ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Variabilidade Espacial de Parâmetros Meteorológicos e do Conforto Térmico em Recorte Urbano com Diferentes Configurações Paisagísticas, Recife-PE

Rennan Cabral Nascimento¹, Juliane Barbosa Sales da Silva², Talitha Lucena de Vasconcelos³, Rodrigo Santos de França⁴

¹ Doutorando do programa de pós-graduação em Ciência do Solo, UFRPE, Recife – PE, e-mail: rennancabral2@yahoo.com.br. ² Mestra em geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE, Recife – PE, e-mail: julianesales_@hotmail.com. ³ Professora Adjunta do Departamento de Ciências Geográficas, UFPE, Recife – PE, e-mail: talithalucena@gmail.com. ⁴ Graduado em bacharelado em geografia no Departamento de Ciências Geográficas, UFPE, Recife – PE, e-mail: rsantosfranca@gmail.com.

Artigo recebido em 21/03/2018 e aceito em 20/12/2018

RESUMO

Neste trabalho, foi avaliado a variabilidade espacial da temperatura, da umidade relativa do ar e do conforto térmico em um recorte espacial do município de Recife – PE, apontando a influência de diferentes configurações paisagísticas urbanas sobre os parâmetros meteorológicos locais. O recorte urbano foi selecionado tomando como base as diferentes configurações paisagísticas, entre áreas verdes e não verdes. A área selecionada inclui uma das praças (Praça do Derby) e algumas das vias mais movimentadas do Recife. A amostragem foi realizada em 24 pontos, sendo em três dias não consecutivos (25/07/2013, 26/07/2013 e 28/07/2013), em horários específicos, 9h e 15h. A temperatura e a umidade foram determinadas por meio de aparelhos do tipo termohigrômetro (Digital Icel Modelo HT-208). O conforto térmico foi estimado por meio do Índice de Desconforto de Thom. A análise espacial dos parâmetros foi realizada por meio da modelagem geoestatística, determinando o padrão espacial, os parâmetros do semivariograma experimental, e selecionando os modelos teóricos por meio da validação cruzada. A temperatura, a umidade relativa do ar, bem como o índice de desconforto de Thom apresentaram variabilidade espacial significativa, com forte e moderado grau de dependência espacial, e características espaciais isotrópicas. A geoestatística apresentou eficiência em estimar os parâmetros meteorológicos no município de Recife, em pequena escala. Os espaços verdes do recorte, como a Rua Jener de Souza e pela Praça do Derby, reproduziram temperaturas amenas e maior conforto térmico.

Palavras-chave: temperatura, umidade do ar, conforto térmico, geoestatística, krigagem ordinária.

Spatial Analysis of Meteorological Parameters and Thermal Comfort in Urban Clipping With Different Landscape Configurations, Recife-PE

ABSTRACT

This work, the spatial variability of temperature, relative air humidity and thermal comfort was evaluated in a spatial clipping of the city of Recife -PE, indicating to the influence of different urban landscape configurations on the local meteorological parameters. The urban clipping was selected based on the different landscape configurations, between green and non-green areas. The selected area includes one of the squares (Derby Square) and some of the busiest roads in Recife. Sampling was performed in 24 points, in three non-consecutive days (07/25/2013, 07/26/2013 and 07/28/2013), at specific times, 9h and 15h. The temperature and humidity were determined by thermohygrometer type apparatus (Digital Icel Model HT-208). Thermal comfort was estimated using the Thom Discomfort Index. Spatial analysis and interpolation of parameters were performed using geostatistical modeling, determining the spatial pattern, experimental semivariogram parameters, and selecting the theoretical models through cross validation. Temperature, relative air humidity, and Thom's discomfort index showed significant spatial variability, with a strong and moderate degree of spatial dependence, and spatial isotropic characteristics. Geostatistics showed efficiency in estimating the meteorological parameters in the city of Recife, on a small scale. The green spaces of the cliff, such as Jener de Souza Street and Derby Square, reproduced mild temperatures and greater thermal comfort.

Keywords: temperature, air humidity, thermal comfort, geostatistics, ordinary kriging.

