DESENVOLVIMENTO DE APARATO MODULAR PARA AQUISIÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS GEORREFERENCIADOS

SOEIRA, M. R. C., Pontifícia Universidade Católica de Campinas, e-mail: mrsoeira@gmail.com;
PEZZUTO, C. C., PUC Campinas, e-mail: claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

ABSTRACT

The pursuit of sustainable urban development pathways demands better comprehension of the influences exerted by the urban fabric on local microclimates. Therefore, improvement of the tools and methods currently available for obtaining urban climatic data is of considerable importance. This study proposes a modular experimental instrument for georeferenced environmental data acquisition, geared towards the application of mobile measurement methodology. The proposed instrument's performance was compared to that of a reference equipment across three mobile measurement campaigns. While results show that the data collected by both instruments are in agreement, the acquisition capacity of the proposed instrument far exceeds that of the reference equipment in regards to measurement resolution, precision, frequency and storage, for a much lower cost. Therefore, it's application was deemed suitable for urban climate research

Keywords*: Urban climate. Microclimate. Mobile measurement. Low cost sensor. Arduino.*

1 INTRODUÇÃO

À medida em que introduzem transformações nos meios que ocupam, a construção de edificações (assim como a de obras de infraestrutura que as acompanham) provoca alterações nos processos físicos que influenciam as condições climáticas em escala local e regional(KONARSKA et al., 2016; KRÜGER; MINELLA; RASIA, 2011; WONG et al., 2016; YANG; LI, 2015). A constante expansão e adensamento da malha urbana agrava esses impactos (CHEN et al., 2012; STEWART; OKE; KRAYENHOFF, 2014), de modo que uma degradação das condições ambientais já pode ser verificada além grandes centros, em [1]cidades de médio e pequeno porte (CARDOSO et al., 2017). Compreender esta influência, que o ambiente construído exerce em seu entorno, é parte fundamental na busca por um processo de urbanização mais sustentável (KETTERER; MATZARAKIS, 2015; LECONTE et al., 2015; NG; REN, 2018). Assim, torna-se necessário o aprimoramento dos instrumentos e métodos utilizados na coleta de dados ambientais em meio urbano (HÄB; RUDDELL; MIDDEL, 2015; LIU et al., 2017; MEIER et al., 2017; SKARBIT et al., 2017; TSIN et al., 2016). O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um aparato experimental modular para aquisição de dados ambientais georreferenciados, o qual pode ser utilizado para aplicação do método de medidas móveis.

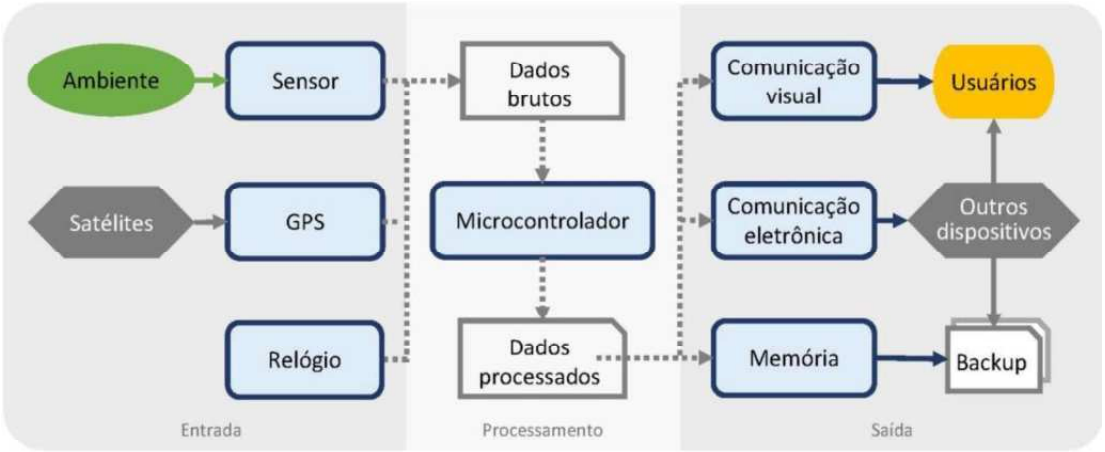
[1] SOEIRA, M. R. C., PEZZUTO, C. C. Desenvolvimento de aparato modular para aquisição de dados ambientais georreferenciados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

2 METODOLOGIA

2.1 Concepção e projeto

A aquisição de dados ambientais através do método de medidas móveis demanda o uso de instrumentos capazes de coletar dados ambientais georreferenciados, preferencialmente em grande quantidade em baixos intervalos de tempo. Baseado na plataforma de prototipagem Arduino, o aparato proposto visa atender essa necessidade agregando funcionalidades de módulos independentes. A coleta de dados é feita por três módulos de entrada (sensor, sistema de posicionamento global - GPS e relógio de tempo real), que os enviam para o modulo central de processamento (placa microcontroladora), responsável pela sua decodificação e organização. Os dados são então enviados para os três módulos de saída, que os armazenam (cartão de memória), exibem (visor de cristal líquido) ou retransmitem (*bluetooth*). A escolha pela utilização da plataforma Arduino, frente a outras opções disponíveis no mercado nacional, como Raspberry Pi e Intel Galileo, se deve não somente a critérios técnicos de adequação, como também a sua consolidada presença, popularidade e baixo custo no mercado nacional, características que facilitam o compartilhamento e replicação da tecnologia. O funcionamento do aparato experimental proposto segue o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 –Fluxograma de funcionamento

