

## REPRESENTAÇÃO DE ILHAS DE CALOR POR MODELAGEM ESPACIAL EM CIDADES DE PEQUENO PORTE DO OESTE PAULISTA.

**Danielle Cardozo Frasca Teixeira**

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Presidente Prudente (SP), Brasil  
[danielle.frasca@hotmail.com](mailto:danielle.frasca@hotmail.com)

**Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba**

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – campus de Três Lagoas (MS), Brasil  
[gifortiz@gmail.com](mailto:gifortiz@gmail.com)

**Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim**

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Presidente Prudente (SP), Brasil  
[margarete.amorim@unesp.br](mailto:margarete.amorim@unesp.br)

### RESUMO

As ilhas de calor estão entre os problemas ambientais urbanos que são motivados pelas alterações da paisagem natural do ambiente construído. A intensidade e a manifestação deste fenômeno vêm sendo monitorada por procedimentos clássicos como rede meteorológica de superfície e rede de transectos móveis, sendo que o tratamento desses dados para a espacialização quase sempre resulta em generalizações. Desta forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar um conjunto de procedimentos relativos à modelagem espacial da ilha de calor através da correlação estatística entre a temperatura do ar e as feições da superfície, buscando menores generalizações e maior confiabilidade no tratamento dos dados. O trabalho analisou, sem pretensões comparativas, as ilhas de calor das cidades de pequeno porte do oeste paulista Rancharia e Cândido Mota, localizadas em área de clima tropical continental em episódios de verão. Foram detectados os bolsões de ar mais aquecidos nas duas localidades com intensidades de ilhas de calor contrastantes em virtude das características individuais dos sítios urbanos e das características atmosféricas dos episódios destacados. Em Rancharia a ilha de calor atingiu 4°C e em Cândido Mota, 5°C.

**Palavras-chave:** Ilha de calor; Modelagem espacial; Clima urbano; Uso da terra; Cidades pequenas.

### HEAT ISLAND REPRESENTATION BY SPACE MODELING IN SMALL CITIES IN WESTERN SÃO PAULO

#### ABSTRACT

Heat islands are among the urban environmental problems driven by changes in the natural landscape of the built environment. The intensity and the manifestation of this phenomenon have been monitored by classical procedures, such as data acquisition by fixed stations and mobile transects, in which the processing of such data, aiming at their spatialization, usually results in generalizations. Therefore, this article aims to present a set of procedures related to the spatial modeling of the heat island through the statistical correlation between air temperature and surface features, seeking smaller generalizations and higher reliability in data handling. The study analyzed, without comparative intentions, the heat islands of small cities in western São Paulo, namely Rancharia and Cândido Mota, located in an area with a continental tropical climate in summer episodes. Warmer air pockets were detected in two locations, as well as the intensity and magnitude of heat

islands in light of the weather conditions of the episodes analyzed. The intensities of the heat islands in the two cities were contrasting, given the individual characteristics of the urban sites and the atmospheric characteristics of the episodes highlighted, reaching 4°C in Rancharia and 5°C in Cândido Mota.

**Keywords:** Heat Island; Spatial modeling; Urban climate; Land use; Small cities.

## INTRODUÇÃO

As cidades expressam a maior intervenção humana sobre as paisagens naturais. As alterações das condições pretéritas da paisagem natural produzem efeitos sobre o clima na escala local com a formação de um clima específico, o clima urbano (MONTEIRO, 1976). Diante de tais alterações há desdobramentos diretos no conforto térmico-higrométrico e na qualidade do ar das aglomerações urbanas.

Produto dessas alterações, as ilhas de calor são definidas como o excesso de calor em determinadas áreas urbanas quando comparadas com os seus arredores rurais, associadas às condições de tempo e à geografia urbana (OKE, 1987; ARNFIELD, 2003; AMORIM, 2005; 2010). O uso e a ocupação da terra de forma inadequada e sem planejamento adequado contribuem para geração de ilhas de calor, pois a retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo, a composição dos materiais construtivos e a rugosidade urbana aumentam o saldo de radiação e o armazenamento de calor, reduzem a evaporação e proporcionam o aumento do calor antropogênico (GARTLAND, 2010).

Para OKE (1978; 1981), as ilhas de calor se diferenciam em três tipos: as ilhas de calor da atmosfera inferior (Urban Canopy Layer), as ilhas de calor da atmosfera superior (Urban Boundary Layer) e as ilhas de calor de superfícies. As ilhas de calor da atmosfera inferior dizem respeito ao aquecimento do solo ao nível médio dos telhados. As ilhas de calor superiores resultam do aquecimento acima do nível médio dos telhados até a camada limite urbana, enquanto que as ilhas de calor de superfície se verificam através das temperaturas dos alvos urbanos por meio de sensoriamento remoto (canal termal).

O monitoramento das ilhas de calor é realizado por procedimentos clássicos dados por medições em estações fixas (MONTEIRO, 1990), transectos móveis (OKE, 1981; AMORIM, 2005) e mais recentemente por sensores remotos que detectam ilhas de calor de superfície. As ilhas de superfície apresentam indireta, mas significativa influência na temperatura do ar na camada atmosférica mais próxima à superfície (OKE, 1987).

Nos últimos anos, observa-se a manifestação do fenômeno em cidades de pequeno e médio porte, com destaques para as suas elevadas intensidades e magnitudes. Nas regiões tropicais, as ilhas de calor potencializam o calor e influenciam diretamente a saúde e o conforto térmico dos cidadãos, assim como no maior aporte energético para a climatização dos ambientes internos, que não está acessível a toda população (AMORIM, 2010).

Nesse aspecto, o presente artigo analisa a manifestação do fenômeno ilhas de calor em duas cidades de pequeno porte do interior paulista (Cândido Mota e Rancharia), na área de ocorrência do clima tropical continental, adotando como procedimentos o registro da temperatura do ar através do transecto móvel, descrito como:

Trata-se de um monitoramento espacial cuja investigação refinada da temperatura e umidade do ar ocorre pelo uso de um sensor equipado em uma bicicleta ou carro que atravessam áreas de interesse para ver se há anomalia de umidade ou temperatura. A melhor hora para fazer o experimento é algumas horas após o pôr do sol ou antes do nascer do sol em noites com fluxo de ar relativamente calmo e céus sem nuvens, pois nessas condições se maximiza o potencial para a diferenciação climática local e microclimática (OKE, 2004, p. 6, tradução nossa).

Para isso, foram destacados dois episódios distintos de verão, utilizando dados de janeiro de 2014 para Rancharia e de janeiro de 2015, para Cândido Mota. O tratamento dos dados de fina escala consistiu na modelagem espacial com base na Regressão Linear múltipla como método de interpolação (AMORIM et al. 2015; FRASCA TEIXEIRA, 2015;). Este procedimento reúne uma série

de etapas que objetivam estimar com maior confiabilidade a temperatura do ar correlacionando-a com as características de uso da terra. As áreas de estudo escolhidas se justificam por se tratarem de cidades de pequeno porte localizadas no interior do estado de São Paulo e na mesma região climática, além de demonstrarem ilhas de calor de moderada a muito forte magnitudes em pesquisas anteriores (FRASCA TEIXEIRA, 2015; ORTIZ PORANGABA, 2015).

### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O recorte territorial do presente estudo compreende as cidades de Cândido Mota e Rancharia. Posicionadas no oeste do estado de São Paulo, estão na região de clima tipicamente tropical continental, caracterizado pela definição de duas estações com o verão quente e chuvoso e o inverno ameno e seco.

Segundo Sant'Anna Neto (2000, p. 96), a posição latitudinal do estado de São Paulo lhe propicia complexas atuações de sistemas atmosféricos, "visto que é nessa faixa de transição que ocorre o confronto entre os climas controlados pelos sistemas tropicais e pelos extratropicais (polares), além dos fenômenos frontológicos".

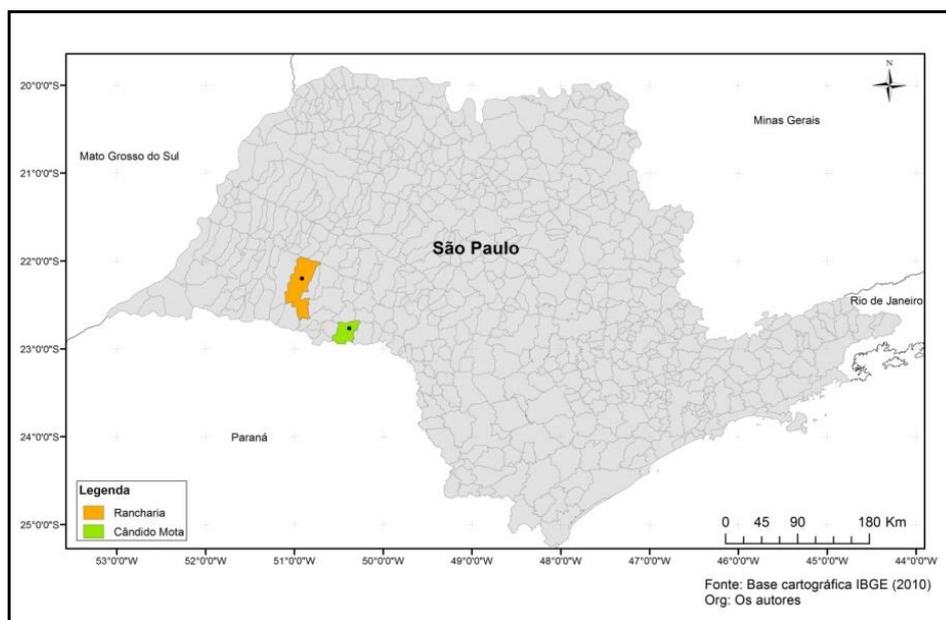
Com baixas altitudes (entre 300 e 500 m), apresentam pluviosidade média anual de 1.300 a 1.600 mm (SANT'ANNA NETO, 1995, p. 105).

