

Condições Térmicas e Dependência Espacial da Temperatura de Diferentes Superfícies pelo Método da Krigagem em Cuiabá-MT, Brasil

Thermal Conditions and Spatial Dependence of the Temperature of Different Surfaces by Kriging Method in Cuiaba-MT, Brazil

Jonathan Willian Zangeski Novais^{a*}; Thiago D’Orazio Joaquim^a; Fernanda de Oliveira Kunz^b; Monica Zuffo^b; Felipe Miguel Pelegrin^b; Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira^a; Lydiane Abdon Leal^b

^aUniversidade de Cuiabá, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais, MT, Brasil.

^bUniversidade de Cuiabá, Curso de Engenharia Civil, MT, Brasil.

^cUniversidade Federal do Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Física Ambiental, MT, Brasil.

*E-mail: jonathan.novais@kroton.com.br

Resumo

Este trabalho foi realizado na cidade de Cuiabá, capital do Mato Grosso, no estacionamento da Universidade de Cuiabá - UNIC, Unidade Barão. O referido estacionamento não possui cobertura para carros e pedestres, dessa forma o objetivo do trabalho foi avaliar as condições térmicas do estacionamento para propor melhorias de confortos térmico para as pessoas que o utilizam. Foi medida a temperatura de superfície de sessenta e cinco pontos espalhados pelo estacionamento, com superfícies de calçada, cascalho e asfalto. As coletas de dados aconteceram durante os dias 05/08/2014, 06/08/2014 e 07/08/2014, período seco, e 28/01/2015, 29/01/2015 e 30/01/2015, período chuvoso entre as oito horas e dezesseis horas, realizando medidas a cada duas horas. Para geração dos mapas de temperatura de superfície foi utilizada geoestatística pelo método da Krigagem, utilizando o *software* R. Os resultados indicaram que o principal fator de amenização climática no local foi a sombra, a temperatura média do asfalto chegou a 63 °C e que a calçada foi a superfície mais fresca analisada. Com exceção das 16 horas do período chuvoso, houve forte correlação espacial para todos os horários, tendo o alcance máximo de 96,57 m no período seco às 16 horas, e de 84,8 m no período chuvoso às 08 horas. Conclui-se que a utilização de áreas verdes e/ou cobertura artificial ajudaria a amenizar o desconforto do local.

Palavras-chave: Conforto Ambiental. Conforto Térmico. Temperatura de Superfície. Geoestatística.

Abstract

This paper was performed in Cuiabá city, capital of Mato Grosso, in the parking lot of the University of Cuiabá - UNIC, Barão unit. The said parking lot does not have coverage for cars and pedestrian, so this paper's objective was to evaluate the thermal conditions of the parking lot to propose thermal comfort improvements for the people who use it. It was measured surface temperature in 65 points spread throughout the parking lot, with pavement surfaces, gravel and asphalt. Data were collected on days 08/05/2014, 08/06/2014 and 08/07/2014, dry period, and 01/28/2015, 01/29/2015 and 01/30/2015, wet season, between 08:00 am hours and 04:00 pm hours, performing measurements every two hours. For the generation of surface temperature maps geostatistical was used by the method Kriging using the R software. The results indicated that the main factor in climate mitigation on site was the shade, asphalt average temperature reached 63 °C and the sidewalk was the coolest surface analyzed. Except for the 16 hours of the rainy season, there was a strong spatial correlation for all times, and the maximum range of 96.57 m in the dry season at 04pm hours, and 84.8 m in the rainy season at 08 am hours. It is concluded that the use of green areas and / or artificial coverage would help ease the discomfort of the place.

Keywords: Environmental Comfort. Thermal Comfort. Surface Temperature. Geostatistics.

1 Introdução

Cuiabá, capital do Mato Grosso, é conhecida nacionalmente como “cidade verde”, devido a grande arborização. Situada na zona intertropical do planeta, seu clima é identificado prioritariamente pela temperatura, apresentando estações seca e chuvosa bem definidas.