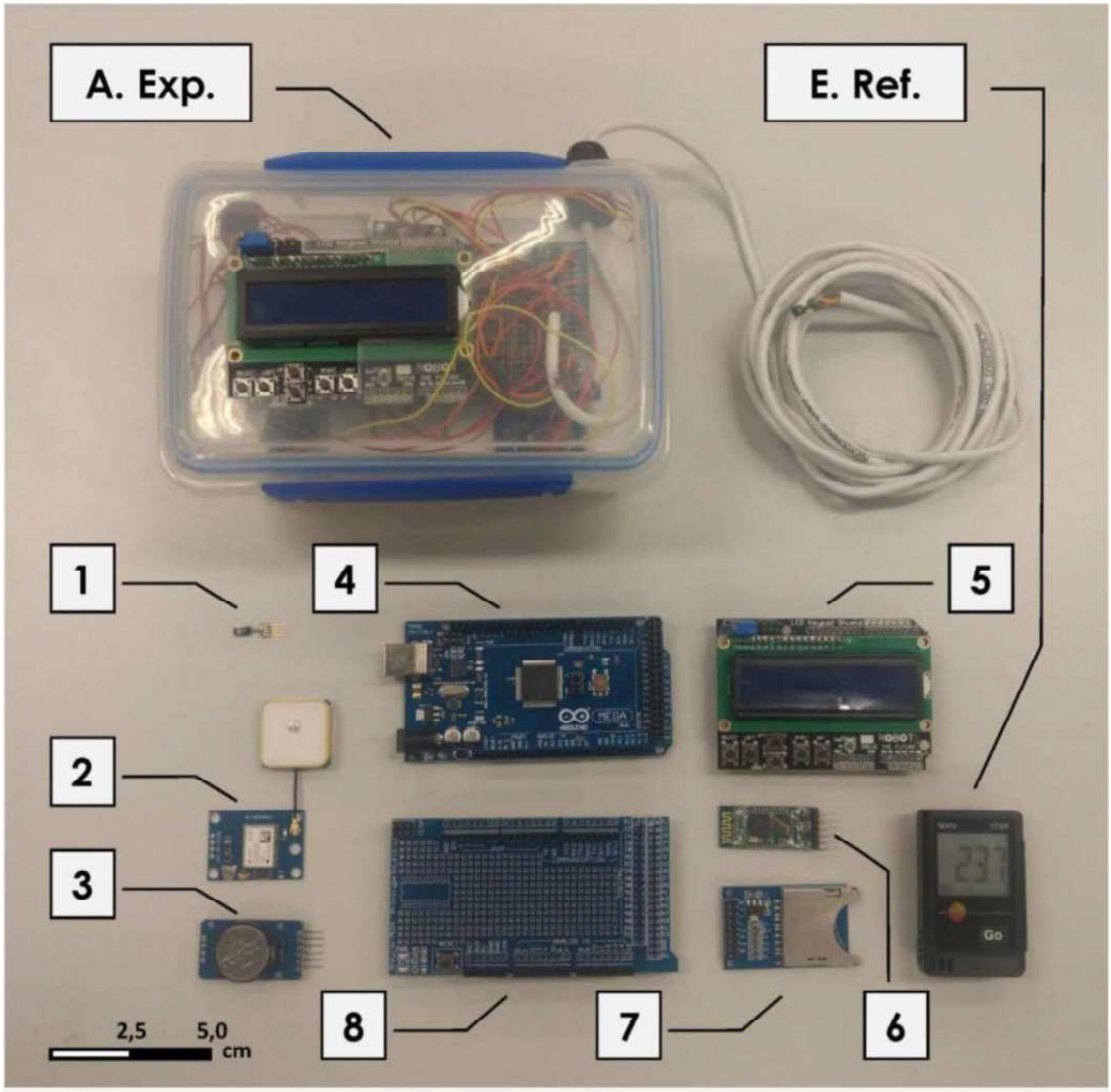


Fonte: Os autores,

2.2 Componentes e montagem

A Figura 2 apresenta a montagem e os componentes do aparato experimental. A especificação e breve descrição de cada componente é apresentada na Figuras 3

Figura 2 – Montagem e componentes do aparato experimental



Legenda:

Instrumentos

A. Exp. – Montagem do aparato experimental proposto neste estudo

E. Ref. – Equipamento de referência Testo-174H

Módulos componentes do Aparato

1 – Sensor
2 – GPS
3 – Relógio
4 – Placa microcontroladora
5 – Painel LCD (comunicação visual
6 – Bluetooth (comunicação eletrônica)
7 – Cartão SD (memória)
8 – Placa ligação

Fonte: Os autores.

