na barra vermelha. Observa-se que a diferença máxima média registrada aproxima-se 0,8 °C, enquanto a mínima média está próxima de 0 °C. Dentre as diferenças máximas, observa-se valores próximos de 1,0 °C.

Entre os sensores, o erro padrão foi inferior a 0,1 °C (Figura 11), o desvio padrão médio próximo de 0,5 °C nos intervalos de medição adotados (Figura 12), e o intervalo de confiança registrado entre sensores foi de aproximadamente 0,1 °C (Figura 13).

Figura 10. Diferença média entre os valores de temperatura de bulbo seco registrados pelos Ibuttons e os valores observados no termômetro de mercúrio

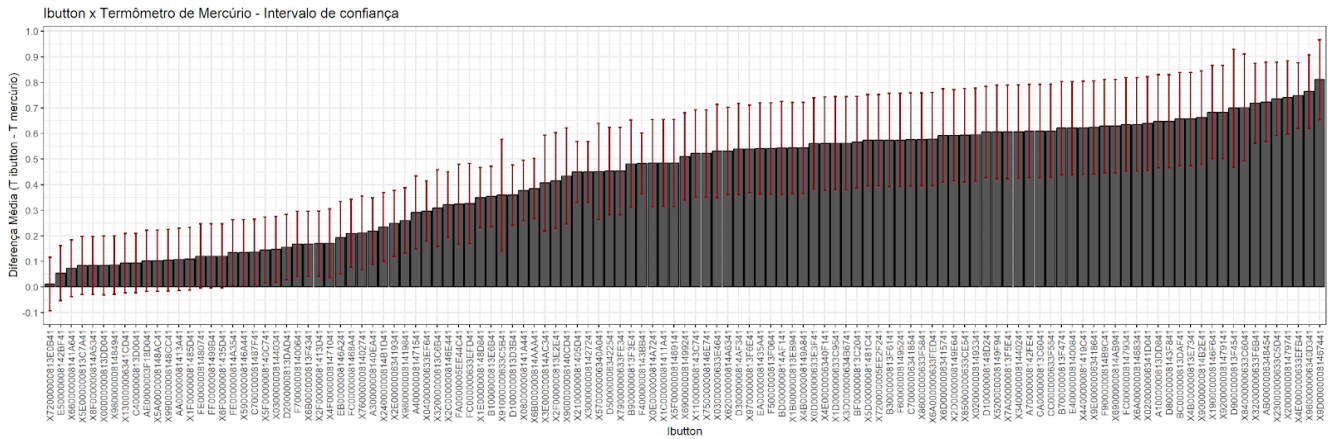


Figura 11. Erro padrão entre os Ibuttons para o intervalo de calibração

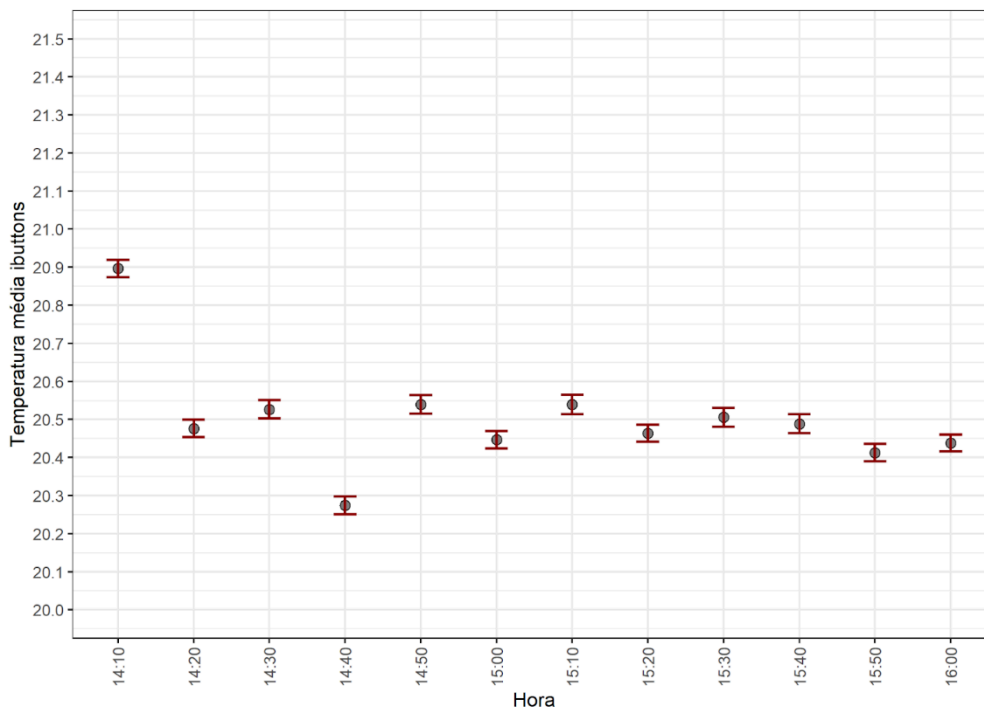


Figura 12. Desvio padrão entre os Ibuttons para o intervalo de calibração

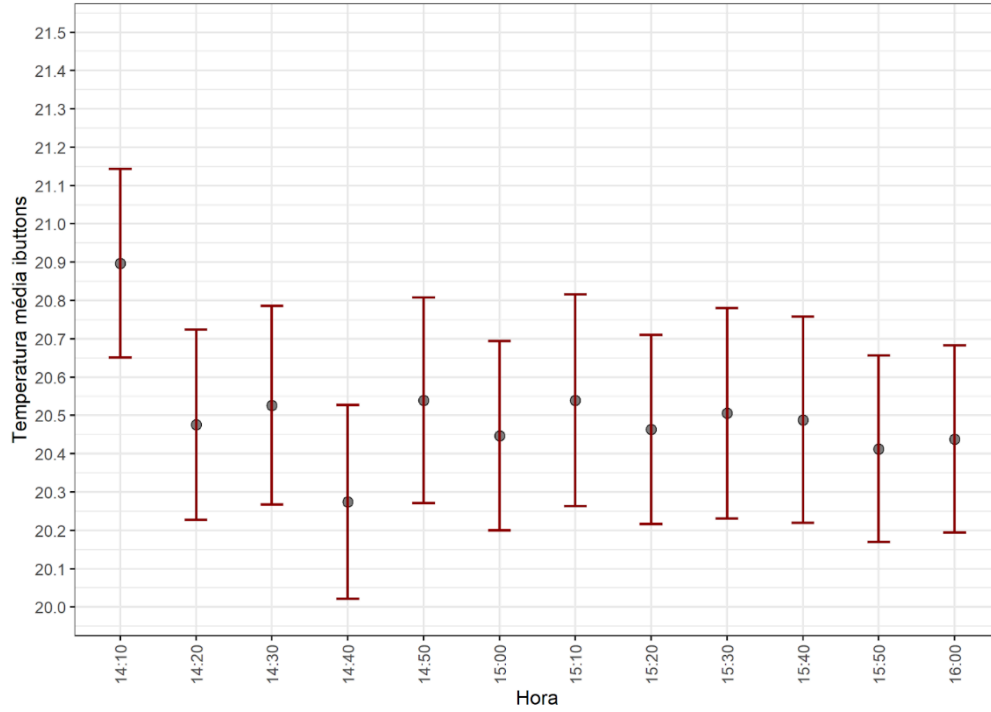
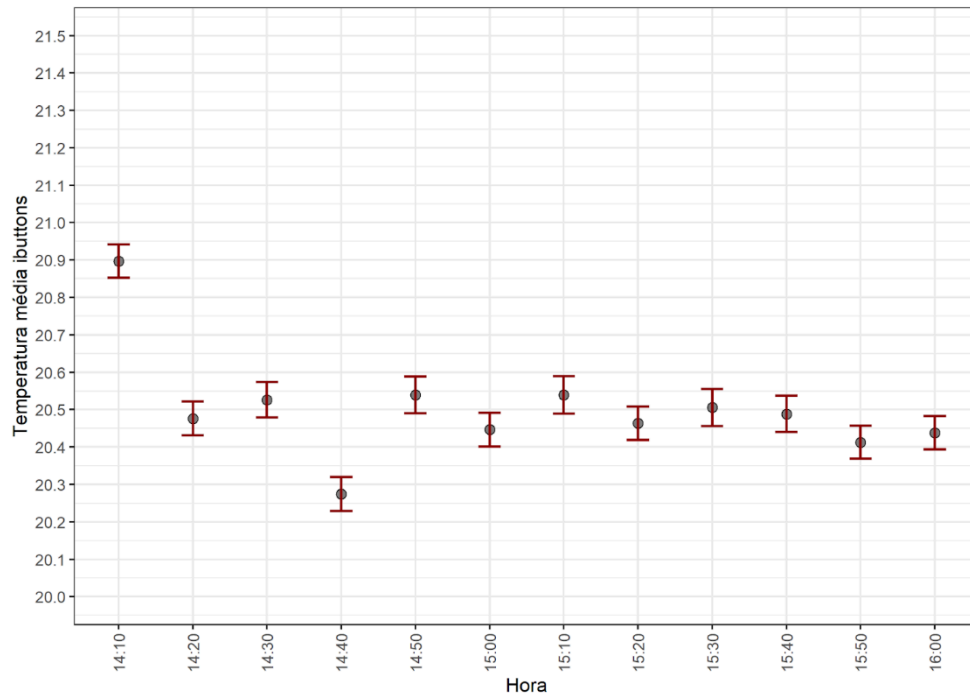


