

## **ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANA EM SÃO CARLOS/SP: COMO A PERMEABILIDADE DOS REVESTIMENTOS URBANOS HORIZONTAIS INTERVÉM NAS VARIAÇÕES DA TEMPERATURA DO AR**

**Bojana Galusic (1); Kelen Almeida Dornelles (2)**

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, bojana.g@gmail.com

(2) PhD, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, kelend@usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, Centro, São Carlos-SP, 13566-590, Tel.: (16) 3373-9285

### **RESUMO**

O fenômeno de ilhas de calor urbanas ocorre principalmente nos centros urbanos caracterizados pela grande concentração de edificações, ausência de vegetação e uso de materiais impermeáveis com grande capacidade de armazenar calor. As temperaturas elevadas causam desconforto térmico, problemas de saúde e maior consumo de energia para refrigeração. O objetivo deste artigo é apresentar resultados parciais de uma dissertação de mestrado em andamento, a qual avalia o impacto da impermeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais na variação da temperatura do ar e na formação de ilhas de calor urbanas na cidade de São Carlos/SP. Embora São Carlos seja uma cidade de porte médio, o processo da urbanização criou áreas densamente construídas e sem muita vegetação, o que favorece o aquecimento do ar e das superfícies. Para avaliar a variação da temperatura em relação às características urbanas, foram feitas medições da temperatura e umidade do ar em 10 pontos da cidade que representam diferentes tipos de ocupação urbana. Simultaneamente, ocorreu a identificação da permeabilidade dos revestimentos horizontais em cada local de monitoramento. A análise das variáveis climáticas e físicas mostrou que a temperatura do ar é mais alta nos pontos em cujos entornos predominam materiais impermeáveis, enquanto a umidade apresenta valores mais baixos nestes pontos. Os resultados preliminares desta pesquisa indicam a importância de considerar a implicação climática da impermeabilidade dos revestimentos horizontais urbanos no planejamento das cidades.

Palavras chave: ilha de calor urbana, revestimentos, conforto ambiental, planejamento urbano.

### **ABSTRACT**

The phenomenon of urban heat island occurs principally in urban centers characterized by big concentration of buildings, absence of vegetation and use of impermeable materials with high capacity to store heat. Elevated temperatures cause thermal discomfort, health problems and higher energy consumption for cooling. The objective of the research is to present results of a Master's Thesis in progress, which investigate the impact of the permeability of horizontal urban coatings on the variation of air temperature and formation of urban heat islands in the city of São Carlos/SP. Although São Carlos is a medium sized city, the process of urbanization created densely built up areas without a lot of vegetation, which benefits the heating of air and surfaces. In order to evaluate the temperature variation in relation to urban characteristics, measurements of air temperature and humidity were made in 10 points which represent different types of urban occupation. Simultaneously occurred the identification of permeability of horizontal coatings in each point of the measurement. The analysis of the climatic and physical variables showed that the air temperature is higher in the points in whose surrounding predominate impermeable materials, whereas the humidity shows lower values in these points. Therefore was verified the importance of considering the climatic implication of impermeability of horizontal urban coatings in the urban planning.

Keywords: urban heat island, coatings, environmental comfort, urban planning.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem evidências claras do aumento da temperatura nos centros urbanos como resultado das atividades humanas. Segundo a Organização das Nações Unidas, no ano de 2000 a população urbana representava 47% da população global e, em 2007, foi constatado que a população urbana superou a população rural em níveis mundiais. Assim, 3,5 bilhões de pessoas, mais de metade da população mundial, vivem em áreas urbanas, estando expostas ao problema de aquecimento urbano (BARBOSA, 2009).

Este fenômeno do aumento da temperatura em áreas urbanas é conhecido como Ilha de Calor Urbana. Na definição dada por Voogt (2004), o efeito de ilha de calor se refere tanto ao processo de aquecimento da atmosfera quanto das superfícies urbanas, quando comparado com áreas menos urbanizadas.

A temperatura do ar elevada devido às ilhas de calor urbanas tem um efeito negativo sobre microclimas e na saúde humana. Por constante crescimento deste problema, existem muitas pesquisas sobre as causas de efeito de ilha de calor e sobre as estratégias para reduzi-lo. Segundo Oke (1982), uma das causas principais para o aquecimento durante a noite é a relação H/W: altura dos edifícios com a largura da rua (*height/width*), com menor fator de visão do céu. Outras causas são: a mudança na propriedade dos materiais de superfície do tecido urbano e a redução no processo de evapotranspiração das plantas.

Givoni (1991) afirma que a geometria do *canyon* (espaço tridimensional delimitado por uma rua e os edifícios que confinam a rua), as propriedades dos materiais, o efeito estufa e a redução de superfícies evaporativas são os fatores determinantes para a existência do efeito de ilha de calor. Akbari (1997) indica que a ausência de vegetação contribui para a formação do efeito da ilha de calor de tal maneira que afeta negativamente alguns mecanismos fundamentais para a redução de temperatura nas cidades: o sombreamento, a filtragem da poluição, a direção dos ventos e o processo de evapotranspiração.

O uso de pavimentação com baixa permeabilidade em lugar do solo natural e a diminuição de áreas verdes modificam o balanço de energia, alterando as trocas térmicas entre a superfície e o meio. Os materiais de uso corrente no ambiente urbano, tais como o concreto e o asfalto, apresentam significativas diferenças nas suas propriedades térmicas (a capacidade de absorção e transmissão de calor) e propriedades radiativas da superfície (reflexão e emissividade) quando comparados com as áreas rurais (OKE, 1982).

