

CALIBRAÇÃO DE SENSORES PARA ESTAÇÕES CLIMÁTICAS DE BAIXO CUSTO

CALIBRATION OF SENSORS FOR LOW-COST WEATHER STATIONS

Data de aceite: 16/09/2024 | Data de submissão: 14/09/2024

ZIEBELL, Clarissa Sartori Ziebell, Doutora em Design

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, E-mail:

clarissa.ziebell@ufrgs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9988-6950>

VIZZOTTO, Marcos Rodrigues, Mestre em Engenharia Elétrica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, E-mail:

marcos.vizzotto@ufrgs.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2084-4336>

GONÇALVES, Pedro Henrique, Doutor em Construção Civil

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, E-mail: pedrogoncalves@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9919-6557>

RESUMO

Considerando que estações meteorológicas comumente são difíceis de adquirir com as verbas para pesquisa disponíveis, este trabalho tem como objetivo desenvolver e calibrar uma estação de baixo custo para medição de temperatura e umidade por meio da plataforma de desenvolvimento Arduino. Foram desenvolvidas duas estações: uma pensada para uso em ambientes externos e outra para ambientes internos. O processo de calibração durou aproximadamente 2 horas e foi realizado dentro de uma câmara climatizada por meio da comparação com os dados coletados em um equipamento já calibrado. Com base nesta comparação, pôde-se ajustar os dados de saída disponibilizados pelas estações propostas. Ao final, obteve-se um coeficiente R^2 próximo a 1 para ambas as estações, o que indica que os sensores utilizados nas estações propostas são confiáveis. Contudo, a leitura dos gráficos leva a crer que para de fato validar o sensor da estação interna seria necessário um período maior de medição.

Palavras-chave: Estação de monitoramento climático; Calibração de sensores; Arduino Uno.

ABSTRACT

Considering that meteorological stations are commonly difficult to acquire with available research funds, this work aims to develop and calibrate a low-cost station for measuring temperature and humidity using the Arduino development platform. Two stations were developed: one designed for outdoors environments and the other for indoor environments. The calibration process lasted approximately 2 hours and was carried out inside a climate-controlled chamber through comparison with data collected on a calibrated equipment. Based on this comparison, it was possible to adjust the output data provided by the proposed stations. In the end, an R^2 coefficient close to 1 was obtained for both stations, which indicates that the sensors used in the proposed stations are reliable. However,

reading the graphs leads us to believe that to actually validate the internal station sensor, a longer measurement period would be necessary.

Keywords: Climate monitoring station; Sensor calibration; Arduino Uno.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de dados climáticos é necessário em diversas áreas do conhecimento. Na agricultura, a chamada agrometeorologia em conjunto com a agronomia do solo pode embasar importantes decisões no que se refere ao gerenciamento de recursos agrícolas (Singh e Jerath, 2019). Como auxílio a prevenção de acidentes, o monitoramento da umidade relativa do ar pode alertar as autoridades competentes do risco de um incêndio eminente em regiões com construções em madeira (Log, 2017). Além disso, trata-se de um recurso essencial na prevenção de desastres naturais em áreas de risco, especialmente com o agravamento das mudanças climáticas (Bernardes *et al.*, 2022).

Outro tópico frequentemente mencionado em trabalhos acadêmicos é o estudo da formação das ilhas de calor por meio do monitoramento (Sun, Kato e Gou, 2019). A qualidade do ar, medida através da concentração da massa de partículas presentes no ar, também é mensurada através de estações de monitoramento, e é essencial para o controle da poluição (Li *et al.*, 2020 e Ikram *et al.*, 2012). O monitoramento permite também a identificação da melhor tecnologia de módulos fotovoltaicos para uma determinada localidade (Salgado *et al.*, 2021). Pode-se citar ainda a aplicação do monitoramento como base de validação de modelos de simulação, tanto na escala da edificação, quanto na escala do microclima (Huerto-Cardenas *et al.*, 2020 e Lengfeld *et al.*, 2013).

Independente da finalidade do monitoramento sempre haverá a necessidade de acesso à equipamentos, cujos custos muitas vezes impedem a atividade. Neste sentido, diversos são os trabalhos que estudam a precisão de equipamentos montados a partir de sensores de baixo custo, sendo que muitos deles utilizam a plataforma de desenvolvimento Arduino (2022). Pode-se citar, por exemplo, o trabalho de Farhat *et al.* (2017), onde os autores apresentam um sistema de coleta de informações completas do clima para áreas específicas formadas a partir de duas estações de clima (interna e externa) integradas por meio de conexão sem fio. Trata-se de um sistema de internet das coisas, visto que os dados coletados são enviados para a internet (Farhat *et al.*, 2017). Há também a pesquisa de Strigaro, Cannata e Antonovic (2019), onde os autores desenvolveram um equipamento com sensores de temperatura, pressão e umidade do ar, precipitação, direção e velocidade do vento, umidade do solo e iluminância. Os dados coletados foram comparados com os de uma estação meteorológica localizada próxima ao local de estudo e demonstraram gerar resultados de qualidade. Similarmente há o trabalho de Carneiro (2022), onde é apresentado um *datalogger* com nove sensores analógicos de umidade de solo, um sensor digital de vazão de água e um sensor digital ultrassônico. Novamente os resultados foram comparados a um equipamento