Figura 3 – Quadro de componentes

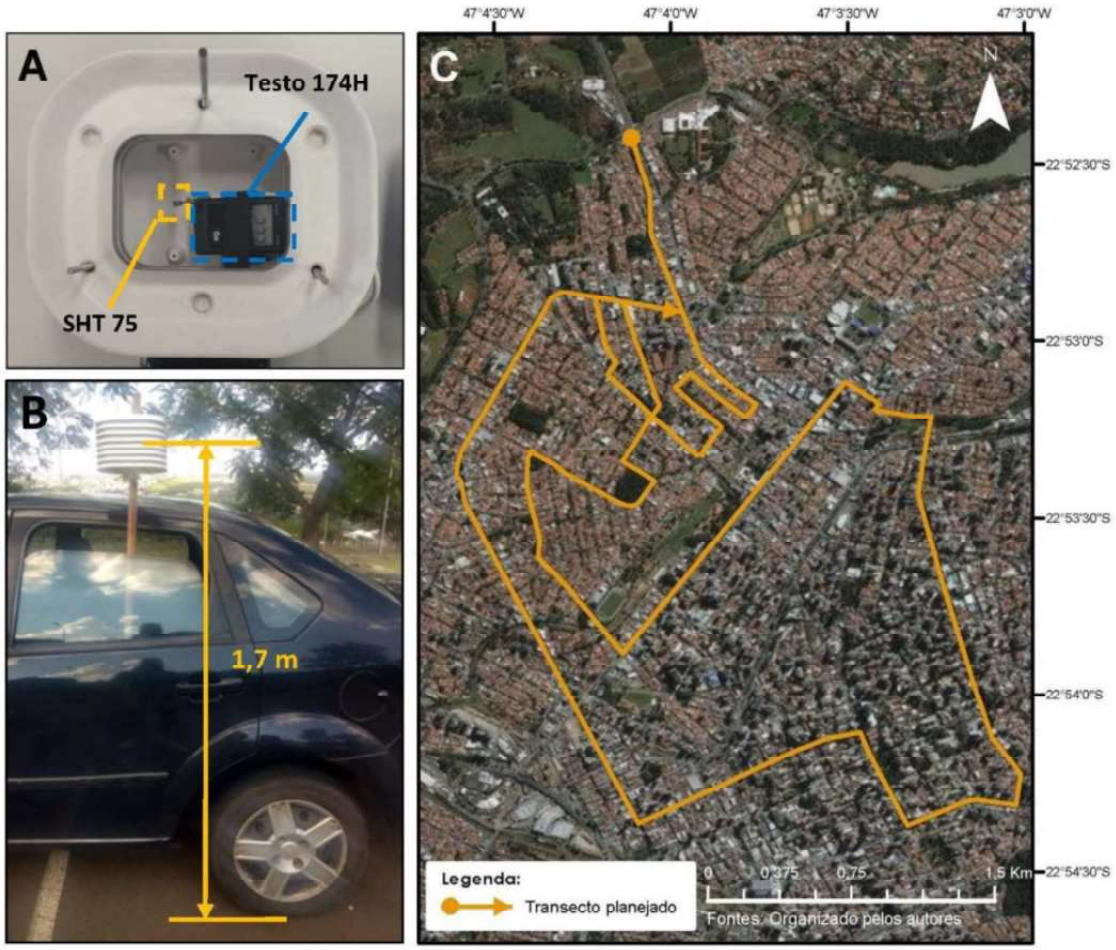
Nº	Funçao	Componente	Descrição
1	**Mód. de entrada: sensor**	Sensor SHT75	Sensor digital para obtenção de valores de temperatura e umidade. (SENSIRION, 2011)
2	**Mód. de entrada: GPS**	GPS Ublox Neo6M	Módulo GPS utilizado para obtenção da posicão do sensor no momento de coleta dos dados (georreferenciamento). (U-BLOX, 2011)
3	**Mód. de entrada: relógio**	Relógio de tempo real DS3231	Relógio digital alimentado por bateria. Utilizado para registro de data e hora mesmo quando as informações do GPS não estão disponíveis. (MAXIM, 2015)
4	**Mód. central**	Placa Arduino Mega 2560	Circuito programável que executa funções e comandos conforme código carregado em sua memória (ARDUINO, 2018)
5	**Mód. de saída: comunicação visual**	Visor de cristal líquido e teclado DFR0009	Módulo responsável pela interface primária com o usuário. Exibe informações em um painel LCD de 2 linhas e 16 caracteres. Recebe comandos através de 6 botões. (DFROBOT, 2017)
6	**Mód. de saída: comunicação sem fio**	Bluetooth HC-05	Módulo para comunicação com outros aparelhos através de sinal bluetooth. (MYBOTIC, 2015)
7	**Mód. de saída: memória**	SD Card Module	Módulo para leitura/gravaçào de dados em um cartão SD (GEEETECH, 2014)
8	**Periférico**	Prototype Shield	Módulo utilizado apenas para facilitar conexão entre os demais módulos e outros componentes eletrônicos
9	**Periféricos**	Outros	LEDs coloridos para indicação de status, botoeira liga/desliga, encaixe para pilhas, caixa plástica para proteção do ciruito

Fonte: Os autores.