Rancharia é uma cidade de pequeno porte localizada no oeste paulista a 22° 13' 23" S e 50° 53' 35" O, distante 520 km da capital do Estado, São Paulo (Figura 1). As atividades econômicas praticadas no município são a policultura e as indústrias de transformação como a de metal, madeira, têxtil, de extração de óleos vegetais, laticínios e frigoríficos. A atividade comercial e a prestação de serviços participam com menor destaque na economia.

De acordo com o censo do IBGE, em 2010 a cidade tinha 28.804 habitantes sendo que destes, 2.976 pessoas eram residentes na zona rural, enquanto que 25.828 pessoas residiam na área urbana, que registrava densidade demográfica de 18,14 hab/km².

Cândido Mota também é uma cidade de pequeno porte localizada no oeste do estado de São Paulo, entre 22°45'27" S e 50°22'06" O, distante 428km da capital do estado (Figura 1). A economia do município é baseada na agricultura, com destaques para o cultivo de mandioca, milho, cana-de-açúcar e soja. Por ser um grande produtor agrícola, teve sua cobertura vegetal primitiva reduzida para apenas 2%. Sua população total é de 29.884 habitantes (Censo IBGE – 2010), com densidade demográfica de 50,12 hab/km² e área territorial de 596,211 km².

**Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo: Rancharia e Cândido Mota (SP).**



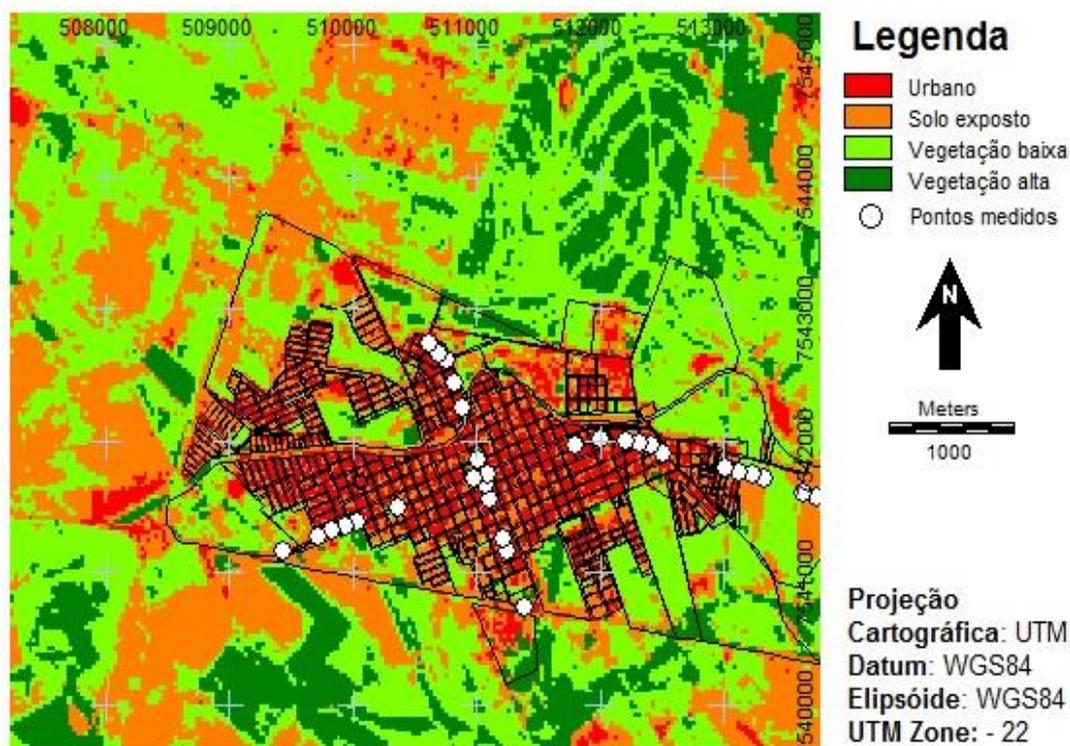
## METODOLOGIA

A modelagem da ilha de calor consiste num conjunto de procedimentos que visam estimar a temperatura do ar correlacionando-a com as feições da superfície. Apresenta, portanto, maior detalhamento da informação pelo cruzamento destes dados, além de delimitar a área de representatividade dos pontos medidos com maior confiabilidade (FRASCA TEIXEIRA, et al. 2015).

O processo inicia-se a partir da fusão das bandas de uma imagem do Satélite Landsat. Para Rancharia foi utilizado o satélite Landsat 7, que apesar das avarias de hardware sofridas no ano de 2003, obtém imagens contemporâneas de qualidade para a localidade. Para o tratamento dado à Candido Mota, adotou-se o Landsat 8, que permite a delimitação das áreas de estudo e o mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que favorece a distinção das feições da superfície para elaboração das cartas de uso da terra a partir da classificação cluster, método de classificação não-supervisionada que depois de sofrer refinamento resulta na criação de classes de usos da terra. É uma etapa que objetiva a extração da porcentagem de representação das feições de superfície em cada ponto de registro da temperatura do ar.

Para Rancharia, as classes de uso da terra resultantes foram urbana (áreas construídas e vias pavimentadas), solos expostos, vegetação baixa (áreas de pastagem) e vegetação alta (cana-de-açúcar, eucaliptos e arborização urbana), conforme é exibido na Figura 2.

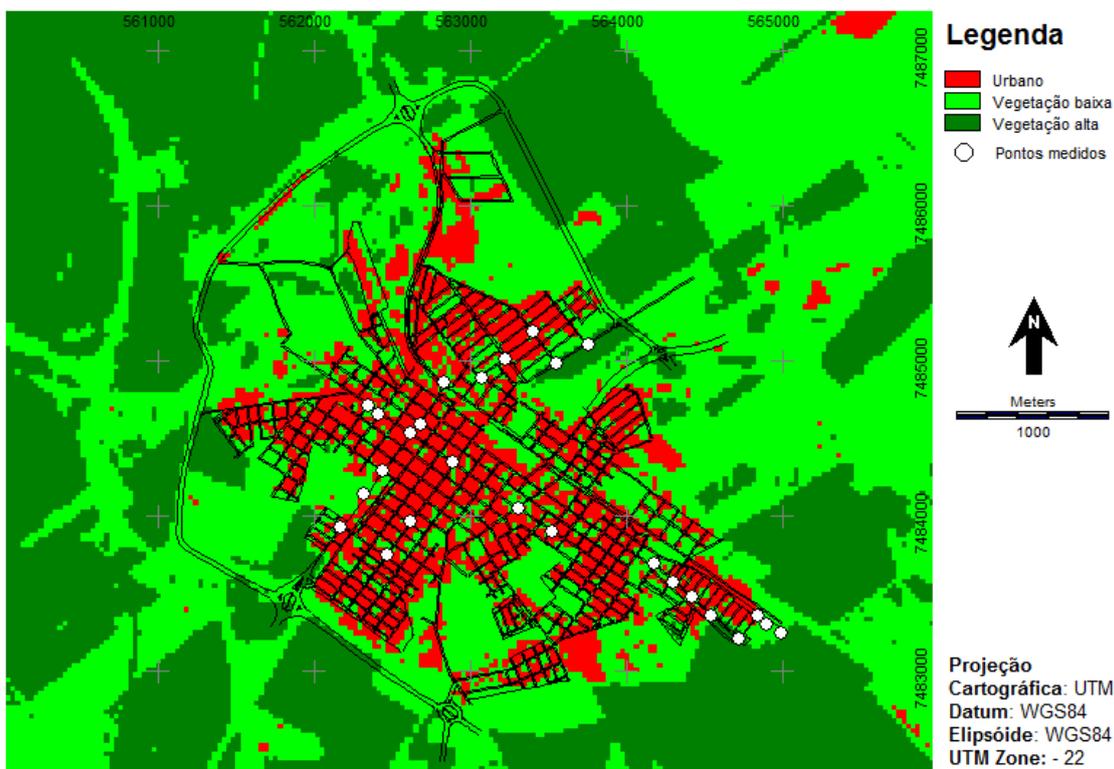
**Figura 2** – Carta de uso da terra, Rancharia (SP), elaborada com imagem Landsat 7, 20/01/2014, a partir do método cluster de classificação não-supervisionada.



**Fonte** – <<http://glovis.usgs.gov/>> Acesso em 11 jun. 2018. **Elaboração** – das autoras.

No caso de Cândido Mota, foram identificadas as classes urbana, vegetação baixa e vegetação alta (Figura 3).