comercial e apresentaram boa precisão (Carneiro, 2022). No trabalho de Marques Filho, Rodrigues e Ponte (2021) é apresentado um protótipo de *data logger* para ser utilizado em ambiente agrícola. Mais uma vez o equipamento foi montado através da plataforma Arduino, e inclui sensores de luminosidade, umidade do solo, umidade do ar e temperatura. Os testes de funcionamento foram realizados em dois locais distintos durante um período de 24 horas. Segundo os autores, o protótipo apresentou uma redução de custo de 600 até 3000% em relação equipamentos semelhantes disponíveis no mercado.

Como base na pesquisa apresentada, define-se o objetivo desta pesquisa, que consiste em desenvolver e calibrar um equipamento de baixo custo para medição de dados climáticos (temperatura e umidade). Ambas as estações foram montadas através da plataforma Arduino. Busca-se assim incentivar a realização de pesquisas mesmo com baixos recursos financeiros.

A dificuldade de acesso a estações de medição é um grande empecilho para o desenvolvimento da pesquisa científica em locais com recurso financeiro escasso. Logo, a possibilidade de desenvolver estações meteorológicas utilizando a plataforma Arduino do modelo Uno e sensores de baixo custo pode ser um grande avanço. Ressalta-se, entretanto, a necessidade de se tomar precauções para que a leitura dos dados obtidos com esses sensores seja correta.

2. ESTAÇÕES CLIMÁTICAS URBANAS

A montagem de um equipamento de medição necessita passar por uma análise da precisão dos sensores. Para estudos de temperatura, voltados para a formação de ilhas de calor, Muller *et al.* (2015) sugerem não somente uma boa cobertura temporal, mas também dados precisos e representativos. Para tanto, citam como exemplo o uso de termômetros padronizados instalados em veículos automotivos, permitindo alta resolução e espaço-temporal. Pode-se também validar os dados por meio de comparação com dados de estações climáticas urbanas. Particularmente no caso do vento, os autores defendem que o *crowdsourcing* pode ser muito benéfico, já que está é uma variável que sofre alterações em curtas distâncias (Muller *et al.*, 2015).

Sousa, Antunes e Cabral (2015) também utilizaram a técnica de comparação dos dados obtidos com os de uma estação de referência. Nesse caso a calibração e aferição foi realizada por meio da equação de Fonseca *et al.* (1995) (Equação 1). O valor do coeficiente de determinação (R^2) irá variar de zero a um, sendo que um valor igual a 1 indica concordância total entre os resultados. A variável x representa os valores medidos pela estação experimental, enquanto que os valores de y representam os valores medidos pela estação de referência (Sousa, Antunes e Cabral, 2015).

$$R^2 = \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2 \sum y^2} \quad (1)$$

No trabalho de Ortiz (2013) o sistema de monitoramento em análise foi testado em laboratório. Os resultados encontrados foram comparados aos obtidos em uma estação meteorológica comercial padrão. Para tanto, o autor utilizou o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), que também faz uso do coeficiente de determinação.

A depender da quantidade de sensores em uso, mais de uma técnica de validação pode ser utilizada. Carre e Williamson (2018) criaram um instrumento para avaliação da qualidade do ambiente interno através de onze sensores. Apesar da precisão de cada um deles ser previamente definida pelo fabricante, os autores julgaram importante verificá-la após a sua instalação. Três dos sensores foram validados de forma individual, através da comparação com um equipamento de referência. Em alguns casos foram necessárias correções de erros sistemáticos. O Quadro 1 relaciona o sensor com a técnica de validação.

Quadro 1: Técnica de Validação dos Sensores.

Sensor	Técnica de Validação
Temperatura	O instrumento de referência foi colocado perto do sensor em uma câmara climatizada. Testes foram realizados durante o aquecimento e o resfriamento.
Velocidade do Vento	Medição da tensão do sensor de referência e do sensor em teste. Os sensores foram posicionados a uma distância de 40 mm um do outro e a 1 metro de um pequeno ventilador, que a cada 5 minutos teve a sua velocidade alterada. O procedimento foi realizado para quatro orientações (norte, sul, leste e oeste). A velocidade do vento (v , em m/s) se relaciona com a tensão do sensor (V , em mV) através da equação 2: $v = 4,75 \times 10^{-33} \times V^{9,84} \quad (2)$
Nível de Pressão Sonora	Os testes foram conduzidos em uma sala silenciosa onde tons de áudio foram tocados em diferentes frequências e amplitudes. As respostas de ambos os sistemas foram gravadas.