Cuiabá é uma cidade do início do século XVIII, com um desenho urbano de ruas tortuosas e estreitas, de topografia acidentada, becos, largos e praças, desenho urbano característico da influência arquitetônica de colonizadores portugueses. Esta herança pode ser observada no traçado que se deixava guiar pela natureza, explorando a topografia e deixando que as aglomerações crescessem livremente, sem nenhum esquema pré-concebido (FRANCO *et al.*, 2013). A cobertura vegetal de área urbana é constituída

por remanescentes de cerrado e matas ciliares, formando um verdadeiro cinturão em torno da área urbana da cidade (BARROS; NOGUEIRA; DE MUSIS, 2010).

Porém, ao longo dos anos, a cidade vem sofrendo um processo de expansão urbanista, passando de aproximadamente 58.000 habitantes na década de 1960 para 575.000 habitantes, atualmente, em que aproximadamente 98,1% das pessoas desse total residem em área urbana (FILHO; AMARAL, 2014), possivelmente alterando os microclimas da cidade, com a alteração do balanço de energia e hídrico. Com essa expansão, a composição química da atmosfera sofre modificações de suas propriedades térmicas e hidrológicas e seus parâmetros aerodinâmicos (AYOADE, 1998). Com a vegetação dando lugar a cidade ocorre o desenvolvimento de ilhas de calor urbano, pelo aumento da quantidade de radiação solar direta que penetra a superfície e da ressurgência em

energia térmica (HUANG *et al.*, 2008).

O fenômeno da ilha de calor urbana caracteriza-se pelo aumento da temperatura do ar nas cidades em relação ao meio rural e as áreas menos urbanizadas, em decorrência do denso e compacto conjunto de construções que ocorrem no centro das cidades (PENG *et al.*, 2012).

Baseado nisso surge a necessidade de estudos relacionados ao conforto térmico das grandes cidades, visando melhorar a qualidade de vida da população. O julgamento do que é conforto é um processo cognitivo envolvendo muitos parâmetros influenciados por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros. Trata-se de equilibrar o calor produzido pelo corpo com o calor que perde para o ambiente que o envolve. Segundo Costa (2009), a sensação de bem-estar causado por um determinado ambiente pode ser caracterizada, no que diz respeito a sua temperatura e umidade, pela chamada temperatura efetiva do mesmo.

A utilização de pavimentos asfálticos, com alta capacidade térmica, contribui para o desconforto local. Esse problema é verificado no dia a dia dos usuários do estacionamento da Universidade de Cuiabá-UNIC unidade Barão, que possui um estacionamento descoberto e, em sua maior parte, com cobertura de asfalto.

Com o uso da geoestatística, pelo método da krigagem, é possível a geração de mapas de temperaturas de superfície, facilitando o entendimento das áreas críticas, possibilitando a aplicação de técnicas que minimizem o desconforto local.

Diante deste cenário, objetivou-se avaliar as condições térmicas e a dependência espacial da temperatura de superfície do estacionamento da Universidade de Cuiabá, Campus Barão, nos períodos seco e chuvoso, visando oferecer soluções para melhorias do ambiente.

2 Material e Métodos

2.1 Localização do experimento e demarcação dos pontos

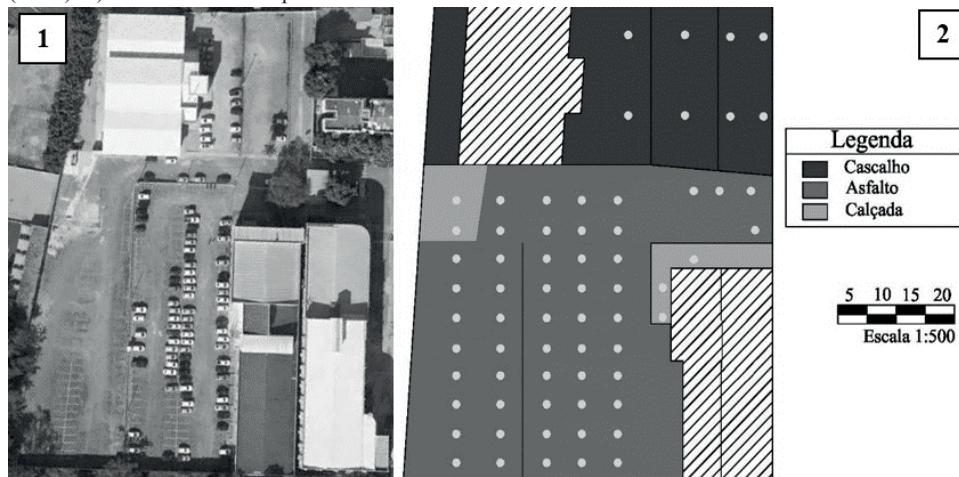
A Capital do Estado de Mato Grosso possui área de 3.538,167 km², coordenadas são de 15°35'56",80 de latitude sul e 56°06'05",55 de longitude oeste e 125 metros acima do nível do mar (IBGE, 2014).

