

EFEITOS DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA E NA SENSAÇÃO TÉRMICA EM ÁREAS DESTINADAS A HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

D. B. Silva, L. C. Durante, I. J. A. Callejas, K. A. C. Rosseti, S. B. Buttner

RESUMO

Em climas quentes, a vegetação produz efeito amenizador do microclima nos locais em que são implantadas, com diminuição da temperatura, aumento da umidade do ar e, consequentemente, melhoria da sensação térmica. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito da vegetação no microclima urbano e na sensação de conforto em área externa de um residencial de habitações de interesse social, localizado em Cuiabá-MT. Realizou-se transecto móvel, com 16 pontos de medição, às 9, 15 e 20h, com medição da direção e intensidade dos ventos, temperatura e umidade relativa do ar do ar, após o que se calculou o índice Temperatura Psicológica Equivalente (PET). Os resultados evidenciaram que a área verde central de cerca de 32ha, gerou melhorias climáticas na sensação térmica dos pontos de seu entorno, sendo o comportamento desta explicado pela direção e velocidade do ventos, bem como pela implantação e traçado urbano do residencial.

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, o movimento migratório motivado pela ocupação da Amazônia, promoveu grandes alterações da configuração do espaço urbano em Cuiabá/MT. Dentre as consequências negativas desse processo de crescimento acelerado e desordenado está a alteração significativa do microclima urbano devido à impermeabilização excessiva do solo e o aumento de superfícies refletoras das edificações, o que contribui para a maior transmissão da radiação solar, menor dissipação do calor e, consequentemente, para o aquecimento das áreas urbanas mais densas.

Embora as relações entre o microclima, vegetação e pavimentação urbana já tenham sido evidenciadas por diversos estudos (SHINZATO, 2009; VALERIO, 2010; MARTINI, BIONDI e BATISTA, 2010; VIANA e AMORIM, 2010; VASCONCELOS e ZAMPARONI, 2011; PAZ, 2011; FRANCO et al., 2012; PAULA, 2014), poucas iniciativas práticas podem ser observadas, na perspectiva da aplicação ao planejamento urbano, com o intuito de se minimizar o desconforto térmico das áreas externas e internas.

Em se tratando de cidades de clima quente, como é o caso de Cuiabá/MT, o agravamento das condições ambientais urbanas afeta a qualidade de vida e de trabalho da população, e elevam o consumo de energia com a climatização, quando, na tentativa de obtenção de adequado ambiente térmico, seus usuários fazem uso de condicionamento térmico artificial. Destaca-se, ainda, que em projetos de áreas destinadas a Habitação de Interesse Social, de modo geral, é comum que toda a vegetação existente seja retirada, o que contribui para o agravamento das condições termohigrométricas do local. Como estas

habitações são destinadas às famílias com renda mensal de até três salários mínimos, os excedentes de consumo de energia gerados por estas condições edificações não são passíveis de serem arcadas por elas. É importante ressaltar que as soluções comumente adotadas para o conforto das edificações geram consumo de energia, como o uso de ar-condicionado, ventilador e chuveiro elétrico, evidenciando a necessidade de melhoria no planejamento urbano para o conforto ambiental destinado à população descrita, em cidades de clima tropical.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste artigo é analisar os efeitos da vegetação no microclima urbano e na sensação térmica em áreas externas. Entre os objetivos específicos, estão: (a) descrever o comportamento da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa do ar e da temperatura superficial do pavimento asfáltico e (b) estabelecer relações entre o ambiente construído, os parâmetros climáticos e a sensação térmica.

3 MÉTODO

Este estudo foi desenvolvido em um conjunto habitacional destinado à Habitação de Interesse Social (HIS), na região sul da cidade de Cuiabá-MT (Figura 1), localizada a 15°41'12"S e 56°1'40"W e com altitude compreendida entre 193 e 201 m. Este conjunto tem a característica de apresentar ainda em seu entorno vegetação do tipo cerrado.

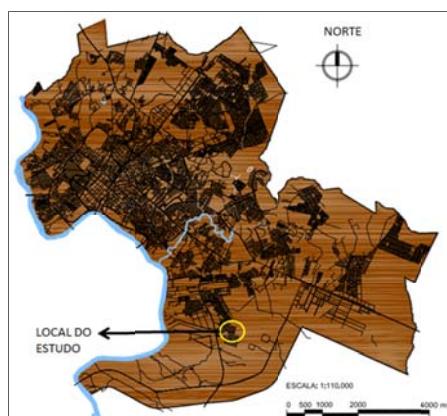


Fig. 1 – Localização da área de estudo no perímetro urbano de Cuiabá/MT

O diagnóstico das condições do microclima foi realizado por meio de medições das variáveis ambientais utilizando-se de transecto móvel. A área de estudo possui dimensões aproximadas de 706x457m e traçado regular de vias (Figura 2). Foram definidos 16 pontos de análise escolhidos a partir de suas distâncias em relação às áreas vegetadas, distanciados entre si de 135 a 225 metros, totalizando um percurso de transecto móvel de 3 km (Figura 3). O transecto foi definido de forma a avaliar pontos mais próximos das áreas verdes perimetéricas e no interior do conjunto habitacional.