Figura 13. Intervalo de confiança entre os Ibuttons para o intervalo de calibração



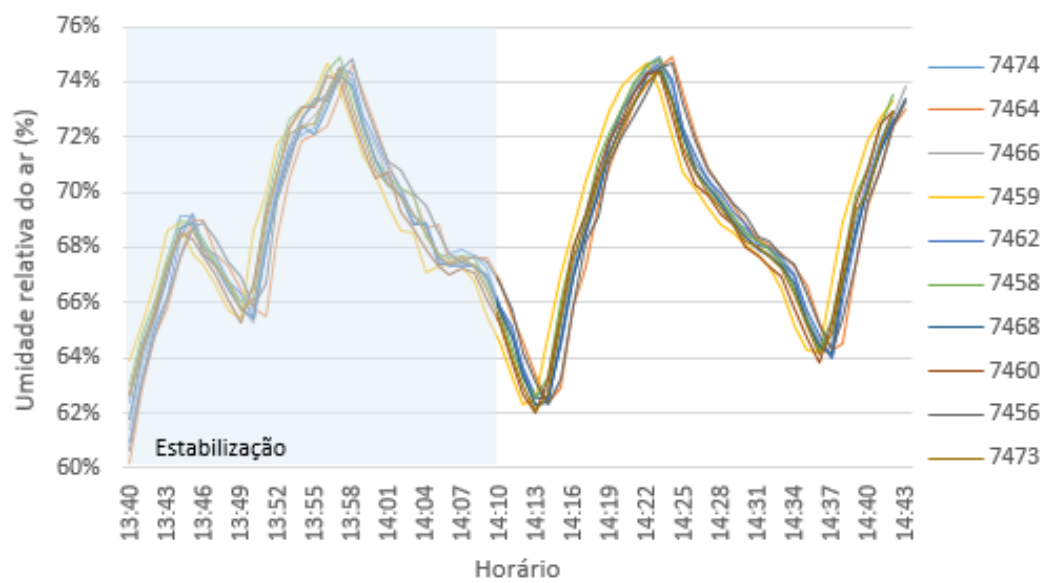


## 4.2. Umidade relativa do ar

### 4.2.1. Sensor HP3217R – Delta Ohm

Os valores de umidade relativa do ar foram registrados durante todo o intervalo de calibração e, posteriormente, comparados entre si. Neste caso, não houve sensor de referência para a aferição dos valores medidos. A diferença máxima entre os valores registrados foi de 4,5% e mínima de 0,7%. A diferença média observada durante toda a medição foi de 2,02%. A curva de medição de valores para cada um dos sensores pode ser observada na Figura 14.