Há também fatores relacionados às características específicas da cidade, como tamanho, densidade populacional, além das variações diurnas e sazonais (LOMBARDO, 1985). Sampaio (1981) afirma que a ilha de calor funciona como uma variável dependente, explicada por dois grupos de variáveis: a) as condicionantes do meio físico e seus atributos geocológicos; e b) as condicionantes derivadas das ações antrópicas sobre o ambiente urbano, em termos de uso e ocupação do solo.

No Brasil, diversos estudos constataram a formação de ilha de calor urbana em diferentes cidades brasileiras. Mesmo assim, há falta de diretrizes para os projetos de planejamento urbano que considerem estratégias para diminuir o efeito de ilha de calor, assim como melhorar o conforto térmico dos habitantes.

Trabalhos como o de Pitton (1997) têm mostrado a importância de se considerar os aspectos climáticos das cidades no processo de planejamento. As vantagens do estudo do microclima em áreas urbanas são numerosas e podem beneficiar diretamente os projetos construtivos e urbanos. Existem estudos que comprovam a formação da ilha de calor urbana em São Carlos, mas não foram realizadas pesquisas sobre ilha de calor do ponto de vista arquitetônico e urbano (BARBOSA, 2009; SILVA, 2011).

Diferentes materiais têm comportamento térmico diferente, devido às suas características térmicas. Segundo Mizuno et al. (1990), o tipo de revestimento das superfícies urbanas, tanto das construções como das pavimentações, impacta significativamente o movimento da temperatura do ar, influenciando-o em seu redor em raio de 50 m a 200 m (micro-escala) a 1,5 km (escala local). Propriedades térmicas das superfícies (avaliadas através de sua inércia térmica) governam as variáveis responsáveis pelas diferenças no balanço de energia radiante e nas taxas de resfriamento entre os meios urbano e rural (ASSIS, 2010). A maioria dos materiais tradicionalmente usados em coberturas e pavimentos são sólidos e escuros, de maneira que absorvem e retêm o calor (GARTLAND, 2010).

Muitos materiais utilizados em áreas urbanas e suburbanas são impermeáveis, o que significa que são resistentes à água. Assim, a água de chuva escorre, sem dissipar o calor por meio da evaporação, resultando em elevação de temperatura. Segundo Gartland (2010), as temperaturas das superfícies impermeáveis atingem 87,7 °C, enquanto as superfícies com vegetação se aquecem até 21,1 °C. Altas temperaturas das superfícies têm como consequência a elevação da temperatura do ar, principalmente à noite quando as superfícies quentes se resfriam e aquecem o ar ao redor. Costa (2007) estudou a influência dos revestimentos de superfícies horizontais no microclima na cidade de Natal/RN e concluiu que as diferenças microclimáticas, embora pequenas em valores absolutos (possivelmente devido às brisas marítimas), dependem de condições do ambiente construído. As superfícies horizontais existentes (cobertura e piso) influenciam a temperatura do ar, aumentando-a em locais onde predominam os materiais impermeáveis.

Segundo Romero (2011), a impermeabilidade dos materiais urbanos e, conseqüentemente, o baixo teor de umidade neles, reduzem a possibilidade de liberação do calor pela evapotranspiração. A parte da radiação absorvida por uma superfície é usada como calor latente para evaporação da água nela contida, enquanto a energia restante é conduzida ao seu interior. Desconsiderando os efeitos de sombreamento em um entorno densamente edificado, a quantidade da radiação solar incidente em uma zona urbana não difere significativamente da área rural circundante, exceto em caso de elevada poluição. No entanto, os revestimentos urbanos não conseguem realizar o processo da evapotranspiração devido à impermeabilidade, o que resulta em maior concentração do calor do que em espaços rurais.

Landsberg (1979) ressalta que a maior alteração durante o processo de urbanização é a alteração das características das superfícies. A transição de campos e florestas às áreas revestidas em concreto e asfalto produz uma alteração notável em absorção e albedo. O albedo de uma superfície urbanizada é, em geral, 10 a 20% menor do que de uma superfície rural, resultando, portanto, em maior absorção de energia.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar um estudo realizado para a identificação/verificação do impacto da permeabilidade dos revestimentos horizontais urbanos sobre o microclima em 10 pontos que representam diferentes tipos de ocupação urbana na cidade de São Carlos/SP, a partir de coleta de dados *in situ* das variáveis climáticas e físicas.

## 3. MÉTODO

O método deste trabalho, baseado em Barbugli (2004) e Costa (2007), está dividido em quatro etapas principais: definição e caracterização da área de estudo, levantamento dos dados climáticos, levantamento das características físicas dos locais de monitoramento e análise dos resultados obtidos.

### 3.1. Área de estudo

São Carlos é uma cidade de médio porte localizada na região central do Estado de São Paulo na região Sudeste do Brasil, entre 21°35'45" e 22°09'30" de latitude Sul e 47°43'04" e 48°05'26" de longitude Oeste. Possui uma área total de aproximadamente 1.140 km<sup>2</sup>, sendo que a área urbana corresponde a 6% de área total (67,5 km<sup>2</sup>) e a área urbana ocupada é de 33,0 km<sup>2</sup>. O município está situado entre as altitudes de 500 e 1000 metros, com altitude média de 850 metros acima do nível do mar (BARBOSA, 2009 e SILVA, 2011).

Segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE), a população do município era aproximadamente 222 mil habitantes, dentre os quais 95% residiam em área urbana. Estima-se que a população teve um incremento de 20 mil habitantes nos últimos 15 anos.