2.3 Coleta de dados

Para avaliar o desempenho do aparato experimental, o mesmo foi utilizado junto a um equipamento de referência durante uma coleta piloto de dados urbanos. O sensor do aparato experimental e um *datalogger* Testo 174-H foram instalados em um miniabrigo meteorológico, por sua vez foi fixado a um automóvel, a uma altura de 1,7 metros, conforme apresentado na Figura 4 - quadros A e B. Este veículo percorreu o transecto apresentado na Figura 4 – quadro C em três horários distintos: 06:00 e 15:00 do dia 10/03/2018 e 00:00 do dia 11/03/2018.

Figura 4 – Monitoramento móvel: instalação dos sensores (A), fixação do miniabrigo no veículo (B) e transecto planejado (C)



Fontes: Organizado pelos autores.

Este transecto foi escolhido por apresentar duas áreas urbanizadas com tipologias construtivas bem consolidadas e distintas entre si e, consequentemente, diversidade microclimática. Na região noroeste predominam edificações de até dois pavimentos, medianamente compactas e vias bem arborizadas. Já na região sudoeste predominam edificações de 3 a 15 pavimentos, com grau de compactação médio a alto e arborização reduzida.

Buscando obter o maior número de medidas possíveis, o aparato experimental foi configurado para realizar a aquisição de dados (data, hora, temperatura e umidade do ar, latitude, longitude, velocidade e orientação de deslocamento) a cada segundo. Nesta frequência de aquisição, para evitar risco de auto aquecimento, o sensor do aparato deve ter sua operação limitada ao modo de baixa resolução: 0,04 °C para a temperatura e 0,4 %RH para a umidade do ar. °

O *datalogger* Testo 174H foi configurado de modo a também coletar o maior número de medidas possíveis durante o transecto, registrando valores de temperatura e umidade do ar uma vez por minuto, com resoluções de 0,1

°C e 0,1 %RH, respectivamente. Uma vez que este instrumento não possui GPS para realizar o georreferenciamento automático dos dados, a posição do veículo foi registrada através de um aparelho celular, com o aplicativo GeoTrack, e posteriormente compatibilizada com as medidas de temperatura e umidade do ar em software de planilha eletrônica (Excel), com base em seu horário de aquisição.

Para eliminar medidas redundantes, obtidas quando o veículo se encontrava parado devido ao trânsito ou cruzamentos, dados coletados em uma velocidade inferior a 20 km/h foram desprezados.

4 RESULTADOS

A análise de desempenho do aparato experimental levou em consideração os seguintes aspectos: capacidade de aquisição de dados resolução, precisão, frequência e armazenamento e custo. A Figura 5 apresenta um quadro comparativo entre as especificações do aparato experimental e do equipamento de referência.

Figura 5 – Quadro comparativo de especificações

Instrumento	**Equipamento de referência - E. Ref**		**Amparato experimental - A. Exp**			
Modelo/modo	Testo 174H		Modo de baixa resolução		Modo de alta resolução	
Variável	Tar	Uar	Tar	Uar	Tar	Uar
Resolução	0,10 °C	0,10 %	0,04 °C	0,40 %	0,01 °C	0,05 %
Precisão	±0,50 °C	±3,0 % entre 2 e 98 %	±0,30 °C	±1,8% entre 10 e 90 %	±0,30 °C	±1,8% entre 10 e 90 %
Frequencia máx.de aquisição [med./min.]	1		60		12	
Capacidade de armazenamento	16 mil valores[1]		202 milhões de entradas de dados[2]			
Custo aproximado [R$/U$[3]]	1030,00/306,00		450,00/134,00			

Notas:
1 - Cada variável medida conta como 1 valor.
2 - Valor estimando considando cartão de memória com capacidade útil de 14.8 GB, mesma utilizada durante os testes. Cada entrada de dado consite em uma linha de texto com valores de data, hora, temperatura e umidade do ar, longitude, latitude.
3 - Cotação do dolar em 06/04/2018 - 3,3680 reais

Fonte: Os autores.

Para verificar a qualidade dos dados climáticos, foi feita uma análise por comparação e regressão linear entre os valores medidos pelo equipamento de referência e os valores mais próximos medidos pelo aparato

experimental. A Figura 6 apresenta o número de medidas analisadas em cada campanha, assim como a distância média entre elas, enquanto a Figura 7 apresenta de maneira resumida os valores de temperatura do ar obtidos.

Figura 6 – Quadro resumo de medidas: temperatura do ar – Tar

Período de coleta	Pontos de coleta	Distância média entre pontos [m]
10/03/18 06:00	45	14,14
10/03/18 15:00	51	10,08
11/03/18 00:00	40	5,92

Fonte: Os autores.