Foram selecionados para análise os dias 10 a 12/02/2015, com transectos às 9, 15 e 21h (horário de verão), conforme recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). A velocidade desenvolvida no percurso foi de 20 a 30 km/h, com tempo de medição em cada ponto de 2 minutos, de modo que o tempo total foi de 50 minutos.

Os equipamentos utilizados para a coleta de dados foram um registrador automático, modelo HOBO U12-13, com sensores internos de temperatura e umidade relativa, protegido da radiação solar direta por abrigo e, um sensor de temperatura TMC20HD acoplado ao canal externo do HOBO, inserido no centro de uma esfera plástica de cor cinza escuro, devidamente vedada, para registro da temperatura de globo. O registro dos dados foi programado a cada 5 segundos e desconsiderou-se o primeiro resultado de cada ponto para a estabilização dos sensores. Os equipamentos foram fixados no automóvel a uma altura de 1,70 m.



Fig. 2 Pontos de medição do transecto
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2015.

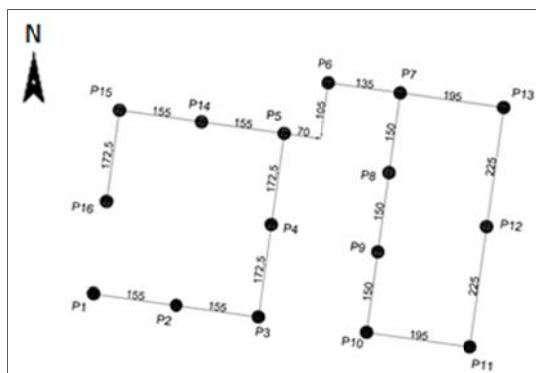


Fig. 3 Distância entre os pontos de medição

Para a medição da temperatura das superfícies (asfalto) foi utilizada uma câmera termográfica de marca FLIR E6 e para a medição da intensidade do vento foi utilizado um anemômetro digital a altura de 2 metros, com a hélice do aparelho posicionada perpendicularmente ao vento incidente. A direção predominante dos ventos foi tomada para cada horário de medição conforme dados do INMET.

O PET foi calculado por meio do software RayMan 1.2 (Matzarakis e Mayer, 1996). Os dados de entrada foram temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura radiante média, coordenadas geográficas, altitude, fuso horário e dados do indivíduo, para os quais foram considerados peso de 75kg, altura de 1,75m, idade de 35 anos, sexo masculino, taxa metabólica de 80 W e resistência térmica das roupas de 0,9clo.

Para o cálculo da temperatura radiante média, utilizou-se a Equação 1, considerando convecção forçada, proposta pela ISO 7726 (1998), onde Trm é a temperatura radiante

média ($^{\circ}\text{C}$), Tg é a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), Var é a velocidade do ar (m/s), ϵg é a emissividade do globo (adimensional), D é o diâmetro do globo (m) e Tbs é a temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$).

$$\text{Trm} = \left((\text{Tg} + 273,15)^4 + \left(\frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot \text{Var}^{0,6}}{\epsilon\text{g} \cdot D^{0,4}} \right) \cdot (\text{Tg} - \text{Tbs}) \right)^{\frac{1}{4}} - 273,15 \quad (1)$$

Para avaliação da sensação térmica optou-se pelo índice PET (Physiological Equivalent Temperature) proposto por Höppe (1999), com as faixas de conforto de Monteiro e Alucci (2007) como referência, que fizeram a calibração do PET para a cidade de São Paulo, variando-se a faixa da sensação térmica para climas tropicais (Tabela 1).

Para o mapeamento da sensação térmica, utilizou-se o software Surfer® 12, no qual foi realizada interpolação pelo método de Krigagem para estabelecimento de linhas isotérmicas. Os dados de entrada foram as coordenadas geográficas (UTM) e a sensação térmica (PET) de cada ponto, na área demarcada na Figura 4. A análise da distribuição espacial do PET foi feita considerando-se os mapas horários das 9, 15 e 21h, dos dias 10 e 12/02/2015, escolhidos por apresentarem condições meteorológicas de céu aberto.

Tabela 1 – Intervalos de sensação térmica PET

| Sensação Térmica | PET ($^{\circ}\text{C}$) Monteiro (1998) | PET ($^{\circ}\text{C}$) Matzarakis e Mayer (1996) |
|-----------------------|---|---|
| Muito calor: acima de | 43 | 41 |
| Calor | 31 - 43 | 35 - 41 |
| Pouco calor | 26 - 31 | 23 - 35 |
| Neutra | 18 - 26 | 18 - 23 |
| Pouco frio | 12 - 18 | 8 - 18 |
| Frio | 4 - 12 | 4 - 8 |
| Muito frio | ≤ 4 | ≤ 4 |



Fig. 4 Delimitação da área que contem os pontos do transecto para elaboração dos mapas da sensação térmica

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Vegetação no local

Tal qual a prática vigente dos demais empreendimentos do setor, toda a vegetação nativa foi retirada da área, restando apenas a vegetação circundante, que apresenta alguns

contrastos, ora como mata fechada, como nos Pontos 1, 2 e 4, ora mais dispersa, como nos Pontos 8, 9, 10, 11 e 12 (Figura 5).