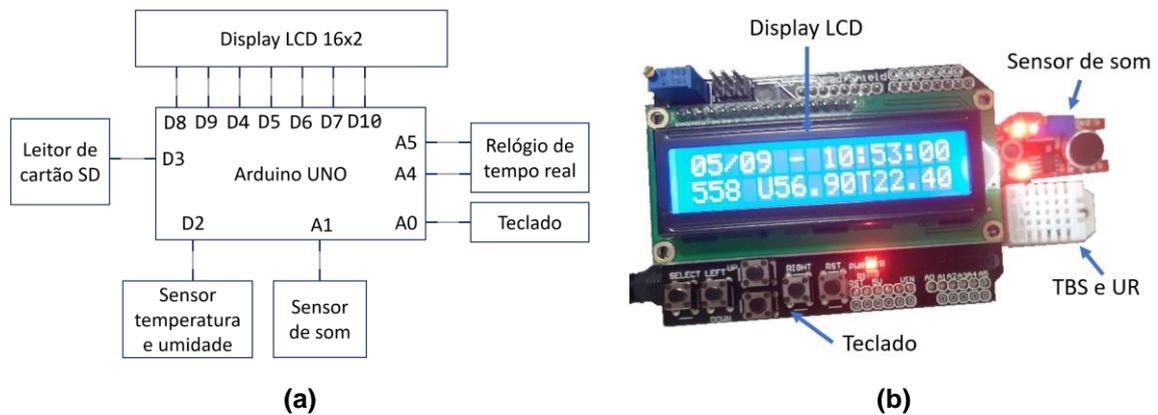
Fonte: adaptado de Carre e Williamson (2018).

No trabalho de Pereira e Ramos, foram testados cinco diferentes sensores de temperatura e umidade e outros cinco capazes de monitorar a quantidade de CO₂ no ambiente, todos com conexão com a plataforma Arduino. O experimento com os sensores de temperatura e umidade ocorreu em uma câmara climática e consistiu na intercomparação dos resultados de cada um dos sensores ao longo de três fases: a primeira durou dois meses e testou os sensores em diferentes ciclos climáticos; a segunda durou 20 meses e manteve o laboratório na temperatura ambiente; a terceira repetiu o procedimento da primeira fase. Já no experimento com os sensores de medição de CO₂, duas unidades idênticas de cada sensor foram utilizadas. Os sensores foram testados em uma câmara climática em um total de 30 ciclos com diferentes combinações de temperatura, umidade e concentração de CO₂. Novamente os resultados dos sensores foram comparados entre si (Pereira e Ramos, 2022).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento das estações interna e externa foi utilizado a plataforma de desenvolvimento Arduino do modelo Uno. Esse Arduino possui uma microcontroladora baseada no ATmega328P da Atmel, 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB e um conector de alimentação. Além disso, funciona com alimentação de 7 a 12Vcc (Arduino, 2022). Além do Arduino Uno, a estação interna proposta possui um sensor de temperatura (TBS) e umidade (UR), uma leitora de cartão SD, um display LCD com teclado, um sensor de som e um relógio de tempo real, do inglês *Real Time Clock-RTC*. Estes estão conectados ao Arduino Uno conforme mostrado na Figura 1a. A Figura 1b mostra uma imagem da solução proposta.

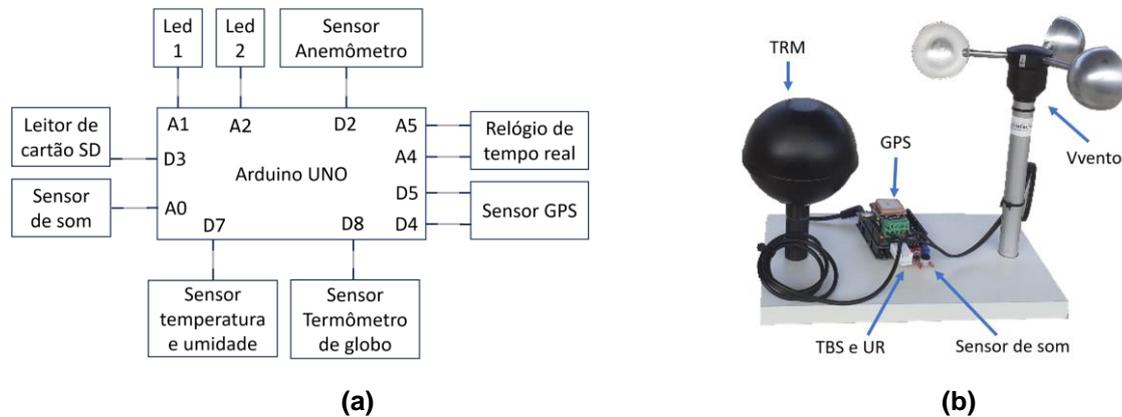
Figura 1: Estação interna proposta: a) Conexão entre os dispositivos ao Arduino Uno e b) Imagem da solução proposta.



Fonte: Autores.