Introdução

A urbanização impõe mudanças nos aspectos meteorológicos de diferentes locais do mundo, como o aumento da temperatura do ar e da superfície, mudança das rotas dos ventos, e aumento do desconforto térmico (Ivajnsiĉ et al., 2014; De e Mukherjee, 2017; Wouters et al., 2017; Yadav e Sharma, 2018). As temperaturas mais elevadas nos centros urbanos são produtos da combinação de diferentes fatores: liberação de gases por processos de combustão dos veículos; estruturas físicas das cidades, proporcionando maior retenção de radiação solar; não circulação do ar em áreas urbanas; além da minimização dos espaços verdes (Santamouris, 2014). Todos esses proporcionam à formação de ilhas de calor, a processos de poluição, e impactos à saúde humana: (1) proliferação de organismos vetoriais de doenças e agentes infecciosos; (2) mudanças no aspecto psicológico da população, como o estresse térmico, principalmente em idosos, crianças e pessoas com alteração da termorregulação (Patz et al., 2005; Jusuf, 2007; Urban e Kysely, 2014). Portanto, o impacto de cidades densamente habitadas sobre os processos meteorológicos locais necessitam ser alvo de estudos (Yadav e Sharma, 2018).

Os ensaios que tratam da variação dos parâmetros meteorológicos em áreas urbanas têm sido reproduzidos sob vários âmbitos, como a estimativa de temperatura da superfície de diferentes estruturas das cidades, por meio de satélites (Lo et al., 1997; Yang et al., 2015), e em uma perspectiva epidemiológica, associando os índices de temperatura e de umidade com a mortalidade devido à diversas doenças epidêmicas (Wu et al., 2009). Entretanto, métodos de interpolação de dados meteorológicos em espaços urbanos ainda são escassos. Alguns estudos recentes foram desenvolvidos com auxílio de técnicas como a krigagem (Ivajnsiĉ et al., 2014; Bassett et al., 2016; Alves, 2017; Yadav e Sharma, 2018).

A geoestatística apresenta potencial de modelar parâmetros meteorológicos, com base na dependência e variabilidade espacial, contribuindo para a identificação de hotspots e fornecendo informações na predição de processos meteorológicos de áreas urbanas.

O Recife possui cerca de 1,5 milhões de habitantes e densidade demográfica de aproximadamente 7.000 hab km⁻² (IBGE, 2010),

sendo considerado o município mais importante do estado de Pernambuco, apresentando uma ampla área urbana formada por diferentes características paisagísticas. Além do mais, está localizado em uma área que apresenta fatores climáticos que suscetibilizam o desconforto térmico da população, sobretudo por conta das elevadas temperaturas durante todo o ano. Diante do exposto, esse trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da temperatura, da umidade relativa do ar e do conforto térmico em um recorte espacial do município de Recife –PE, e apontar a influência de diferentes configurações paisagísticas urbanas do local sobre os parâmetros meteorológicos.

Material e métodos

O estudo foi realizado em um recorte urbano localizado na região centro-leste do município de Recife (Pernambuco) (8°03'19" S - 34°52'15" O) (figura 1). O recorte selecionado apresenta área total de aproximadamente 13,20 ha, incluindo uma das praças (Praça do Derby) e algumas das vias mais movimentadas do município. A área foi selecionada tomando como base as diferentes configurações paisagísticas, entre áreas verdes e não verdes, incluindo vias com elevado fluxo de veículos automotores, como a Avenida Governador Agamenon Magalhães (que liga a zona Norte com a zona Sul da cidade) a leste, ademais, vias com elevada concentração de árvores, como a Rua Jener de Souza (localizada a oeste do recorte).

Conforme os critérios da classificação climática de Köppen (Peel et al., 2007), o município do Recife apresenta classificação do tipo As': temperatura média anual de aproximadamente 26,5°C e pluviometria de 2.150 mm.

