PROTOTIPAÇÃO DE SISTEMA PORTÁTIL DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDOS DE CONFORTO AMBIENTAL EM ESPAÇOS ABERTOS

Walter Ihlenfeld (1); Eduardo Krüger (2); Solange Leder (3); Bianca Milani de Quadros (4); Linccon de Carvalho Lima (5).

(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, walterihlenfeld@alunos.utfpr.edu.br, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Dep. Heitor A. Furtado, 5000 - Cidade Industrial, Curitiba – PR, (41) 3279-6800.
(2) Dr., Docente do Departamento de Engenharia Civil, ekruger@utfpr.edu.br, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, R. Dep. Heitor A. Furtado, 5000 - Cidade Industrial, Curitiba - PR, (41)3279-6800.
(3) Dra., Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, solange.leder@academico.ufpb.br, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa – PB, (83) 3216-7200.
(4) Arquiteta, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, bianca.milani@posgrad.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, 662 - Campus Trindade, Florianópolis - SC, (48) 3721-9797.
(5) Ecólogo, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, linccon.carvalho@academico.ufpb.br, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa – PB.

RESUMO

O desenvolvimento urbano cria diversos impactos inadvertidos relacionados ao clima urbano e à biometeorologia humana. Sistemas baseados em microcontroladores estão surgindo como uma alternativa aos dispositivos convencionais para monitorar o conforto ambiental em espaços abertos, superando assim limitações impostas pelo alto custo dos equipamentos disponíveis comercialmente. Este trabalho apresenta a prototipação de um sistema de monitoramento ambiental de baixo custo e a calibração dos sensores do conforto térmico por equação de regressão linear. O uso misto de sensores digitais e analógicos sem filtros contra interferências eletromagnéticas apresentou impactos nas medições. Em relação à calibração, comprovou-se haver diferenças entre os sensores empregados e o equipamento tomado como referência, sendo necessário aplicar equações de correção.

Palavras-chave: Conforto ambiental em espaços abertos. Sistema de monitoramento ambiental. Microcontrolador.

ABSTRACT

Urban development creates several inadvertent impacts related to urban climate and human biometeorology. Microcontroller-based systems are emerging as an alternative to conventional devices to monitor environmental comfort in outdoor spaces, thus overcoming limitations imposed by the high cost of commercially available equipment. This work presents the prototyping of a portable low-cost environmental monitoring system and the calibration of the attached thermal comfort sensors by linear regression. The mixed use of digital and analog sensors without filters against electromagnetic interference proved to have had an impact on the measurements. With regard to calibration, it was found that there were differences between the sensors used and the equipment taken as reference, requiring the application of adjustment equations.

Keywords: Outdoor thermal comfort. Environmental monitoring system. Microcontroller.

1. INTRODUÇÃO

Durante a última década, o interesse na avaliação do conforto humano ao ar livre aumentou devido às mudanças climáticas e ao estresse térmico nas cidades, visto que constantes transformações urbanas implicam em emissões de poluentes, redução da cobertura vegetal e modificações nos padrões de uso e ocupação do solo (KRÜGER *et al*., 2011). O contexto urbano influencia as características climáticas em nível local e regional; retratando alterações climáticas que elevam a temperatura do local, diferenciando-as das condições climáticas próprias (OKE *et al*., 2017). Tais alterações microclimáticas provocam impactos significativos nos seres humanos, sendo o ambiente urbano responsável pela geração de percepções diferenciadas do espaço, afetando assim o comportamento de seus usuários (STEANE, STEEMERS, 2004).

A importância de se realizar pesquisas de conforto térmico em espaços abertos consiste na necessidade de garantir a qualidade ambiental em espaços externos diante da crescente urbanização e impactos das mudanças climáticas. O registro de variáveis microclimáticas é fundamental para o estudo do clima na escala compatível com a dos pedestres, frequentemente os dados microclimáticos são escassos, seja pelo alto custo dos equipamentos ou pela necessidade de quantidade elevada de pontos de avaliação. (LIMA et al., 2022). Para padronizar procedimentos e promover essa linha de pesquisa em países em desenvolvimento, os autores buscaram meios alternativos e econômicos para atingir essa meta.

Superando as limitações do alto custo dos sensores profissionais (Trento *et al*., 2018), sistemas baseados em microcontroladores de baixo custo surgem como uma alternativa aos equipamentos tradicionais empregados para monitorar dados microclimáticos. Este novo campo emergente permite o desenvolvimento de dispositivos de baixo custo, com uma configuração flexível (em termos de acoplamento de novos sensores), em muitos casos acompanhada de uma redução do peso e forma do equipamento de monitoramento comparativamente a estações meteorológicas comerciais e "confortímetros", por exemplo.

Tais dispositivos também utilizam software de código aberto, com rotinas de programação e linguagens para plataformas de prototipagem Arduino e Raspberry-Pi baseadas em códigos-fonte e esquemas evolutivos (NOUMAN *et al*., 2019). As plataformas eletrônicas de código aberto em geral são fáceis de usar e flexíveis para usuários avançados. A ampla gama de sensores de baixo custo para o monitoramento de variáveis ambientais disponíveis no mercado facilita a pesquisa em países em desenvolvimento e em iniciativas de pesquisa de baixo orçamento (TRENTO *et al*., 2018).