Na estação externa proposta foi utilizado um sensor de temperatura (TBS) e umidade (UR), uma leitora de cartão SD, um sensor de som, um sensor anemômetro (Vvento), um sensor GPS, um sensor termômetro de globo (TRM) e um relógio de tempo real, do inglês *Real Time Clock - RTC*. Estes dispositivos estão conectados ao Arduino Uno conforme mostrado na Figura 2a. A Figura 2b mostra uma imagem da solução proposta. Um adaptador de energia ou um conjunto de baterias de 7,4Vcc foi usado para alimentar o circuito. As especificações de cada sensor e componente, incluindo as faixas de medição, são detalhadas no Quadro 2.

Figura 2: Estação externa proposta: a) Conexão entre os dispositivos ao Arduino Uno e b) Imagem da solução proposta.



Fonte: Autores.

Quadro 2: Características dos sensores utilizados na construção da estação de medição.

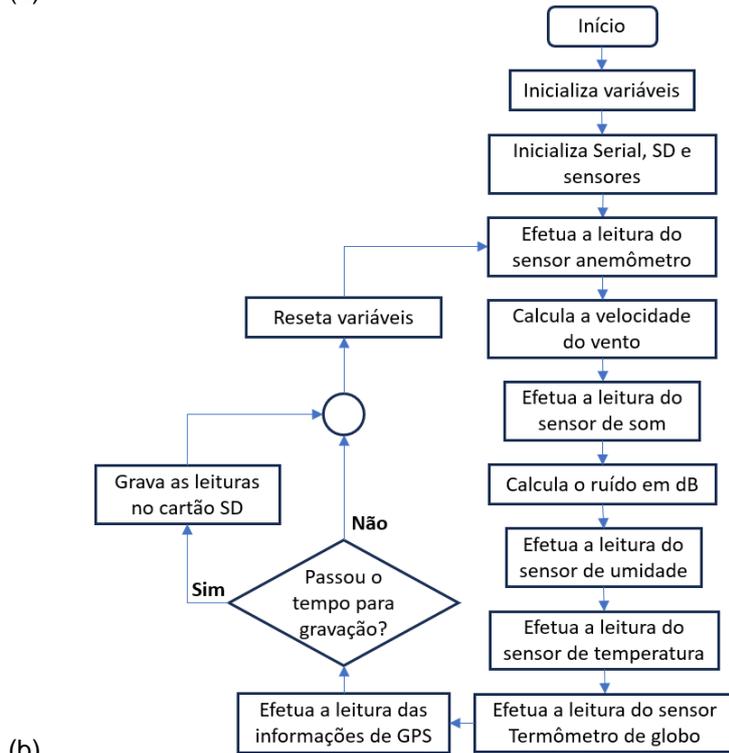
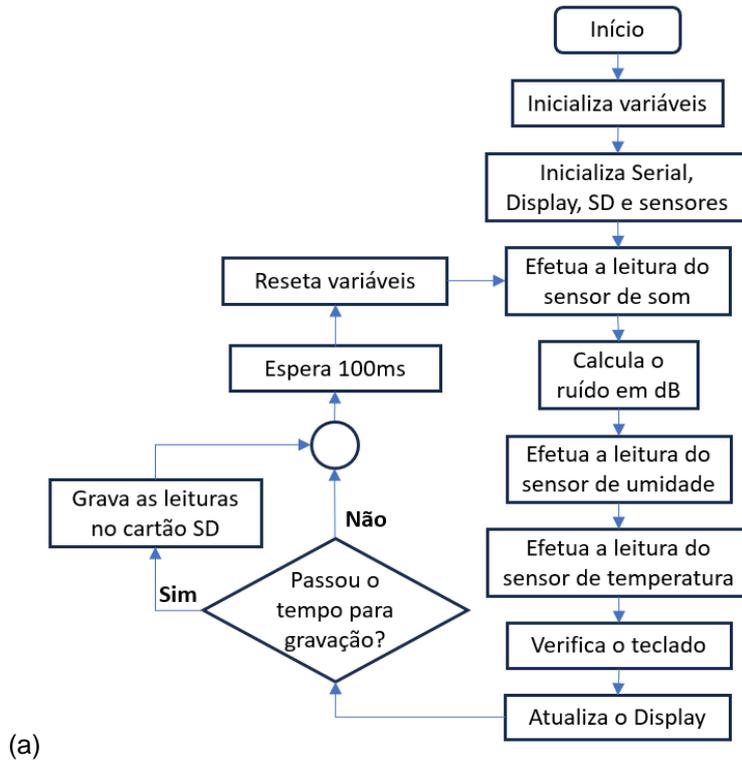
Sensor	Modelo	Tensão de Operação	Precisão	Faixa de medição	Outras informações
Temperatura e Umidade	DHT22/AM2302	3 - 5VDC	Temperatura e Umidade	DHT22/AM2302	3 - 5VDC
Som	KY-038	5VDC	Sensibilidade ajustável via potenciômetro	Sensibilidade ajustável via potenciômetro	Corrente de operação: 26mA
Velocidade do vento	Anemômetro Digital Mini Standart para Arduino Nodemcu Pic	---	---	Sensibilidade iniciada em 0,9km/h	"Canecos" em alumínio c/ 50 mm diâmetro Diâmetro total de 210 mm
Termômetro de globo	Sensor De Temperatura Ds18b20, Sonda À Prova D'água	3.0V a 5.5V	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-10 a +85°C	Gama de temperatura utilizável: -55 a 125 ° C (-67 ° F a 257 ° F)
GPS	Modulo Gps Gy-neo6mv2 Arduino Raspberry Neo-6m Gy Neo6mv2	3.0V a 5V	---	---	Taxa de transmissão padrão: 9600bps
Display LCD	Display LCD 16X2 Shield com Teclado	5VDC	---	---	Corrente de operação: 26mA

Fonte: Autores.