Fig. 5 Fotos panorâmicas dos pontos de medição

Apesar dos contrastes encontrados, pode-se enquadrar a vegetação perimétrica e central existente como típica do cerrado, com seus galhos retorcidos e casca grossa.

4.2. Resultados das medições

O comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar em cada ponto de cada medição está representado nas Figuras 6 e 7.

Às 09h, a temperatura máxima ocorreu em P11, de 29,8°C e a mínima, em P5, de 28,9°C, com variação de 0,9°C. Às 15h, a variação entre o ponto de mínima ($P1=33,33^{\circ}C$) e o ponto de máxima ($P16=35,1^{\circ}C$) foi de 1,8°C. Às 21h, a variação foi de 0,9°C, com mínimas de 26,5°C, em P15 e P16 e de máximas de P1 a P9, no valor de 27,3°C.

Com relação à umidade relativa, às 9h, P3 obteve máxima de 71,9% e o P12 obteve mínima de 67,5%, sendo registrada a variação de 4,4%. Às 15h, foi registrada temperatura máxima em P16 com 55,2% e a mínima em P15 e P16 com 48,8%, representando variação de 6,4% entre eles. Às 21h, a umidade relativa máxima ocorreu em P16 com 83,9% e a mínima em P10 com 79,5%, sendo a variação de 4,4%.

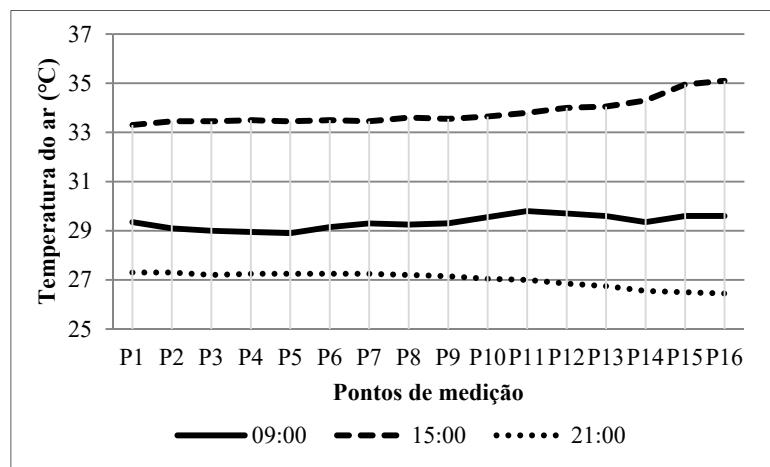


Fig. 6 Valores médios da temperatura do ar nos pontos de medição, às 9, 15 e 21h

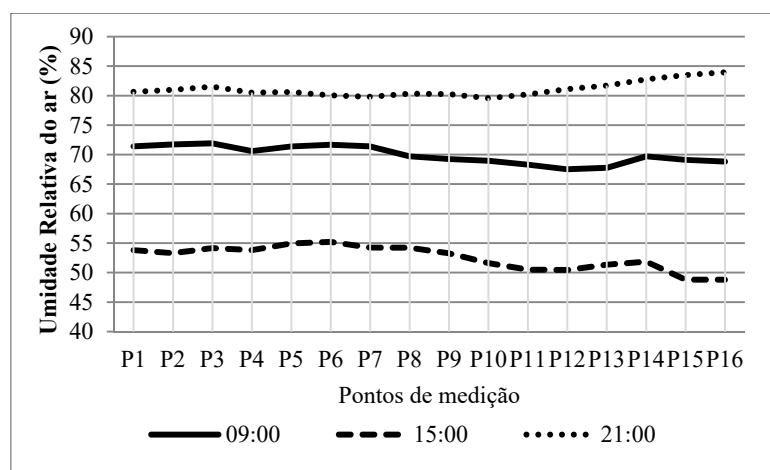


Fig. 7 Valores médios da umidade relativa do ar nos pontos de medição, às 9, 15 e 21h

Registrhou-se a velocidade média dos ventos em cada ponto de medição. Às 9h, registrou-se velocidade do vento máxima em P4 de 2,6 m/s e mínima em P6 de 1,5 m/s. Às 15h, a máxima foi em P7 com 3,1 m/s e mínima em P6 de 1,6 m/s e às 21h, a máxima foi em P10 com 0,9m/s e mínima em P3, P4, P6, P7, P8 e P14 com zero (Figura 8). Nas medições do período diurno os ventos se situaram entre as direções N e W-NW. Na medição noturna, os ventos se firmaram na direção E-SE.

