ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Desenvolvimento de estação microclimática baseada em microcontroladores e sensores de baixo custo

Development of a microclimate monitoring station based on low-cost microcontrollers and sensors

Eduardo Krüger
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br
Walter Ihlenfeld
Universidade Tec Fed do Paraná | Ctba | Brasil |walterihlenfeld@alunos.utfpr.edu.br
Jaime Miranda Guerrieri
Universidade Tec Fed do Paraná | Ctba | Brasil |jaimeguerrieri@alunos.utfpr.edu.br
Solange Maria Leder
Universidade Fed da Paraíba| João Pessoa | Brasil | solange.leder@academico.ufpb.br
Julio Gonçalves da Silveira
Universidade Federal da Paraíba | Curitiba | Brasil | julio_goncalves_@hotmail.com
Leandro Carlos Fernandes
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil |leandrofernandes@ufpr.br
Marcio José Sorgato
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil |sorgato@utfpr.edu.br

Resumo

Pesquisas sobre conforto térmico para garantir a qualidade ambiental são imperativas em face de inúmeras questões emergentes como as mudanças climáticas, o aumento do consumo de energia em edificações, dentre outras. A pesquisa trata sobre o desenvolvimento de uma estação microclimática de baixo custo para monitoramento térmico de ambientes internos. Sistemas baseados em microcontroladores e sensores de baixo-custo estão surgindo como uma alternativa aos dispositivos convencionais para monitorar o conforto ambiental, superando limitações impostas pelo alto custo dos equipamentos disponíveis comercialmente. Este trabalho apresenta a prototipação de um sistema de monitoramento ambiental de baixo custo, a descrição do procedimento de calibração dos sensores a partir de comparações com estações de referência e um exemplo de aplicação do sistema. Na pesquisa, vários protótipos foram montados e testados. Em relação à calibração, as diferenças entre os sensores de baixo custo e os sensores do equipamento tomado como referência podem ser corrigidas com a aplicação de equações de regressão linear. O custo final da estação de baixo custo foi de aproximadamente 800 reais. A disponibilização da programação em código aberto permite que outros pesquisadores possam reproduzir o equipamento proposto.

Como citar:
KRÜGER, E. et. al. Desenvolvimento de estação microclimática baseada em microcontroladores e sensores de baixo custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Palavras-chave: estação de monitoramento térmico, protótipo, calibração, conforto ambiental.

Abstract

Research on thermal comfort to ensure environmental quality is imperative concerning a diversity of pressing matters such as climate change, increased energy consumption in buildings, among others. The study deals with the development of a low-cost microclimatic station for thermal monitoring of indoor environments. Low-cost microcontrollers and sensors are emerging as an alternative to conventional devices for monitoring environmental comfort, overcoming limitations imposed by the high cost of commercially available equipment. This work presents the prototyping of a low-cost environmental monitoring system, the description of the sensors' calibration procedure based on comparisons against a reference station, and an example of the system's application. Several prototypes were assembled and tested in the reesearch. Regarding calibration, the differences between the low-cost sensors and the reference can be adjusted by means of a linear regression fit. The final cost of the low-cost station was approximately 800 Brazilian reals. The availability of open-source programming allows other researchers to reproduce the proposed equipment.

Keywords: thermal monitoring station, prototype, calibration, environmental comfort.

INTRODUÇÃO

A importância do conforto térmico em ambientes internos já foi demonstrada em diversas pesquisas e grupos de trabalho no país [1]. O tema pode ser associado a questões de eficiência energética em edificações, bem-estar humano, qualidade de vida e saúde humana, produtividade, dentre outros. Atualmente, a crise climática vem demandando a atenção de estudos na área tanto nos espaços externos como internos às edificações. Com a crise climática, há uma tendência de que ambientes edificados sejam cada vez mais ocupados em comparação com a utilização de espaços abertos, servindo, em alguns casos, de abrigo em condições de calor extremo, como durante ondas de calor ou frentes frias. Tal situação, além de suscitar maior grau de sedentarismo, com prejuízos ao bem-estar e à saúde humana, acaba por trazer maior número de pessoas e em maior frequência de tempo para dentro das edificações [2].

As consequências do aquecimento global afetam os trabalhadores expostos ao ambiente exterior com riscos acrescidos à saúde, tanto para pedestres, de forma geral, como para populações vulneráveis, em particular. As recomendações da Organização Mundial da Saúde [3] para condições de calor extremo durante ondas de calor incluem a necessidade de as pessoas permanecerem em ambientes fechados e, quando ao ar livre, que permaneçam à sombra. Para este fim, o planejamento responsivo ao calor extremo vem propondo abrigos climáticos públicos ou centros de resfriamento (*cooling centers*) em áreas urbanas [4]. Em Curitiba, a Câmara Municipal, dentro do escopo de um Plano de Contingência a Ondas de Calor, vem atualmente discutindo medidas a serem implementadas na cidade, dentre elas a introdução de tendas com fornecimento de água e atendimento médico gratuito durante ondas de calor [5].