Os fluxogramas de operação dos sistemas das estações interna e externa estão demonstradas nas Figuras 3a e 3b, respectivamente. As estações propostas efetuam as leituras de todos os sensores conectados ao sistema. Na estação

interna, todas as informações são exibidas no display LCD. O teclado da estação interna é utilizado para alternar as telas com diferentes leituras dos sensores. Para otimizar a capacidade de armazenamento dos cartões SD, ambas as estações fazem gravações a cada 10 minutos.

Figura 3: Fluxograma operacional do sistema da Estação proposta:
a) Estação interna e b) Estação externa.



Fonte: Autores.

A calibração dos sensores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, bem como a verificação da precisão dos sensores, se deu através da comparação dos dados obtidos com dados lidos em um Termo - Higrômetro Digital com Sensor Externo (Figura 4) instalado dentro de uma câmara climatizada (Figura 5). Foram realizadas 12 medições de temperatura e umidade com um intervalo de 10 minutos entre cada. A primeira medição ocorreu no dia 05 de setembro de 2022 às 10h33. O número de medições foi definido com base no tempo agendado de permanência na câmara. As estações foram posicionadas o mais próximo possível do equipamento de medição da câmara. Um aparelho de ar-condicionado manteve a temperatura no interior da câmara em torno dos 20°C. Após a coleta dos dados, foi utilizada a equação de Fonseca et al (1995) como forma de quantificar a qualidade dos dados obtidos por meio das estações montadas com o Arduino.

Figura 4: Termo-Higrômetro Digital.



Fonte: Autores.

Figura 5: Câmara climatizada com localização dos sensores.



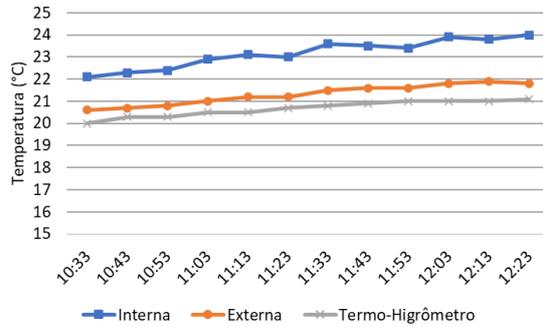
Fonte: Autores.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir demonstram a relação entre a temperatura e a umidade relativa medidas através do Termo-Higrômetro Digital e dos dois equipamentos desenvolvidos com a plataforma Arduino. Na Figura 6 pode-se observar que a temperatura medida pelo Termo-Higrômetro (linha cinza) esteve sempre inferior à temperatura medida pelas estações experimentais. Contudo, a variação é aproximadamente constante. Na Figura 7, que apresenta os dados de umidade relativa do ar, vemos uma diferença maior entre os valores medidos pelo Termo-Higrômetro e pelas estações experimentais propostas. Neste caso, porém, a estação interna apresentou valores inferiores aos medidos pelo Termo-Higrômetro, enquanto que a estação externa apresentou valores superiores. Novamente as

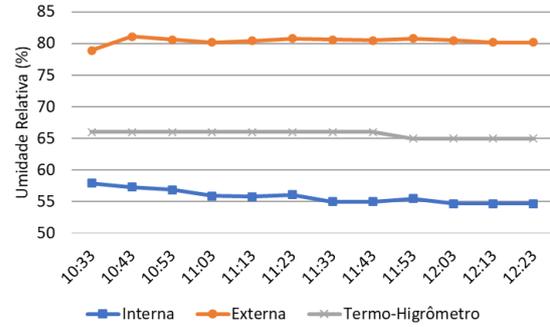
linhas tendem a se posicionar de forma paralela. Contudo, isto só passa a ocorrer a partir da quarta medição, o que leva a indicar que os sensores necessitaram de um período maior para adaptação.

Figura 6: Temperatura no interior da câmara climatizada.



Fonte: Autores.

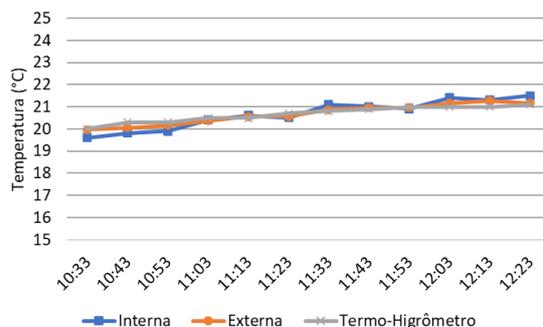
Figura 7: Umidade relativa no interior da câmara climatizada.