Autores investigaram o conforto humano em espaços abertos aliados parcial ou totalmente com instrumentação de baixo custo. As técnicas se deram por monitoramento dinâmico não-motorizado. Tsin *et al*. (2016) utilizaram um sistema móvel de coleta de dados climáticos para a exposição do pedestre ao aquecimento urbano de Vancouver, Canadá. Lau *et al*. (2017) investigaram o conforto térmico de pedestres em rotas por áreas comerciais de Hong Kong com sensores abrigados em uma mochila, visando compreender a contribuição da geometria urbana. Nouman *et al*. (2019) e Chokhachian *et al*. (2018) aplicaram dispositivos móveis de baixo custo e equipamentos profissionais para estudos do conforto humano na Alemanha. Seguindo os demais, Cureau *et al*. (2022) apresentaram um sistema portátil do tipo mochila desenvolvido para monitorar os principais parâmetros multidomínios relacionados à qualidade do ar, conforto térmico e lumínico, em uma escala microclimática a partir da perspectiva de um pedestre. O sistema consistia em um conjunto de sensores conectados a uma unidade de controle acomodada em uma mochila. O dispositivo foi prototipado para garantir a fácil manutenção dos sensores, e um painel facilitou uma visão geral de monitoramento em tempo real. Vários testes foram realizados para confirmar a confiabilidade dos sensores.

No Brasil, Romero *et al*. (2020) desenvolveram um protótipo de mochila micrometeorológica para medições em campo baseado na plataforma Arduino. Aplicações serviram para avaliar o estresse térmico no campus da Universidade de Brasília. Posteriormente, autores ligados à pesquisa citada, liderados por Lima *et al*. (2022), atualizaram a "mochila bioclimática" com a inclusão de mais sensores.

Tradicionalmente, as estações meteorológicas fixas têm sido implementadas para medir variáveis em ambientes internos e externos. Diversos estudos utilizaram estações meteorológicas fixas para medir os efeitos das transformações urbanas sobre as ilhas de calor (NG *et al*., 2012; WANG *et al*., 2021). No entanto, como em muitos casos as estações meteorológicas estão localizadas em apenas um ponto específico dentro do tecido urbano, ou mesmo mais afastadas (como são os casos das estações de referência localizadas em aeroportos), os dados medidos não representam a diversidade de padrões espaciais existentes nos centros urbanos.

Para superar as limitações apresentadas por técnicas de medições fixas, vários pesquisadores vêm utilizando técnicas de medições móveis com sensores instalados em mochilas, bicicletas e outros veículos móveis. Kousis *et al*. (2022) realizaram uma revisão de pesquisas recentes de monitoramento ambiental e identificaram a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias de prototipagem de sistemas portáteis de monitoramento ambiental para simplificar e expandir o potencial das medições móveis.

2. OBJETIVO

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 - PLEMS (sigla em inglês para *Portable Low-cost Environmental Monitoring System*).

3. MÉTODO

Neste item, apresentam-se detalhes da montagem do sistema, procedimento de calibração e testes de performance do sistema utilizando os sensores de conforto térmico.

3.1. Prototipação do sistema portátil de monitoramento ambiental de baixo custo

A concepção do PLEMS baseou-se na pesquisa de Romero *et al*. (2020). Nessa pesquisa, utilizou-se um sensor de temperatura e umidade do ar e outro de pressão atmosférica conectados a um microcontrolador Arduino UNO. Adotou-se inicialmente o mesmo conceito, com a intenção de acoplar outros sensores (Figura 1), incluindo assim temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica, temperatura de globo, velocidade e qualidade do ar (concentração de CO_2).

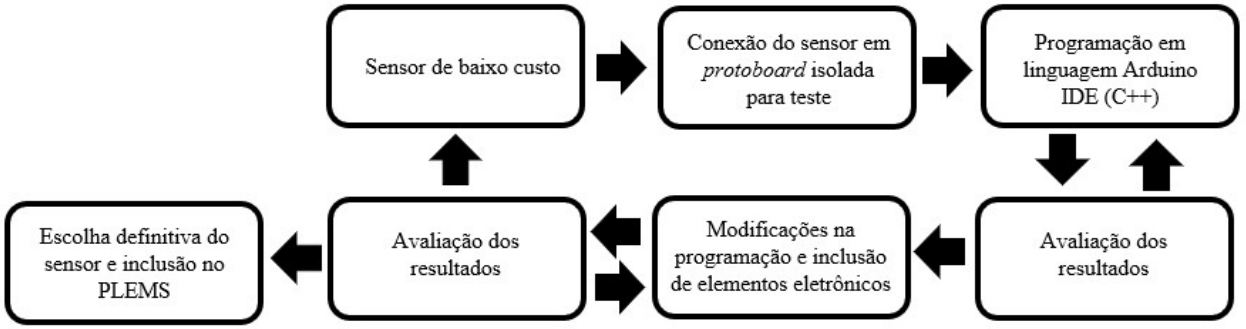

Figura 1 – Critérios para escolha e teste dos sensores para monitoramento do conforto ambiental.

O Arduino UNO se mostrou não operacional pela limitação na quantidade de sensores conectados, logo adotou-se um microcontrolador intermediário, o ESP32, equivalente ao modelo Arduino MEGA, porém inferior em termos de custo. Dada a capacidade de acoplar maior número de sensores e a disponibilidade desses no mercado, foram incluídos os sensores: GPS, iluminância e NPS (ruído).