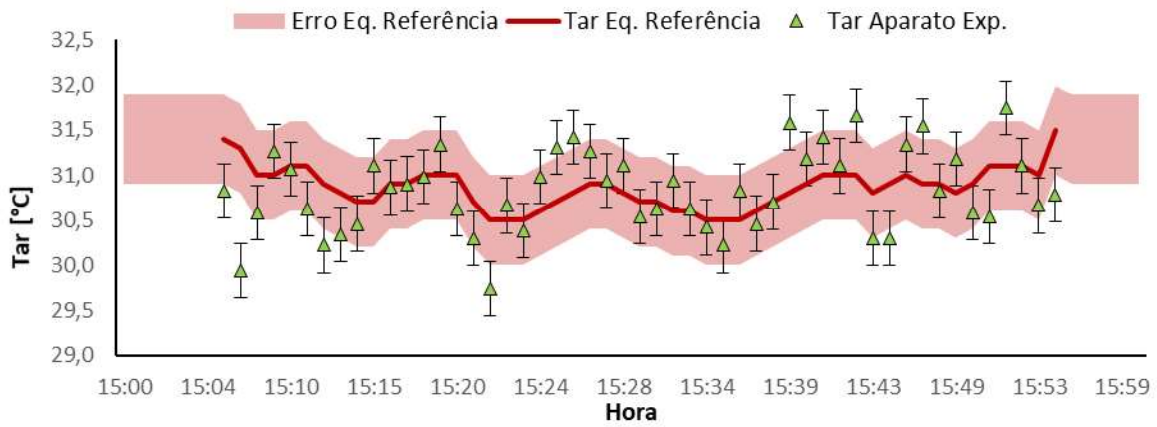
Figura 7 – Quadro resumo de medidas: temperatura do ar – Tar

Período de coleta	Tar media		Tar máxima		Tar mínima		RMSE [°C]
	E. Ref. [±0,5°C]	A. Exp. [±0,3°C]	E. Ref. [±0,5°C]	A. Exp. [±0,3°C]	E. Ref. [±0,5°C]	A. Exp. [±0,3°C]	
10/03/18 06:00	21,62	21,67	22,20	22,94	21,20	21,10	0,29
10/03/18 15:00	30,86	30,83	31,50	31,74	30,50	29,74	0,43
11/03/18 00:00	22,42	22,57	22,70	23,02	22,10	22,10	0,19

Fonte: Os autores.

Os valores de temperatura do ar médios encontrados apresentarem grande semelhança. A maior diferença, registrada para a coleta das 00:00 do dia 11/03, foi de apenas 0,15 °C. O maior valor de Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) encontrado foi de 0,43°C, na medição realizada às 15:00 do dia 10/03. abaixo da margem de erro combinada dos instrumentos, que é de 0,80°C. Como pode ser verificado na figura 8, a maior parte dos valores medidos pelo aparato experimental neste período de fato se situa dentro da margem de erro do equipamento de referência.

Figura 8 – Regressão linear

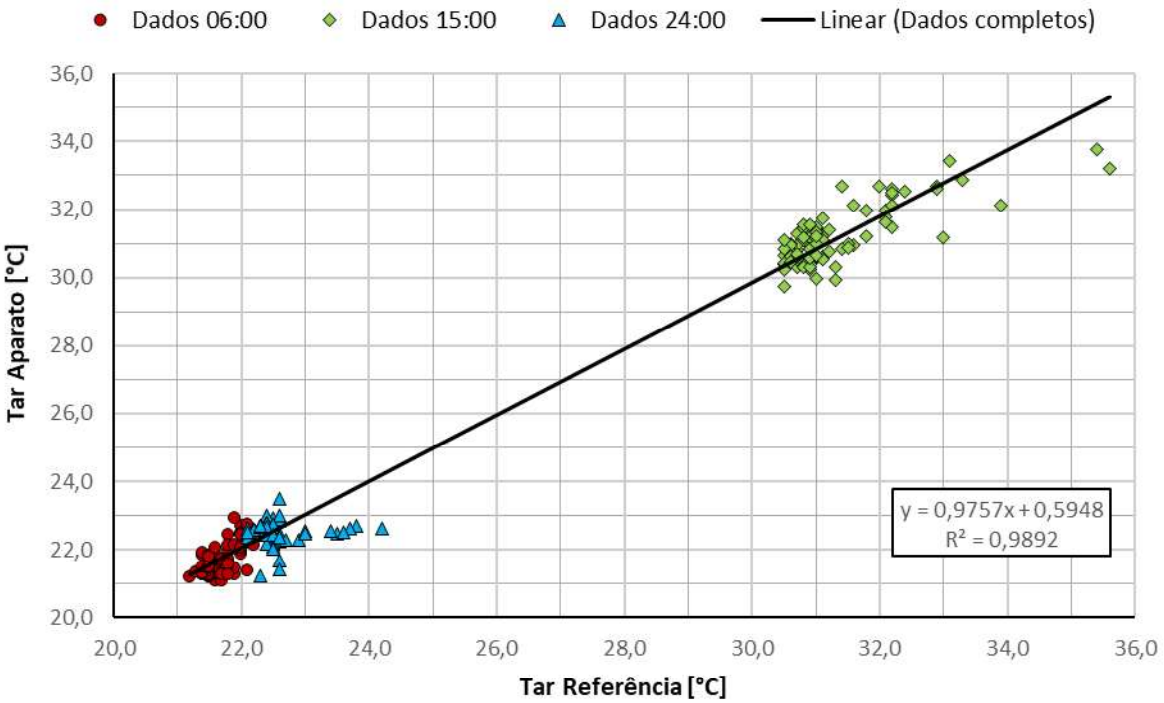


Fonte: Os autores.