Fonte: Autores.

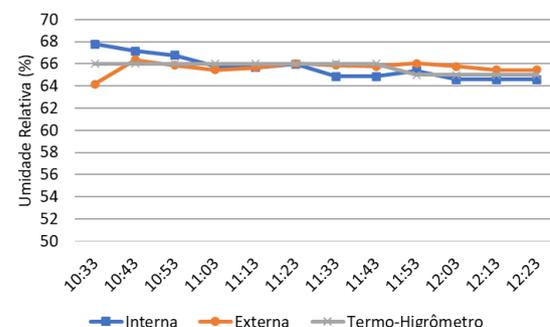
Visto que, apesar dos valores divergentes, parece haver uma variação aproximadamente constante entre os dados medidos pelo Termo-Higrômetro e pelas estações experimentais propostas, iniciou-se o processo de calibração. Para tanto, foi calculada a média das diferenças de cada uma das medições, obtendo-se assim um coeficiente de correção. Em seguida, para cada medição das estações internas e externas foram aplicados os coeficientes calculados, que são apresentados na Tabela 1. Os resultados encontrados após este procedimento são mostrados na Figuras 8 e na Figura 9. Observa-se que o procedimento de calibração aproximou de forma significativa as curvas de medição. O único momento em que isso não ocorre é nas três primeiras medições da umidade relativa, reforçando a necessidade de aguardar 30 min para iniciar a leitura dos resultados.

Figura 8: Temperatura no interior da câmara climatizada – corrigida com base no coeficiente de correção.



Fonte: Autores.

Figura 9: Umidade relativa no interior da câmara climatizada – corrigida com base no coeficiente de correção.



Fonte: Autores.

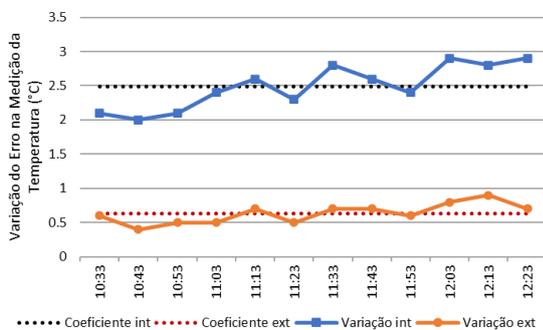
Tabela 1: Coeficientes de Correção.

Estação	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Interna	-2,49	+9,875
Externa	-0,63	-14,6

Fonte: Autores.

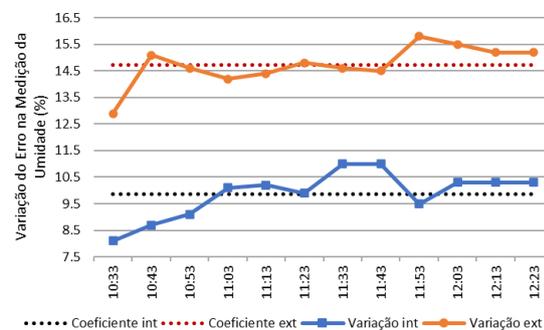
Na Figura 10 e na Figura 11 observa-se a variação da diferença entre o valor medido com os sensores das estações experimentais e o Termo-Higrômetro, tanto para temperatura, quanto para a umidade, respectivamente. As linhas pontilhadas indicam o valor médio, adotado como coeficiente de correção. Na medição da temperatura com a estação interna (linha azul) foi encontrada uma maior variação do erro. Com o coeficiente de correção (linha pontilhada preta) o erro diminuiu, mas ainda assim deve apresentar maiores valores nas primeiras e últimas medições, o que pode ser observado na Figura 8. Já a medição da estação externa (linha laranja) apresentou erros inferiores e com menor variação.

Figura 10: Diferença entre a temperatura medida pelo sensor e a temperatura medida pelo Termo-Higrômetro.



Fonte: Autores.

Figura 11: Diferença entre a umidade medida pelo sensor e a umidade medida pelo Termo-Higrômetro.



Fonte: Autores.

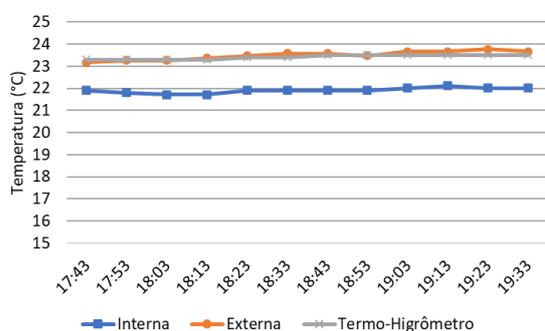
Na avaliação da umidade (Figura 11) também pode-se perceber uma maior variação do erro nas primeiras e últimas medições. Contudo, a estação externa (linha laranja) apresentou dados mais constantes do que a interna (linha azul) no período entre 10:53 e 11:43, o que também pode ser observado na Figura 9. Deste modo, apesar de serem sensores iguais, a calibração do sensor da estação externa tende a ser mais fácil de ser executada.