A amostragem sistemática foi feita em 24 pontos, levando em consideração as diferenças paisagísticas do local: na Praça do Derby, 15 pontos de coletas foram escolhidos, sendo 11 pontos nas extremidades e 4 pontos no interior da mesma, o restante dos pontos de coleta foi selecionado nas vias que formam as áreas adjacentes da praça. A distância média entre os pontos vizinhos foi de 80 m, aproximadamente. As coletas foram realizadas durante três dias não consecutivos (25/07/2013, 26/07/2013 e 28/07/2013), considerando aspectos meteorológicos no período diurno, em horários

específicos, matutino (9h) e vespertino (15h). A amostragem foi realizada no período do ano de maior índice pluviométrico. Além disso, não houve diferença nas condições meteorológicas entre as coletas no período da manhã e da tarde, não ocorrendo evento de precipitação. A temperatura e a umidade do ar em cada ponto foram determinadas por meio de aparelhos do tipo termohigrômetro (Digital Icel Modelo HT-208).

O conforto térmico foi estimado por meio do Índice de Desconforto de Thom (IDT), desenvolvido por Thom (1959), o qual permite avaliar as condições de desconforto térmico a partir de valores de temperatura do ar e do bulbo seco. Entretanto, o índice é adequado para estimativas a partir de valores de temperatura do ar e de umidade relativa do ar (Giles et al., 1990), representado pela seguinte expressão:

$$IDT = T - 0,55(1 - 0,01U)(T - 14,5)$$

em que T é a temperatura do ar (°C) e U é a umidade relativa do ar (%). Tomando como base os resultados do índice Thom (1959) é utilizado a classificação do alcance térmico e seus efeitos sobre a saúde humana: $IDT < 21^{\circ}\text{C}$ sem desconforto, $21^{\circ}\text{C} \leq IDT < 24^{\circ}\text{C}$ menos de 50% da população sente desconforto, $24^{\circ}\text{C} \leq IDT < 27^{\circ}\text{C}$ gera desconforto em mais de 50% da população, $27^{\circ}\text{C} \leq IDT < 29^{\circ}\text{C}$ desconforto na maioria da população, $29^{\circ}\text{C} \leq IDT < 32^{\circ}\text{C}$ toda a população sente estresse severo, $IDT \geq 32^{\circ}\text{C}$ estado de emergência médica.

A análise espacial da temperatura, da umidade relativa do ar e do IDT na Praça do Derby e entorno, foi realizada por meio da modelagem geoestatística. A interpolação foi realizada por intermédio da krigagem ordinária. O semivariograma experimental é a ferramenta básica da geoestatística, fundamentado na teoria das variáveis regionalizadas e hipóteses intrínsecas, em que a relação entre fenômenos e o espaço é representada quantitativamente (Li et al., 2013; Oliver e Webster, 2014; Liu et al., 2017):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $\gamma(h)$ é o valor de semivariograma, h é o intervalo espacial entre os pontos de amostragem,

$N(h)$ é o número de pares de locais amostrais, e $Z(x_i)$ é a média da variável. Logo, os semivariogramas experimentais foram utilizados para avaliar a variabilidade espaciais do conjunto amostral, sendo calculados tanto por isotropia quanto por anisotropia. Os cálculos anisotrópicos foram realizados em quatro direções (0, 45, 90 e 135°). Além disso, os parâmetros de contribuição, efeito pepita, patamar e alcance foram determinados.

Modelos teóricos de semivariograma são utilizados para ajustar semivariogramas experimentais, e a partir do padrão espacial dos dados, estimar os valores em áreas não amostradas (Tabari et al., 2014). Os modelos esféricos (1) ou exponenciais (2) foram ajustados aos semivariogramas experimentais. Os ajustes dos modelos teóricos são definidos a partir das seguintes equações:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{r} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{r} \right)^3 \right] \text{ para } 0 < h \leq r, (1)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{\left(-\frac{h}{r} \right)} \right] (2)$$

A seleção dos modelos teóricos foi feita baseada nos parâmetros da validação cruzada das predições. Na validação cruzada, os valores medidos e estimados são comparados, indicados pelo erro padronizado médio (EPm) e erro padronizado quadrático médio da raiz (EPQMR) (Martín et al., 2016). Para satisfazer a imparcialidade e apresentar estimativas confiáveis, o modelo teórico precisa indicar valores de EPm próximo a 0 e de EPQMR próximo a 1 (Johnston et al., 2001; Jovein e Hosseini, 2017). Os erros da validação cruzada seguem as equações:

$$EPm = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z^*(x) - z(x)}{\sigma^*(x)}}{n}$$

$$EPQMR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{z^*(x) - z(x)}{\sigma^*(x)} \right]^2}{n}}$$

em que $z(x)$ é o valor medido, $z^*(x)$ é o valor predito e $\sigma^*(x)$ é a variância no valor predito.