A Figura 9 apresenta uma regressão linear dos valores de temperatura do ar medidos pelo aparato experimental nos três períodos em função dos

valores medidos pelo equipamento de referência. O coeficiente de Pearson foi avaliado em 0,99, demonstrando forte correlação entre as medidas realizadas com os dois instrumentos.

Figura 9 – Regressão linear: dados de temperatura do ar



Desta forma, pode-se afirmar que as medidas realizadas pelos dois instrumentos são estatisticamente equivalentes, no que se refere à temperatura do ar.

A Figura 8 apresenta de maneira resumida os valores de umidade do ar obtidos nas três coletas de dados móveis realizadas:

Figura 10 – Quadro resumo de medidas: umidade do ar - Uar

Período de coleta	Uar media		Uar máxima		Uar mínima		RMSE [%]
	E. Ref. [±3,0 %]	A. Exp. [±1,8 %]	E. Ref. [±3,0 %]	A. Exp. [±1,8 %]	E. Ref. [±3,0 %]	A. Exp. [±1,8 %]	
10/03/18 06:00	83,51	83,22	80,70	82,97	85,40	83,41	1,33
10/03/18 15:00	51,27	52,61	52,90	55,31	49,90	50,38	1,70
11/03/18 00:00	80,86	79,76	82,60	81,73	79,20	78,29	1,15

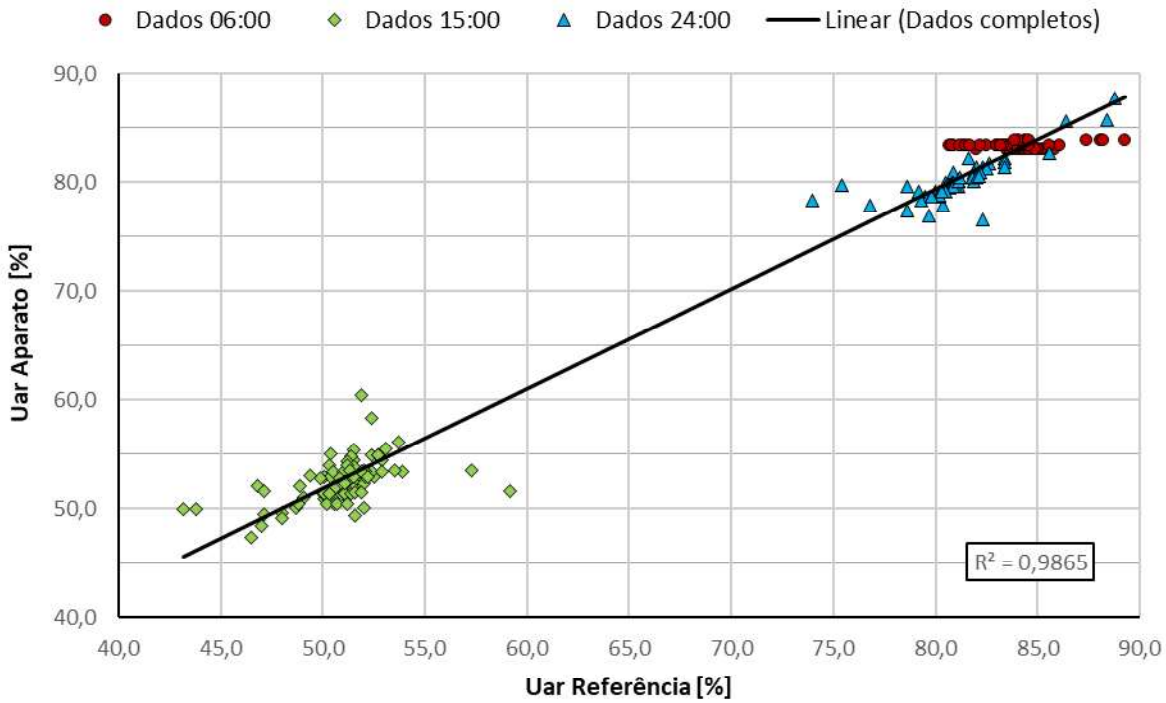
Fonte: Os autores.

Novamente, os valores médios encontrados com os dois equipamentos apresentarem grande similaridade. A maior diferença, de 1,34 %, ocorreu às 15:00 do dia 10/03. A maior RMSE encontrado para esta variável foi de 1,70 %, abaixo da margem de erro somada dos instrumentos, que é de 4,80 %. Desta forma, também não se pode afirmar que houve diferença nas medidas de umidade do ar realizadas pelos dois instrumentos.