A Tabela 1 abaixo apresenta com detalhes todos os componentes do PLEMS. Os custos de aquisição incluem frete e se referem ao período de início de agosto de 2021 a meados de fevereiro de 2022.

Componente	**Descrição**	**Custo de aquisição**
ESP32S CP2102 30 pinos	Placa de desenvolvimento	R$ 71,59
Liquid Crystal Display com adaptador I2C	Exibe informações por via eletrônica	R$ 36,40
Real Time Clock DS3231	Registro da data e hora das medições	R$ 39,90
Módulo de Cartão MicroSD	Registrador de dados	R$ 13,90
GPS GY-NEO6MV2	Latitude, longitude, número de satélites conectados e velocidade	R$ 89,90
AHT10	Sensor de temperatura e umidade do ar	R$ 22,90

DS18B20	Sensor de temperatura para globo	R$ 11,90
ANBR-1	Sensor de ventilação	R$ 269,98
BMP180	Sensor de pressão atmosférica	R$ 14,90
MQ-135	Sensor de qualidade do ar	R$ 24,90
BH1750-FVI GY-30	Sensor de iluminância	R$ 19,99
KY-038	Sensor de ruído ambiente	R$ 13,90
Escudo de radiação solar para o sensor AHT10	Impresso em PLA com um filme de alumínio no prato superior	R$ 260,00
Bola de tênis-de-mesa de 40 mm	Esfera para o termômetro de globo pintada na cor grafite claro	R$ 5,00
Powerbank 5V	Fonte de energia para o circuito	R$ 174,99
Cartão MicroSD	Exportação dos dados	R$ 29,90
Placa de circuito, cabos, resistores, conectores e outros	Componentes eletrônicos diversos	R$ 147,80
Base plástica, canos de PVC, alças, abraçadeiras, espuma, parafusos e outros	Construção do protótipo móvel	R$ 150,00
TOTAL		R$ 1.397,85

Tabela 1 – Lista dos componentes do protótipo e o preço de aquisição do material.

Os dados coletados são exibidos em tempo real em uma tela LCD e, a cada ciclo de 90 segundos (considerando o GPS em funcionamento), salvam-se os dados coletados em arquivo ".csv". O início da operação se dá a partir do acionamento da tecla/botão pressionada duas vezes para sua execução. O sistema é alimentado por uma fonte de 5V com um consumo de 0,25 m/A.

A Figura 2 ilustra a localização dos sensores com detalhes construtivos. A base da mochila consiste de um quadro de distribuição (comercialmente disponível) onde foram fixadas três hastes de PVC com ¾" de diâmetro, sendo duas hastes laterais com de 0,80 metros e uma haste central com 1 metro. Para dar suporte estrutural ao conjunto duas vigas (perfis de alumínio em L) foram fixadas nas hastes. A primeira viga serve de apoio para as alças da mochila (sendo móvel permite ajustar a mochila à altura do usuário). A segunda viga serve de apoio para a barreira radiante e o anemômetro de copos. Abraçadeiras plásticas (i) foram utilizadas para nas conexões entre hastes e as vigas. A haste maior, ao centro, objetiva evitar o sombreamento do termômetro de globo pelos demais sensores. Para suporte dos sensores utilizou-se dois espelhos compactos de tomadas (ii). Para proteger o sensor de temperatura e umidade do ar, foi impressa em impressora 3D uma barreira radiante em plástico PLA (iii) (acesso livre pelo Thingiverse) a qual foi envernizada, sendo inserido um filme de papel alumínio no último prato, conforme recomendações de Ham (2015). De modo a possibilitar maior flexibilidade em seu uso, conta-se com uma viga (iv) ajustável. As alças da mochila foram presas com abraçadeiras de nylon. Por fim, entre as hastes de PVC, uma camada deespuma "casca de ovo" (v), normalmente usada em colchão hospitalar, assegura mais conforto ao usuário do protótipo.

A Tabela 2 apresenta maiores informações quanto aos sensores de baixo custo do PLEMS. A primeira coluna está de acordo com a numeração dos sensores (cf. Figura 2), seguido pela informação do fabricante, variáveis ambientais registradas, tempo de resposta de cada sensor, intervalo de leitura e margem de erro.