Figura 1. Mapa de distribuição dos vinte e quatro pontos amostrais no recorte urbano selecionado no município do Recife - PE.

A partir da classificação de Cambardella et al. (1994), o grau de dependência espacial (GD) foi calculado pela razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$): $((C_0 / (C_0 + C_1)) \times 100)$, onde, o efeito pepita representando <25% do patamar indica forte dependência espacial, entre 25 e 75% dependência espacial moderada, e >75% dependência espacial fraca. As variáveis que apresentaram grau de dependência espacial maior que 75% foram desconsideradas.

O conjunto de dados foi submetido à teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e teste de homogeneidade (Levene) a 5% de probabilidade. Além disso, foi realizada análise de estatística descritiva pelo software *Minitab Statistical 16*. Todos os procedimentos geoestatísticos foram realizados por intermédio do software ArcGis, a partir da ferramenta *Geostatistical Analyst*.

Resultados e discussão

As variáveis apresentaram homogeneidade e distribuição normal, conforme os testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Os resultados da estatística descritiva de temperatura, de umidade relativa do ar e do IDT no horário das 9h e 15h constam na Tabela 1. No horário das 9h, a temperatura média do ar foi superior à média do horário das 15h, com comportamento inverso para a umidade, em que no período matutino os valores foram inferiores. As médias dos IDTs, dos dois períodos, indicam que mais de 50% da população sente desconforto

térmico. Em geral, as variáveis meteorológicas apresentaram variação média a baixa, indicados pelos coeficientes de variação, menores do que 20 (Freiwan e Kadioglu, 2008). A variável temperatura apresentou os menores indicadores de variância, sobretudo no período matutino, ao passo que a umidade do ar apresentou altos valores de variância.

A relação entre a semivariância dos valores dos parâmetros meteorológicos e o espaço indicou que não houve diferença no padrão espacial baseada na direção, motivo pelo qual os semivariogramas isotrópicos foram escolhidos. O modelo esférico foi o modelo teórico que mais se adaptou às características espaciais de temperatura, enquanto que o modelo exponencial foi o melhor ajustado à umidade do ar, tanto no horário das 9h quanto das 15h (tabela 2). Quanto ao IDT não predominou modelo teórico, sendo o esférico melhor representado no horário da manhã e exponencial no horário da tarde.

Os parâmetros do semivariograma experimental, em geral, indicaram que as variáveis meteorológicas expressaram forte (<25%) a moderado (entre 25 e 75%) grau de dependência espacial, conforme Cambardella et al. (1994). Esses resultados refletem os baixos valores do efeito pepita, mostrando que, a variância não explicada, promovida pela variação dos parâmetros que não podem ser detectados na escala de amostragem, foi significativamente baixa (Lima et al., 2010; Ferraz et al., 2012).

Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura, da umidade relativa do ar, e do IDT em diferentes horários no recorte espacial selecionado no município do Recife – PE.

	Temperatura (°C)		Umidade (%)		IDT (°C)	
	9h	15h	9h	15h	9h	15h
Observações	72	72	72	72	72	72
Média	30,5	30,3	48,6	51,1	26	26
Mediana	30,7	29,7	49	51	26	25,7
Mínimo	26,6	25,5	38	40	23,4	22,1
Máximo	35,6	38,9	60	60	29,2	32
Variância	5,1	6,5	32	16,5	2,1	2,9
Coefficiente de variação (%)	7,3	8,4	11,6	7,9	5,6	6,6

Tabela 2. Resultado da modelagem teórica dos semivariogramas ajustados e indicadores da krigagem ordinária referente aos atributos de temperatura, umidade do ar e IDT em diferentes horários, Recife – PE.