Com relação à média horária da temperatura superficial, às 9h, obteve-se a máxima em P15 e P16 de 40°C e mínima em P1 de 34°C, com variação de 5,2°C. Às 15h, a máxima foi em P14 com 52,7°C e mínima em P2 com 40,3°C, com variação de 12,4°C. Às 21h, as médias foram de máxima em P12 e P13 com 36,2°C e mínima em P9 de 32,3°C, com variação de 3,9°C (Figura 9).

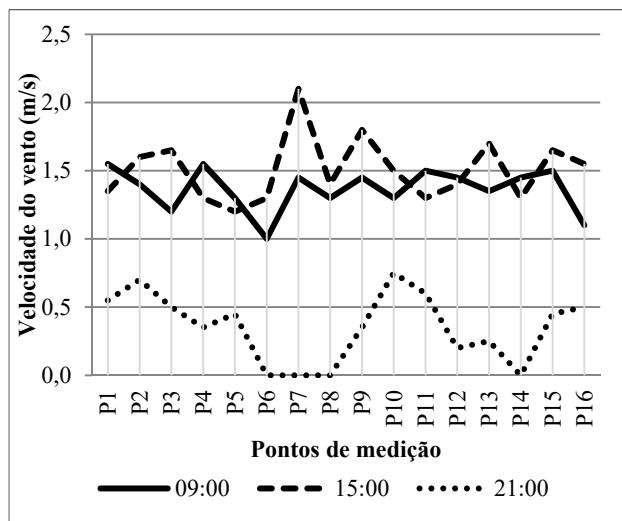


Fig. 8 Valores médios da velocidade do vento nos pontos de medição, às 9, 15 e 21h

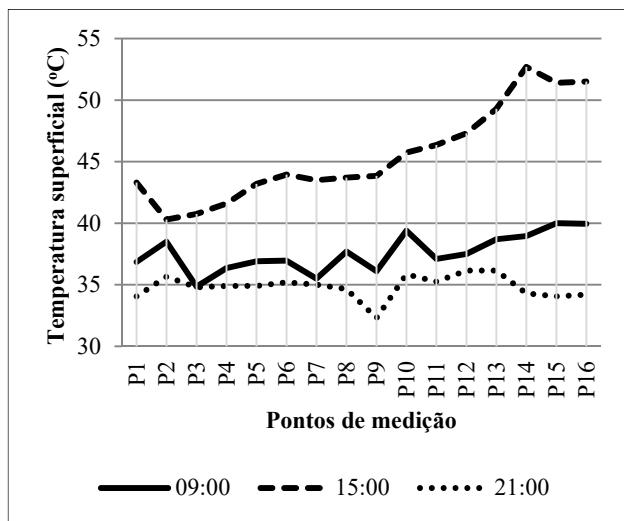


Fig. 9 Valores médios da temperatura superficial nos pontos de medição, às 9, 15 e 21h

A sensação térmica (PET), assim como a temperatura do ar e da superfície, apresentou menores indicadores nos pontos próximos à vegetação, mostrando mais uma vez a sua

importância na amenização do clima local. A sensação térmica variou de “muito calor” a “calor”, destacando-se na Figura 10 que:

- a) de P12 a P16, a sensação térmica noturna não se ameniza, justificada pelo fato de que, neste horário, a direção do vento é E-SE, estando os mesmos a jusante das residências, evidenciando que o vento neles incide incorporando os efeitos do aquecimento devido à massa térmica edificada;
- b) nos Pontos P3 e P4, a sensação térmica noturna no dia 10/02/2015, é amenizada para “pouco calor”, evidenciando que, mesmo estando estes pontos à jusante da massa edificada, são os pontos com localização mais centralizada em relação á área verde central.