As coletas foram realizadas no estacionamento da Universidade de Cuiabá-UNIC unidade Barão, local em que foram analisadas três superfícies diferentes:

- Asfalto, constituído de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), que é um tipo de massa asfáltica a quente, apropriada para os serviços de execução de Recapeamentos Asfálticos ou novas Capas Asfálticas. Sua utilização é imediata não aceitando estocagem da massa.
- Calçada, compactada pelo solo e concretada de concreto magro de 3 cm.
- Cascalho, em alguns pontos com britas.

Os pontos foram delimitados e separados, sendo cinco de calçada, oito de cascalho e 52 de asfalto. Totalizando 65 pontos no total.

Figura 1: 1) Estacionamento da Universidade de Cuiabá-MT, unidade Barão, imagem Google Earth (2015). 2) Planta baixa com pontos de coletas



Fonte: O autor.

2.2 Instrumentação e variáveis de medida

Foi utilizado termômetro infravermelho TI-860 para medição da temperatura de superfície. A faixa de medição é de -30 °C até 270 °C e a acurácia é de $\pm 2,5\%$. A medição foi feita a cerca de um metro do chão.

2.3 Caracterização climática e período de coleta

De acordo com a classificação de Koppën, o clima é do

tipo Aw2, Tropical semi- úmido, caracterizado por altas temperaturas ao longo do ano, com médias anuais entre 28 °C e 32 °C, alternando entre duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão). As chuvas se concentram de outubro a abril, enquanto que no resto do ano, entre maio e setembro as massas de ar seco sobre o centro do Brasil inibem as formações chuvosas (NOVAIS *et al.*, 2014). Almeida *et al.* (2011) afirmam, com base em uma

série de quinze anos, que 86% da precipitação ocorre entre os meses de outubro a abril.

As coletas de dados aconteceram durante os dias 05/08/2014, 06/08/2014 e 07/08/2014, período seco, e 28/01/2015, 29/01/2015 e 30/01/2015, período chuvoso, entre as 08 horas e 16 horas, realizando medidas a cada duas horas.

2.4 Krigagem

Com o intuito de gerar mapas de temperaturas de superfícies para análise dos melhores locais para se aplicarem estratégias de mitigação de desconforto térmico, utilizou-se para a execução das operações de geoestatística a krigagem, sendo utilizado o programa R versão 2.15.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008), programa livre.

A variável de interesse, em função das coordenadas geográficas, é considerada como variável regionalizada que pode variar continuamente no espaço geográfico. Cada valor observado nos locais x_i , $i=1, 2, 3, n$, em que x_i denota a coordenada geográfica em duas dimensões, sendo considerada uma realização das variáveis aleatórias. O conjunto de variáveis aleatórias constitui uma função aleatória ou processo estocástico (MCBATNEY; WEBSTER, 1986).

A metade da esperança da variância entre pares de pontos separados por uma distância “h” é definida como semivariância e representada pelo modelo clássico, segundo a equação:

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

Em que é semivariância estimada para cada distância (*lag*) entre pares de pontos, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, separados pela distância h (BURROUGH; MACDONNELL, 1998). O semivariograma é representado pelo gráfico versus h . Ao semivariograma experimental gerada por essa função deve-se ajustar um modelo teórico que forneça os parâmetros “Co” (efeito pepita), “Co+C” (patamar) e “a” (alcance). O semivariograma foi estimado pelo modelo esférico, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS), por apresentar praticidade no cálculo do alcance (ANDRIOTTI, 2009).