O clima regional é classificado, segundo Koppen, como subtropical mesotérmico, úmido, com verão chuvoso e estiagem no inverno. A temperatura média anual é 19,6 °C. No Zoneamento Bioclimático Brasileiro, a cidade insere-se na Zona 4 (ABNT, 2005).

### 3.2. Coleta de dados

#### 3.2.1. Variáveis e período de medição

A metodologia da pesquisa de Mestrado prevê quatro grupos de medições, durante 10-15 dias consecutivos em cada estação do ano. As medições serão feitas em grupos de aproximadamente 10 pontos espalhados na malha urbana, que representam diferentes tipos de ocupação urbana.

O primeiro grupo das medições, o qual é apresentado neste artigo, realizou-se no período do verão, de 15.02.2017 até 01.03.2017, em 10 pontos da cidade. Foram registradas continuamente a temperatura do ar e a umidade relativa com intervalo de 30 minutos. Simultaneamente, ocorreu a identificação da permeabilidade e dos tipos dos revestimentos horizontais da área no entorno dos pontos. Além disso, foram observados aspectos como altitude, densidade construída, altura das edificações, tipo de uso e existência de áreas verdes.

#### 3.2.1. Instrumentos de medição

O monitoramento foi feito usando 10 sensores de marca HOBO, modelo H08-003-2, fabricados pela Onset Computer Corporation (Figura 1). Os sensores deste modelo registram a temperatura do ar e a umidade relativa. De acordo com as informações fornecidas pelo fabricante (ONSET), a resolução do instrumento para a temperatura é 0,38 °C, a precisão é  $\pm 0,7$  °C e a escala é de -20 °C a +70 °C. Para a umidade relativa,

o instrumento tem precisão de  $\pm 5\%$  e escala de 0 - 95%. Além disso, o software do equipamento também fornece os valores de umidade absoluta. A fim de assegurar que não existe discrepância de resultados entre os instrumentos, realizou-se a aferição durante 5 dias, entre 18.01.2017 e 23.01.2017, sob as mesmas condições. A análise dos resultados mostrou que a diferença entre os valores registrados não é significativa, mantendo-se dentro da precisão do equipamento.

Segundo Barbugli (2004) e Costa (2007), os sensores deste tipo apresentam grande sensibilidade à radiação solar direta. Para evitar a interferência da radiação solar nos dados medidos e também para possibilitar a instalação no local, cada instrumento foi colocado em uma caixa protetora e fixado com um adesivo velcro (Figuras 1-3). As caixas são de plástico e revestidas por fita de alumínio de baixa emissividade, com furos nos quatro lados para permitir a circulação do ar. Durante a instalação dos equipamentos, procurou-se um lugar à sombra e evitou-se a proximidade de certos materiais, tais como vidro ou cobertura de policarbonato, os quais pudessem influenciar as temperaturas medidas através de reflexão ou grande absorção de calor. Segundo Oke (2006), para a medição de temperatura do ar recomenda-se uma altura do instrumento entre 1,25 e 2 metros em áreas não urbanas, enquanto em áreas urbanas permitem-se alturas de até 5 metros acima do solo. Levando isto em consideração e dependendo das características de cada local, os instrumentos foram instalados em alturas entre 2 e 2,5 metros. Porém, nos Pontos 2 e 9, devido às características do local, o sensor foi instalado em uma altura menor que 2m e no ponto 6 na altura de 5m (sacada de um apartamento no primeiro andar).



Figuras 1-3 – Sensores HOBO com caixas protetoras.

### 3.3. Definição dos locais de medição

A escolha dos locais para a coleta de dados teve como critério principal a variedade de tipos da ocupação urbana. No entanto, o número dos pontos de coleta foi limitado pela disponibilidade dos equipamentos e dependeu também da possibilidade de se instalar o equipamento de forma segura e deixá-lo durante o período de tempo necessário. A partir dessas condicionantes, o monitoramento foi feito em 10 pontos: 6 casas privadas (Pontos 4-9), 3 campi (Pontos 1-3) e 1 local de comércio (Ponto 10) (Figura 4).

O Ponto 1 localiza-se no Instituto de Arquitetura e Urbanismo, no Campus 1 da Universidade de São Paulo, enquanto o Ponto 2 está situado na Faculdade de Engenharia Ambiental no Campus 2 da USP. O Campus 2 destaca-se por ter a maioria da superfície coberta por vegetação, com edificações espalhadas pontualmente. O Campus 1 é mais edificado, porém quase a metade da superfície é vegetada. Uma realidade semelhante ao Campus 1 da USP apresenta o Campus da Universidade Federal de São Carlos (Ponto 3).



Figura 4 – Mapa de São Carlos com pontos de coleta  
Fonte: Elaboração própria a partir da imagem Google Maps®



Os Pontos 4 e 5 estão em uma área predominantemente residencial, na periferia da cidade, com casas térreas e pouca vegetação. O Ponto 6 localiza-se também na periferia da cidade, perto de um Shopping, numa região de cota elevada. A área apresenta uma mistura do uso comercial e residencial, com altos prédios residenciais e condomínios fechados com casas térreas. O Ponto 7 está situado numa parte antiga da cidade, com uso comercial e residencial e edificações térreas. Em frente da casa onde o equipamento foi instalado encontra-se uma praça, delimitada de um lado por um estádio de futebol.

A vegetação predomina no entorno do Ponto 8, localizado em um conjunto residencial na periferia, perto da Rodovia Washington Luís. A área do Ponto 9 está localizada em uma região residencial, onde predominam edificações térreas. O local da instalação do equipamento é próximo ao Córrego Santa Maria do Leme, cuja margem é densamente arborizada. O Ponto 10 localiza-se numa área predominantemente comercial, com pouca vegetação e maior recobrimento de coberturas metálicas.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa.