A figura 8 apresenta a regressão linear dos valores de umidade do ar medidos pelo aparato experimental em função dos valores medidos pelo

equipamento de referência nos três períodos. Mais uma vez o coeficiente de Pearson, avaliado em 0,99, demonstra forte correlação entre as medidas realizadas com os dois instrumentos.

Figura 11 – Regressão linear: dados de umidade do ar

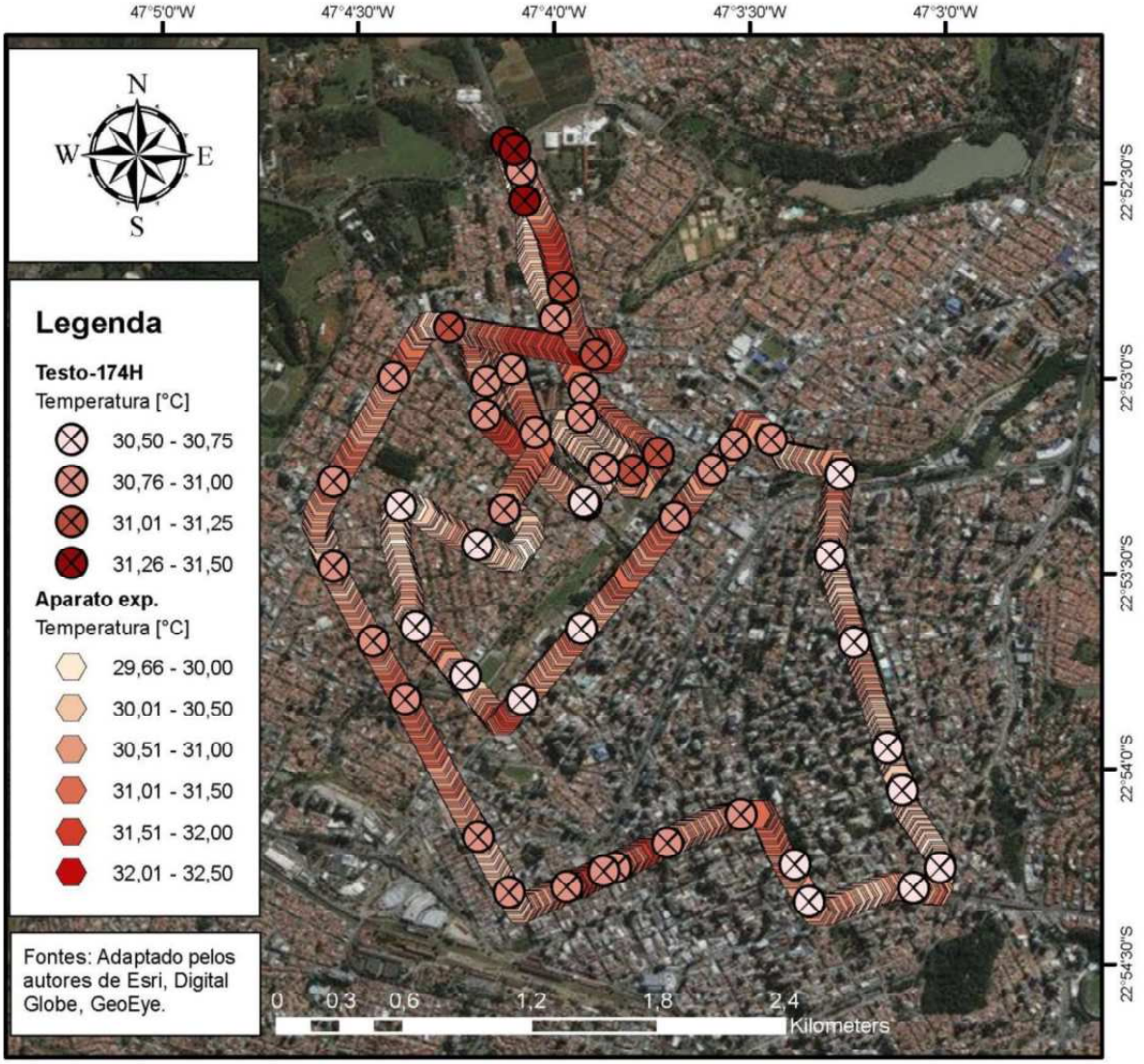


Fonte: Os autores.

Desta forma, tanto para a temperatura quanto para a umidade do ar, foi verificada equivalência estatística entre as medidas conduzidas com o equipamento de referência e aquelas conduzidas com o aparato experimental.

Uma vez verificada a compatibilidade entre os dados coletados pelo equipamento de referência e os dados mais próximos coletados pelo aparato experimental, foi realizada a espacialização de todos os valores medidos por ambos os instrumentos. Verificou-se que, devido a maior frequência de aquisição de dados, o aparato experimental proporciona a possibilidade de identificar variações microclimáticas locais que não seriam identificadas com o uso do equipamento de referência, como a presença de *hot-spots* que podem ser vistos na Figura 9.

Figura 12 – Temperatura do ar – 10/03/2018 15:00



Fonte: Os autores.