**Figura 3** – Carta de uso da terra, Cândido Mota (SP), elaborada com imagem Landsat 8, 15/01/2015, a partir do método cluster de classificação não-supervisionada.



Fonte – <<http://glovis.usgs.gov/>> Acesso em 11 jun. 2018. **Elaboração** – das autoras.

O relevo, dentre as características físicas do sítio urbano, é um importante fator na análise do clima em escala local e também pode ser incorporado na modelagem. No entanto, quando ocorre pequena variação altimétrica do terreno predominando o relevo plano, essa informação pouco contribui para o mapeamento da ilha de calor que é a condição do sítio urbano de ambas localidades. Devido a essa condição, o relevo não foi adicionado na base de dados para gerar a modelagem.

Para a elaboração dos procedimentos descritos foram utilizadas para a cidade de Rancharia as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 7, do dia 20 de janeiro de 2014 (Tabela 1). Para Cândido Mota foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 8, com a imagem tomada no dia 15 de janeiro de 2015 (Tabela 2).

**Tabela 1** – Características e aplicações das bandas 3,4 e 5 do Satélite Landsat 7.

Banda	Intervalo espectral	Aplicações
3	0,63- 0,69 $\mu\text{m}$	Mapeamento de drenagem, demarcação da mancha urbana, identificação de áreas agrícolas.
4	0,76-0,90 $\mu\text{m}$	Mapeamento de queimadas, de plantas aquáticas e de áreas agrícolas.
5	1,55- 1,75 $\mu\text{m}$	Observação do estresse hídrico nas plantas.

Fonte– USGS disponível em: < [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php)>. Acesso em: 06 Nov. 2014. **Organização** – das autoras.

**Tabela 2** – Características e aplicações das bandas 3,4 e 5 do Satélite Landsat 8.

Banda	Intervalo espectral	Aplicações
3	0,53-0,59 $\mu\text{m}$	Ênfase no vigor da vegetação
4	0,64-0,67 $\mu\text{m}$	Discrimina vegetação das encostas
5	0,85-0,88 $\mu\text{m}$	Mapeamento da biomassa e linhas costeiras.

**Fonte** – USGS. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/best\\_spectral\\_bands\\_to\\_use.php](http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php)>. Acesso em: 23 ago. 2016. **Organização** – das autoras.

Os registros dos dados primários da temperatura do ar foram realizados a partir de transectos móveis (OKE, 2004), no mesmo dia da tomada de imagens pelo sensor remoto.

O transecto móvel objetiva a aquisição de dados primários da temperatura do ar nas vias de fluxo livre, permitindo um tratamento refinado pelo volume de registros (ORTIZ PORANGABA et al., 2017) e que relaciona a distribuição da temperatura do ar e as feições representativas urbanas e rurais percorridas:

A metodologia para a coleta de temperatura do ar [...] consiste na definição de dois transectos, com medidas móveis, utilizando-se de termômetros digitais, com os sensores presos em haste de madeira com 1,5 m de comprimento, acoplados na lateral de dois veículos que saem da periferia (rural), passando pelo centro, chegando ao extremo oposto da cidade (AMORIM, 2005, p. 69).

A principal vantagem de se realizar a modelagem espacial da temperatura do ar com imagem tomada no mesmo dia ou na data mais próxima possível do transecto se refere a maior confiabilidade na identificação das características da cobertura da terra, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento da vegetação que pode variar de acordo com a época do ano, especialmente no rural circundante.

Nas duas cidades, foi utilizado um único veículo munido de sensores de temperatura (Termohigrômetros digitais, modelo TH-03B da marca Impac) alocados na parte externa do veículo através de uma haste de 1,5 metro (Figura 4).

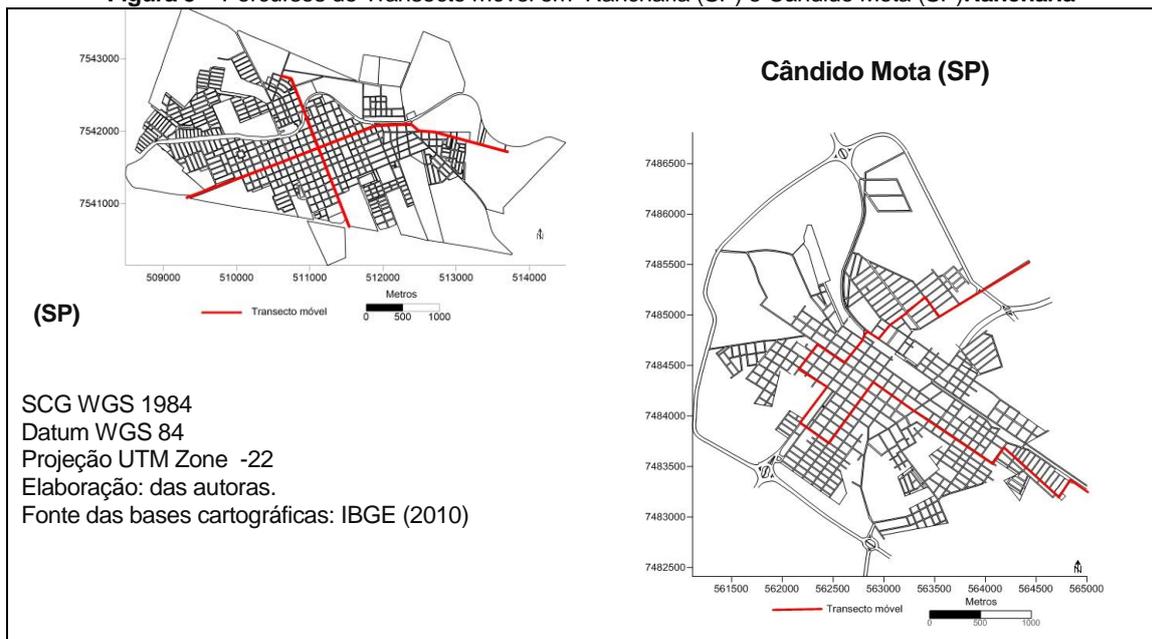
**Figura 4** – Veículo equipado para a realização do transecto móvel



**Fonte** – Trabalho de campo (2015), arquivo pessoal.

Estes veículos percorreram vias principais e adjacentes das áreas de estudo, atravessando diferentes feições urbanas e de transição do urbano para o rural numa velocidade média do veículo de 20 km/h. Os trajetos percorridos nas cidades monitoradas estão exibidos na Figura 5. A temperatura do ar externa ao veículo foi registrada manualmente a cada 100 metros percorridos com o veículo em movimento, obtidos com o auxílio do hodômetro do veículo, sendo que os procedimentos tiveram duração máxima de 40 minutos. Para cada ponto medido foram registradas as coordenadas geográficas tomadas a partir do GPS. Para a elaboração da modelagem foram excluídos alguns registros em pontos próximos uns dos outros e que apresentavam as mesmas temperaturas devido a similaridade das características da superfície.

**Figura 5 – Percursos do Transecto móvel em Rancharia (SP) e Cândido Mota (SP)**



De posse dos dados primários, foram relacionadas as porcentagens de cada feição de uso da terra por pixel. A frequência de cada classe foi obtida em janelas de área de tamanhos variáveis, que partiram do tamanho 3x3 (90x90 metros) e foram expandidas até a janela 29x29 (870x870 metros). Nas janelas de observação é possível analisar a quantidade de pixels por classe de uso da terra, onde é possível visualizar a área de abrangência de um ponto de medida. É nesta etapa que se observa a relação estatística entre a temperatura do ar e as classes de uso da terra. Esta estatística foi trabalhada em planilhas do aplicativo *Excel* (marca da *Microsoft Corporation*) a partir de gráficos de dispersão e de tabela ANOVA gerada a partir de regressão. Esses valores expressam individualmente (por janela) os coeficientes de regressão de cada classe de uso da terra relacionados com a temperatura do ar, assim como a correlação global.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **ESPACIALIZAÇÃO DA ILHA DE CALOR EM RANCHARIA**

Para a análise estatística, considera-se que a temperatura do ar é uma variável dependente, enquanto que as variações das feições de superfície são tomadas como variáveis independentes, obedecendo a seguinte relação:

As relações entre duas variáveis X, considerada independente, e Y, considerada dependente, podem ser representadas num diagrama de dispersão, com os valores de  $y_i$  em ordenada e os de  $x_i$  em abcissa. Cada par de valores  $x_i$  e  $y_i$  fornecerá um ponto e utilizando-se, por exemplo, o método dos desvios mínimos ao quadrado, pode-se calcular a equação de uma reta que melhor se ajuste à