### 4.1. Apresentação das variáveis climáticas

A Figura 5 apresenta os valores de temperatura do ar para todo o período da medição. Destacam-se os Pontos 2 e 6, apresentando as temperaturas mais baixas e mais elevadas, respectivamente. Os valores das temperaturas médias, máximas e mínimas em cada ponto são apresentados na Tabela 1.

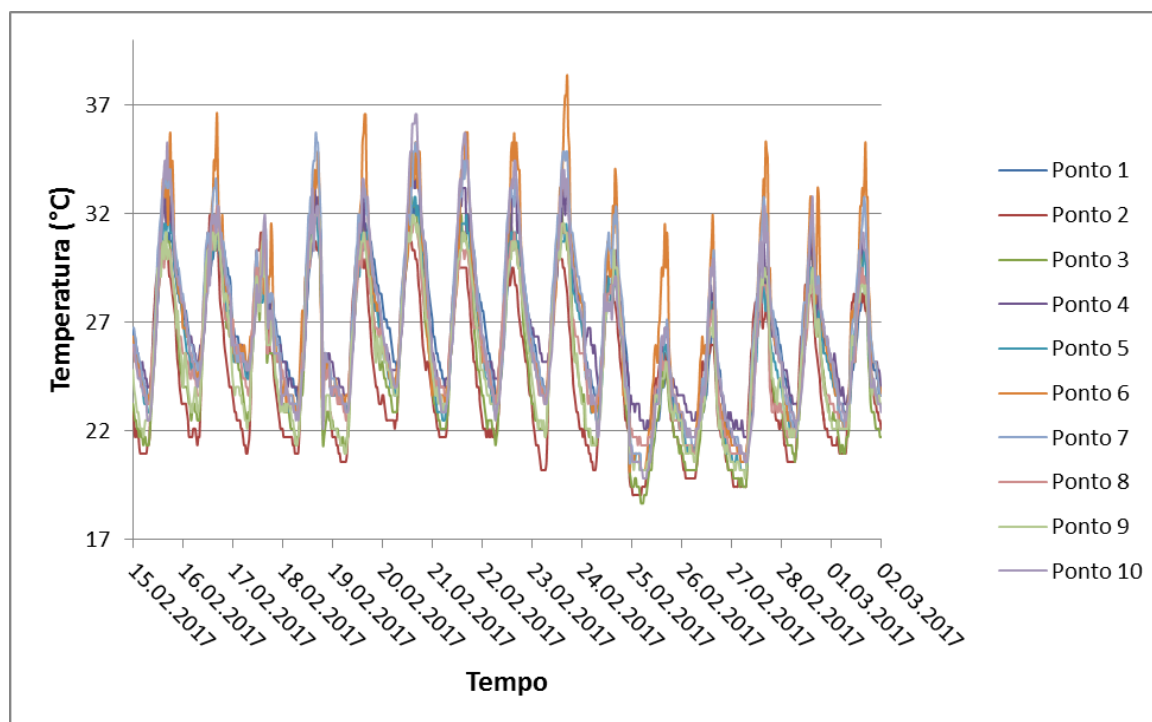


Figura 5 – Temperatura do ar durante todo o período de medição

Tabela 1 – Temperaturas médias, máximas e mínimas

| Temperatura / Ponto | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Média</b>        | 26,3 | 24,6 | 25,1 | 26,7 | 25,8 | 26,9 | 26,9 | 25,7 | 25,3 | 26,5 |
| <b>Máxima</b>       | 32,3 | 31,9 | 32,8 | 34,4 | 32,8 | 38,3 | 35,7 | 32,3 | 31,9 | 36,6 |
| <b>Mínima</b>       | 20,2 | 19,0 | 18,7 | 21,7 | 20,2 | 20,2 | 20,2 | 20,6 | 19,8 | 19,8 |

A Figura 6 mostra a amplitude térmica em cada ponto, sendo os Pontos 6, 7 e 10 com maior amplitude. Considerando que o Ponto 2 apresentou menor temperatura média e máxima e adotando-o como ponto representativo para a área rural, calculou-se a diferença das temperaturas máximas entre todos os pontos e o Ponto 2 (Figura 7). Os Pontos 4, 6, 7 e 10 apresentam diferenças significativas em relação ao Ponto 2, enquanto a temperatura máxima no Ponto 9 foi igual à no Ponto 2.

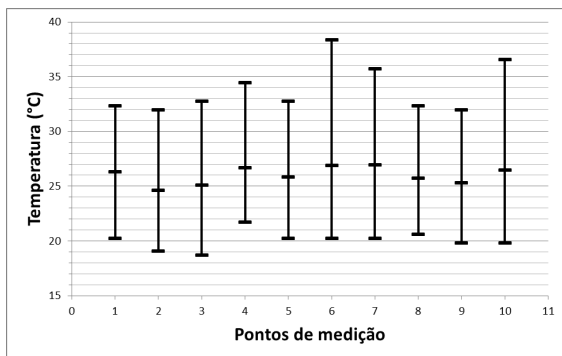


Figura 6 – Amplitude térmica

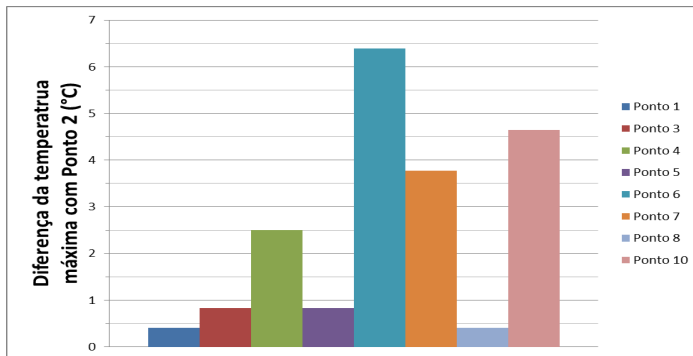


Figura 7 – Diferenças das temperaturas máximas com área rural

A Figura 8 apresenta a umidade relativa para todo o período da medição. Os valores médios, máximos e mínimos da umidade relativa e umidade absoluta em cada ponto estão apresentados na Tabela 2 e 3, respectivamente. Notam-se altos valores da umidade, tanto relativa, como absoluta no Ponto 2.