Nesse contexto, espaços internos, sejam eles abrigos provisórios ou edificações já existentes, como *shopping centers* com climatização permanente, serão cruciais para a contenção dos riscos à saúde em situações de extremo calor, o que certamente exigirá um monitoramento permanente de suas condições térmicas. Entendendo que conforto e estresse térmicos não são suficientemente representados apenas pela temperatura do ar, faz-se necessário analisar no mínimo as quatro variáveis clássicas que afetam a sensação térmica: a temperatura do ar, a umidade do ar, a velocidade do ar e as trocas radiantes com as superfícies do entorno imediato.

Um dos entraves no monitoramento das condições microclimáticas é o alto custo dos equipamentos. Para superar essa limitação, sistemas baseados em microcontroladores e sensores de baixo custo surgem como uma alternativa para monitorar dados microclimáticos. Esses dispositivos utilizam programas computacionais de código aberto, com rotinas de programação e linguagens compatíveis com plataformas de prototipagem como Arduino e ESP. Assim, é possível desenvolver dispositivos de baixo custo e múltiplas aplicações (com configuração flexível, peso e forma do equipamento compatível com a estratégia de monitoramento) com desempenho similar a estações meteorológicas e equipamentos de monitoramento de variáveis microclimáticas comerciais [6-11].

Assim, o desenvolvimento de kits de baixo custo portáteis para monitoramento de variáveis ambientais é extremamente bem-vindo. Especialmente na área de conforto ambiental torna-se possível ampliar a quantidade de pesquisas e até mesmo iniciar um banco de dados de conforto a partir de diferentes regiões climáticas e padrões de uso de edificações, por exemplo, em iniciativas de pesquisa em rede. Ainda, ao se reduzir o custo dos equipamentos e padronizar os protocolos de medição, pode-se ampliar e integrar as pesquisas em conforto térmico e, em um futuro próximo, obter modelos de conforto térmico mais adaptados à diversidade climática e populacional do país. O enfoque deste estudo no kit de monitoramento, sendo este de baixo custo, traz a vantagem de facilitar uma maior disseminação de estudos na área no Brasil, aumentando o alcance das pesquisas sobre condições ambientais em edificações, impactos à saúde e no consumo de energia.

Neste sentido, o presente estudo apresenta a escolha dos componentes, prototipação, calibração e aplicação prática de um sistema portátil de monitoramento ambiental de baixo custo - SLEMS (sigla em inglês para *Stationary Low-cost Environmental Monitoring System*).

MÉTODO

DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A Tabela 1 abaixo apresenta detalhes dos componentes do SLEMS (Figura 1). Trata-se de sensores de baixo custo que atendem os critérios de precisão requeridos pela classe C (conforto) da normativa ISO 7726 [12]. Complementarmente foi necessário estabelecer um conjunto de componentes eletrônicos (cabos, conectores, terminais),

fonte de alimentação e uma base plástica que servisse como estrutura de suporte. Os custos listados na Tabela 1 se referem a meados de março de 2024 e descrevem os insumos do protótipo.

Figura 1– SLEMS (Stationary Low-cost Environmental Monitoring System).



Fonte: os autores.

Tabela 1: Lista dos componentes do SLEMS

Componente	Representação	Descrição	Valor (R$)
ESP32S CP2102 30 pinos		Placa de desenvolvimento	64,90
Tela Liquid Crystal Display com adaptador I2C		Exibe informações por via eletrônica	38,15
Módulo Real Time Clock DS3231		Registro da data e hora das medições	39,90
Módulo de cartão microSD		Registrador de dados	9,90
AHT10		Sensor de temperatura e umidade do ar	24,90
DS18B20		Sensor de temperatura para globo	15,70
Rev. C		Sensor de ventilação	213,65
Bateria		Fonte de energia para o circuito	123,90
Cartão microSD		Exportação dos dados	37,99
Placa de circuito, cabos, resistores e conectores		Componentes eletrônicos diversos	144,80
Base plástica, canos de PVC, tinta e esfera de globo		Construção do protótipo móvel	59,90
Custo total			773,70

Fonte: os autores.