Figura 14. Curva de medição dos valores de umidade relativa do ar



### 4.2.2. Sensor DS1923 – Ibutton

Os valores de umidade relativa do ar foram comparados apenas entre os sensores, avaliando-se o erro padrão, desvio padrão e intervalo de confiança. Observa-se, assim que o erro padrão registrado foi de aproximadamente 0,4% (Figura 15), desvio padrão de 1,6% (Figura 16) e o intervalo de confiança de 0,4% (Figura 17). O intervalo de medição da umidade relativa do ar das estações Delta Ohm esteve entre 62% e 73%, enquanto nos Ibuttons entre 68% e 76%.

Figura 15. Erro padrão entre os Ibuttons para o intervalo de calibração da umidade relativa do ar

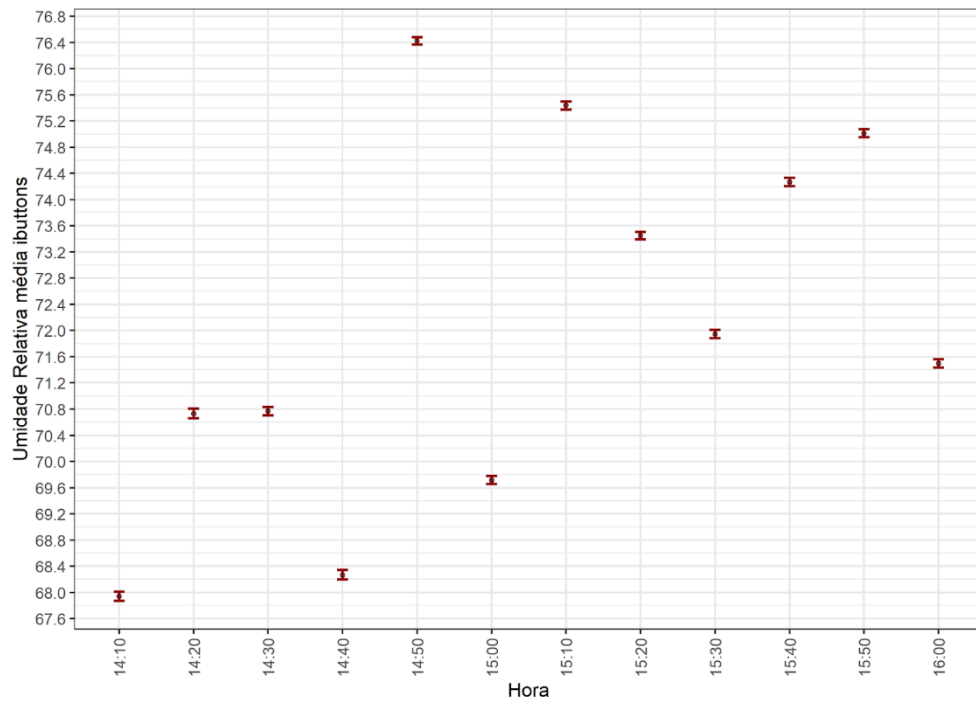


Figura 16. Desvio padrão entre os i-buttons para o intervalo de calibração da umidade relativa do ar