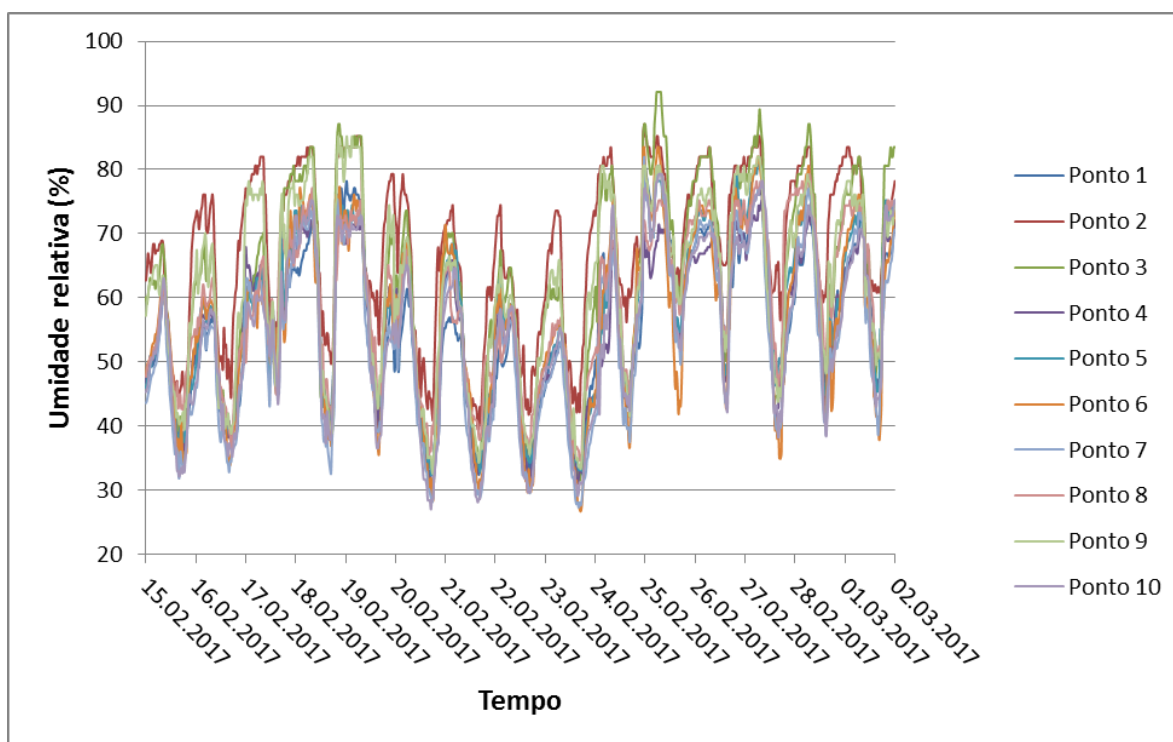


Figura 8 – Umidade relativa durante todo o período de medição

Tabela 3 – Umidade relativa média, máxima e mínima

| Umidade / Ponto | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Média</b>    | 55,8 | 67,7 | 62,5 | 56,0 | 57,6 | 56,7 | 53,9 | 59,4 | 61,8 | 54,9 |
| <b>Máxima</b>   | 80,6 | 87,1 | 92,1 | 75,2 | 82,0 | 83,5 | 82,0 | 79,3 | 85,2 | 79,3 |
| <b>Mínima</b>   | 29,7 | 39,5 | 39,5 | 29,7 | 32,4 | 26,7 | 27,3 | 34,6 | 32,6 | 27,0 |

Tabela 3 – Umidade absoluta média, máxima e mínima

| Umidade / Ponto | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Média</b>    | 13,18 | 14,79 | 13,76 | 13,50 | 13,27 | 13,67 | 12,98 | 13,70 | 13,87 | 12,95 |
| <b>Máxima</b>   | 18,0  | 18,7  | 18,3  | 17,6  | 17,8  | 17,4  | 17,4  | 18,3  | 18,4  | 17,0  |
| <b>Mínima</b>   | 9,2   | 10,8  | 9,2   | 9,7   | 9,6   | 9,9   | 9,4   | 10,2  | 9,5   | 9,5   |

A Figura 9 mostra a amplitude da umidade relativa em cada ponto, sendo os Pontos 3 e 6 com maior amplitude. Considerando que o Ponto 2, representativo para a área rural, apresentou maior umidade média, calculou-se a diferença da umidade relativa média entre todos os pontos e o Ponto 2 (Figura 10). Os Pontos 6 e 10 apresentam diferenças maiores em relação ao Ponto 2, enquanto as diferenças nos Pontos 4 e 9 não ultrapassam 6%.