Variável/Horário	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	Al (m)	GD (%)
Temperatura	9:00h Esférico	1,2	6	7,2	392	16
	15:00h Esférico	2,6	6,1	8,8	397	30
Umidade	9:00h Exponencial	0	20	20	398	0
	15:00h Exponencial	5	6,5	11,5	378	43
IDT	9:00h Esférico	0,8	1,7	2,5	393	34
	15:00h Exponencial	0	2,5	2,5	397	0

Co = efeito pepita; C₁ = contribuição; Co+C = patamar; Ao = alcance; GD = grau de dependência espacial.

As variáveis de temperatura e de umidade do ar no horário da manhã apresentaram os maiores graus de dependência espacial, 16% e 0%, respectivamente, com forte dependência espacial, enquanto que no período da tarde houve moderada dependência espacial. Esses resultados podem ser explicados pela minimização das diferenças dos valores meteorológicos das áreas sem vegetação e com vegetação, em função do maior tempo de exposição à insolação no período vespertino, refletindo em uma baixa heterogeneidade espacial do componente estocástico (Li et al., 2013; Gao et al., 2016), o que pode ser confirmado nos gráficos da distribuição do semivariograma (Figura 2). Já o IDT apresentou maior dependência espacial no período matutino. A dependência espacial dos dados aponta que não houve efeito pepita puro, descartando microvariância dos dados no espaço, e elevadas flutuações de semivariância.

As distâncias que representam o limiar entre a autocorrelação espacial e a variação aleatória das variáveis meteorológicas e do IDT, ou seja, quando a independência espacial dos dados é iniciada, não apresentaram diferença significativa, variando entre 378 e 398 m. O alcance das variáveis analisadas apontou que grande parte da característica espacial não foi influenciada pela aleatoriedade, dado a distância de autocorrelação (Teshahunegn et al., 2011; Li et al., 2013). As variáveis que apresentaram intervalos de alcance maiores indicam que os valores observados são influenciados por outros valores em distâncias maiores. Os alcances, determinados pelo semivariograma experimental, dos parâmetros meteorológicos do recorte urbano, disponibiliza

informações importantes para representatividade amostral mais significativa em áreas que possuem características semelhantes, na tentativa de evitar a aleatoriedade, recomendando-se que as variáveis analisadas sejam amostradas a distâncias menores que os alcances encontrados neste estudo (Teshahunegn et al., 2011).

A validação cruzada (tabela 3) foi utilizada com a finalidade de selecionar os modelos teóricos de semivariograma, a partir da diferença entre os valores medidos e os valores estimados. As estimativas mais precisas são indicadas pelos valores do EPm próximo a 0 e o do EPQMR próximo a 1 (Johnston et al., 2001; Jovein e Hosseini, 2017). O EPm, em geral, esteve próximo a zero, indicando as boas estimativas e a confiabilidade dos modelos. Os valores de EPQMR apontam se as previsões subestimaram (>1) ou superestimaram (<1) os valores mensurados. Os EPQMR indicaram, em maioria, mínima superestimava da variabilidade nas previsões, exceção para a umidade do ar no período da manhã.

Conforme os resultados anteriores, os valores de temperatura e de umidade do ar estimados no espaço não amostrado (Figura 3), por intermédio da krigagem ordinária, apresentaram maior variabilidade no período da manhã, assim, expressando significativa dependência espacial. A maior diferença de temperatura do ar foi de aproximadamente 6,56°C (manhã) e 6,58°C (tarde), ao passo que, no parâmetro umidade do ar foi de 11,6% (manhã) e 5,8 % (tarde).

Tabela 3 - Erros estimados pela validação cruzada do melhor modelo de ajuste referente aos atributos de temperatura, umidade do ar e IDT em diferentes horários, Recife - PE.

Variável/Horário		EPm	EPQMR
Temperatura	9:00h	0,01	0,93
	15:00h	0	0,93
Umidade	9:00h	-0,02	1,02
	15:00h	0,02	0,83
IDT	9:00h	0,01	0,92
	15:00h	-0,02	0,91

EPm = erro padronizado médio; EPQMR = erro padronizado quadrático médio da raiz.