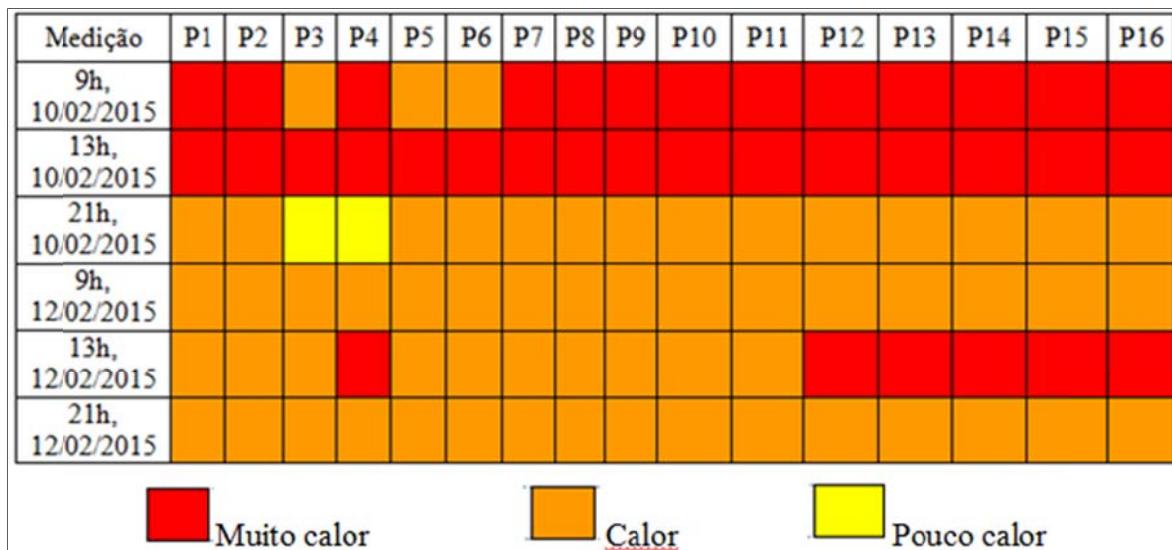


Fig. 10 Índice PET (°C) e sensação térmica em cada ponto de cada medição, conforme Monteiro e Alucci (2007)

A análise da distribuição espacial do PET foi feita considerando-se os mapas horários das 9, 15 e 21h, dos dias 10 e 12/02/2015, escolhidos por apresentarem condições meteorológicas com céu aberto.

Às 9h, na Figura 11, os pontos que obtiveram os maiores índices para o PET foram P8, P9, P11 e P12, com máxima de 45°C, no ponto P9 (Figura 16). O vento úmido vindo do norte pouco contribuiu com a sensação térmica, visto que a umidade é barrada pelas residências, dispostas perpendicularmente a esta direção. Os pontos P2, P3, P5 e P6 obtiveram os menores índices, com mínima de 43°C, em P6. Esses pontos receberam diretamente os ventos úmidos da vegetação, ajudando a reduzir as temperaturas, muito embora a sensação térmica obtida tenha sido de “calor”, segundo Monteiro e Alucci (2007).

No mapa da Figura 12, os índices de maior desconforto térmico foram registrados nos pontos P16 e P15, com PET de 42°C, respectivamente. Os menores registros foram em P4 e P5, com 39 e 38°C, respectivamente. Esses valores correspondem à sensação térmica de “calor”, segundo Monteiro e Alucci (2007).

Não se pode deixar de registrar que a elevação da temperatura dos pontos finais do transecto (P14, P15 e P16) também se justifica devido ao tempo decorrido da medição

destes em relação aos pontos iniciais. No entanto, ao analisarem-se comparativamente os dois mapas, é possível evidenciar que, de forma comum a ambos, os menores valores de PET ocorrem nos pontos inseridos na área verde central e nos pontos perimétricos de medição mais próximos da área verde e à jusante da mesma. Verificou-se, também, que a presença de área edificada à montante da direção dos ventos, alterou a distribuição espacial do PET, arrastando as temperaturas maiores para os pontos P14, P15 e P16.