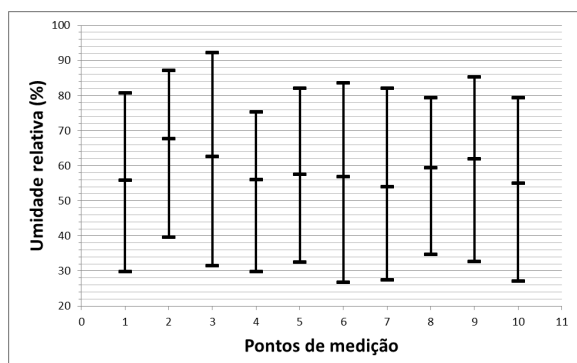


Figura 9 – Amplitude da umidade relativa

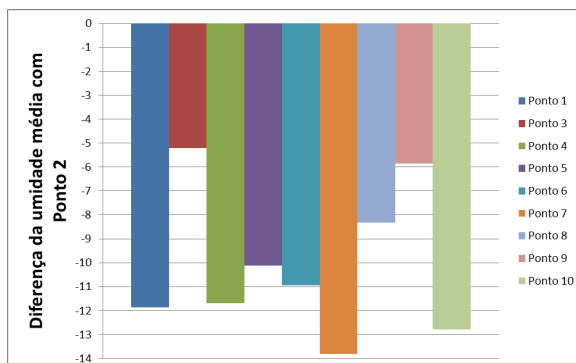


Figura 10 – Diferenças da umidade relativa média com área rural

## 4.2. Apresentação das variáveis urbanísticas

Para quantificar as respectivas porcentagens de impermeabilidade do solo, em cada ponto de medição foi adotada uma área de influência de 0,125 km<sup>2</sup>, correspondendo ao raio de 200 m (Tabela 4). De acordo com Oke (2006), a proporção entre a altura do instrumento e o raio da área de influência para as áreas urbanas é 1:100. Considerando que a altura da instalação da maioria dos equipamentos nesta pesquisa variou entre 2 e 2,5 metros, adotou-se o raio de 200 m. A quantificação foi feita a partir das imagens de satélite no programa AutoCAD. Considerou-se que as superfícies horizontais permeáveis são: área com vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto e água (rio, córrego). Asfalto, concreto, coberturas metálicas e cerâmicas e outros tipos de coberturas foram classificados como revestimentos impermeáveis. As Figuras 11 e 12 mostram a análise dos entornos dos Pontos 2 e 4, locais com menor e maior porcentagem dos materiais horizontais impermeáveis respectivamente.

Tabela 4 – Permeabilidade dos revestimentos horizontais em cada ponto de coleta

| Permeabilidade / Ponto  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Área permeável</b>   | 42% | 91% | 47% | 12% | 33% | 51% | 15% | 61% | 29% | 20% |
| <b>Área impermeável</b> | 58% | 9%  | 53% | 88% | 67% | 49% | 85% | 39% | 71% | 80% |

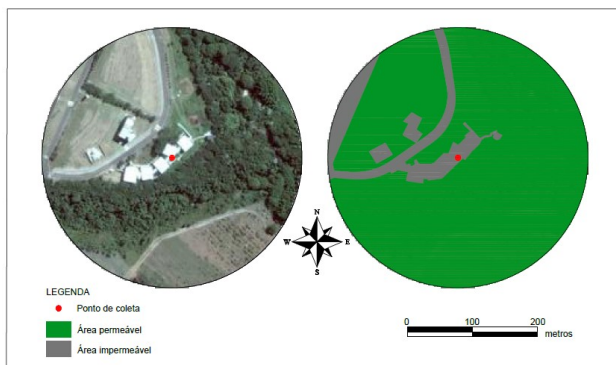


Figura 11 – Entorno do Ponto 2

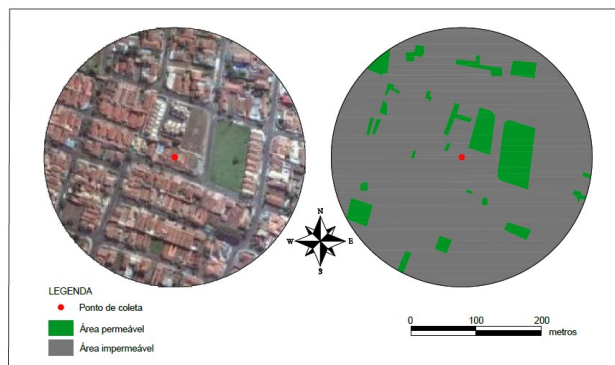


Figura 12 – Entorno do Ponto 4

### 4.3. Cruzamento dos dados climáticos e urbanísticos

Para cada um dos pontos realizou-se o cruzamento dos dados climáticos e urbanísticos. As análises basearam-se na correlação entre a temperatura, umidade relativa, umidade absoluta e a porcentagem da impermeabilidade dos revestimentos horizontais. A covariância (Equação 1) e o coeficiente de correlação (Equação 2) de duas variáveis X e Y são definidos como (NOWAK; COLLINS, 2000):

$$CoV(X, Y) = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] \quad \text{Equação 1}$$

$$\rho_{XY} = \frac{CoV(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

$\mu_X, \mu_Y$ : médias das variáveis;

$\sigma_X, \sigma_Y$ : desvios padrão.

Os pontos de coleta foram agrupados pela proximidade dos resultados, tanto das variáveis climáticas, quanto das físicas. A partir das Equações 1 e 2, calcularam-se a covariância e o coeficiente de correlação das variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa e umidade absoluta) e da impermeabilidade dos revestimentos.