A fim de quantificar a calibração dos sensores estudados, foi adotado o cálculo do coeficiente de determinação (R^2), apresentado por Fonseca et al (1995) e definido pela Equação 1. Para a temperatura, o valor de R^2 foi de 0,9997 para a estação interna, e de 0,9999 para a estação externa. Para a umidade, o valor de R^2 foi de

0,9998 para ambas as estações. Ressalta-se, portanto, que em todas as medições o valor de R^2 está muito próximo de 1, o que indica que as estações experimentais apresentam resultados confiáveis, podendo ser usados em pesquisas científicas. Para verificar se o ajuste feito nos sensores com base nos coeficientes de correção - definidos pela média da diferença entre os dados medidos pelos sensores e pelo Termo-Higrômetro - gera resultados coerentes, novas medições foram realizadas na mesma câmara climatizada. Ressalta-se que nesta segunda medição os coeficientes de correção já haviam sido incluídos no cálculo das leituras medidas dos sensores.

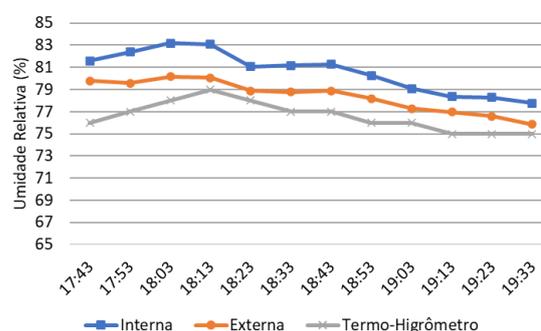
Os resultados encontrados são apresentados na Figura 12 e na Figura 13. Com base nesses resultados, observa-se que os dados gerados pela estação externa (linha laranja no gráfico) estão muito próximos daqueles apresentados no Termo-Higrômetro (linha cinza), tendo sido encontrado um coeficiente R^2 igual a 0,999, tanto para a medição da temperatura, quanto para a umidade. Para a estação interna (linha azul), contudo, apesar dos coeficientes R^2 também serem igual a 0,999, pode-se perceber que ainda há uma diferença mais significativa, embora esta diferença seja aproximadamente constante.

Figura 12: Temperatura no interior da câmara climatizada – 2ª medição.



Fonte: Autores.

Figura 13: Umidade relativa no interior da câmara climatizada – 2ª medição.



Fonte: Autores.

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A análise dos gráficos e do valor do coeficiente R^2 encontrado leva a crer que o sensor de temperatura e umidade da estação externa apresenta boa confiabilidade. Contudo, se na primeira medição os dados encontrados apresentaram menor divergência com o equipamento de referência após passados os 30 minutos iniciais, na segunda medição, os valores se aproximam de forma mais significativa apenas 1 hora após o início das medições. Para o sensor de temperatura e umidade da estação interna, contudo, recomenda-se nova rodada de testes, com maior tempo de medição, já que com a elevação da temperatura do ar no interior da câmara ocorreu um aumento da diferença entre os valores encontrados, tanto para umidade, quanto para a temperatura.

Observa-se assim que podem ocorrer divergência de medições mesmo com sensores iguais, e que o valor que diverge se altera com o tempo (não é constante). Logo, testes prévios com os sensores são essenciais para atingir maior credibilidade nos resultados encontrados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste presente trabalho foi observado que os dois sensores testados apresentaram divergências significativas entre eles, diferença essa que pode ser ajustada com base na comparação com um equipamento já calibrado. A metodologia proposta permitiu a validação do sensor utilizado na estação externa, possibilitando assim atingir o objetivo desta pesquisa, que foi o desenvolvimento e calibração de um equipamento de baixo custo para medição de dados climáticos (temperatura e umidade). Entretanto, o período de teste não foi suficiente para a calibração do sensor da estação interna.

Destaca-se assim a limitação deste trabalho, que se encontra no tempo de calibração. Como a metodologia exige que o pesquisador esteja dentro da câmara durante todo o período de medição, períodos mais longos acabam não sendo viáveis. Como trabalho futuro, recomenda-se o teste dos sensores com base na comparação com um equipamento capazes de armazenar dados. Assim, um período maior de medição poderia ser obtido.

Para os trabalhos futuros a presente pesquisa inclui a proposta de instalação de um módulo de comunicação sem fio para transmissão para um servidor em nuvem para acesso dos dados medidos em tempo real, tornando estas estações meteorológicas de baixo custo parte da Internet das Coisas, do inglês *Internet Of Things-IoT*. Além disso, o uso de um sistema fotovoltaico para a estação externa também é parte de um trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em 08 de ago. de 2022.