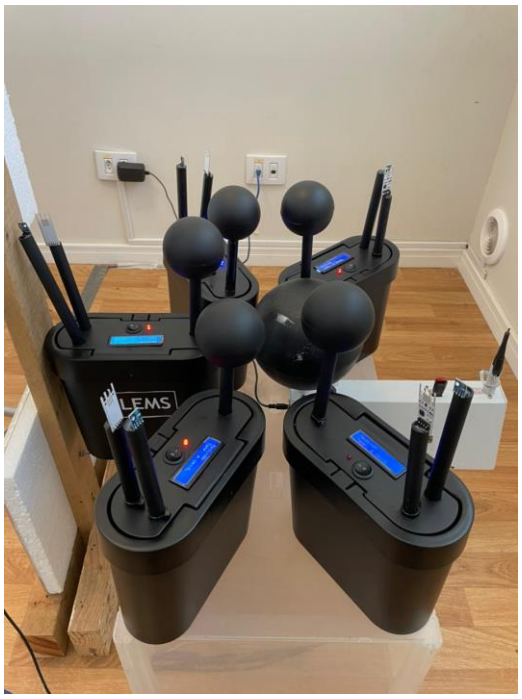
CALIBRAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A calibração dos sensores de temperatura e umidade do ar e de temperatura de globo foi realizada em um dos módulos da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC). Trata-se de um laboratório construído na Sede da Universidade , voltado a estudos de conforto ambiental e desempenho do ambiente construído.

A CBBC é composta por dois módulos independentes (ambientes do tipo escritório construídos a partir de container, adaptados de modo a se garantir paredes e cobertura segundo padrões vigentes de desempenho), passíveis de articulação e rotação de forma individualizada, característica que possibilita o desenvolvimento de estudos de insolação e seus reflexos, ventilação natural, acústica, dentre outros. Os dois módulos, denominados controle (MC) e experimental (ME), possuem 5,4m² de área de piso, com um volume interno de 13,5m³ [13].

A calibração foi realizada por meio de um confortímetro SENSU desenvolvido no LMPT/UFSC com medições de minuto em minuto. Os sensores foram posicionados a 0,30 m de altura no centro do MC e foram monitorados em condições termicamente estáveis por três horas. Para isso, a temperatura de *setpoint* do equipamento de ar-condicionado split 9000 BTU (Philco Eletrônicos®) foi fixada em 16°C durante uma hora e no restante do tempo os sensores trabalharam em regime livre (*free running*) (Figura 2).

Figura 2: Calibração das SLEMS no interior do MC da CBBC



Fonte: os autores.

O Quadro 1 apresenta o tipo de sensor empregado como componente sensitivo do SLEMS e suas características.

Quadro 1: Precisão dos componentes (protótipo e equipamento de referência).

Grandeza	SLEMS	Precisão	Intervalo	Referência	Precisão	Intervalo
Temperatura do ar	AHT10	± 0,3°C	-40 a 85°C	SENSU®	± 0,2°C	0 a 60°C
Umidade do ar		± 2%	0 a 100%		± 3%	5 a 96%
Temperatura de globo	DS18B20	± 0,5°C	-55 a 125°C		± 0,2°C	0 a 60°C
Velocidade do ar	Rev.C	± 3%	0 a 26,8 m/s		± 3%	0 a 3 m/s

Fonte: os autores.

Foram montadas e analisadas neste artigo cinco unidades do SLEMS. Para se determinar as equações de correção de seus sensores por regressão linear desconsideraram-se os 15 minutos iniciais e finais da série de registros, incluindo o período durante o qual o equipamento de ar-condicionado permaneceu ligado. Dessa forma, foram avaliados dados de 1 hora.

Dentre os métodos paramétricos aplicáveis, a calibração por modelo de regressão linear é considerada usualmente como padrão [14], com enfoque na derivação de parâmetros de calibração, denominados de fatores. Tais fatores de calibração, decorrentes de equações matemáticas, são usualmente utilizados para corrigir os dados do sensor.

Após a comparação dos dados medidos pelos sensores dos SLEMS com os dados medidos pelos sensores do SENSU, para cada grandeza ambiental foi realizada uma análise de regressão, método estatístico que permite examinar a relação entre duas ou mais variáveis, onde o coeficiente de determinação (R^2) denota a semelhança entre as inclinações das retas médias, ou seja, quanto maior o R^2, mais explicativo é o modelo linear e melhor se ajusta à amostra.