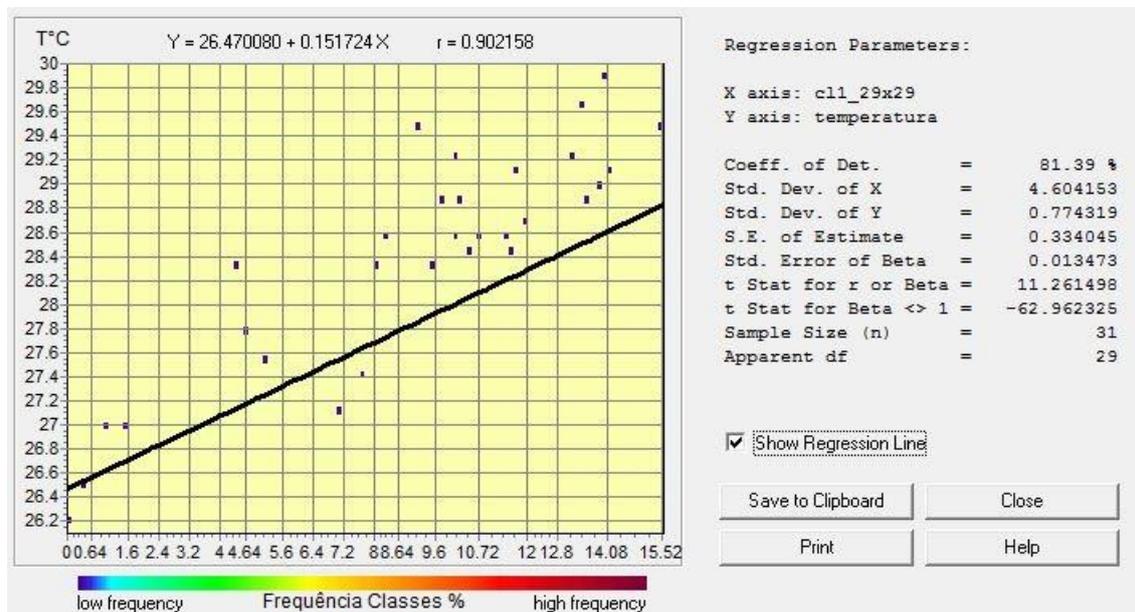
nuvem de distribuição. O método mais comum que pode ser adotado é o da análise de regressão linear simples [...] (LOURENÇO e LANDIM, 2004, p. 2).

Para os dados de Rancharia, a frequência das classes de uso da terra por pixel foi analisada individualmente apresentando coeficientes de determinação maiores na janela atmosférica de abrangência 29x29 (870x870 metros). Esta janela se mostrou mais representativa na relação entre a temperatura do ar e o uso da terra devido aos coeficientes de regressão e, por este motivo, foi selecionada para a elaboração do modelo. Para a escolha das janelas de composição do modelo, considerou-se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de cada classe, pois de acordo com Lira (2004, p. 43):

Outra forma de interpretar o Coeficiente de Correlação é em termos de  $\rho^2$  denominado Coeficiente de Determinação ou de Explicação. Quando multiplicado por 100, o  $\rho^2 = R^2$  fornece a porcentagem da variação em Y (variável dependente), que pode ser explicada pela variação em X (variável independente), ou seja, o quanto de variação é comum às duas variáveis.

Considerando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), as classes de uso da terra indicaram que para a variação da temperatura do ar a feição urbana (classe 1) foi mais significativa, pois apresentou coeficiente de explicação de 0.9, conforme detalhado na Figura 6. Sozinha, esta classe explicou 81,39% da variabilidade dos dados, o que significou que na classe urbana ocorreu um aumento significativo da temperatura do ar. Assim, a classe urbana (variável x) apresentou correlação linear positiva em relação à variável y (temperatura). Nesta janela atmosférica observa-se a estreita relação entre as variáveis, pois aumenta a frequência dos pontos registrados com temperaturas elevadas.

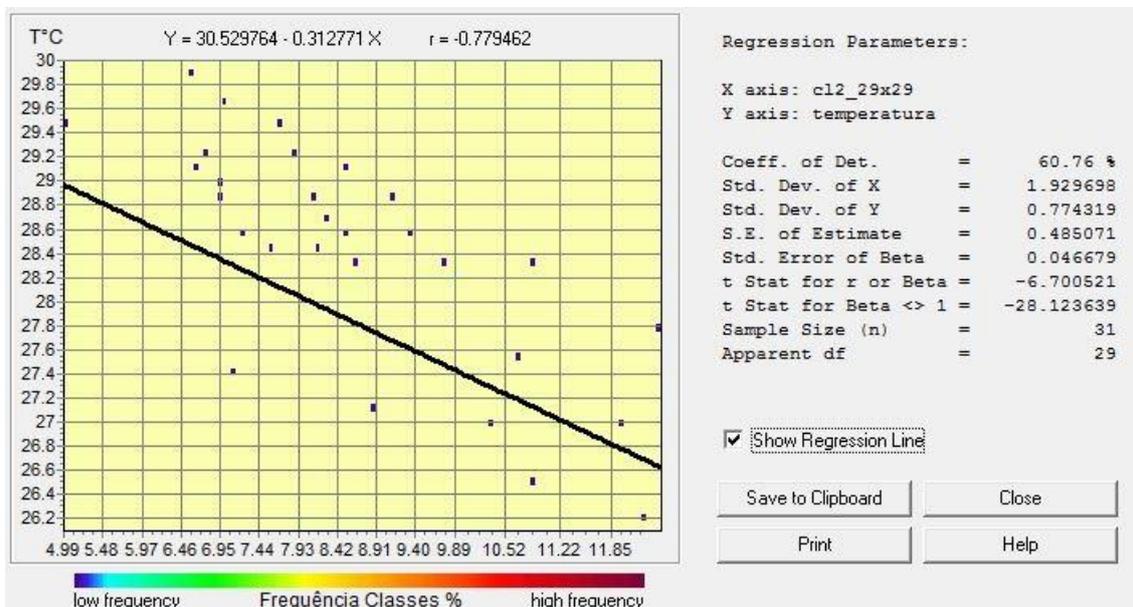
Figura 6 – Frequência da classe urbana na janela 29x29 (870x870 metros), Rancharia (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2014).

A classe solo exposto (classe 2) cujos resultados são exibidos na Figura 7, apresentou correlação linear negativa com coeficiente de determinação de 0,6076 significando que esta correlação pode ser não-linear (LIRA, op cit.). Este resultado indica uma tendência à diminuição da temperatura do ar nesta classe. Porém, observa-se no gráfico um agrupamento de ocorrências nos maiores valores de temperatura do ar.

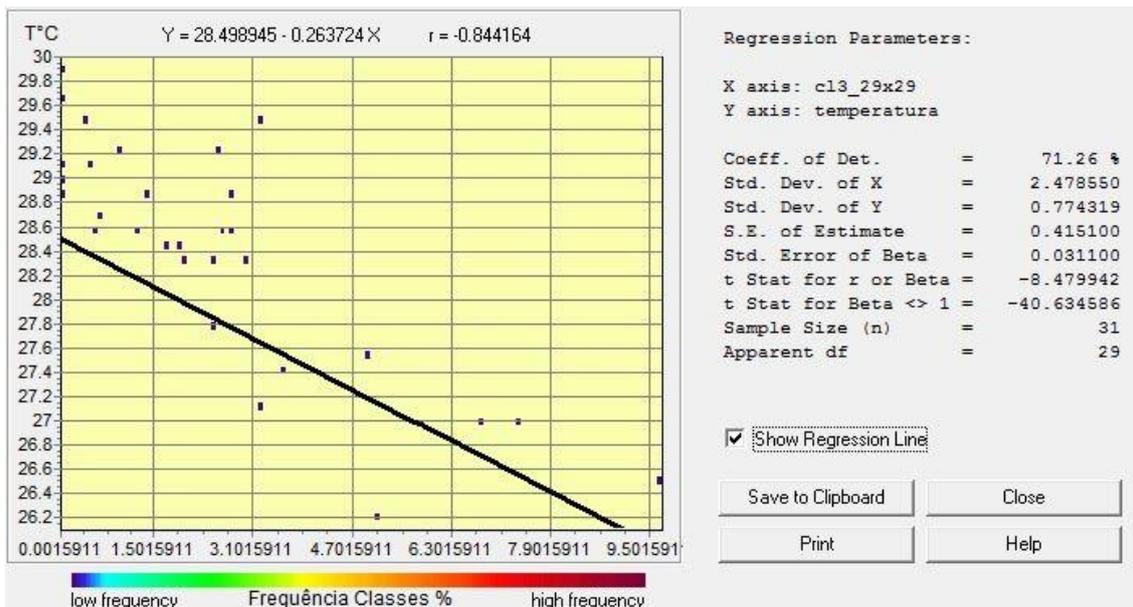
**Figura 7** – Frequência da classe solo exposto na janela 29x29 (870x870 metros), Rancharia (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2014).

A classe vegetação baixa (classe 3) apresentou correlação linear negativa (Figura 8). Nesta classe, o coeficiente de determinação encontrado foi de 0,71, indicando que esta classe contribuiu significativamente para a diminuição da temperatura, mas os dados são pouco frequentes nos valores de temperatura mais amenas da amostragem.