BERNARDES, Gabriel F.L.R.; ISHIBASHI, Rogério; IVO, André A.s.; ROSSET, Valério; KIMURA, Bruno Y.L.. Prototyping low-cost automatic weather stations for natural disaster monitoring. **Digital Communications And Networks**, [S.L.], Journal Pre-proof, p. 1-20, maio 2022. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dcan.2022.05.002>.

CARNEIRO, Édipo Alexandre Pereira. **Desenvolvimento de um datalogger configurável e de baixo custo para aplicação em pesquisas ambientais**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022. 238p.

CARRE, Andrew; WILLIAMSON, Terence. Design and validation of a low cost indoor environment quality data logger. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 158, p. 1751-1761, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.051>

FARHAT, M.; ABDUL-NIBY, M.; ABDULLAH, M.; NAZZAL, A.. A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 1615-1618, 12 jun. 2017. Engineering, Technology & Applied Science Research. <http://dx.doi.org/10.48084/etasr.118>.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Atlas. 1995. 267p.

HUERTO-CARDENAS, H.e.; LEONFORTE, F.; ASTE, N.; PERO, C. del; EVOLA, G.; COSTANZO, V.; LUCCHI, E.. Validation of dynamic hygrothermal simulation models for historical buildings: state of the art, research challenges and recommendations. **Building And Environment**, [S.L.], v. 180, p. 107081, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107081>.

IKRAM, Jahangir; TAHIR, Amer; KAZMI, Hasanat; KHAN, Zonia; JAVED, Rabi; MASOOD, Usama. View: implementing low cost air quality monitoring solution for urban areas. **Environmental Systems Research**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-8, 5 out. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/2193-2697-1-10>.

LENGFELD, Katharina; ZACHARIAS, Stefan; AMENT, Felix; AMENT, Felix. Using a Small Scale Wireless Sensor Network for Model Validation: two case studies. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 283-295, 1 jul. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0422>.

LI, Jiayu; ZHANG, Huang; CHAO, Chun-Ying; CHIEN, Chih-Hsiang; WU, Chang-Yu; LUO, Cyuan Heng; CHEN, Ling-Jyh; BISWAS, Pratim. Integrating low-cost air quality sensor networks with fixed and satellite monitoring systems to study ground-level PM2.5. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 223, p. 117293, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117293>.

LOG, Torgrim. Indoor relative humidity as a fire risk indicator. **Building And Environment**, [S.L.], v. 111, p. 238-248, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.002>.

MARQUES FILHO, Aldir Carpes; RODRIGUES, Jean Paulo; PONTE, Gabriel Buligon dal. PLATAFORMA ARDUINO APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE COLETA DE DADOS MICRO-AMBIENTAIS EM CASAS DE VEGETAÇÃO. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 190-206, 31 ago. 2021. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n2p190-206>.

MULLER, C.L.; CHAPMAN, L.; JOHNSTON, S.; KIDD, C.; ILLINGWORTH, S.; FOODY, G.; OVEREEM, A.; LEIGH, R.R.. Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential. **International Journal Of**

Climatology, [S.L.], v. 35, n. 11, p. 3185-3203, 5 jan. 2015. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/joc.4210>.

ORTIZ, Maurício Soares. **Plataforma baseada em sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros meteorológicos**. 2013. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/3058>. Acesso em: 19 ago. 2022.

PEREIRA, Pedro F.; RAMOS, Nuno M.M.. Low-cost Arduino-based temperature, relative humidity and CO2 sensors - An assessment of their suitability for indoor built environments. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 60, p. 105151, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105151>.

SALGADO, Jose; MONTEIRO, Vitor; PINTO, J.; AFONSO, Joao; AFONSO, Jose. Design and Experimental Validation of a Compact Low-Cost Weather Station for Solar Photovoltaic Applications. **Eai Endorsed Transactions On Energy Web**, [S.L.], v. 8, n. 34, p. 167290, 23 jul. 2021. European Alliance for Innovation n.o. <http://dx.doi.org/10.4108/eai.2-12-2020.167290>.

SINGH, Dushyant Kumar; JERATH, Himani. Low Cost IoT Enable Weather Station for Precision Agriculture. **International Journal Of Recent Technology And Engineering (Ijrte)**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 3183-3186, 30 nov. 2019. Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences Engineering and Sciences Publication - BEIESP. <http://dx.doi.org/10.35940/ijrte.d8021.118419>

SOUSA, Romário Rosa; ANTUNES, Jaime Pereira; CABRAL, Izaias. Estação Meteorológica Experimental de Baixo Custo. **Geo Uerj**, [S.L.], n. 27, p. 80-97, 20 dez. 2015. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2015.12335>.

SUN, Chen-Yi; KATO, Soushi; GOU, Zhonghua. Application of Low-Cost Sensors for Urban Heat Island Assessment: a case study in taiwan. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 2759, 14 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11102759>.

STRIGARO, Daniele; CANNATA, Massimiliano; ANTONOVIC, Milan. Boosting a Weather Monitoring System in Low Income Economies Using Open and Non-Conventional Systems: data quality analysis. **Sensors**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 1185, 8 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s19051185>