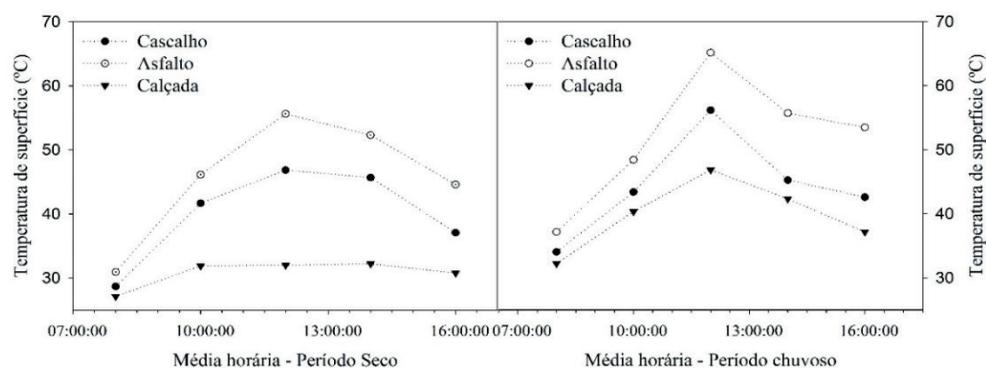
O grau de dependência espacial das variáveis foi classificado, segundo Cambardella *et al.* (1994): dependência espacial forte quando os semivariogramas têm efeito pepita 25% do patamar, moderada quando entre 25% e 75% e fraca >75%.

3 Resultados e Discussão

3.1 Temperaturas de superfícies

Seguem os resultados das médias horárias das temperaturas de superfície para o estacionamento da Universidade de Cuiabá, unidade Barão.

Figura 2: Médias horárias de temperaturas de superfícies do estacionamento no período seco de 2014 e período chuvoso de 2015, das 08 às 16 horas



Fonte: O autor.

Nota-se pela Figura 2 que a temperatura da calçada foi a menor durante a medição. A maior temperatura média chegou a 39 °C e menor 18 °C. Isso se deve ao sombreamento durante a partes do dia na calçada e a menor capacidade térmica. Já o cascalho varia em média de 27 °C no começo do dia, chegando ao máximo de 55 °C no meio do dia e mínimo de 25 °C. Sendo que boa parte do mesmo fica na sombra, e mesmo assim também absorve grande quantidade de calor, devido a sua composição. O asfalto é o que mais absorve calor durante todo o dia, chegando aos 63 °C de temperatura média máxima e a menor 24 °C. Essa absorção de calor ocorre pelo seu alto calor específico, aproximadamente 0,223cal/g °C, levando um maior tempo para liberá-lo. Segundo Maciel (2014), este