Não houve predominância de valores dos três parâmetros no espaço analisado. Entretanto, a área localizada na parte oeste do mapa, apresentou as menores temperaturas, as quais estão associadas com maior concentração de espécies arbóreas, muito em função de parte da Rua Jener de Souza, a qual apresenta fileiras de árvores, e próximo ao leito do Rio Capibaribe, em contrapartida. Outra importante área foi verificada na porção leste do mapa, inserida num trecho de intenso tráfego de veículos automotores e menor quantidade de árvores (representada pela Avenida Governado Agamenon Magalhães), apresentando as maiores temperaturas da malha espacial. A umidade do ar apresentou comportamento inverso: menores valores na porção leste do mapa, e maiores valores na parte oeste.

A interpolação do IDT resultou da combinação dos valores de temperatura e de umidade relativa do ar, gerando diferença de aproximadamente 3°C na parte da manhã e 4 °C no período da tarde. Em geral, o IDT não apresentou diferença significativa entre os períodos, em que os espaços com os menores valores estimados representaram que mais de 50% da população sente desconforto, e as zonas com os maiores valores representaram que a maioria da população sente desconforto térmico. É válido salientar que o conforto térmico é produto do balanço de energia entre a superfície do corpo humano e o ambiente, portanto é influenciado pela fisiologia humana, psicologia e comportamento, e não somente por atributos meteorológicos (Urban e Kysely, 2014).

Ambientes sob arborização em grandes cidades, nas quais as temperaturas já tendem a ser

mais elevadas do que as paisagens circundantes, representam amenização térmica, visto que impedem a radiação direta para a superfície, formando assim pequenos espaços de resfriamento (Bowler et al., 2010; Coutts et al., 2013; Wolch et al., 2014). No caso dos pontos localizados na parte oeste, na qual está localizada a rua Jener de Souza, a influência no resfriamento pode estar atrelada ao conjunto de árvores organizadas, gerando uma amenização mais significativa (Mahmoud, 2011). Parte da radiação solar na árvore é refletida; outra parte penetra no dossel, onde uma fração é absorvida e outra é transmitida e pode alcançar as superfícies das cidades. A transferência da radiação, na parte interna da vegetação, é um processo amplo, dependente da radiação incidente, das propriedades ópticas e da disposição e geometria da vegetação (Robitu et al., 2006).

O padrão térmico adverso observado na porção leste do recorte é produto da combinação da exposição direta à radiação solar, às características pavimentar das vias, bem como do intenso tráfego de veículos, promovendo o aumento da temperatura do ar no local por meio de transferência de calor. O calor dos pavimentos pode ser transferido para o ar, principalmente, por meio de convecção, acarretando no aumento da temperatura (Asaeda et al., 1996).

Figura 2 – Semivariograma dos parâmetros meteorológicos do recorte espacial no município do Recife – PE: temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b), e do IDT (c), no período da manhã (1) e da tarde (2).

Figura 3. Interpolação espacial da temperatura e da umidade do ar, e do IDT nos períodos matutino e vespertino no recorte urbano no município de Recife – PE

Figura 4. Mapa de estimativa do erro padrão do modelo de krigagem ordinária referente a predição dos parâmetros meteorológicos e ao IDT.

A quantidade de energia térmica absorvida, refletida e transferida, proveniente da radiação solar, está diretamente relacionada às características do material pavimentar, como a cor e a rugosidade (Santamouris, 2013). Os automóveis transferem calor aos pavimentos por meio da movimentação dos pneus nas vias, ademais, os mesmos podem influenciar a temperatura, pela emissão de gases com capacidade de absorverem energia térmica (Satterthwaite, 2008).

Tomando como base de que o erro-padrão da krigagem é utilizado para indicar a confiança de estimativa dos valores por ponto individual (Cunha et al., 2013), os mapas da figura 4, para todas as variáveis, mostraram que a parte central do recorte obteve maior confiança de predição dos valores de temperatura e de umidade do ar, entretanto, as estimativas próximas as bordas do recorte indicaram menor confiança na predição. O comportamento espacial das variáveis, além da amostragem representativa, no centro do recorte, explica a maior confiança das estimativas.