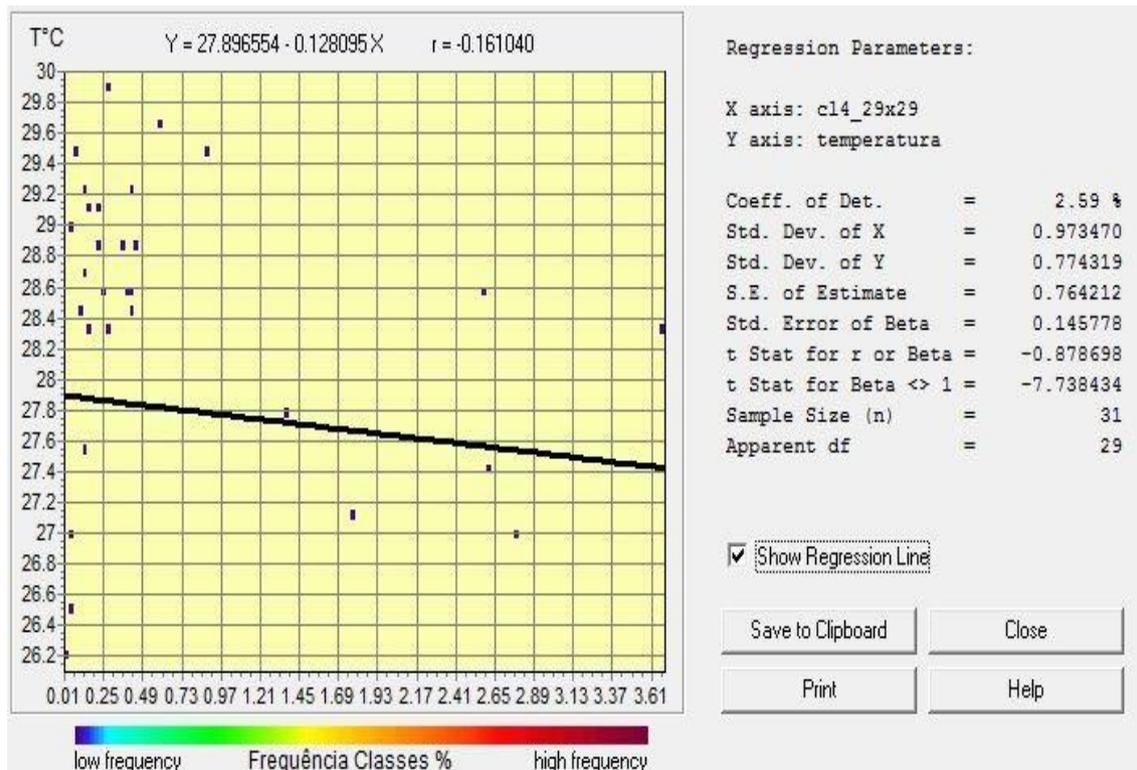
**Figura 8** – Frequência da classe vegetação baixa na janela 29x29 (870x870 metros), Rancharia (SP).



Fonte –Trabalho de campo (2014).

A classe 4, que representa a vegetação alta demonstrou correlação negativa para a explicação da variabilidade da temperatura do ar com o coeficiente de explicação de -0.16. Observa-se pela disposição do gráfico na Figura 9, que esta classe contribuiu discretamente para a diminuição da temperatura, pois existiram poucas ocorrências no sentido da diminuição da temperatura. Supõe-se que estes resultados foram motivados pela pequena amostragem dos dados em área de vegetação alta uma vez que os registros da temperatura priorizou a área urbana e não havia áreas completamente cobertas por vegetação alta.

**Figura 9** – Frequência da classe vegetação alta na janela 29x29 (870x870 metros), Rancharia (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2014).

A modelagem consiste em uma equação que expressa a correlação estatística entre as classes de uso da terra e a variação da temperatura do ar. Conforme foi possível analisar, para os dados de Rancharia a correlação atingiu o coeficiente de determinação total de 0.80 (R ajustado), valor que explica 80% da variação da temperatura do ar. Para maior detalhamento, a análise estatística dos dados foi executada no programa *Excel*.

Analisados em conjunto, estes resultados sugerem que as classes de uso da terra interferem na temperatura do ar, principalmente a variável representativa da classe urbana. Os outros 20% da variação da temperatura do ar corresponderiam a outras influências que não foram incorporadas no modelo, como por exemplo, os ventos.

Com relação ao nível de significância, foi adotado o valor de 5%. Analisando-se os resultados exibidos na ANOVA (Tabela 3) observa-se que a variável urbana é a única que atingiu nível de significância, pois apresentou o valor de p igual a 0.024. As demais classes não apresentaram diferenças estatísticas significativas para a explicação da variação da temperatura do ar.

**Tabela 3 –** Resultados da regressão múltipla, gerada a partir de dados da temperatura do ar relacionada com classes de uso da terra, dia 20 de janeiro de 2014, Rancharia (SP).

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0.911601647							
R-Quadrado	0.831017563							
R-quadrado ajustado	0.805020265							
Erro padrão	0.341912238							
Observações	31							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	4	14.9475933	3.7369	31.96554	0.00			
Resíduo	26	3.03950345	0.1169					
Total	30	17.9870968						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	24.34914426	2.10968051	11.5416	0.00	20.01263387	28.68565465	20.01263387	28.68565465
c1_29x29	0.254846539	0.10662962	2.39002	0.024385	0.035666213	0.474026866	0.035666213	0.474026866
c2_29x29	0.131800554	0.11902781	1.10731	0.2783	-0.112864612	0.376465719	-0.112864612	0.376465719
c3_29x29	0.078058699	0.11819505	0.66042	0.514792	-0.164894703	0.321012102	-0.164894703	0.321012102
c4_29x29	0.180454877	0.13577482	1.32907	0.195369	-0.098634269	0.459544023	-0.098634269	0.459544023

**Fonte –** Trabalho de campo (2014). Organização: das autoras.

Visando verificar a confiabilidade do modelo para representar a realidade, foi realizada a comparação entre a temperatura registrada em campo e a temperatura estimada pelo modelo (Tabela 4). Os resíduos se referem ao que não pode ser explicado pela variável dependente relacionada às variáveis explicativas (QUININO et al., 2011).

**Tabela 4 –** Comparação entre a temperatura registrada e a temperatura estimada pelo modelo gerado a partir de 4 classes de uso da terra para Rancharia (SP).

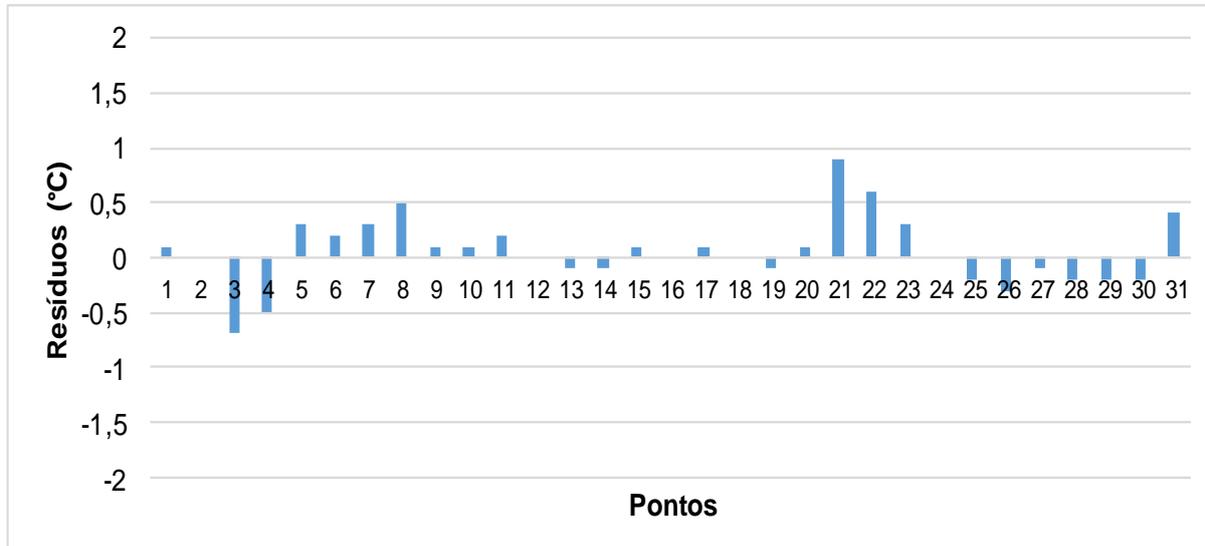
Pontos	T°C registrada	T°C estimada	Resíduo Padronizado
1	26,8	26,7	-0,21571321572
2	27,4	27,4	-0,61747543389
3	26,9	27,6	-1,89298079362
4	27,1	27,6	-0,97672976826
5	28	27,7	1,492719161141
6	28,4	28,2	0,438663542825
7	28,8	28,5	0,845395120695
8	29	28,5	1,460807443967
9	28,7	28,6	0,537688959058
10	28,5	28,4	0,221250984334
11	28,2	28	0,122225568100
12	28	28	-0,493186755171
13	27,8	27,9	-0,809624729896
14	27,9	28	-0,501918568260
15	27,8	27,7	-0,211676032800
16	27,2	27,2	-0,001041462881
17	26,8	26,7	0,86188650717

18	26,4	26,4	0,22807838095
19	26,1	26,2	-0,505776809240
20	26,2	26,1	-0,868849321667
21	28,7	27,8	2,783823793505
22	28,5	27,9	1,344318401557
23	28,2	27,9	0,7201742651964
24	28	28	0,105694118695
25	27,9	28,1	-0,800892916807
26	28,2	28,5	-1,000841849122
27	28,4	28,5	-0,385429525850
28	28,3	28,5	-0,693135687486
29	28,1	28,3	-1,009573662211
30	28	28,2	-1,317279823847
31	27,8	27,4	1,139400109546

Organização – as autoras.