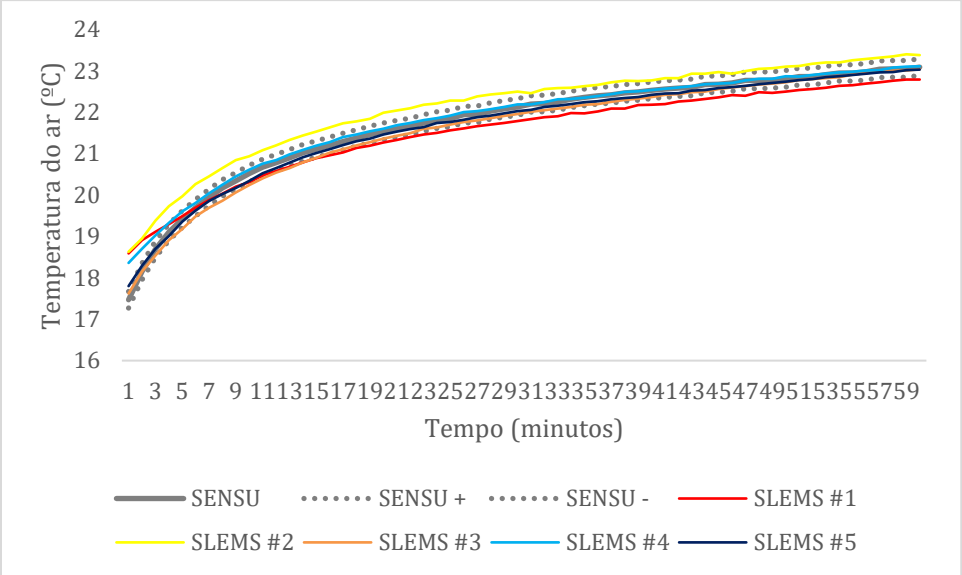
Adotou-se também a análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis (valor-p), utilizada em situações nas quais se deseja comparar dois ou mais grupos independentes, com variável resposta quantitativa. A regressão linear é um método trivial em estatística quantitativa. Já o erro médio absoluto (EMA) foi o indicador utilizado para determinar a aplicação da equação de regressão com viés de calibração. O EMA representa a média absoluta entre os dados coletados e simulados no processo de calibração entre os dados medidos. Segundo Willmott [15], quanto menores forem os resultados das equações estatísticas, mais os valores simulados se aproximam dos valores reais medidos. Tal procedimento foi adotado durante a prototipação e calibração da estação móvel PLEMS (*Portable Low-cost Environmental Monitoring System*) elaborada por Ihlenfeld [16], segundo princípios semelhantes aos adotados no SLEMS, especialmente quanto a questões de baixo custo, de simplicidade de montagem e de possuir código aberto.

RESULTADOS

CALIBRAÇÃO

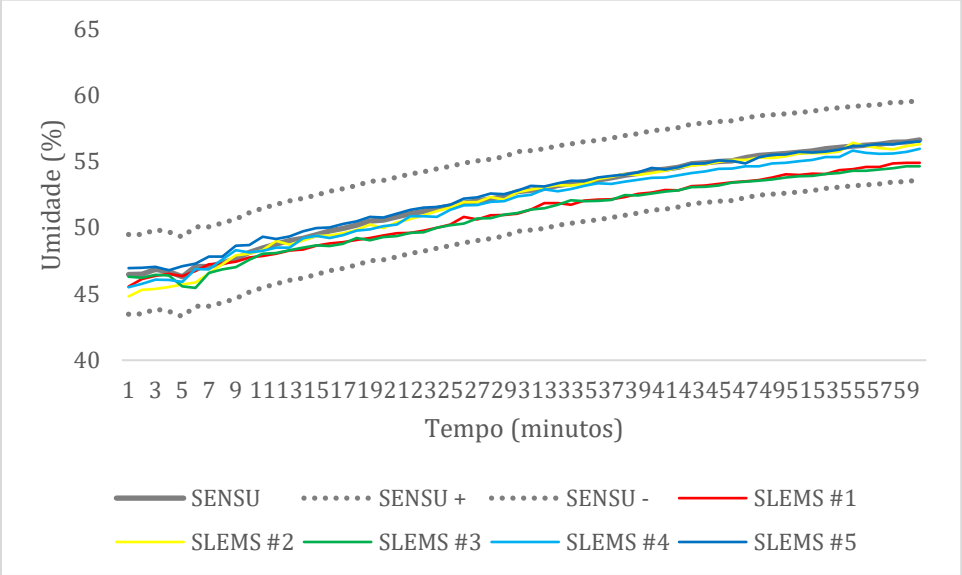
Nesta etapa, adotaram-se os procedimentos descritos na seção anterior. Os gráficos 1-4 apresentam valores medidos pelos sensores dos SLEMS 1-5, do equipamento de referência para cada grandeza avaliada e as margens de erro do equipamento de referência. As Tabelas 1-5 apresentam dados estatísticos levados em conta no processo de calibração. Os Gráficos, “SENSU +” e “SENSU -“ representam a faixa de incerteza do equipamento de referência.