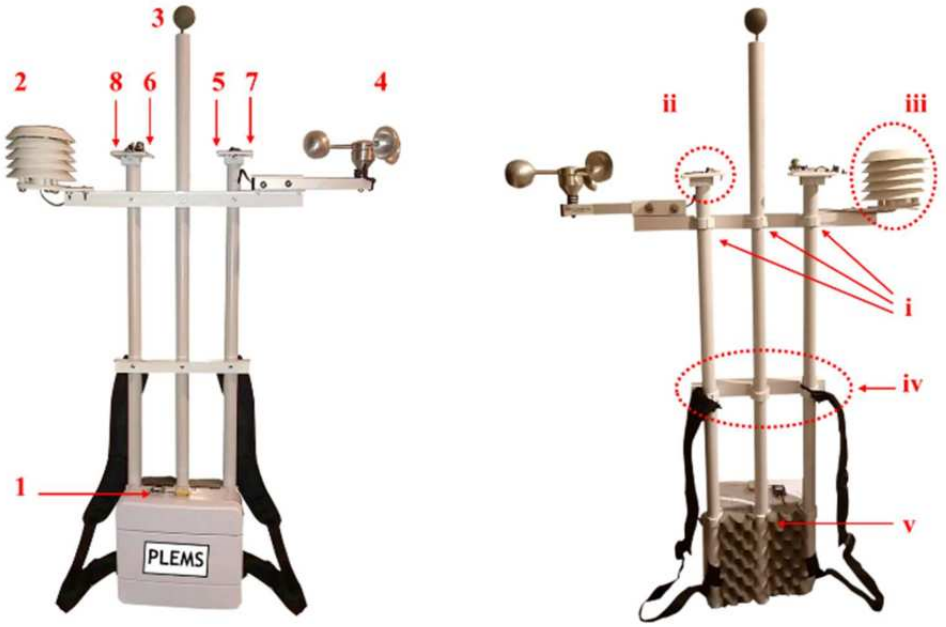

Figura 2 – Localização dos sensores e detalhes construtivos do PLEMS.

Sensor e identificação	**Fabricante**	**Variáveis**	**Tempo de resposta**	**Intervalo de leitura**	**Margem de erro**
GPS GY-NEO6MV2 (1)	u-blox®	Latitude	27s para inicializar (*cold start*), 1s para medições sucessivas (*hot start*)	Realiza leituras em coordenadas geográficas: (graus, minutos e segundos)	5 metros
		Longitude			
		Velocidade			
		Número de satélites conectados			
AHT10 (2)	ASAIR®	Temperatura do ar	5 < 30s	-40 < 85°C	± 0,3°C
		Umidade do ar	8s	0 < 100%	± 2%
DS18B20 (3)	Maxim Integrated Products®	Temperatura (globo)	0,75s	-55 < 125°C	± 0,5°C
ANBR-1 (4)	WRF Comercial®	Velocidade do vento	3,1s	0,19 < 37,5 m/s	< ±5%
BMP180 (5)	Bosch Sensortec®	Pressão Atmosférica	<0,75s	300 < 1100 hPA	± 0,06hPa
MQ-135 (6)	Winsen®	Concentração de CO2	1s	Ajustável via potenciômetro	± 50 ppm
BH1750-FVI GY-30 (7)	ROHM Semicondutor®	Lux ambiente	<1s	1 < 65.535 Lux	± 20%
KY-038 (8)	JOY-IT®	Ruído ambiente	1s	Ajustável via potenciômetro	Não se aplica

Tabela 2 – Descritivo da precisão dos sensores do protótipo.

3.1.1. *Desenvolvimento do código em linguagem Arduino IDE*

O desenvolvimento do código em linguagem Arduino IDE (C++) do PLEMS (cf. Figura 1) se deu de maneira somativa, agregando sensor a sensor ao sistema. Logo, o código passou por dezenas de modificações até chegar à versão definitiva. Cabe destacar as etapas/funções em ordem cronológica.

Deu-se início com a inclusão das bibliotecas dos sensores, definição de portas do microcontrolador e definição de variáveis matemáticas. Seguiu-se para a inicialização dos sensores e *setup* - configuração geral do código. Foram inseridas funções para o RTC exibir mensagem de mau funcionamento, ajuste da data e hora, caso acabe a bateria. Outra função exibe mensagem de erro do cartão microSD. Os sensores de pressão atmosférica e temperatura e umidade do ar habilitam também mensagem de erro, logo essa opção também foi adotada no código.

Foram configuradas também funções de inicialização do GPS, funções para imprimir mensagens iniciais e o cabeçalho no arquivo *.csv* cada vez que inicia o *loop* de leituras das variáveis ambientais, e uma função para salvar os dados no cartão microSD. A leitura dos sensores começa com a transformação do sinal dos sensores em numeral, com inserção dos dados no arquivo, na seguinte ordem: dados de localização pelo GPS, temperatura e umidade do ar, temperatura de globo, pressão atmosférica, luxímetro, ruído, concentração de CO2 e ventilação. A última função é a gravação do arquivo do cartão microSD.

3.1.2. Desenvolvimento da placa de circuito

A primeira placa de circuito foi constituída de duas protoboards de 830 pontos, conforme Nouman *et al*. (2019), utilizando cabos *jumper* como ligação. Contudo, o emaranhado de fios e a fragilidade desses cabos não tornava o sistema estável quando em movimento. Dessa forma, optou-se por otimizar o circuito (Figura 3) no software *EasyEDA* e usar terminações soldadas.

Adotaram-se cabos *flat,* que, por serem coloridos, facilitam a identificação dos componentes do sistema. A Figura 3 (centro) apresenta o esquemático geral do sistema via *software Fritzting*. Escolheu-se uma placa padrão de fibra tamanho 10×15 cm (Figura 3, à direita) e nela foram soldados os terminais *borne*, em azul, que funcionam com pressão e mantém a conexão sensor-placa mais estável do que os cabos *jumper*.