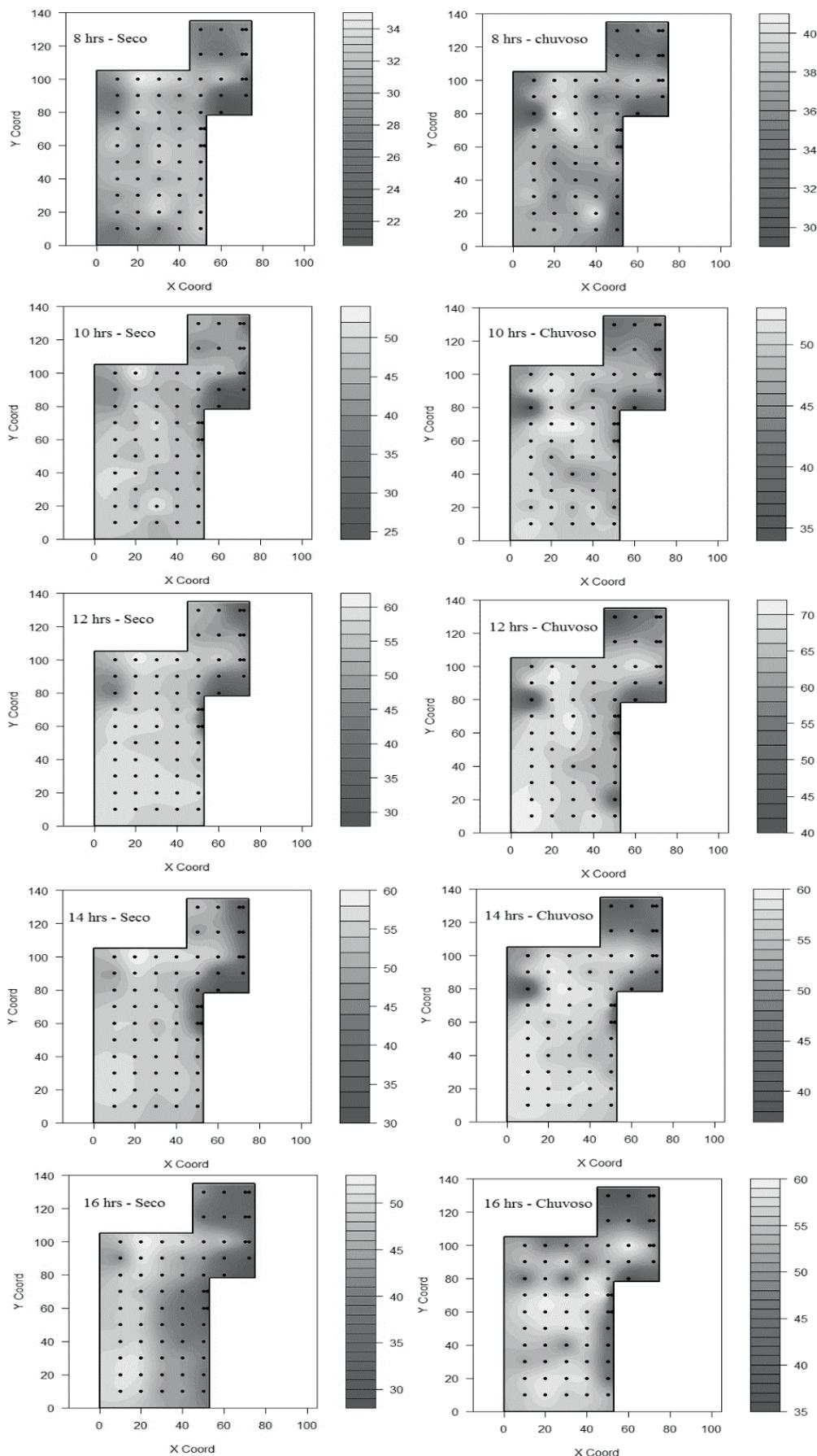
efeito é explicado pelo baixo valor de albedo deste material, que resulta em grande absorção da energia térmica proveniente da radiação solar.

O uso de materiais como asfalto e concreto contribuem, de maneira significativa, para o aumento da temperatura do ar no ambiente urbano, sendo assim um fator que contribui para o aumento da intensidade da ilha de calor, principalmente, no período noturno (HUANG *et al.*, 2008).

3.2 Mapas de temperatura

Foram feitos mapas de temperaturas de superfícies para representação da variação espacial, conforme Figura 3.

Figura 3: Mapas de temperaturas de superfícies no período seco e chuvoso das 08:00 às 16:00 horas no estacionamento da Universidade de Cuiabá-UNIC



Fonte: O autor.

Observa-se pela Figura 3 uma variabilidade entre as temperaturas das localidades com asfalto, temperatura maior, para cascalho e calçadas. Observa-se pelas áreas de cores mais escuras, a variabilidade do ângulo da incidência de luz solar, fazendo variar as posições de sombra no decorrer do dia, acarretando assim mudanças nas temperaturas de superfícies.

Quando são observados os fatores considerados favoráveis (água, vegetação, solo permeável) e desfavoráveis (área construída e superfície impermeabilizada) ao comportamento climático de cada ponto estudado, nota-se que o tipo de cobertura do solo influencia na temperatura de superfície. Os pontos da calçada e de cascalho possuem uma vantagem por estarem mais próximos da sombra. Segundo Mascaró (1996), a vegetação interfere na radiação solar, vento e umidade do ar. Segundo esse autor, em alguns grupos arbóreos a temperatura do ar pode chegar a ser 3 °C a 4 °C menor que em áreas expostas à radiação solar, variando conforme a estratificação do ar e o porte da vegetação.