Gráfico 1: Comparação da temperatura do ar



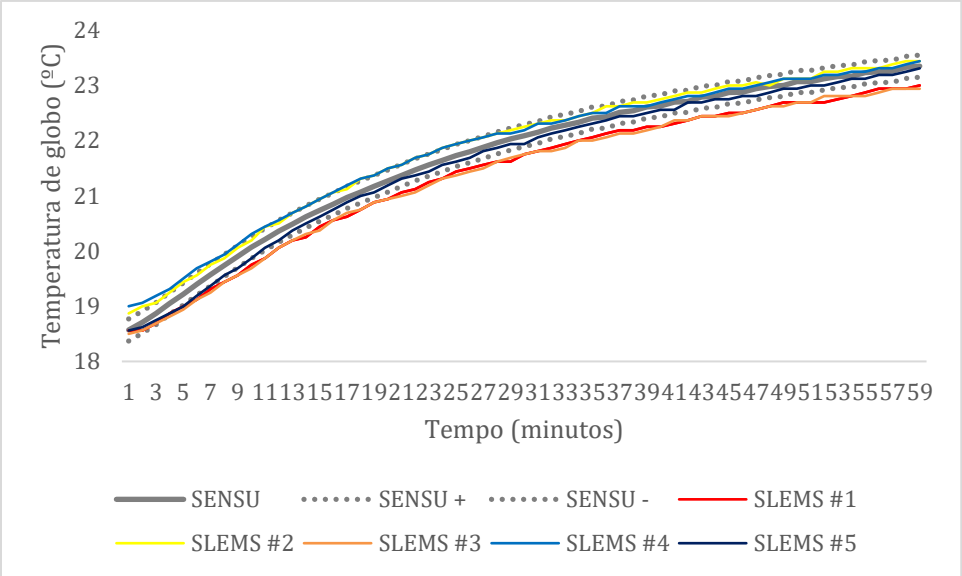
Fonte: os autores.

Gráfico 2: Comparação da umidade



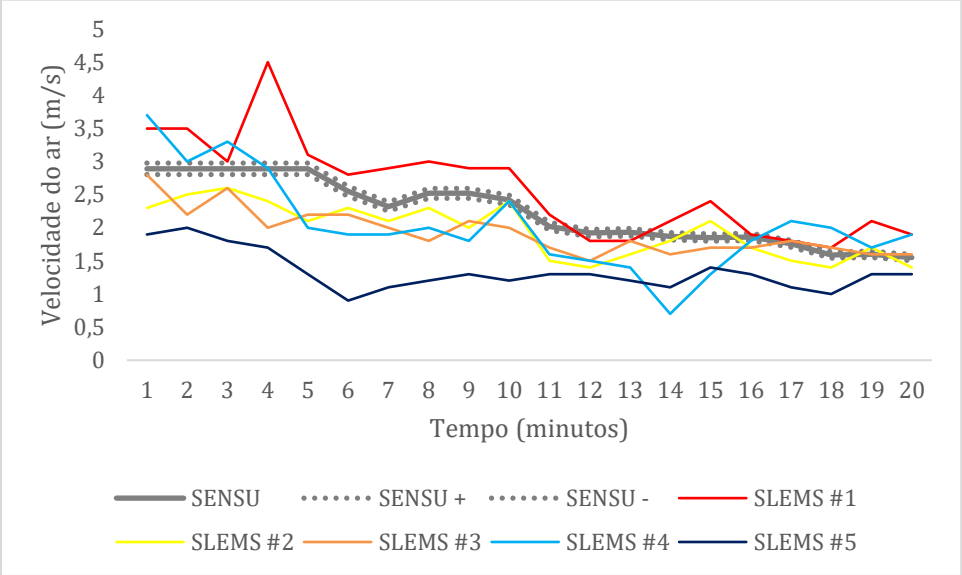
Fonte: os autores.

Gráfico 3: Comparação da temperatura de globo



Fonte: os autores.

Gráfico 4: Comparação da ventilação



Fonte: os autores.

A análise não paramétrica de Kruskal-Wallis indicou que não existe diferença estatística (valor-p < 0,05), logo não é necessário aplicar os coeficientes A e B em equações de regressão com finalidade de calibração. O erro máximo permitido (EMP) faz referência à soma máxima das incertezas de ambos os equipamentos. Observe-se que, para as regressões, adotou-se intervalo de confiança de 95%

Tabela 2: Estatística de calibração para a temperatura do ar

Temperatura do ar (°C)	SLEMS #1	SLEMS #2	SLEMS #3	SLEMS #4	SLEMS #5
R^2	0,984	0,997	0,996	0,995	0,997
Valor-p	1,7E-12	2,9E-24	0,007	2,8E-12	0,004
Coeficiente A	1,1858	1,1187	0,9860	1,0882	1,0234
Coeficiente B	-3,7894	-3,0091	0,4525	-2,005	-0,4244
EMA	0,305	0,384	0,156	0,080	0,102
EMA com calibração	0,180	0,218	0,190	0,188	0,200
Aplicar calibração?	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: os autores.

A temperatura do ar foi observada entre 17 e 24 graus. Assumindo um erro máximo permitido de ±0,5°C, os valores de EMA com calibração são inferiores à incerteza do equipamento de referência em todos os SLEMS. Observe-se que, quando o EMA já é baixo, a calibração acaba piorando a proximidade ao equipamento de referência devido à inclinação (coeficiente B) da reta. Nesses casos, calibrar pode ser pior.