5 CONCLUSÕES

O aparato desenvolvido na presente pesquisa apresentou bom desempenho, atendendo às necessidades de um instrumento voltado à estudos climáticos em meio urbano. A aquisição de dados é realizada com qualidade equivalente ao equipamento de referência, com frequência muito superior. Outra vantagem reside na implementação do georreferenciamento automático dos dados, que dispensa o uso de outros instrumentos, simplificando o processo de coleta e tratamento dos dados. Por ter sido desenvolvido na plataforma Arduino, que possui código aberto, o aparato apresenta ainda grande potencial de expansão/modificação através do acréscimo de novos módulos, conforme a coleta de outros dados ambientais venha a ser de interesse (presença de gases ou material particulado no ar, nível de ruído ou luminosidade, por exemplo). O custo total estimado foi de 340 a 500 reais, valor abaixo daquele encontrado para *data loggers* de

temperatura e umidade do ar comerciais, encontrados no mercado nacional e que possuem menor precisão, capacidade de armazenamento e funcionalidades. O emprego do aparato permitirá, aos pesquisadores, detectar e investigar a ocorrência de bolsões de calor ou de frescor em meio urbano, que destoam da característica microclimática local, devido à sua grande resolução e sensibilidade. Para etapas futuras pretende-se investigar o consumo de energia do aparato, implementando um sistema de baterias recarregáveis e funções de gestão e economia de energia, permitindo assim a utilização do aparato também como estação fixa de monitoramento ambiental de longo prazo, ou de funcionamento autônomo, no caso de montagem junto a um painel fotovoltaico. Sua característica modular permite ainda a instalação de um módulo GSM para envio de dados à grandes distâncias e em tempo real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo financiamento da presente pesquisa através de concessão de bolsa do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior - PROSUC.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Mega 2560 rev3**. Catálogo de produto. 2018. Disponível em: < https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. Acesso em: 02 abril 2018

CARDOSO, R. et al. Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. **Climate**, v. 5, n. 1, p. 14, 2017.

CHEN, L. et al. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 121–136, 2012.

DFROBOT. **LCD KeyPad Shield For Arduino SKU: DFR0009**. Manual de produto. 2017. Disponível em: <https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/LCD_KeyPad_Shield_For_Arduino_SKU:_DFR0009>. Acesso em: 02 de abril, 2018.

GEEETECH. Arduino SD Card Module. Manual de produto. 2014. Disponível em: <https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_SD_card_Module> . Acesso em: 02 de abril, 2018.

HÄB, K.; RUDDELL, B. L.; MIDDEL, A. Sensor lag correction for mobile urban microclimate measurements. **Urban Climate**, v. 14, p. 622–635, 2015.

KETTERER, C.; MATZARAKIS, A. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. **International**

Journal of Biometeorology, v. 59, n. 9, p. 1299–1309, 2015.

KONARSKA, J. et al. Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a high-latitude city. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 5, p. 2379–2395, 2016.

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.

LECONTE, F. et al. Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. **Building and Environment**, v. 83, p. 39–49, 2015.

LIU, L. et al. Analysis of local-scale urban heat island characteristics using an integrated method of mobile measurement and GIS-based spatial interpolation. **Building and Environment**, v. 117, p. 191–207, 2017.

MAXIM INTEGRATED. **DS 3231 RTC General DescriptionData Sheet**, 2015. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf> . Acesso em: 02 de abril, 2018.

MEIER, F. et al. Urban Climate Crowdsourcing air temperature from citizen weather stations for urban climate research. **Urban Climate**, v. 19, p. 170–191, 2017.

NG, E.; REN, C. Urban Climate China's adaptation to climate & urban climatic changes : A critical review. **Urban Climate**, v. 23, p. 352–372, 2018.

ROBOTIC SOLUTIONS. HC-05 Bluetooth Module User 's Manual V1 . 0. 2015. Disponível em: < https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf>. Acesso em: 02 de abril, 2018.

SENSIRION. **Humidity and Temperature Sensor IC Fully calibrated Digital output Low power consumption Excellent long term stability Pin type package – easy integrationData Sheet**, 2011. Disponível em: <https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT7x_Datasheet.pdf> . Acesso em: 02 de abril, 2018.

SKARBIT, N. et al. Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the "local climate zones" of Szeged, Hungary. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. March, p. 582–596, 2017.

STEWART, I. D.; OKE, T. R.; KRAYENHOFF, E. S. Evaluation of the "local climate zone" scheme using temperature observations and model simulations. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 4, p. 1062–1080, 2014.

TSIN, P. K. et al. Microscale mobile monitoring of urban air temperature. **Urban Climate**, v. 18, p. 58–72, 2016.

U-BLOX. **NEO-6 GPS Modules Data SheetData Sheet**, 2011. Disponível em: <https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf>. Acesso em: 02 de abril, 2018.

WONG, P. P.-Y. et al. The impact of environmental and human factors on urban heat and microclimate variability. **Building and Environment**, v. 95, n. JANUARY, p. 199–208, 2016.

YANG, X.; LI, Y. The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. **Building and Environment**, v. 90, p. 146–156, 2015.