Pelo coeficiente de determinação global alcançado, o modelo foi eficiente para estimar a temperatura do ar, pois além da boa correlação geral, as diferenças entre a temperatura medida e a estimada foram discretas, exceto nos pontos 3, 21 e 22 que ultrapassaram 0,5°C, conforme é exibido no Gráfico 1.

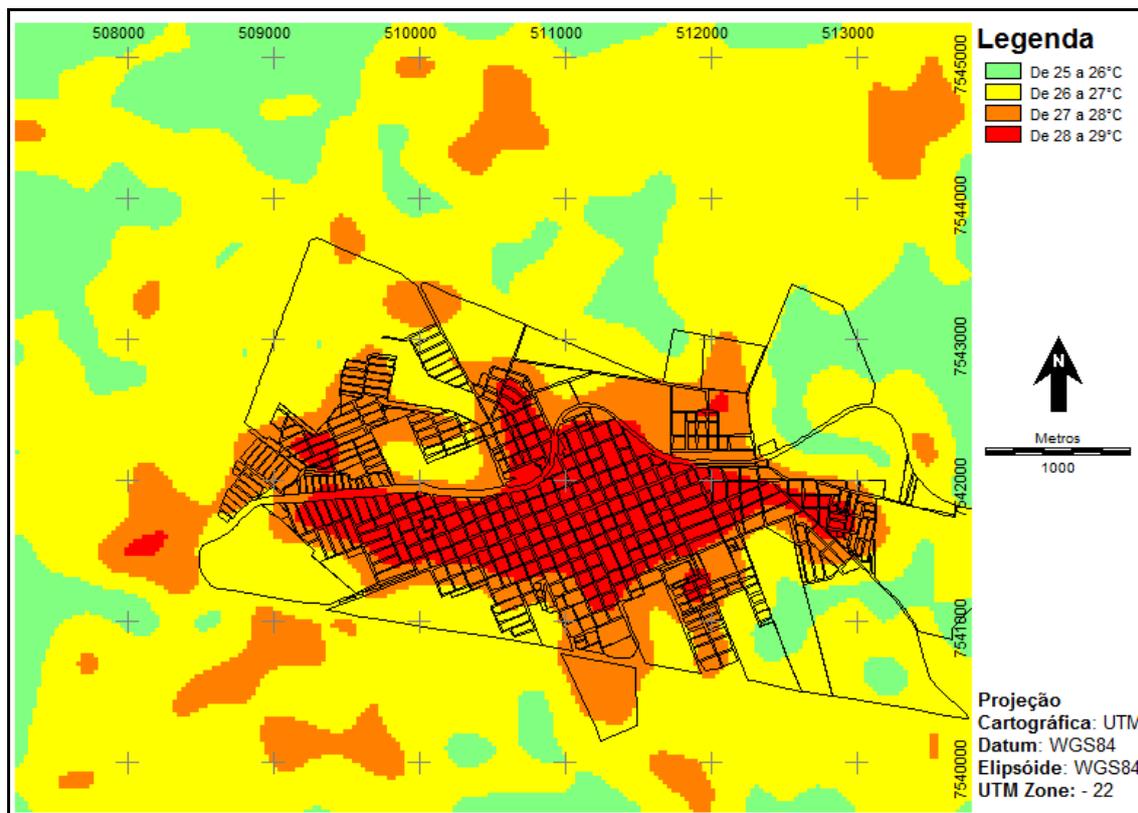
Gráfico 1 – Resíduos do modelo gerado para Rancharia (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2014). Organização – as autoras.

A Figura 10 exibe a espacialização da ilha de calor urbana para o episódio de 20 de janeiro de 2014, através da modelagem com temperatura do ar estimada para as feições da superfície. Neste dia, a região de Rancharia esteve sob influência do sistema Polar Topicalizado, que proporcionou ventos fracos de velocidade 1 m/s, de direção leste e não registrou precipitação. A diferença térmica obtida pelos registros em campo foi de 2,9°C, enquanto que a diferença verificada através da temperatura estimada pelo modelo foi de 2,3°C. O processamento das imagens ocorreu no aplicativo Idrisi (marca da *Clark Labs*).

**Figura 10** – Modelagem da ilha de calor urbana, episódio de verão, Rancharia (SP), elaborada a partir da relação entre a temperatura do ar, classes de uso da terra e a imagem Landsat 7 do dia 20/01/2014.



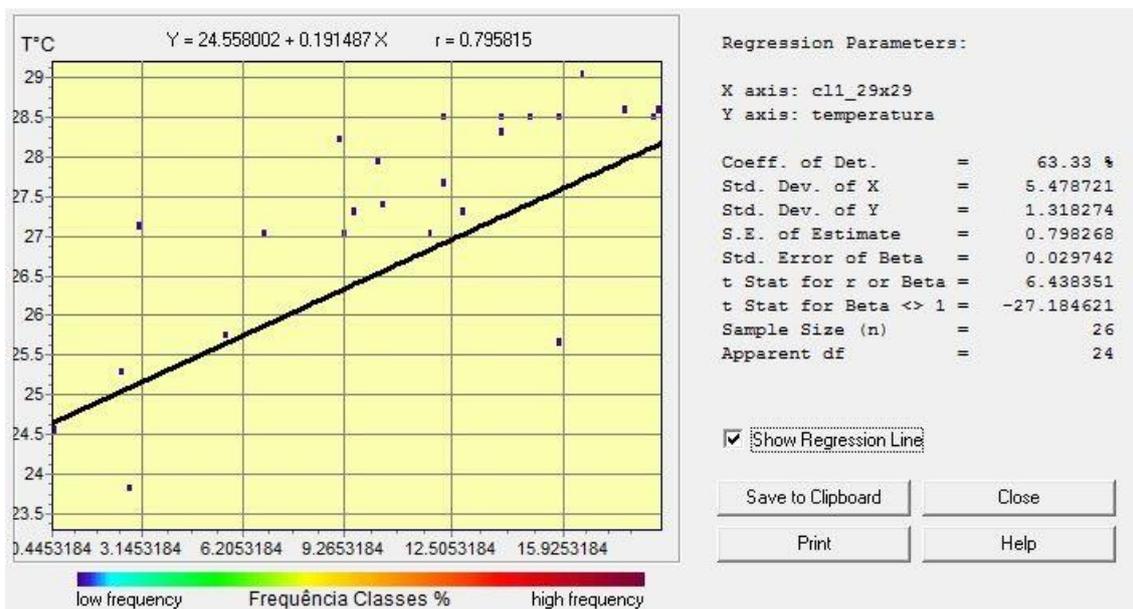
Elaboração – das autoras.

No episódio de 20 de janeiro de 2014, a temperatura do ar em Rancharia foi modelizada no intervalo entre 25°C e 29°C, representando uma ilha de calor de 4°C, considerada de média magnitude (FERNANDEZ GARCÍA, 1996). Os setores mais aquecidos foram identificados como as áreas urbanas densamente construídas e as vias asfaltadas configurando o perfil clássico da ilha de calor com o aquecimento no sentido centro-periferia. Áreas de solo exposto apresentaram temperaturas intermediárias. As áreas de vegetação alta e baixa, tanto da área urbana como do entorno rural, os fundos de vale apresentaram temperaturas relativamente equivalentes, mas foram as mais baixas do intervalo.

### **ESPACIALIZAÇÃO DA ILHA DE CALOR EM CÂNDIDO MOTA**

Tomados os coeficientes de determinação, as classes do uso da terra incorporadas na modelização mostraram-se importantes para a variação da temperatura do ar em Cândido Mota. Na análise individual, a classe urbana apresentou coeficiente de correlação de 0,79 e correlação linear positiva para a variação da temperatura do ar de acordo com a posição da linha de tendência (Figura 11). Observa-se que nesta classe ocorreu um aumento significativo de pontos da amostra que influenciam no aumento da temperatura.

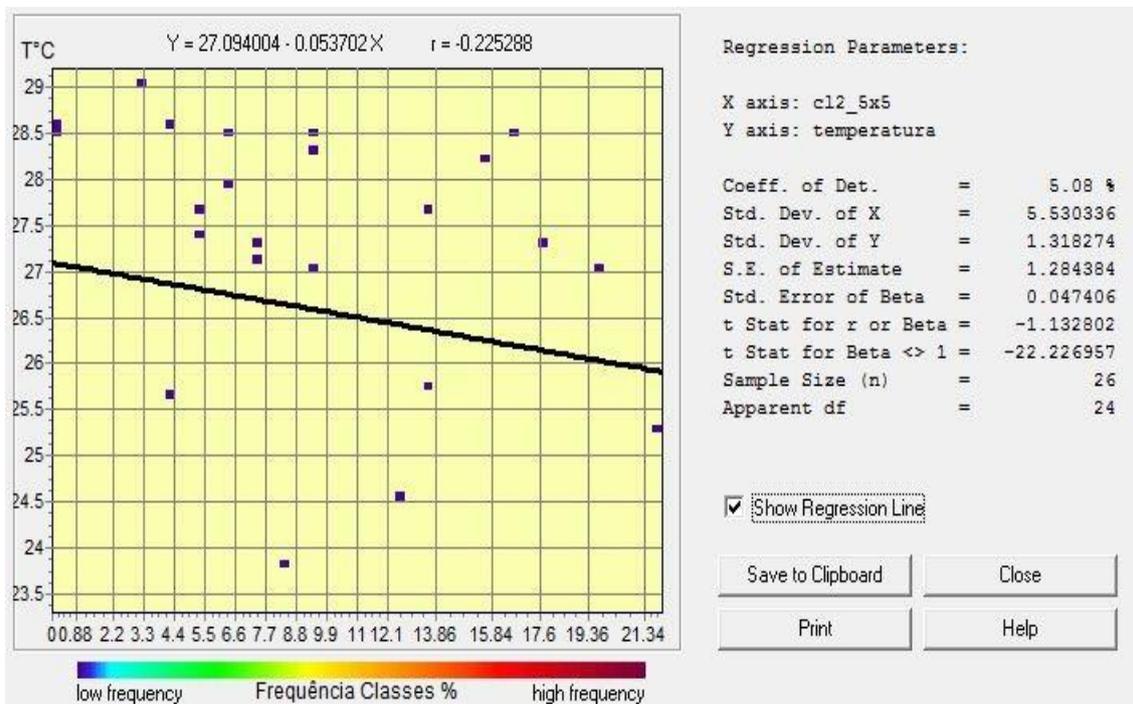
**Figura 11** – Frequência da classe urbana na janela 29x29 (870x870 metros), Cândido Mota (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2015).