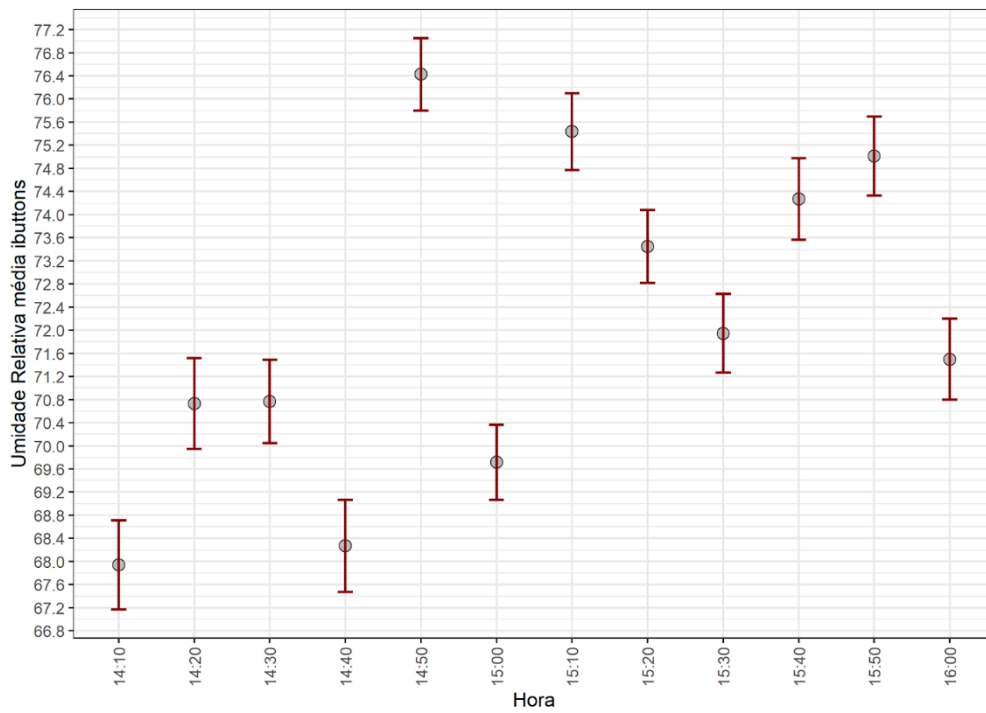
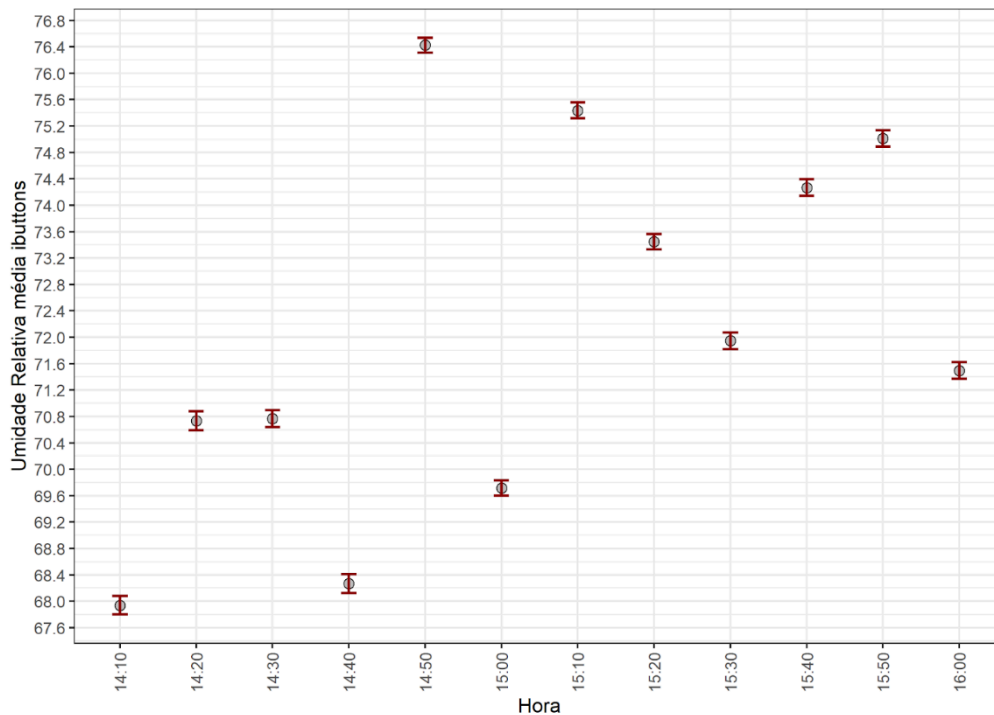


Figura 17. Intervalo de confiança entre os Ibuttons para o intervalo de calibração da umidade relativa do ar



### 4.3. Velocidade do ar (Delta Ohm)

A calibração dos sensores de velocidade do ar ocorreu em duas rodadas diferentes, agrupando 5 sensores por rodada fixados dentro do túnel de vento, e próximo ao sensor de referência do LabTermo. Os resultados encontrados podem ser observados nas Figuras 18 e 19. A curva de valores do sensor de referência está destacada das demais (marcador triangular preto) para facilitar a leitura e visualização das comparações.