Conclusão

A temperatura, a umidade relativa do ar, bem como o IDT apresentaram variabilidade espacial significativa, indicados pelo semivariograma experimental e seus parâmetros, apresentando forte e moderado grau de dependência espacial, com características isotrópicas. As características espaciais da temperatura foi melhor descrita pelo modelo esférico, enquanto que a umidade do ar foi pelo modelo exponencial. O IDT não apresentou predominância de modelo teórico. Em uma abordagem geoestatística local de temperatura e umidade do ar no município do Recife - PE, a coleta dos dados deve ser realizada baseando-se no raio de até 390 m, para atender os requisitos de variabilidade espacial.

Os resultados da geoestatística neste estudo indicaram eficiência do método para determinar valores de parâmetros meteorológicos no município de Recife, em pequena escala, tornando-se um método promissor de identificação de áreas hotspots e ilhas de calor/frescor. Entretanto outros estudos devem ser realizados a fim de testar a aplicabilidade em recortes espaciais maiores.

Os espaços verdes, sob cobertura arbórea, principalmente, representados pela Rua Jener de

Souza e pela Praça do Derby, reproduziram resfriamento e maior conforto térmico no recorte espacial analisado, visto que formaram microclimas com temperatura mais amenas do que as áreas vizinhas. Por outro lado, os mapas e os índices, indicaram que o espaço representado pela Avenida Governador Agamenon Magalhães reproduziu as maiores temperaturas, refletindo em maior desconforto térmico.

Referências

- Alves, E.D.L., 2017. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 20. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.46190>. Acesso: 11 jan. 2017.
- Asaeda, T., Ca, V.T., Wake, A., 1996. Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment* [online] 30. Disponível: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5). Acesso: 7 ago. 2017.
- Bassett, R., Cai, X., Chapman, L., Heaviside, C., Thornes, J.E., Muller, C.L., Young, D.T., Warren, E.L., 2016. Observations of urban heat island advection from a high-density monitoring network. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* [online] 142. Disponível: <https://doi.org/10.1002/qj.2836>. Acesso: 2 dez. 2018.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* [online] 97. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>. Acesso: 15 nov. 2017.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58, 1501-1511.
- Coutts, A.M., Tapper, N.J., Beringer, J., Loughnan, M., Demuzere, M., 2013. Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in Physical Geography* [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.1177/0309133312461032>. Acesso: 22 nov. 2017.
- Cunha, A.M., Lani, J.L., dos Santos, G.R., Fernandes Filho, E.I., Trindade, F.S., de Souza,