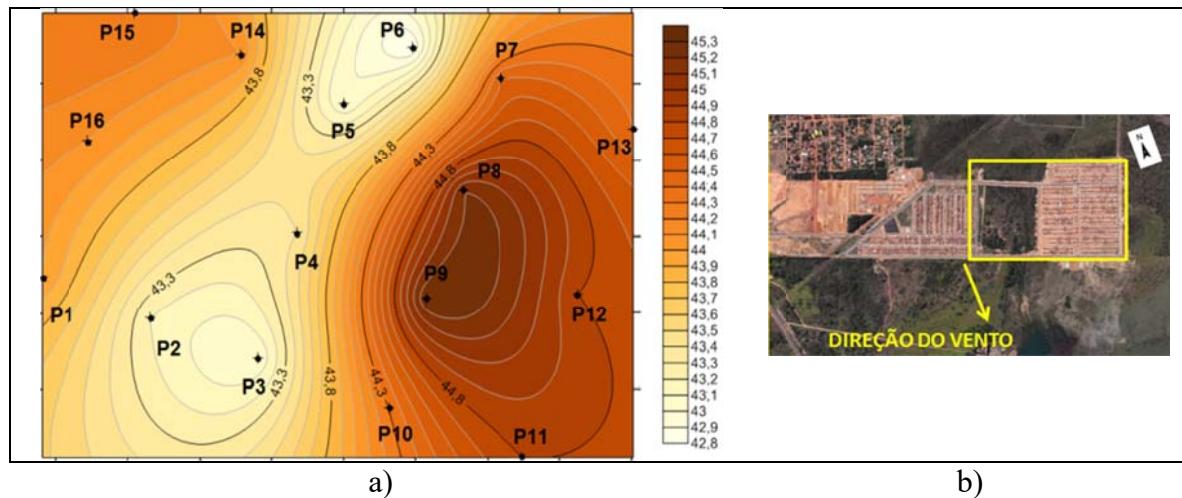


Fig. 11 a) Isotermas PET (°C) e b) direção do vento no dia 10/02/2015, às 9h

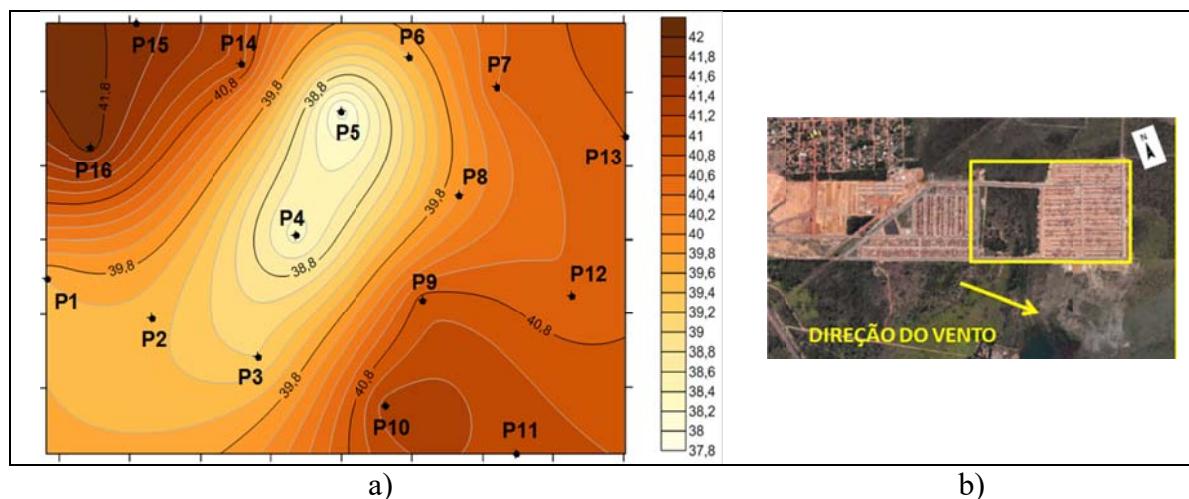


Fig. 12 Isotermas PET (°C) e direção do vento no dia 12/02/2015, às 9h

Às 13h, o ponto de maior desconforto foi P16 com PET igual 51°C. O vento W-NW leva pouca umidade para esse ponto, uma vez que há solo nu a montante do mesmo e área edificada. Além disso, há o efeito da elevação da temperatura ao longo do transepto. Os pontos P5 e P4, por sua vez, tiveram os menores índices com mínima de 43°C. Ocorreu aqui, mais uma vez, a coincidência dos menores índices PET com a localização das áreas verdes ou com áreas a jusante das mesmas, indicando que os ventos úmidos ajudaram na redução da sensação térmica (Figura 13).

No mapa da Figura 14, os pontos P15 e P16 apresentaram os maiores índices PET, com 46,8°C e 46,9°C, respectivamente. Os pontos P2 e P5, por receberem ventos úmidos vindo

do norte, apresentaram menores sensações térmicas com 42,4°C e 42,5°C, respectivamente.