De forma geral, o que se observou foram erros crescentes a partir de 1,22 m/s. No entanto, não foram todos os sensores que se afastaram em igual escala da referência para velocidades mais altas. O maior erro encontrado ocorreu no sensor 7462 para o intervalo de 4,50 m/s, igual a 2,40 m/s acima da referência. A média dos erros médios calculados para todos os sensores foi de 0,13 m/s. De forma geral, e para ambas as rodadas de sensores, o erro calculado atende a precisão do fabricante e ao estipulado pela ISO 7726 até o intervalo de 0,62 m/s (ponto 5), passando após 1,22 m/s (ponto 6) a ultrapassar o valor requerido nos sensores 7459, 7462, 7468, 7456 e 7473. É interessante notar que os sensores que apresentaram os maiores erros (7459 e 7462 na rodada 1; 7473 na rodada 2) estavam, em sua maioria, posicionados à direita dentro do túnel, conforme pode ser observado na Figura 7. Deve-se destacar que para baixas velocidades do ar (até o ponto de registro 5), todos os sensores responderam bem à calibração. Os valores registrados durante a calibração no túnel de vento podem ser observados na Tabela 8, e o erro calculado para cada um dos 10 sensores em comparação ao sensor de referência pode ser observado na Tabela 9.

Figura 18. Curva de medição da velocidade do ar na primeira rodada de calibração no túnel de vento

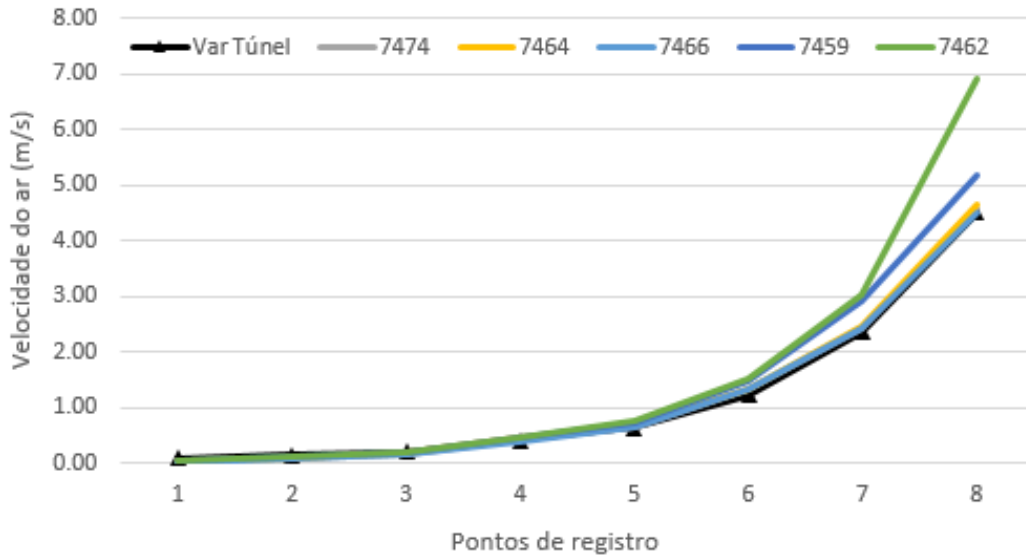


Figura 19. Curva de medição da velocidade do ar na segunda rodada de calibração no túnel de vento