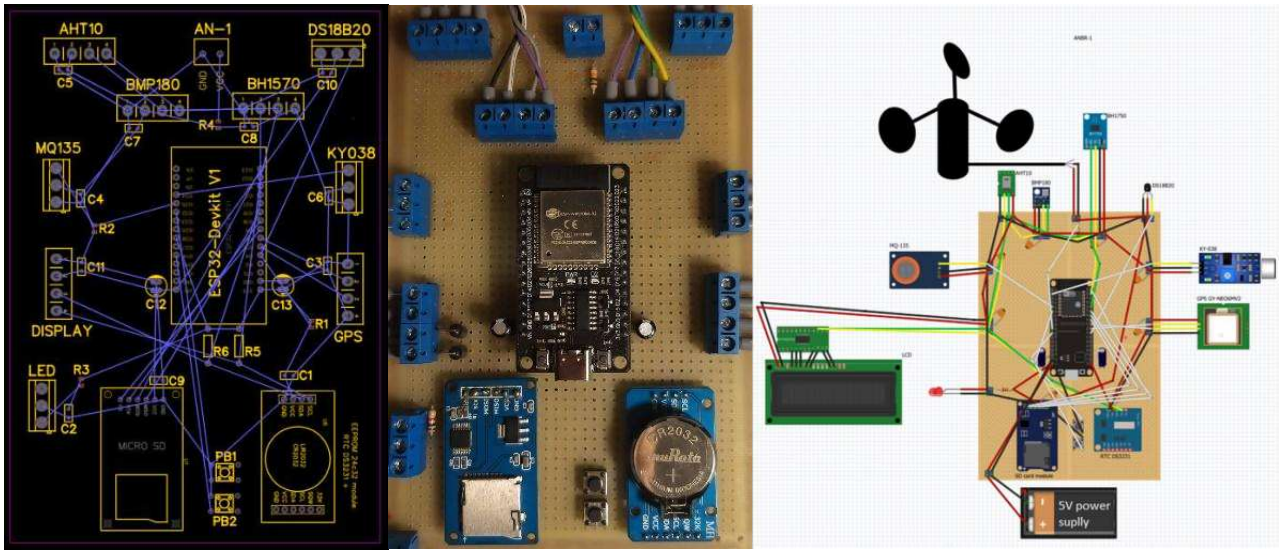

Figura 3 – Diagrama elétrico, esquemático geral e placa de circuito.

Os capacitores C1 até C11 são capacitores de desacoplamento, que têm a função de filtrar sinais de alta frequência. Já o C12 e C13 mantêm constante as tensões de saída do ESP32 em 3,3 e 5 volts. A letra R identifica na placa os resistores dos sensores, de acordo com cada fabricante, com função *pull-up* e *pull-down*. No limite interior da placa, PB1 e PB2 são botões para ajustar a data e hora em caso de interferência e/ou perda de energias sem ter que recopilar o código. As ligações no verso da placa foram soldadas em uma primeira tentativa com *wire wrap*, apresenta mais rapidez para soldagem, contudo é menos resistente e mais suscetível à interferência. Em seguida utilizou-se fio de rede para fazer as ligações elétricas. A soldagem com fio de rede se demonstrou mais segura e menos custosa.

3.2. Procedimento de calibração dos sensores de conforto térmico

A calibração dos sensores de temperatura e umidade do ar, temperatura de globo e ventilação foi realizada em uma das câmaras bioclimáticas de baixo custo (CBBC). Trata-se de um laboratório construído no Campus Ecoville da UTFPR, 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 (TREVISAN, 2020).

A calibração foi realizada com dois equipamentos, o confortímetro SENSU desenvolvido no LMPT/UFSC e um anemômetro de hélice Kestrel 3000, de acordo com a Tabela 3, com medições de minuto em minuto. Os sensores foram posicionados a 1,80 m de altura no centro do MC e foram monitorados em condições de 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 o restante do tempo os sensores trabalharam em livre curso (*free running*).

Parâmetro	**Protótipo**	**Precisão**	**Referência**	**Precisão**	**Observação**
Temperatura do ar	AHT10	± 0,3°C	SENSU®	±0,2°C	Equipamento recém adquirido com 2 semanas de uso
Umidade do ar		± 2%		±3%	
Temperatura de globo	DS18B20	± 0,5°C		±0,2°C	
Velocidade do ar	ANBR-1	< ±5%	KESTREL 3000®	±3%	Equipamento com ano de uso contínuo

Tabela 3 – Precisão dos componentes (protótipo e equipamentos de referência).

Para determinar as equações de correção dos sensores por regressão linear desconsiderou-se os 15 minutos iniciais e finais inclusive o período em que o ar-condicionado estava ligado. Dessa forma, foram avaliados dados de 1 hora e meia que foram interpolados em função do intervalo de medição do PLEMS, resultando em 60 pontos, dado que o sistema faz leituras a cada 90 segundos.

3.3. Teste de performance - medição de campo

O teste de performance foi realizado em um trajeto percorrido a pé com a mochila em um bairro de uso misto (comercial e residencial) em Curitiba-PR. A medição em campo foi realizada em março de 2023, sendo coletados dados dos quatro parâmetros de conforto térmico: temperatura do ar, temperatura do globo, velocidade do ar e umidade relativa do ar. O objetivo do teste foi meramente verificar se os dados coletados estavam íntegros e sem valores visivelmente anômalos.

4. RESULTADOS

Apresentam-se os resultados da calibração do sistema e as observações feitas após a primeira rodada de teste do sistema.