Calculou-se a covariância da temperatura e impermeabilidade igual a 0,16 e o coeficiente da correlação igual a 0,8. Ajustou-se, por meio da regressão linear, aos resultados obtidos uma reta  $y = mx + c$ . Os coeficientes da reta são definidos por expressões  $m = 2,5075$  e  $c = 24,453$  (Figura 13). Nota-se a tendência ao crescimento da temperatura média em pontos com mais altos índices da impermeabilidade. O Grupo 5 (Pontos 4, 7 e 10) apresentou altas temperaturas e altas porcentagens da impermeabilidade. Destaca-se também o Grupo 1 (Ponto 2, localizado no Campus 2 da USP), com extremamente alta permeabilidade e baixa temperatura média.

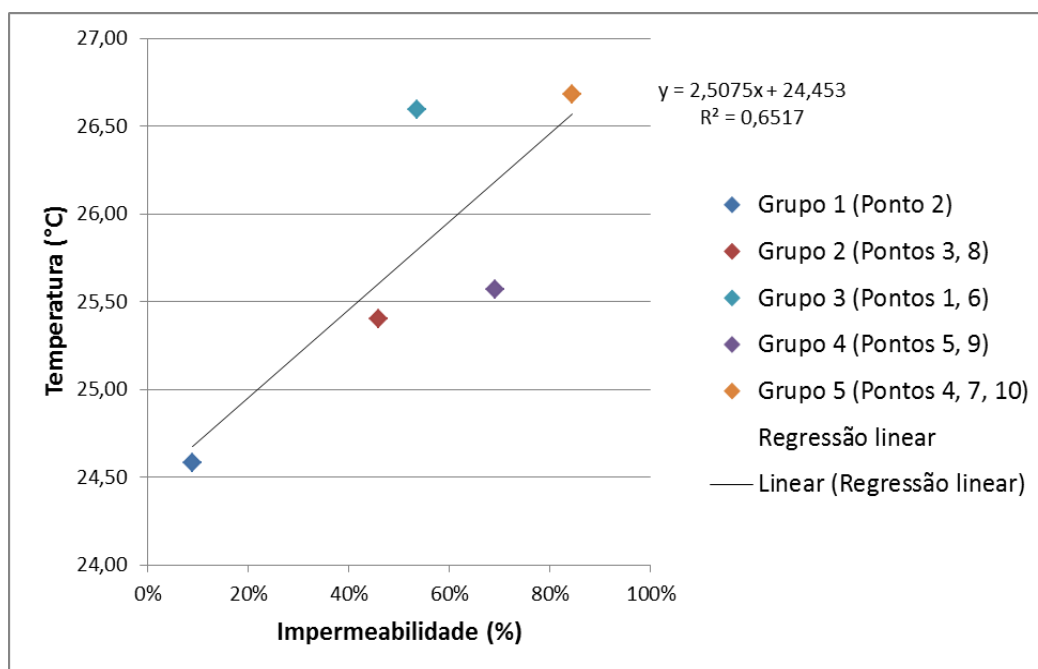


Figura 13 – Relação entre temperaturas médias e impermeabilidade

Para a impermeabilidade e a umidade relativa, a covariância foi -1,27, e o coeficiente de correlação -0,95. A reta com coeficientes  $m = -17,421$  e  $c = 66,087$  mostra a relação negativa entre a umidade relativa e a impermeabilidade dos materiais (Figura 14). Novamente, distingue-se o Ponto 2 (Grupo 1) com maior umidade. Enquanto o Grupo 4 (Pontos 4, 7, e 10) apresentou temperaturas mais elevadas, a umidade relativa média nestes locais não ultrapassa 55%, o que representa uma diferença de 12,7% com o Ponto 2.



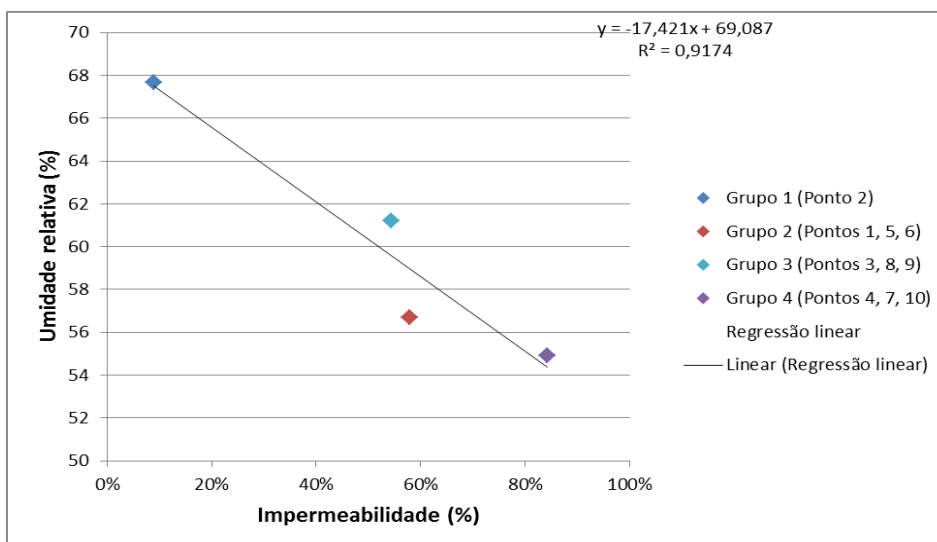


Figura 14 – Relação entre umidade relativa e impermeabilidade

Conseqüentemente, os resultados do cruzamento dos dados da impermeabilidade e umidade absoluta mostram também uma relação negativa. A covariância dessas duas variáveis foi -0,17 e o coeficiente de correlação -0,98. A Figura 15 mostra essa correlação e a reta com coeficientes  $m = -2,2048$  e  $c = 14,904$ .