A variável independente vegetação baixa apresentou correlação linear negativa atingindo o coeficiente de correlação 0.22. Esta classe é explicativa de 5.08% da variação da temperatura do ar. Entende-se que esta classe contribuiu discretamente para a diminuição da temperatura do ar, pois foram verificadas poucas ocorrências da amostra nesta classe, conforme pode ser observado na Figura 12.

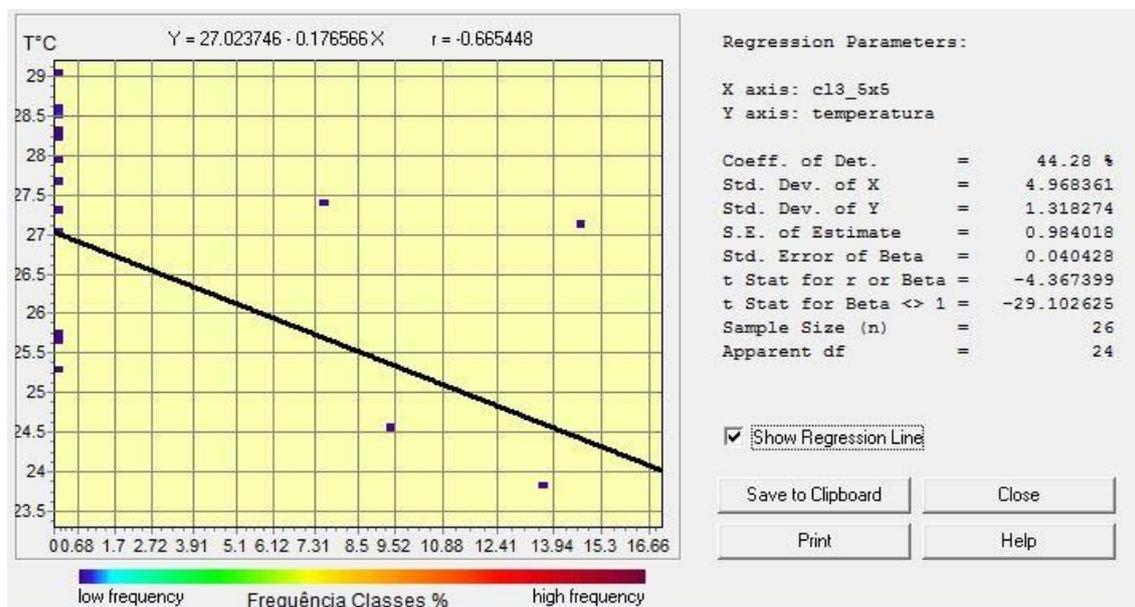
**Figura 12.** – Frequência da classe vegetação baixa na janela 5x5 (150x150 metros), Cândido Mota (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2015).

A classe vegetação alta atingiu o coeficiente de correlação de -0,66, correlação negativa entre as variáveis. A linha de tendência indica a diminuição da temperatura do ar, porém ocorre maior concentração dos dados nos valores de temperatura mais elevados (Figura 13).

**Figura 13** – Frequência da classe vegetação alta na janela 5x5 (150x150 metros), Cândido Mota (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2015).

Na análise conjunta dos dados (Tabela 5), o coeficiente de correlação total foi de 0.68 (R ajustado), ou seja, no modelo proposto as variáveis independentes classes de uso da terra (área urbana, a vegetação baixa, a vegetação alta) explicam quase 70% da variação da temperatura do ar. Pela análise da tabela ANOVA, observa-se que somente a classe urbana está no intervalo do nível de significância adotado (0,05), sendo possível inferir que as classes vegetação alta e baixa não possuem significância estatística.

**Tabela 5** – Resultados da regressão múltipla, gerada a partir de dados da temperatura do ar relacionada com classes de uso da terra, dia 15 de janeiro de 2015, Cândido Mota (SP).

RESUMO DOS RESULTADOS								
<i>Estadística de regressão</i>								
R múltiplo	0.849503513							
R-Quadrado	0.721656219							
R-quadrado ajustado	0.683700248							
Erro padrão	0.729427751							
Observações	26							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	3	30.34841959	10.11614	19.0129831	2.59365E-06			
Resíduo	22	11.70542656	0.532065					
Total	25	42.05384615						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	24.40391537	1.454109421	16.78272	0.00	21.388277	27.41955373	21.388277	27.41955373
Variável X 1	0.167542921	0.075794327	2.210494	0.03777388	0.010355108	0.324730735	0.010355108	0.324730735
Variável X 2	0.18369076	0.139490233	1.316872	0.20143494	-0.105594276	0.472975797	-0.105594276	0.472975797
Variável X 3	-0.114405568	0.165188747	-0.69257	0.49582266	-0.456986062	0.228174926	-0.456986062	0.228174926

Organização – das autoras.

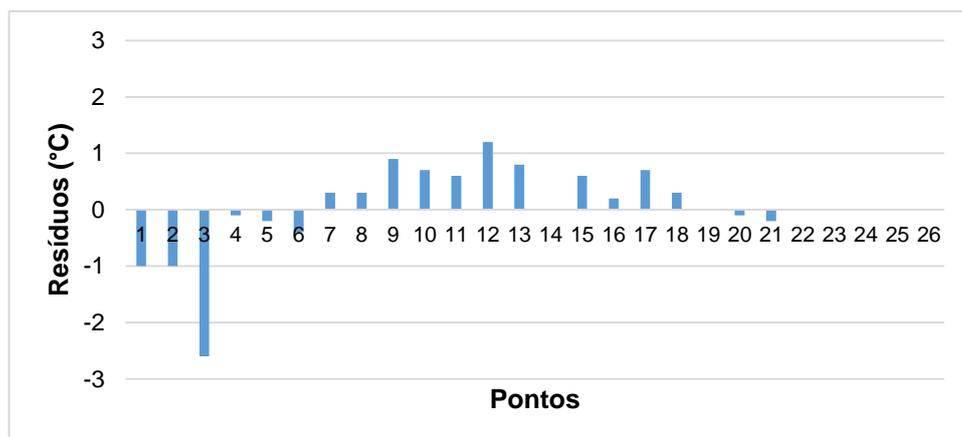
A Tabela 6 apresenta os resíduos gerados pelo modelo. Constatou-se que em alguns pontos as diferenças entre os dados registrados e os dados estimados foram maiores que 0,5°C como nos pontos 1, 2, 3, 1, 13 e 17 (Gráfico 2). Esse resultado demonstra que nestes pontos a temperatura está maior ou menor do que a realidade, mas pelo valor de resíduo padronizado, somente o ponto 3 apresenta valor anômalo. Diante destes resultados, considerou-se que pelo valor de R ajustado obtido na correlação conjunta das variáveis o modelo foi eficiente para a estimar a temperatura do ar e representar a ilha de calor em Cândido Mota.

**Tabela 6** – Comparação entre a temperatura registrada e a temperatura estimada pelo modelo gerado a partir de 3 classes de uso da terra para Cândido Mota (SP).