- E., 2013. Espacialização da precipitação pluvial por meio de krigagem e cokrigagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* [online] 48. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900001>. Acesso: 16 dez. 2017.
- De, B., Mukherjee, M., 2017. Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India. *Urban Climate* [online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.11.003>. Acesso: 2 fev. 2018.
- Ferraz, G.A.S., Silva, F.M., Alves, M.C., Bueno, R.L., Costa, P.A.N., 2012. Geostatistical Analysis of Fruit Yield and Detachment Force in Coffee. *Precision Agriculture* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9223-8>. Acesso: 15 dez. 2017.
- Freiwan, M., Kadioglu, M., 2008. Spatial and temporal analysis of climatological data in Jordan. *International Journal of Climatology* [online] 28. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.1562>. Acesso: 28 out. 2017.
- Gao, Z., Fu, W., Zhang, M., Zhao, K., Tunney, H., Guan, Y., 2016. Potentially hazardous metals contamination in soil-rice system and its spatial variation in Shengzhou City, China. *Journal of Geochemical Exploration* [online] 167. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.006>. Acesso: 20 jan. 2018.
- Giles, B.D., Balafoutis, C., Maheras, P., 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology* [online] 34. Disponível: <https://doi.org/10.1007/BF01093455>. Acesso: 20 set. 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso: 15 jan. 2018.
- Ivajnsić, D., Kaligarić, M., Žibera, I., 2014. Geographically weighted regression of the urban heat island of a small city. *Applied Geography* [online] 53. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.07.001>. Acesso: 6 jan. 2018.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst, ESRI, New York.
- Jovein, E.B., Hosseini, S.M., 2017. Predicting saltwater intrusion into aquifers in vicinity of deserts using spatio-temporal kriging. *Environmental monitoring and assessment* [online] 189. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5795-8>. Acesso: 21 jan. 2018.
- Jusuf, S.K., Wong, N.H., Hagen, E., Anggoro, R., Hong, Y., 2007. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International* [online] 31. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2007.02.006>. Acesso: 18 out. 2017.
- Li, X.Y., Liu, L.J., Wang, Y.G., Luo, G.P., Chen, X., Yang, X.L., 2013. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shengyang) in Northeast China. *Geoderma* [online] 192. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.011>. Acesso: 20 fev. 2018.
- Lima, J.S.S., Souza, G.S., Silva S.A., 2010. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. *Revista Árvore* [online] 34. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100014>. Acesso: 15 mai. 2017.
- Liu, G., Niu, J., Guo, W., Zhao, L., Zhang, C., Wang, M., Guo, G., 2017. Assessment of terrain factors on the pattern and extent of soil contamination surrounding a chemical industry in Chongqing, Southwest China. *Catena* [online] 156. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.005>. Acesso: 10 jan. 2018.
- Lo, C.P., Quattrochi, D.A., Luvall, J.C., 1997. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing* [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.1080/014311697219079>. Acesso: 26 set. 2017.
- Mahmoud, A.H.A., 2011. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment* [online] 46. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.025>. Acesso: 20 out. 2018.
- Martín, J.R., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J.J., Corbí, J.G., Boluda, R., 2016. Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma* [online] 264. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.10.010>. Acesso: 22 jan. 2018.
- Oliver, M.A., Webster, R.A., 2014. Tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena* [online] 113. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>. Acesso: 3 jan. 2018
- Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A., 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* [online] 438. Disponível: <https://doi.org/10.1038/nature04188>. Acesso: 9 ago. 2017.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions* 4, 439-473.
- Robitu, M., Musy, M., Inard, C., Groleau, D., 2006. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. *Solar Energy* [online] 80. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.015>. Acesso: 8 dez. 2017.
- Santamouris, M., 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—a review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>. Acesso: 1 set. 2017.
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* [online] 103. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>. Acesso: 18 nov. 2017.
- Satterthwaite, D., 2008. Cities contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.1177/0956247808096127>. Acesso: 14 ago. 2017.
- Tabari, P.H., Talaei, S.S.M., Nadoushani, P., Willems, A., Marchetto, A., 2014. Survey of temperature and precipitation based aridity indices in Iran. *Quaternary International* [online] 345. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.061>. Acesso: 20 dez. 2017.
- Tesfahunegn, G.B., Tamene, L., Vlek, P.L., 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research* [online] 117. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.005>. Acesso: 10 jan. 2018.
- Thom, E.C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>. Acesso: 11 dez. 2017.
- Urban, A., Kysely, J., 2014. Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/ijerph110100952>. Acesso: 13 jul. 2017.
- Wolch, J.R., Byrne, J., Newell, J.P., 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities ‘just green enough’. *Landscape and Urban Planning* [online] 125. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>. Acesso: 23 ago. 2017.
- Wouters, H., De Ridder, K., Poelmans, L., Willems, P., Brouwers, J., Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., Broucke, S.V., van Lipzig, N.P.M., Demuzere, M., 2017. Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. *Geophysical Research Letters* [online] 44. Disponível: <https://doi.org/10.1002/2017GL074889>. Acesso: 28 ago. 2017.
- Wu, P.C., Lay, J.G., Guo, H.R., Lin, C.Y., Lung, S.C., Su, H.J., 2009. Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan. *Science of the Total Environment* [online] 407. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.034>. Acesso: 23 ago. 2017.
- Yadav, N., Sharma, C., 2018. Spatial Variations of Intra-city Urban Heat Island in Megacity Delhi. *Sustainable Cities and Society* [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.026>. Acesso: 3 mar. 2018.
- Yang, J., Wang, Z.H., Kaloush, K.E., 2015. Environmental impacts of reflective materials: is high albedo a ‘Silver Bullet’ for mitigating urban heat island? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online] 47. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.092>. Acesso: 21 dez 2017.