Tabela 3: Estatística de calibração para a umidade

Umidade relativa (%)	SLEMS #1	SLEMS #2	SLEMS #3	SLEMS #4	SLEMS #5
R^2	0,993	0,990	0,994	0,093	0,997
Valor-p	4,3E-18	3,8E-7	1,1E-17	0,03	3,0E-14
Coeficiente A	1,1755	0,9359	1,1676	1,0326	1,0701
Coeficiente B	-7,6987	3,5843	-7,1570	-1,2383	-3,8641
EMA	1,250	0,304	1,364	0,481	0,243
EMA com calibração	0,188	0,231	0,160	0,190	0,115
Aplicar calibração?	Não	Não	Não	Limítrofe	Não

Fonte: os autores.

A umidade do ar foi observada entre 43 e 60%, com erro máximo permitido de ±5%. Os valores de EMA com calibração são inferiores ao EMA sem calibração para todos os equipamentos. O SLEMS #4 apresenta caso limítrofe, com valor-p na mesma casa decimal e próximo de se igualar a 0,05, sendo viável a calibração.

Tabela 4: Estatística de calibração para a temperatura de globo

Temperatura de globo (°C)	SLEMS #1	SLEMS #2	SLEMS #3	SLEMS #4	SLEMS #5
R^2	0,998	0,999	0,998	0,999	0,999
Valor-p	1,2E-05	3,4E-12	8,2E-05	1,2E-05	3,7E-08
Coeficiente A	1,0367	1,0297	1,0349	1,0645	0,9817
Coeficiente B	-0,4619	-0,8015	-0,4050	-1,5607	0,4998
EMA	0,324	0,151	0,342	0,147	0,140
EMA com calibração	0,031	0,035	0,033	0,031	0,029
Aplicar calibração?	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: os autores.

A temperatura de globo foi observada entre 18 e 24 graus, com erro máximo permitido de ±0,7°C. Não se calibrando nenhum SLEMS. Já para a ventilação foram tomados 20 dados em uma sala de aula (Figura 3), com um ventilador de parede com diâmetro de 60 cm acionado, a quatro distâncias da fonte, 2,3m, 2,8m, 3,3m e 3,8, tomando-se cinco medidas (a cada minuto) em cada posição, com os sensores próximos de um eixo central a partir do ventilador. As distâncias foram consideradas suficientes para minimizar diferenças nas leituras da velocidade do ar. A calibração foi realizada com o mesmo confortímetro SENSU, com medições de minuto em minuto.

Tabela 5: Estatística de calibração para a velocidade do ar

Velocidade do ar (m/s)	SLEMS #1	SLEMS #2	SLEMS #3	SLEMS #4	SLEMS #5
R^2	0,795	0,747	0,697	0,4820	0,3379
Valor-p	0,001	0,5189	0,8321	0,0001	0,0470
Coeficiente A	0,5912	1,0477	1,1994	0,4800	0,974
Coeficiente B	0,7052	0,1881	-0,0783	1,2547	0,9356
EMA	0,378	0,316	0,326	0,445	0,901
EMA com calibração	0,168	0,189	0,213	0,270	0,339
Aplicar calibração?	Limítrofe	Sim	Sim	Não	Limítrofe

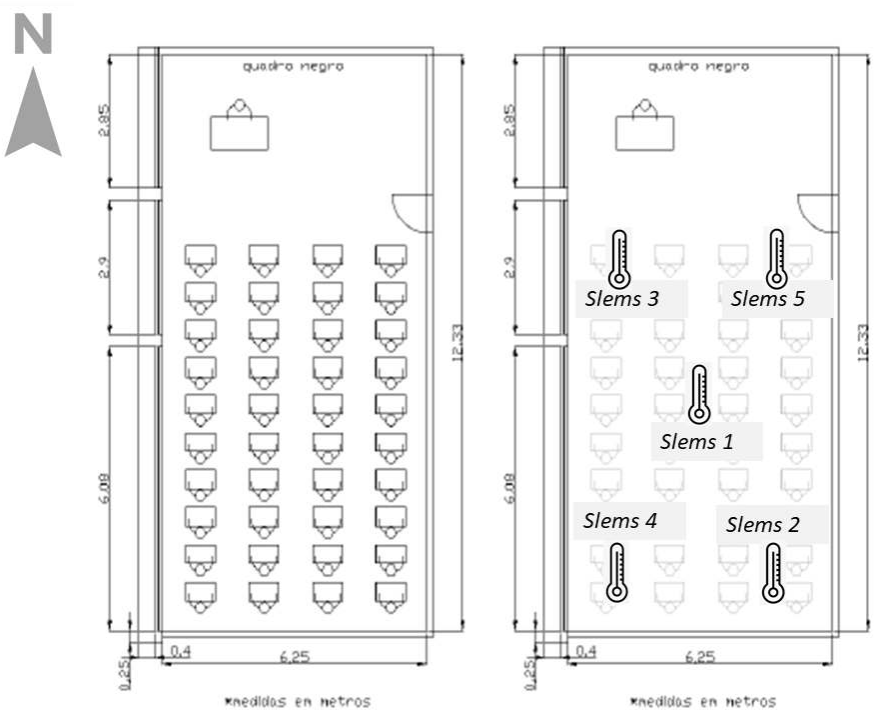
Fonte: os autores.