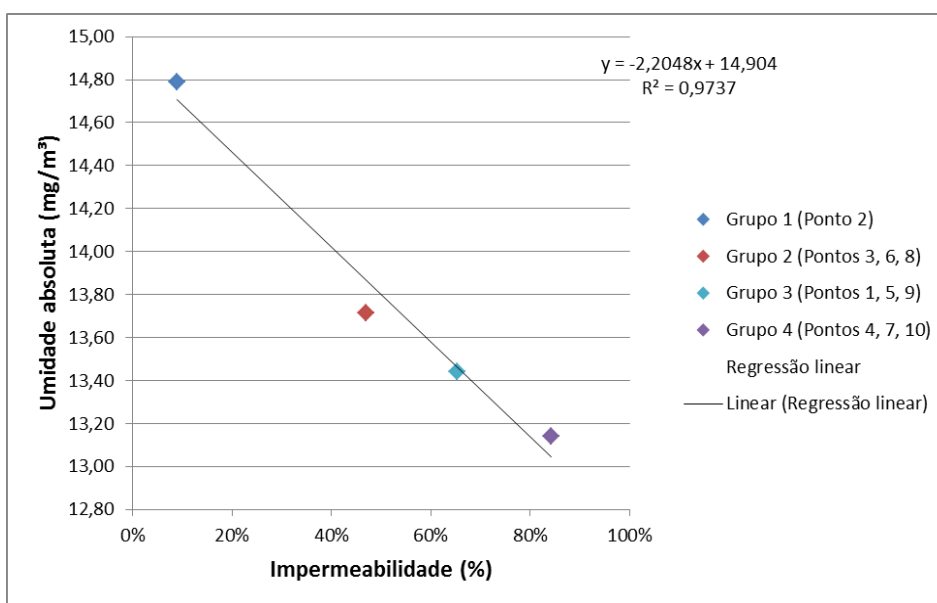


Figura 15 – Relação entre umidade absoluta e impermeabilidade

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, verificou-se a influência da impermeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais na variação da temperatura do ar e na formação de ilhas de calor urbanas. Os valores da temperatura do ar foram mais elevados nos pontos em cujos entornos predominam materiais impermeáveis. Confirmaram-se, portanto, as afirmações de Costa (2007) e Romero (2001) de que os revestimentos urbanos impermeáveis propiciam o aquecimento do ar. Considerando que a umidade, tanto relativa, como absoluta, foi maior nos pontos com maior porcentagem dos revestimentos horizontais impermeáveis, supõe-se que isso ocorre devido ao impedimento do processo da evaporação da água, como afirmado em Romero (2001). Concluiu-se que é necessário incluir a implicação climática da impermeabilidade dos revestimentos urbanos no planejamento urbano, a fim de diminuir o efeito de ilhas de calor urbanas e melhorar o conforto térmico em áreas urbanas.

Sugere-se, adicionalmente, a revisão do Coeficiente de Permeabilidade estabelecido pelo Plano Diretor do Município São Carlos. A porcentagem da permeabilidade definida pelo Plano Diretor de 2005 é 15% para a zona urbana. No entanto, os resultados desta pesquisa mostraram o aumento da temperatura do ar nos locais com permeabilidade menor de 20%. O planejamento urbano adequado tem um grande potencial para redução do efeito de ilha de calor urbana. Recomenda-se, portanto, a consideração do conforto ambiental como uma das principais tarefas da legislação vigente.

Como continuidade deste trabalho e seguindo a metodologia estabelecida, serão realizados mais 3 grupos de medições, no outono, inverno e primavera. Além disso, será feita uma análise mais detalhada das características físicas dos locais de coleta de dados, identificando a porcentagem de cada revestimento horizontal nas próximas etapas da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- AKBARI, H. et al. Painting the town white and green. **Journal Technology Review**, vol. 100 ed. 2, p. 52-59, 1997.
- ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo – FAUUSP, São Paulo, 2000.
- BARBOSA, R. V. R. **Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio de verão**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo, São Carlos, 2009.
- BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição das temperaturas do ar em Araraquara/SP**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2004.
- COSTA, A. D. L. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2007.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GIVONI, B. Impact of Planted Areas on Urban Environmental Quality – A review. **Atmospheric Environment**, vol. 25, n. 3, p. 289-299, 1991.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <censo2010.ibge.gov.br> Acesso em: Fevereiro 2017.
- LANDSBERG, H. E. Atmospheric changes in a growing community (The Columbia, Maryland experience). **Urban Ecology**, vol. 4, p. 53-81, 1979.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor da metrópole paulistana**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- MIZUNO, M., NAKAMURA, Y., MURAKAMI, H., YAMAMOTO, S. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. **Energy and Buildings**, n. 15-16, p. 165-176, 1990/91.
- NOWAK, A. S., COLLINS, K. R. **Reliability of Structures**. Boston: McGraw Hill, 2000.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, vol. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.
- OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. WMO/TD-No. 1250, 2006.
- ONSET. Disponível em: < [www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h08-003-03](http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h08-003-03) > Acesso em: Fevereiro 2017.
- PITTON, S. E. C. **As cidades como indicadoras de alterações térmicas**. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.
- SAMPAIO, A. H. L. **Correlação entre uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.
- SILVA, L. F. D. **Estudo do campo térmico da cidade São Carlos (SP) em um episódio climático de inverno**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade São Paulo, São Carlos, 2011.
- VOOGT, J. A. **Urban Heat Islands: Hotter Cities**. 2004. Disponível em: < <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html> > Acesso em: Abril 2016.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES pelo apoio financeiro na forma de bolsa de mestrado, ao Prof. Victor Roriz pelo empréstimo dos equipamentos e aos moradores e funcionários que disponibilizaram os locais para medições.