4.1. Calibração dos sensores térmicos do PLEMS

Nas figuras 4 a 7 foi adotada a cor azul para apresentar os dados do PLEMS enquanto a cor amarela se refere ao calibrador. As linhas tracejadas mostram a incerteza dos equipamentos. Em seguida, se apresenta uma tabela com os dados resumidos.

4.1.1. Temperatura do ar

A Figura 4 (esquerda) apresenta como a temperatura do ar variou no período observado, que experimentou 17 a 22ºC. Já a Figura 4 (direita) exibe a equação de correção adotada.

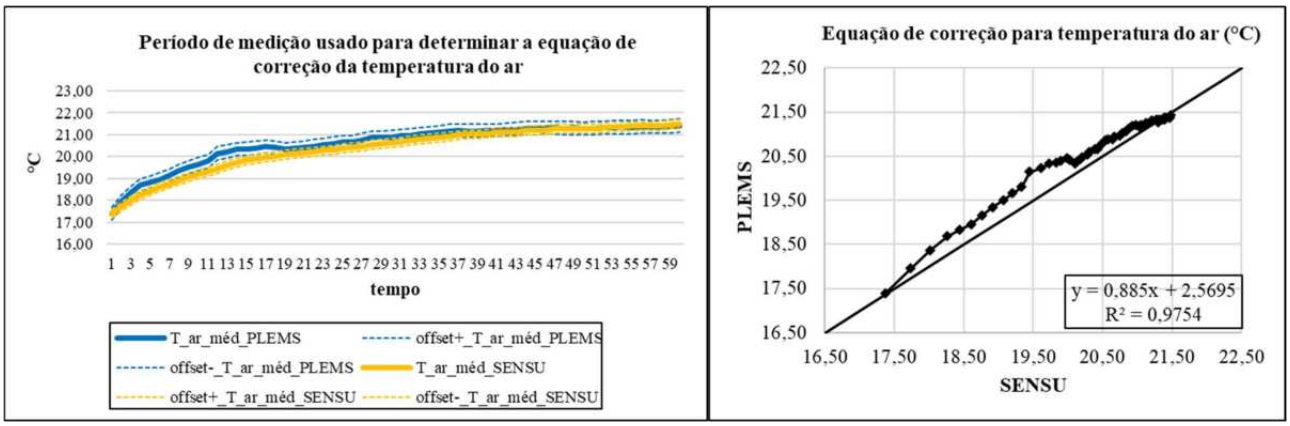

Figura 4 – Calibração da temperatura do ar.

4.1.2. Umidade do ar

A umidade do ar é a única variável em que o PLEMS se mostrou mais preciso que o calibrador. A Figura 5 exibe o comportamento da umidade, que oscila entre 49 e 55% no período da calibração. À direita, mostra-se a equação de correção.

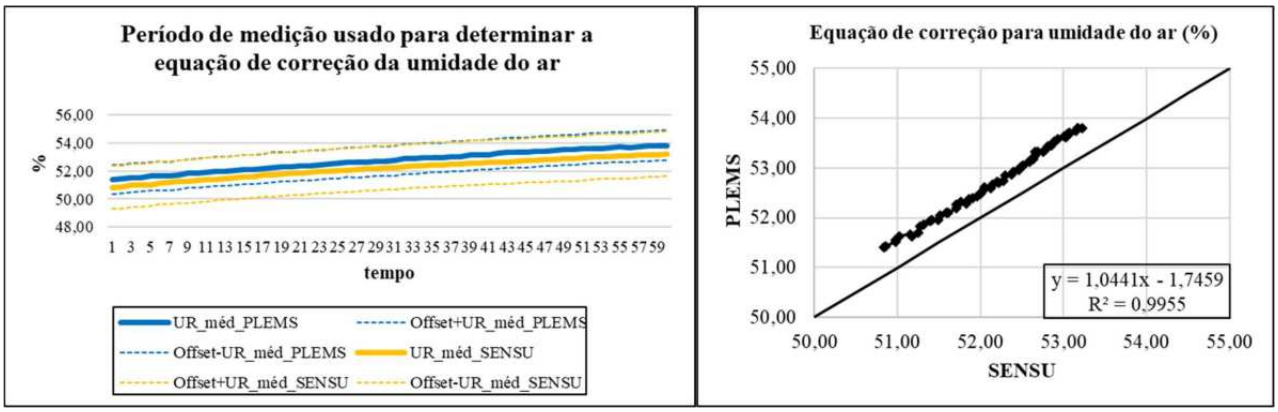

Figura 5 – Calibração da umidade do ar.

4.1.3. *Temperatura de globo*

Assim como para as duas primeiras variáveis, a Figura 6 exibe o comportamento da temperatura de globo no período da calibração com a reta de regressão.