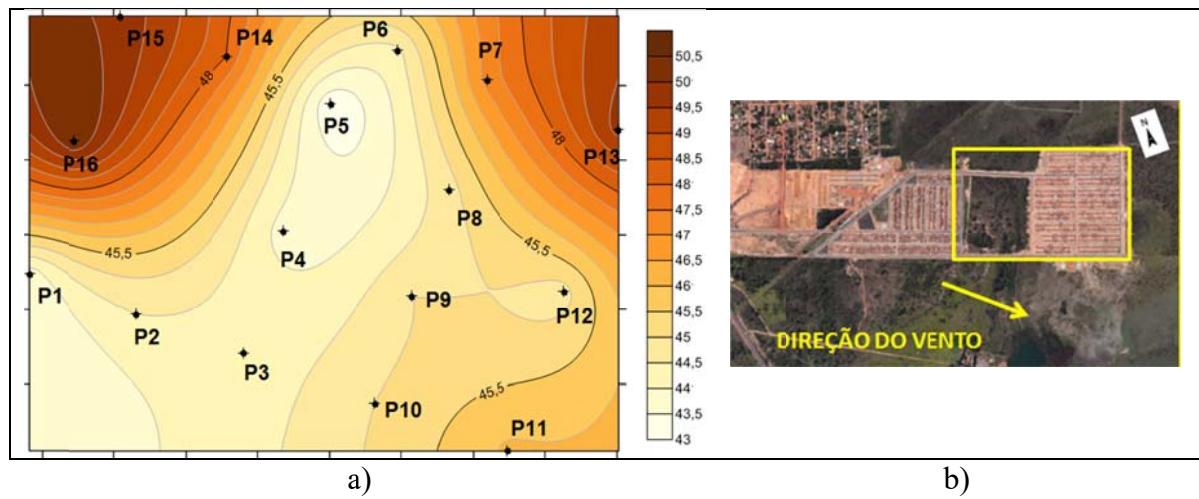


Fig. 13 Isotermas PET (°C) e direção do vento no dia 10/02/2015, às 13h

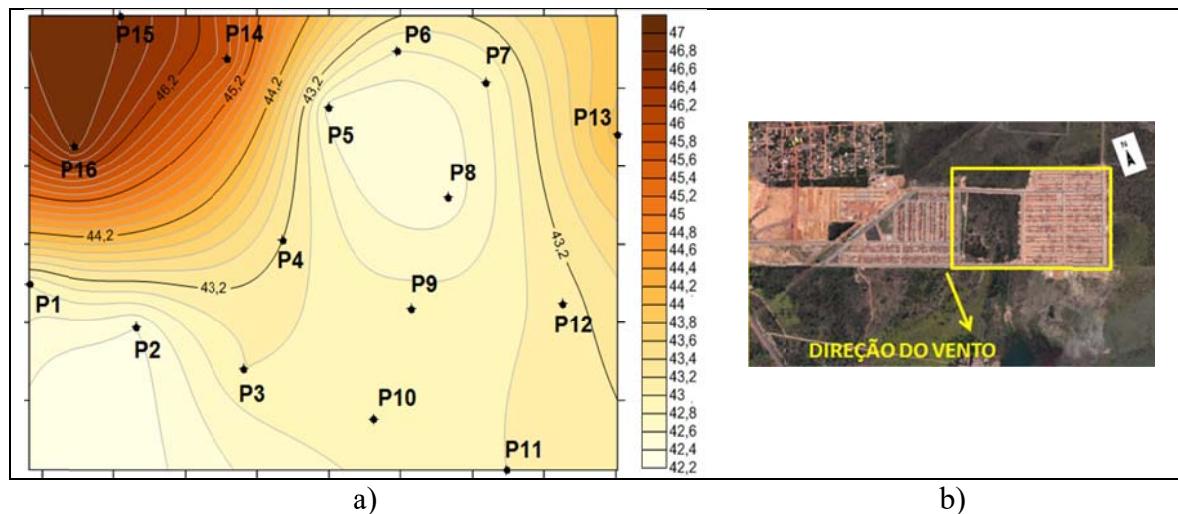


Fig. 14 Isotermas PET (°C) e direção do vento no dia 12/02/2015, às 13h

Às 21h, a maior sensação térmica ocorreu nos pontos P10 e P11 com 35°C. Apesar de esses pontos estarem recebendo os ventos do E-SE, essa consideração pode ser desprezada, visto que a intensidade dos ventos é quase nula em todos os pontos. Os pontos de menor sensação térmica foram os próximos de áreas verdes como P3, P4, P6 e P7, sendo a mínima de 31°C, em P3 (Figura 15).

No mapa da Figura 16, em P13 e P12 há as maiores temperaturas do asfalto com 38°C e 37°C, respectivamente. As menores temperaturas superficiais ocorreram em P9 e P1, com 32°C e 34°C, respectivamente. Os pontos P15 e P16 não recebem ventos úmidos vindos do E-SE, devido às casas que bloqueiam a propagação do vento. Esses pontos apresentam os maiores índices PET, com máxima de 37°C em P16. Os pontos P6, P7, P8, P9 e P12 apresentam os menores índices, de 33°C em P12, o qual recebe diretamente os ventos úmidos da vegetação adjacente.