A ventilação foi observada entre 0,7 e 4,5 m/s. Erro máximo permitido é de ±6%. Se calibram os valores de ventilação dos SLEMS #1, #2, #3 e #5.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SLEMS

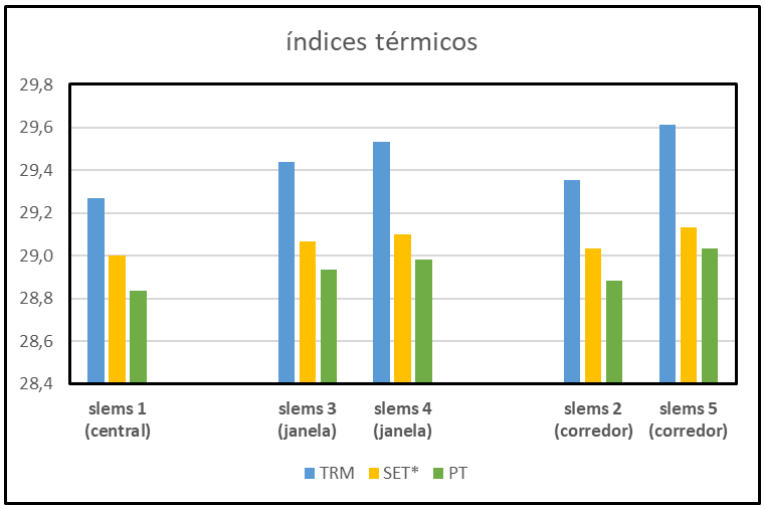
A título de exemplificar a aplicação do SLEMS, tomou-se a mesma sala de aula utilizada na verificação da velocidade do ar, com janelas voltadas a oeste (Figura 3, planta à esquerda), distribuindo-se os cinco SLEMS no ambiente, com dois deles próximos à janela, um central e dois outros junto à divisória para o corredor (planta à direita). As medições ocorreram no período da tarde, às 16:30, durante uma onda de calor. As janelas foram mantidas com cortinas fechadas e sem ventilação.

Figura 3: Sala de aula EB-201 utilizada para a calibração dos sensores de velocidade do ar dos SLEMS – à esquerda, layout da sala, à direita, posicionamento aproximado das unidades SLEMS na sala



Verificou-se, para uma média de cinco medições em cada ponto, que as estações foram capazes de mostrar diferenças significativas em três índices térmicos, obtidos a partir da conversão das variáveis medidas pelas estações no software Rayman [17], quais sejam: a temperatura radiante média (TRM), o índice SET* [18] e o índice temperatura percebida - PT [19]. Ressalta-se que os valores foram obtidos diretamente, sem ajuste das variáveis temperatura do ar, umidade do ar e temperatura de globo, uma vez que a velocidade do ar era inexistente. Nota-se que a utilização de um ponto central na sala não representa a diversidade térmica no ambiente como um todo, sendo observadas diferenças entre os dados medidos (Figura 4), o que justifica o emprego de um conjunto de estações em pesquisas de conforto em ambientes escolares.

Figura 4: Valores médios encontrados para os índices TRM, SET* e PT, em °C, por posição das unidades SLEMS



CONCLUSÕES

As principais contribuições desta pesquisa se referem ao desenvolvimento de instrumentos para estudos de conforto ambiental como alternativa de baixo custo aos instrumentos convencionais de medição. O sistema de monitoramento aqui cunhado de SLEMS se mostrou adequado para o monitoramento das variáveis ambientais de conforto térmico em um ambiente de sala de aula. Testes em outros ambientes, com e sem geração de calor sensível, serão parte de futuros estudos. Em etapas futuras da pesquisa, serão utilizados os SLEMS em estudos sobre sensação e percepção de conforto via aplicação de questionários em ambientes escolares e de escritório. A partir desses resultados, poderão ser tomadas providências quanto à troca do tipo de sensor a ser adotado. Uma vez que tais componentes de baixo custo destinados a microcontroladores estão em permanente atualização, podendo ser facilmente intercambiáveis, o equipamento mostra grande potencial para customizações quanto ao que se deseja monitorar.

Por fim, é necessário ressaltar que tal tipo de equipamento requer que calibrações sejam feitas de forma reiterada previamente a campanhas de campo programadas em períodos de tempo distanciados. A utilização de equipamento semelhante (o PLEMS), empregado como mochila em trabalhos de campo durante um período de um ano, mostrou ligeira redução de sua precisão. Não obstante, considerando a facilidade de manuseio e o preço reduzido dos sensores empregados, a alternativa de se trocar os componentes fora do prazo estimado de validade se torna bastante viável.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa não seria possível sem o apoio financeiro do Cnpq através das chamadas: CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 - Faixa B - Grupos Consolidados / processo aprovado 408422/2021-1 e CNPq/MCTI Nº 10/2023 - Faixa B - Grupos Consolidados / processo aprovado 407014/2023-3.