A calçada, conforme a posição do prédio da Universidade de Cuiabá fica a maior parte do tempo na sombra. Já o cascalho, por estar próximo ao muro, também usufrui da

sombra do mesmo, em determinados horários do dia.

Conforme a Figura 3, os maiores valores de temperatura ocorrem no asfalto. Primeiramente, por ser constituído de CBUQ e possuir uma grande capacidade de absorção de calor, e lenta de resfriamento, apresentou uma temperatura máxima de 63 °C, no horário das 14 h. Sendo assim, no mapa está ilustrado com cores mais claras. Já a menor temperatura marcada foi de 18 °C, em que o ponto era a calçada, e ilustrado no mapa pela cor cinza escuro.

A temperatura durante todo o dia teve oscilação, nos pontos com sombreamento a temperatura é menor, e se conserva assim devido à absorção do calor ser lenta. Entre o período de horários das 12h às 14h se apresenta a maior temperatura, por serem estes horários que apresentam maior temperatura externa e maior radiação solar. Tanto a temperatura, quanto a radiação vão diminuindo seus valores, proporcionalmente, a medida em que a temperatura de superfície diminui, não tão rapidamente, devido a inércia térmica.

O Quadro 1 apresenta a relação espacial das temperaturas de superfícies.

Quadro 1: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, erro reduzido e desvio padrão do erro reduzido, estimados pelo modelo esférico, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS), nos períodos seco e chuvoso dos anos de 2014/2015 em um estacionamento da Universidade de Cuiabá unidade Barão

	Seco					Chuvoso				
	08hrs	10hrs	12hrs	14hrs	16hrs	08hrs	10hrs	12hrs	14hrs	16hrs
Co	0,74	3,88	0,00	0,00	0,00	1,72	3,24	9,37	4,84	14,99
Co+C	16,62	50,89	101,27	105,49	81,24	10,07	25,84	84,46	44,49	49,75
Alcance	60,81	72,59	79,77	86,08	96,57	84,80	68,47	66,83	71,80	79,99
Relação Espacial	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,17	0,13	0,11	0,11	0,30
	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Moderado
Erro Reduzido	-0,02	-0,01	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01
D.P. Erro Reduzido	1,09	1,33	1,98	1,04	1,10	1,29	1,23	1,27	1,29	1,08

Fonte: Dados da pesquisa.

Com exceção das 16 horas do período chuvoso, que apresentou correlação espacial moderada, todos os outros horários apresentaram forte correlação espacial, tendo o alcance máximo de 96,57m no período seco às 16 horas, e de 84,8m no período chuvoso às 08 horas. O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas, indicando a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002).

Pequenos valores de efeito pepita (Co) indicam pequenos erros nas medidas (DAFONTE *et al.*, 2010), conforme observado nas medidas do período seco. A quantidade de água presente na superfície em determinados momentos no período chuvoso ocasionou valores maiores para efeito pepita, 16 horas do período chuvoso e, conseqüentemente, relação espacial moderada.

A temperatura do solo é a responsável pelo aquecimento

das camadas superiores de ar, assim, a dependência espacial das temperaturas de superfície ratifica a influência dos pontos sombreados de calçada e cascalho como sorvedouros do calor emanado pela superfície de asfalto. Isso gera a preocupação pelo fato de que mesmo se a pessoa estiver na sombra, o calor proveniente das zonas asfálticas pode gerar desconforto para os usuários do estacionamento. Segundo Corbella (2003), nos centros urbanos os edifícios, que cresceram em altura e em massa aumentando a inércia térmica, associados a uma maior quantidade de ruas asfaltadas, absorvem mais energia solar devolvendo com a mesma intensidade tal energia para o espaço próximo.