Pontos	T°C registrada	T°C estimada	Resíduo Padronizado
1	23,3	24,3	-0.54418
2	23,8	24,8	-0.92961
3	25,3	27,9	-3.61107
4	26,5	26,6	-0.45904
5	26,7	26,9	-0.48241
6	27	27,4	-0.58088
7	27,7	27,4	0.386056
8	27,8	27,5	0.532199
9	27,7	26,8	1.002616
10	27,6	26,9	0.856473
11	27,7	27,1	0.828561
12	27,5	26,3	1.200034
13	27,3	26,5	0.733694
14	27,7	27,7	0.070408
15	28,2	27,6	1.069571
16	27,8	27,6	0.485001
17	27,7	27	0.710567
18	27	26,7	0.050415
19	26,5	26,5	-0.33219
20	26,5	26,6	-0.50624
21	26,7	26,9	-0.63286
22	26,5	26,5	0.746636
23	24,7	24,7	1.012113
24	26,2	26,2	-0.45497
25	25,7	25,7	-0.76677
26	24,9	24,9	-0.38413

**Organização** – as autoras.

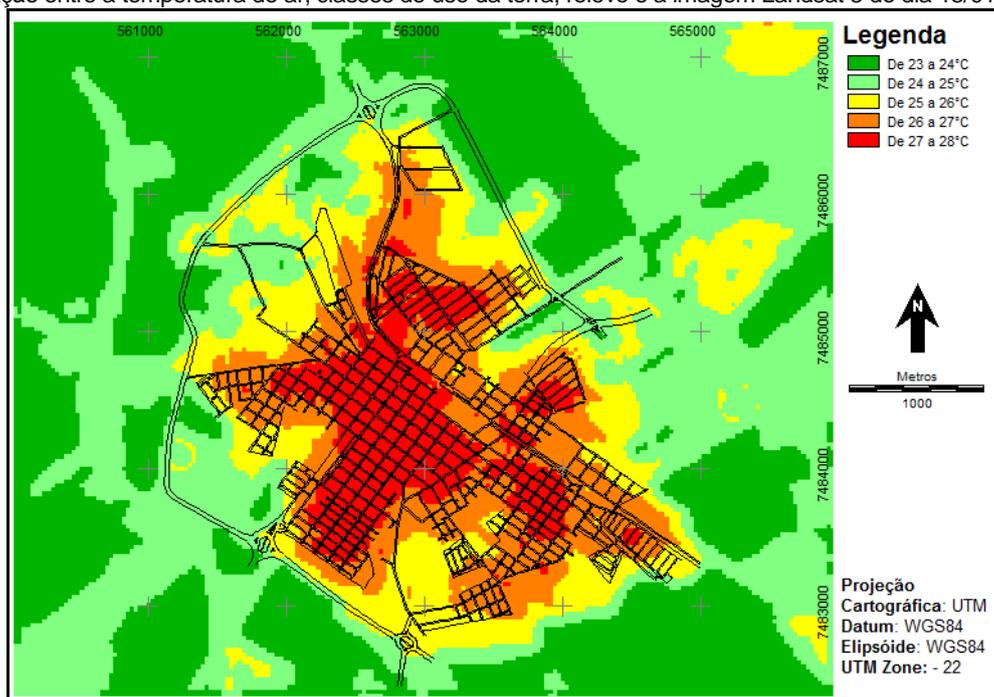
**Gráfico 2** – Resíduos do modelo gerado para Cândido Mota (SP).



Fonte – Trabalho de campo (2015). Organização: as autoras.

Na Figura 14 verifica-se a modelagem da ilha de calor em Cândido Mota para o episódio do dia 15 de janeiro de 2015.

**Figura 14** – Modelagem da ilha de calor urbana, episódio de verão, Cândido Mota (SP), elaborada a partir da relação entre a temperatura do ar, classes de uso da terra, relevo e a imagem Landsat 8 do dia 15/01/2015



Elaboração – das autoras.

As condições de tempo foram regidas pela massa Tropical Atlântica, com ventos de sudeste e velocidade máxima de 2 m/s, sem precipitação. Desta forma, o intervalo de temperatura foi compreendido entre 23°C e 28°C, representando uma ilha de calor de 5°C, sendo classificada como de forte magnitude (FERNANDEZ GARCÍA, 1996). A diferença efetiva obtida nos registros foi de 4,9°C, enquanto que a diferença estimada pelo modelo foi de 3,7°C.

A partir da análise da modelagem climática, destaca-se que as áreas mais aquecidas de Cândido Mota corresponderam ao centro urbano e os bairros ao entorno, área densamente construída e com pouca vegetação arbórea e rasteira. Desta forma, o modelo configurou também o perfil clássico de ilha de calor centro-periferia.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes resultados comprovam que as feições de superfície da terra influenciam na alteração da temperatura do ar, sobretudo nas áreas construídas, contribuindo para o seu maior aquecimento.

Tanto em Rancharia como em Cândido Mota, as ilhas de calor foram diagnosticadas nas áreas densamente construídas. Infere-se que a pouca diferenciação da classe vegetação alta na representação do modelo explica-se pela ausência de mais dados nos pontos rurais. Para maior eficiência do modelo seria necessário maior volume de dados representativos do ambiente rural e da classe vegetação alta.

Na comparação entre os ambientes rural e o urbano de Rancharia, a intensidade da ilha de calor atingiu 4°C, configurando moderada magnitude do fenômeno (FERNANDEZ GARCÍA, 1996).

Em Cândido Mota, observou-se maior diferenciação nas temperaturas do ar entre as diferentes feições da superfície. O rural demonstrou as menores temperaturas do intervalo, sendo que a intensidade da ilha de calor atingiu 5°C, podendo ser classificada como de forte magnitude (FERNANDEZ GARCÍA, op. cit.).

Apesar destas análises não ocorrerem simultaneamente e das duas cidades se localizarem na mesma região climática, cada localidade apresentou suas especificidades na configuração da ilha de calor, sobretudo no que se refere à intensidade e magnitude deste fenômeno. Essa diferenciação é atribuída às características locais dos sítios urbanos pesquisados, que incluem os seus atributos geambientais, geurbanos, as dinâmicas urbanas de cada cidade e as particularidades dos sistemas atmosféricos atuantes em cada episódio analisado.

O procedimento de modelagem representa com maior detalhamento a espacialização da ilha de calor por relacionar a temperatura do ar registrada com as características da superfície. A análise das ilhas de calor por este procedimento contribui para a identificação das feições da superfície que são potencialmente causadoras de um maior aquecimento local. De posse desses resultados é possível amenizar os efeitos das ilhas de calor com medidas de ordenamento territorial.

### AGRADECIMENTOS:

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro às pesquisas (Processos número: 2012/00039-1 e 2013/02081-8).

### REFERÊNCIAS:

AMORIM, M.C.C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: Episódios de Inverno. Geosul, UFSC - Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

\_\_\_\_\_. Climatologia e Gestão do espaço urbano. Mercator, número especial, p. 71-90, dez. 2010.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 29-45, 2015.

<https://doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40585>

ARNFIELD A.J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. International Journal of Climatology; 23, p. 1-26, 2003.

<https://doi.org/10.1002/joc.859>

FERNANDEZ GARCÍA, F. Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 1996. 285p.

FRASCA TEIXEIRA, D.C. O clima urbano de Rancharia (SP). 2015. 217 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

FRASCA TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M.C.C.T.; DUBREUIL, V. Modelagem da ilha de calor urbana para cidade pequena (Rancharia-SP) a partir de imagens do satélite Landsat 7 e de medidas da temperatura do ar. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2015, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2015, p. 1-8.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de textos, 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Sinopse, 2010. Disponível em:  
[http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=354220&idtema=1&search=sao-paulo/rancharia/censo-demografico-2010:-sinopse-](http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=354220&idtema=1&search=sao-paulo/rancharia/censo-demografico-2010:-sinopse-.). Acesso em: 27 abr. 2017.

LIRA, S. A. Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. 209f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Análise de regressão múltipla espacial. UNESP/Rio Claro, IGCE, DGA, Lab. Geomatemática. Texto Didático 13, 34 pp. 2004. Disponível em:

<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/didaticos/landim/texto13.pdf>> Acesso em: 13 maio 2015.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias).

MONTEIRO, C.A.F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. Geosul, Florianópolis, Editora da UFSC, ano V, n. 9, p. 80-114, 1990.

OKE, T. Boundary layer climates. London: Methuen & Co, 1978.

\_\_\_\_\_. The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24, jan. 1981.  
<https://doi.org/10.1256/smsqj.45501>

\_\_\_\_\_. Boundary Layer Climates. 2. ed. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1987, 372p.

\_\_\_\_\_. Siting and exposure of meteorological Instruments at urban sites. In: NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, 27., 2004, Canadá: Banff, 2004, p. 1-14. Disponível em: <<http://urban-climate.com/ITM04-Oke.pdf>> Acesso em: 26 set. 2014.

ORTIZ PORANGABA, G. F. O clima urbano das cidades do interior do estado de São Paulo: uma análise do campo térmico de Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã. 2015. 354f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ORTIZ PORANGABA, G. F.; FRASCA TEIXEIRA, D. C.; AMORIM, M.C.C.T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. Revista Brasileira de Climatologia. v. 21, ano 13, p. 225-247, jul-dez, 2017.  
<https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48832>

QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. Coeficiente de Determinação R2 como Instrumento Didático para Avaliar a Utilidade de um Modelo de Regressão Linear Múltipla, UFMG, Belo Horizonte, 2011. Relatório técnico. 2011.

Disponível em: <[http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/PD\\_28102011\\_Final.pdf](http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/PD_28102011_Final.pdf)> Acesso em 02 Nov. 2017.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no estado de São Paulo: a variabilidade pluvial nos últimos 100 anos. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (org). Variabilidade e Mudanças Climáticas; implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. Site Oficial do IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 14 mar. 2014.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no Estado de São Paulo. 1995. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

<https://doi.org/10.7154/RDG.1995.0009.0004>

Site Oficial do USGS. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/>> Acesso em 11 jun. 2018.

---

Recebido em: 14/06/2018

Aceito para publicação em: 13/09/2019