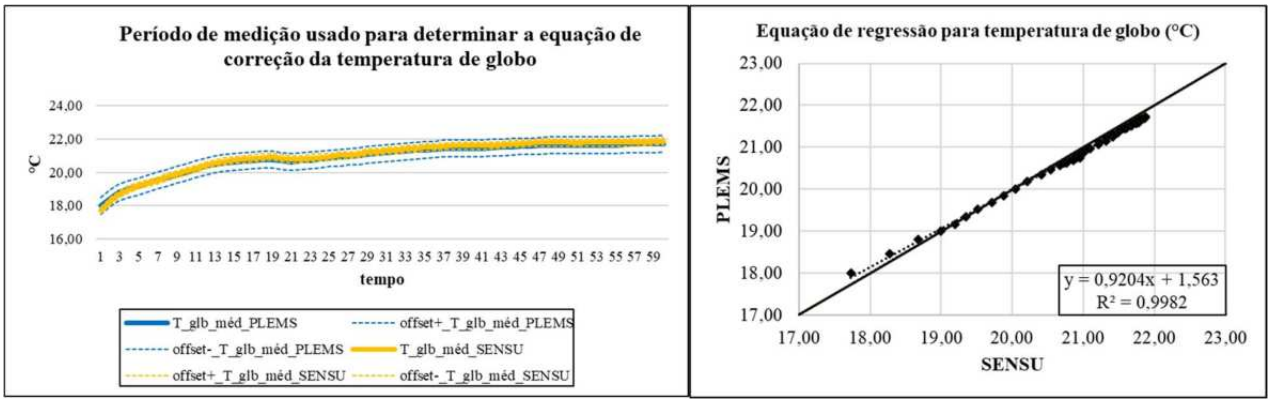

Figura 6 – Calibração da temperatura de globo.

4.1.4. Ventilação

A calibração da ventilação foi realizada diferente das outras três variáveis com o apoio de um ventilador de coluna Britânia® MEGA TURBO. Distante dois metros dos sensores, o ventilador na potência mínima foi aproximado 10 cm a cada 10 minutos. Desta forma, os equipamentos experimentaram uma ventilação de 0,4 a 1,7 m/s.

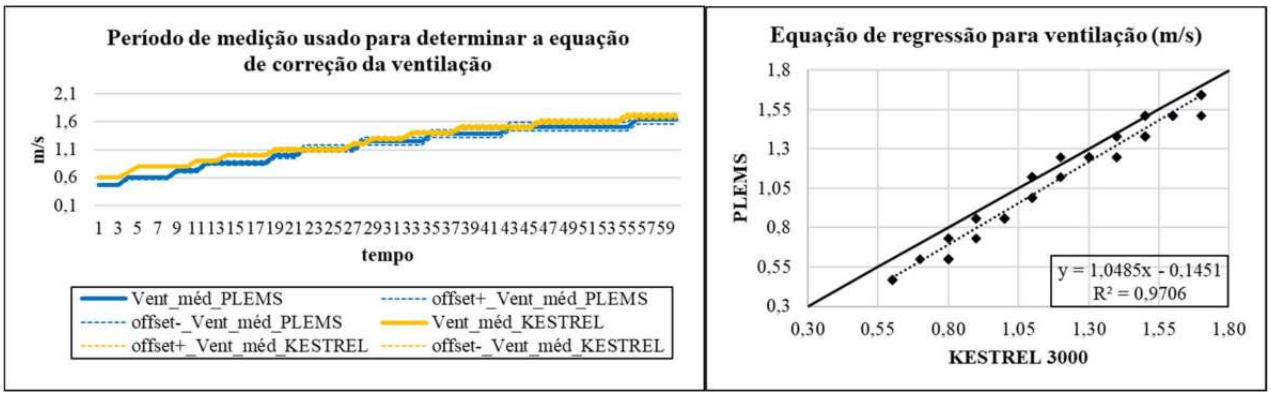

Figura 7 – Calibração da ventilação.

4.1.5. Tabela-resumo

A Tabela 4 a seguir apresenta a estatística de regressão das quatro variáveis, sendo R^2, valor-p, teste de hipótese nula, equação de regressão e erro-padrão. Obtiveram-se valores do R^2 entre 0,97 e 0,99, gerando-se equações de ajuste dos modelos estatísticos de regressão linear. Como o valor-p foi inferior a 0,05 em todas as calibrações, rejeitam-se as hipóteses de que não há diferença entre os equipamentos. Logo é possível afirmar que estatisticamente existe uma diferença significativa entre os sensores do PLEMS e os calibradores, cabendo o uso das equações de calibração.

Variável	R^2	Valor-p	Teste de hipótese nula	Equação de regressão
Temperatura do ar	0,9754	5,46E-09	Rejeitado, adota-se equação de correção	Tcalib = 0,8850*T + 2,5695
Umidade do ar	0,9955	0,0005	Rejeitado, adota-se equação de correção	Ucalib = 1,0441*U - 1,7459
Temperatura de globo	0,9982	5,43E-21	Rejeitado, adota-se equação de correção	Gcalib = 0,9204*G + 1,563
Ventilação	0,9706	1,74E-05	Rejeitado, adota-se equação de correção	Vcalib= 1,0485*V - 0,1451

Tabela 4 – Tabela-resumo da calibração dos sensores térmicos do PLEMS.

4.2. Teste de performance do PLEMS

Em pré-testes, o PLEMS funcionou corretamente com todos os sensores conectados, contudo os cabos estavam enrolados em espiral. Na disposição atual da mochila, há dois cabos na haste central e três em cada haste lateral. Nesta posição, observou-se que em eventuais momentos ocorria interferência eletromagnética (EMI), sendo que a tela LCD exibia caracteres aleatórios e iniciava e desligava de forma independente o sistema. Isso se deve ao uso de sensores digitais e analógicos conectados ao mesmo tempo e da disposição dos cabos dos sensores, que atuam como antenas, gerando ruído.