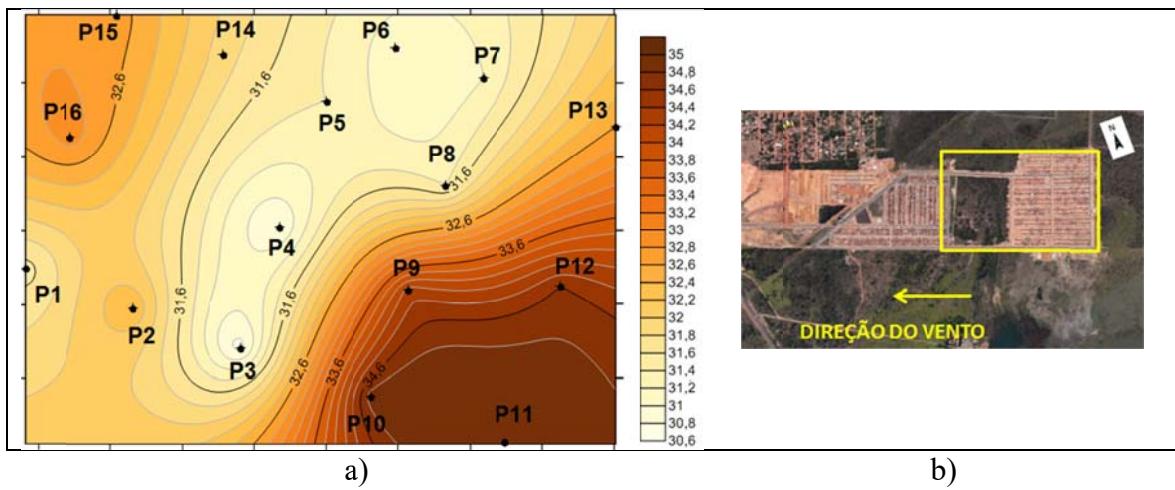


Fig. 15 Isotermas PET (°C) e direção do vento no dia 10/02/2015, às 21h

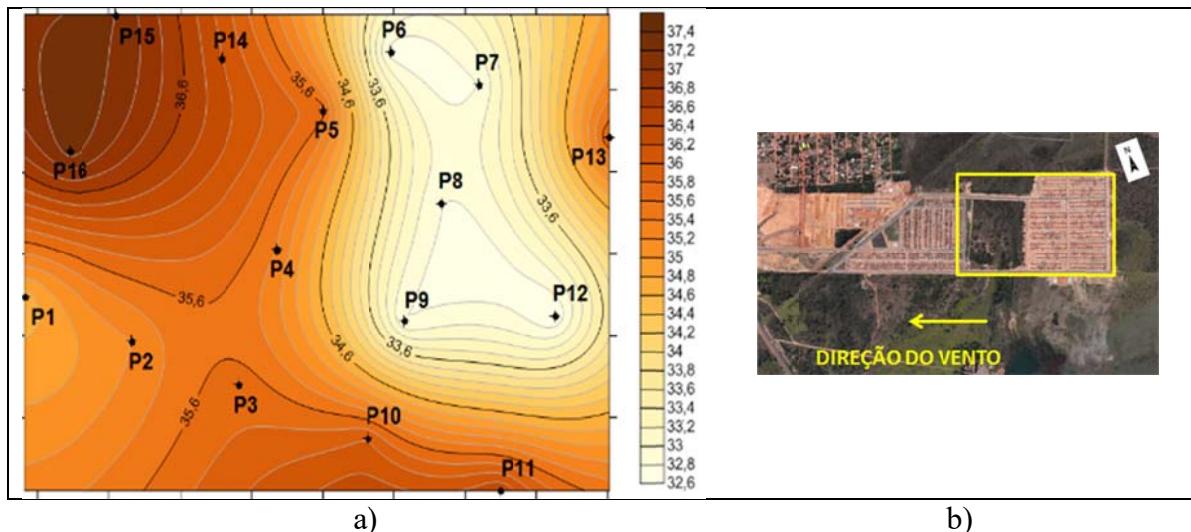


Fig. 16 Isotermas PET (°C) e direção do vento no dia 10/02/2015, às 21h

5. CONCLUSÕES

De uma forma geral, os pontos à jusante dos ventos, provenientes da vegetação, apresentaram maior umidade relativa do ar e menor temperatura do ar. Os pontos P4 e P16, por exemplo, mostraram exatamente esse quadro. Nas medições diurnas, o ponto P16 se apresentou mais quente e com menor umidade. Às 21h, porém, com a mudança da direção dos ventos, o ponto P16 ficou à jusante dos ventos e apresentou menores temperaturas e maiores umidades, quando comparado ao P4.

A temperatura superficial do solo apresentou uma tendência parecida com a temperatura do ar. As maiores temperaturas foram registradas às 15 horas e, as menores, às 21 horas. Houve aumento da temperatura no decorrer dos transectos diurnos e diminuição no período noturno. Apesar disso, a amplitude térmica da temperatura superficial foi maior do que a temperatura do ar. Isso se deve à propriedade térmica do asfalto, que possui elevado calor específico, enquanto o ar possui baixo calor específico. A temperatura superficial apresentou menores temperaturas nos pontos próximos à vegetação.

As amplitudes médias dos pontos de máximo e mínimo dos dois dias de análise foram 1,4°C para temperatura do ar, 5,8% para umidade relativa do ar, 8,2°C para temperatura superficial e 4,6°C para a sensação térmica.

A sensação térmica (PET), assim como a temperatura do ar e da superfície, apresentou menores indicadores nos pontos próximos à vegetação, mostrando mais uma vez a importância da mesma na amenização do clima local e, evidenciando que a vegetação desempenhou importante papel amenizador no conforto térmico de seu entorno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PAULA, C. C. M. (2013) **Pavimento Poroso e Vegetação: Estratégias para Melhoria do Conforto Térmico em Áreas Urbanas**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso.
- SHINZATO, P. (2009) **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- VASCONCELOS, L. C. S.; ZAMPARONI, C. A. G. P. (2011) Os efeitos da urbanização no microclima no Bairro Morada da Serra, Cuiabá-MT. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, 23, 573-599.
- VALÉRIO, M. M. T. B. (2010) **Critérios de sustentabilidade da ocupação urbana: caso de estudo na cidade de Aveiro**, Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade de Coimbra.
- PAZ, L. H. F. (2011) **A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas – TO**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura e Urbanismo.
- VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. C. T. (2010) Características da temperatura noturna a partir de transectos móveis em Teodoro Sampaio/SP, **Revista Formação**, 17(2), 103-118.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. (2014) O porte das árvores e o efeito microclimático - uma contribuição ao planejamento da arborização de ruas, **Proceedings 5th Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Instituto Brasileiro de Educação Ambiental e Saneamento, Belo Horizonte, 24-27 November 2014.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. (2007) Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: Proposição de calibração de modelos preditivos, **Proceedings 9th Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 8-1 August 2007.
- FRANCO, F. M.; NOGUEIRA, M. C. A.; MUSIS, C. R.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. (2012) Atributos bioclimáticos urbanos uma análise sobre o ponto de vista qualitativo, **Revista Monografias Ambientais**, 10, 2270 – 2277.