Os autores agradecem a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) e o Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo auxílio financeiro para compra dos materiais utilizados nesta pesquisa e pela utilização do espaço da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC) para a realização do experimento de calibração, respectivamente.

Agradecimentos também às instituições cujos docentes colaboram com essa pesquisa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Instituto Federal da Paraíba (IFPB)e Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS).

REFERÊNCIAS

[1] NETO, J., GOBO, J. P. A., PEREIRA, G., DA SILVA CARDOZO, F., & TAVARES, K. S. R. Revisão Sistemática Acerca dos Estudos de Conforto e Sensação Térmica no Brasil. **Boletim Alfenense de Geografia**, v. 4, n. 7, p. 25-42, 2024.

[2] NAZARIAN, N. et al. Project Coolbit: can your watch predict heat stress and thermal comfort sensation? **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 3, p. 034031, 2021.

[3] World Health Organization (WHO). Heat-waves: risks and responses. **Health and Global Environmental Change Series**, No. 2EUR/03/5036810. 124p, 2004. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107552/9789289010948-eng.pdf?sequence=1. Acesso em: 01/12/2023.

[4] FEMA. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency of United States. 2024**. Extreme Heat | Response Planning (Shelter).** Disponível em: https://community.fema.gov/ProtectiveActions/s/article/Extreme-Heat-Response-Planning-Shelter. Acesso em: 01/12/2023.

[5] FOGGIATO, F. CAMARA MUNICIPAL DE CURITBA. 2024. **Sugerido plano de contingência a ondas de calor, em Curitiba**. Disponível em: https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/sugerido-plano-de-contingencia-a-ondas-de-calor-em-curitiba#:~:text=O%20vereador%20salientou%20que%20%E2%80%9Co,bon%C3%A9%2C%20frutas%20e%20instala%C3%A7%C3%B5es%20sanit%C3%A1rias. Acesso em: 14/03/2024.

[6] KIMMLING, M.; HOFFMANN, S. Behaglichkeitsmonitoring – flächendeckend und kostengünstig mit der Sensorstation CoMoS. **Bauphysik, v.** 41, Heft 2, 2019.

[7] ROMERO, M.A.B. et al. Instrumentação para medições em escala microclimática: uma proposta de mochila bioclimática. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo: Dossiê Especial Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, **Paranoá,** v. 1, n. 26, p. 96-105, 2020.

[8] ALI, A. S.; ZANZINGER, Z.; DEBOSE, D.; STEPHENS, B. Open-Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. **Building and Environment,** v. 100, p. 114-126, 2016.

[9] KRÜGER, E.; IHLENFELD, W.; LEDER, S.; CARVALHO, L. Application of microcontroller-based systems in human biometeorology studies: a bibliometric analysis. **International Journal of Biometeorology**. v. 67, n. 9, p. 1397-1407, 2023.

[10] IHLENFELD, W.; KRÜGER, E.; LEDER; S.; de QUADROS, B.; LIMA, L. Prototipação de sistema portátil de monitoramento ambiental de baixo custo para estudos de conforto ambiental em espaços abertos. In: XVII ENCONTRO NACIONAL e XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**, São Paulo, 2023.

[11] IHLENFELD, W.; KRÜGER, E.; LEDER; S.; de QUADROS, B.; MIZGIER, M. Aplicação prática de sistema portátil de monitoramento ambiental de baixo custo: comportamento térmico de canions urbanos. In: XVII ENCONTRO NACIONAL e XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**, São Paulo, 2023.

[12] INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments - Instruments for measuring physical quantities. Genebra, ISO, 1998.

[13] TREVISAN, L. Y. I.; SHIBATA, R.; CELLIGOI, G.; RIBEIRO, R. S.; AMARILLA, R. S. D.; KRÜGER, E. L. Avaliação Pós-Ocupação de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo: a percepção térmica e acústica no diagnóstico de um ambiente construído. **Ambiente Construído**, v.20, n.1, p.285–303, 2020.

[14] SLATER, B. V.; MARCHIONI, D. M. L.; VOCI, S. M. Aplicação de regressão linear para correção de dados dietéticos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 190-196, 2007.

[15] WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Lancaster, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

[16] IHLENFELD, W. **Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para condução de pesquisa de campo dinâmica em conforto ambiental em espaços abertos.** 2024. 197p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2024.

[17] MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology** v. 54, p. 131-139, 2010.

[18] GAGGE, A. P., FOBELETS, A. P., BERGLUND, L. G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions,** v. 92, p. 709-731, 1986.

[19] STAIGER, H., LASCHEWSKI, G. & GRÄTZ, A. The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 165–176, 2012.