O sistema funcionou sem interferências com uso isolado dos sensores de conforto térmico (dispostos separados nas hastes da mochila), porém os sensores de qualidade do ar, ruído, pressão atmosférica e iluminância criaram EMI e serão analisados em um osciloscópio para determinar o tipo de interferência que está ocorrendo, se esta ocorre na transmissão da informação ou no funcionamento geral do circuito. As soluções previstas para combater interferências EMI consistem no uso de capacitores, cabos blindados, fiações trançadas nos cabos de dados e filtros de ferrite.

5. CONCLUSÕES

As principais contribuições deste trabalho referem-se ao desenvolvimento de instrumentação meteorológica móvel para estudos de conforto ambiental em espaços abertos como alternativa de baixo custo aos métodos convencionais de medição. O sistema de monitoramento aqui cunhado como PLEMS (sigla em inglês para *Portable Low-cost Environmental Monitoring System*) mostrou-se adequado para o monitoramento das variáveis ambientais de conforto térmico em espaços abertos. Contudo, como o sistema proposto é composto por outros sensores foi verificada a necessidade de corrigir interferência eletromagnética decorrentes do uso misto de sensores analógicos e digitais e da proximidade entre os cabos para alcançar a funcionalidade de todos os sensores planejados, que são: qualidade do ar, ruído, pressão atmosférica e iluminância.

Além de eliminar as interferências observadas durante o teste de performance, a próxima etapa da pesquisa consiste na calibração dos demais sensores. Aplicações do PLEMS para estudos de conforto em espaços abertos já estão sendo visualizadas. Atualmente, o sistema está sendo utilizado na coleta de dados microclimáticos em vias urbanas com diferentes padrões de vegetação. O PLEMS será também utilizado em trabalhos de campo para avaliação dinâmica da sensação e percepção de conforto via aplicação de questionários, além das medições dinâmicas, em Curitiba e João Pessoa (PB).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUREAU, R. J.; PIGLIAUTILE, I.; KOUSIS, I. Multi-domain human-oriented approach to evaluate human comfort in outdoor environments. **Int J Biometeorol,** v.66, n.1, p. 2033–2045, 2022.

CHOKHACHIAN, A.; KA-LUN LAU, K.; PERINI, K.; AUER, T. Sensing transient outdoor comfort: A georeferenced method to monitor and map microclimate. **J. Build. Eng**. v.20, n.1, p. 94–104, 2018.

HAM, J. **Radiation Shield For Weather Station Temperature/Humidity**. 2015. Disponível em: https://www.thingiverse.com/thing:1067700. Acesso em: 12 mar. 2023.

KOUSIS, I.; MANNI, M.; PISELLO, A. L. Environmental mobile monitoring of urban microclimates: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.169, n.1, p.1-22, 2022.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. **Building and Environment**, v.46, n.3, p. 621-634, 2011.

LAU, K. K. L.; SHI, Y.; NG, E. Y. Dynamic Response of Pedestrian Thermal Comfort under Outdoor Transient Conditions. **International Conference on Urban Comfort and Environmental Quality**, Genova, Italy, 2017.

LIMA, E. A.; SILVA, L. S.; SANTOS, A. T. T.; WERNECK, D. R.; PAZOS, V. C.; ROMERO, M. A. B. Construção de sistema de monitoramento para medições microclimáticas. **Conjecturas**. v.22, n.8, p.222-238, 2022.

NG, E.; CHEN, L.; WANG, Y.; YUAN, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**, v.47, n.1, p.256–271, 2012.

NOUMAN, A. S.; CHOKHACHIAN, A.; SANTUCCI, D.; AUER, T. Prototyping of Environmental Kit for Georeferenced Transient Outdoor Comfort Assessment. **ISPRS Int. J. Geo-Inf.** v.8, n.76, p.1-23, 2019.

OKE, T.R., MILLS, G., CHRISTEN, A., VOOGT, J.A. Urban climates. **Cambridge University Press.** 2017.

ROMERO, M.A.B.; LIMA, E. A.; WERNECK, D.; PAZOS, V. 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.

STEANE, MA. STEEMERS, K. Environmental diversity in architecture. **Routledge.** 2004.

TRENTO, D.; TRENTO, T. P. W.; KRUGER, E. L. Application of Arduino-Based Systems as Monitoring Tools in Indoor Comfort Studies: A Bibliometric Analysis. **International Journal of Architectural Engineering Technology**. v.7, n.1, p.1-12, 2020.

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 Construíd**o, v.20, n.1, p.285–303, 2020.

TSIN, P. K.; KNUDBY, A.; KRAYENHOFF, E.; HO, H. C.; BRAUER, M.; HENDERSON, S. Microscale mobile monitoring of urban air temperature. **Urban Climate**. v.18, n.1, p.58-72, 2016.

WANG, Y.; NI, Z.; HU, M.; CHEN, S.; XIA, B. A practical approach of urban green infrastructure planning to mitigate urban overheating: A case study of Guangzhou. **Journal of Cleaner Production**, v.287, n.1, p.1-11, 2021.

AGRADECIMENTOS

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 utlização do espaço da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC) para a realização do experimento de calibração, respectivamente.