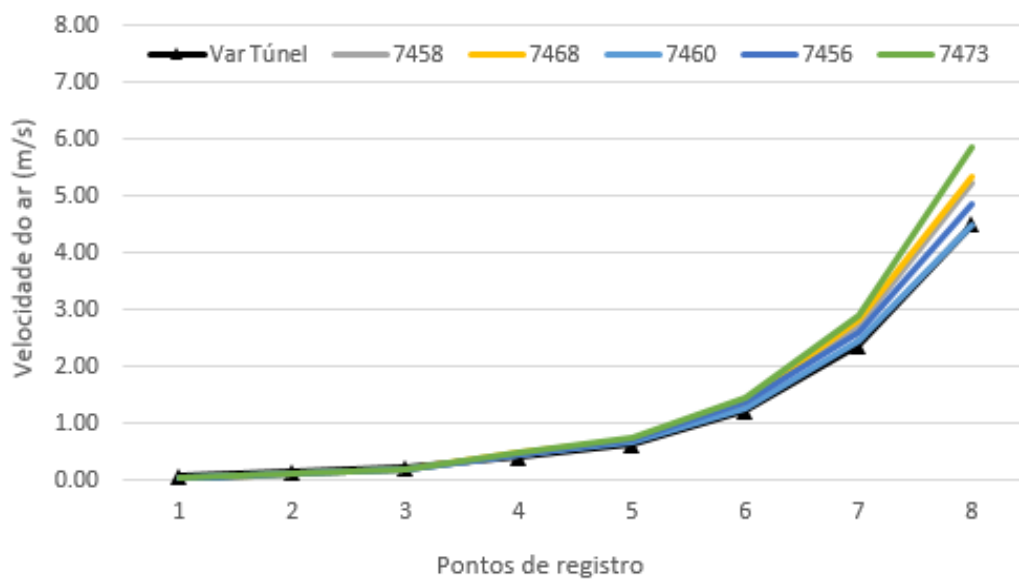


Tabela 8. Valores registrados pelos sensores de velocidade do ar durante a calibração no túnel de vento

Registro	MEDIÇÕES - RODADA 1						MEDIÇÕES - RODADA 2					
	Var Túnel	7474	7464	7466	7459	7462	Var Túnel	7458	7468	7460	7456	7473
1	0.08	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.06	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
2	0.14	0.09	0.09	0.07	0.10	0.10	0.14	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11
3	0.21	0.17	0.18	0.14	0.20	0.18	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20
4	0.41	0.41	0.44	0.39	0.45	0.45	0.41	0.46	0.47	0.45	0.46	0.50
5	0.63	0.66	0.70	0.65	0.71	0.74	0.62	0.70	0.72	0.68	0.71	0.76
6	1.22	1.31	1.31	1.33	1.47	1.52	1.22	1.34	1.37	1.25	1.36	1.43
7	2.36	2.43	2.44	2.41	2.90	3.02	2.36	2.72	2.81	2.46	2.61	2.91
8	4.50	4.57	4.64	4.50	5.19	6.90	4.50	5.23	5.35	4.47	4.86	5.87

Tabela 9. Erro calculado para os sensores de velocidade do ar em relação ao sensor de referência; em vermelho, os valores fora da precisão requerida por norma

Registro	ERRO CALCULADO - RODADA 1					ERRO CALCULADO - RODADA 2				
	7474	7464	7466	7459	7462	7458	7468	7460	7456	7473
1	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03
2	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
3	0.04	0.03	0.07	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
4	0.00	-0.03	0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	-0.09
5	-0.03	-0.07	-0.02	-0.08	-0.11	-0.08	-0.1	-0.06	-0.09	-0.14
6	-0.09	-0.09	-0.11	-0.25	-0.30	-0.12	-0.15	-0.03	-0.14	-0.21
7	-0.07	-0.08	-0.05	-0.54	-0.66	-0.36	-0.45	-0.10	-0.25	-0.55
8	-0.07	-0.14	0.00	-0.69	-2.40	-0.73	-0.85	0.03	-0.36	-1.37

## Referências

ABNT NBR ISO/IEC - 17025:2017. **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro, 2017.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados** (VIM, 2012). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94 p.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7726:1998. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Genebra, 1998.