Sendo assim, fica clara a importância de um planejamento adequado, principalmente, aliado à preocupação com o comportamento microclimático, tendo em vista as características regionais em que a cidade de Cuiabá está inserida e as características regionais da Universidade de

Cuiabá também.

Uma possível solução seria a troca do pavimento asfáltico pelo de concreto, que apresentou menores médias em ambos os períodos, além de implantar canteiros com arborização, promovendo sombra no estacionamento, podendo diminuir a incidência solar em determinados horários, uma solução mais ecologicamente viável. Novais *et al.* (2015), em pesquisa realizada na mesma localidade, apontaram como saída para o conforto térmico o maior uso de vegetação, uma vez que as mesmas absorvem, interceptam, refletem e transmitem radiação, podendo ser uma solução para sombreamento de parte do estacionamento. A colocação de uma estrutura de cobertura em que há maior quantidade de carros estacionados também contribuiria com o conforto local.

4 Conclusão

Os resultados indicaram que o principal fator de amenização climática no local foi nos lugares sombreados e que a calçada foi a superfície mais fresca analisada. Com exceção das 16 horas do período chuvoso, houve forte correlação espacial para todos os horários, tendo o alcance máximo de 96,57m no período seco às 16 horas, e de 84,8m no período chuvoso às 08 horas. A substituição de pavimento asfáltico por concreto, utilização de áreas verdes e estrutura de cobertura para os lugares, em que os carros estacionam, são alternativas que melhorariam a sensação de conforto para os usuários do estacionamento.

Agradecimentos

A Universidade de Cuiabá, Coordenação do curso de Engenharia Civil e Direção da Unidade Barão e ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental pelo apoio e suporte.

Referências

ALMEIDA, C.O.S. *et al.* Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Amb.*, v.15, n.2, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000200011>.

ANDRIOTTI, J.L.S. *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. São Leopoldo: Unisinos, 2009.

AYOADE, J.O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BARROS, M.P.; NOGUEIRA, M.C.J.A.; DE MUSIS, C.R. O projeto de parque urbano e os riscos de exposição ao calor. *Amb. Construído*, v.10, n.2, p. 147-156, 2010.

BURROUGH P.A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CAMBARDELLA, C.A. *et al.* Feildscale variability of soil properties in central iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1501-

1511, 1994.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Rev. Agrop. Bras.* v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CORBELLA, O. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental*. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, C.E. Física aplicada à construção. *Conforto Térmico*, v.4, p.201-202, 2009.

DAFONTE, J. *et al.* Mapping of soil micronutrients in an european atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach. *Bragantia*, v.69, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000500018>.

FILHO, F.C.M.M.; AMARAL, D.B. Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT. *Soc. Nat.*, v.26, n.1, p.159-170, 2014.

FRANCO, F.M. *et al.* Traçado urbano e sua influência no microclima: um estudo de caso em centro histórico. *Rev. Elet. Gestão, Educ. Tecnol. Amb.*, v. 9, p.1916-1931, 2013. doi <http://dx.doi.org/10.5902/223611707697>

HUANG, L. *et al.* A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building Environ.*, v.43, n.1, p.7-17, 2008. doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.025

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>

MACIEL, C. R. Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas: Estudo de caso em Cuiabá-MT.127f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MASCARÓ, L. R. *Ambiência Urbana*. Porto Alegre: Sagra -D.C. Luzzatto, 1996.

McBRATNEY, A.G.; WEBSTER, A.G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Sci.*, v.37, p.617-639, 1986.

NOVAIS, J.W.Z. *et al.* Comparação de desempenho térmico de painéis em EPS como alternativa a tijolos cerâmicos no conforto térmico de residências em Cuiabá-MT. *UNOPAR Cient. Exatas e Tecnol.*, v.13, n.1, p.39-43, 2014.

NOVAIS, J.W.Z. *et al.* Conforto térmico de um laboratório da Universidade de Cuiabá-MT UNIC. *Rev. Elet. Gestão, Educ. Tecnol. Amb.*, v.19, n.3, p.804-812, 2015.

PENG, S. *et al.* Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environ. Sci. Technol.*, v.46, p.696-703, 2012.

THE R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. 2008. Disponível em: <http://www.r-project.org>.