



CLIMA URBANO E ESTABELECIMENTOS DE DIRETRIZES PARA CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO

E. MASIERO¹
L., C., L. SOUZA²

RESUMO: O estudo busca estabelecer diretrizes de cenários de ocupação do solo de acordo com os efeitos provocados pelo clima urbano. A principal hipótese se origina da conjunção entre a atuação de massas de ar e da radiação solar combinadas com as características naturais da região e do ambiente construído. O método está baseado na caracterização ambiental, na detecção de fenômenos físicos que influenciam o clima urbano, na coleta de dados microclimáticos, na análise meso climática, no mapeamento das informações e na formulação de diretrizes para a ocupação urbana de uma área em processo de consolidação na cidade de São José do Rio Preto, SP. As informações microclimáticas e ambientais foram mapeadas com o uso de geoestatística em recortes urbanos. Os resultados indicam que a ação dos ventos sobre as superfícies expostas de água tem elevado potencial para influenciar um entorno imediato de aproximadamente 1.000m, dependendo da topografia, da densidade do ambiente construído, das condições atmosféricas e da vegetação. A dificuldade de penetração das massas de ar umidificadas em um denso e impermeabilizado ambiente construído sugere que o espaço urbano deva favorecer a ação passiva do resfriamento evaporativo, reduzindo a amplitude térmica e aumentando a umidade do ar. Desta forma, foram estabelecidas diretrizes de ocupação considerando a reorganização da vegetação, o represamento de corpos d'água, o posicionamento dos cânions urbanos de acordo com os ventos predominantes e a determinação do fator de visão do céu mais adequado para proporcionar sombreamento nas áreas abertas.

Palavras-chave – Clima urbano, diretrizes de ocupação, umidade do ar.

ABSTRACT: The study seeks to establish guidelines of land use scenarios according to the effects caused by the urban climate. The main hypothesis arises from the conjunction between the air masses and solar radiation combined with the natural characteristics of the region and the built environment. The method is based on the environmental characterization, the detection of physical phenomena that may influence the urban climate, the collection of microclimatic data, the climate meso analysis, the mapping of information and the formulation of guidelines for the urban occupation of an area in the process of consolidation in São José do Rio Preto city, SP. The microclimatic and environmental information were mapped with the use of geostatistics in urban cuts. The results indicate that the action of the winds on exposed water surfaces has a high potential to influence an immediate environment of approximately 1,000m, depending on the topography, the density of the built environment, the atmospheric conditions and the vegetation. The difficulty of penetrating the humidified air masses in a dense and waterproofed built environment suggests that the urban space should favor the passive action of evaporative cooling, reducing the thermal amplitude and increasing the humidity of the air. In this way, occupancy guidelines were established considering the reorganization of vegetation, damming of water bodies, positioning of urban canyons according to prevailing winds and determination of the most suitable sky vision factor to provide shading in open areas

Keywords: Urban climate, occupancy guidelines, air humidity

¹ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – Email: erico@ufscar.br

² Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – Email: leacrist@ufscar.br

INTRODUÇÃO

Os fatores climáticos associados aos princípios das trocas de calor raramente são considerados nas propostas de intervenções espaciais urbanas. As várias configurações construtivas que se formam como resultado da legislação urbana, ou mesmo das que ocorrem espontaneamente, muitas vezes, depreciam os efeitos oferecidos pela permeabilidade ao vento e da distribuição da umidade do ar e não asseguram ambientes termicamente confortáveis para os habitantes. O relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) apontou para a falta de informações de escala local sobre mudanças climáticas. De acordo com Mills et. Al. (2010), a falta de informação sobre o clima urbano é em grande parte decorrente da lacuna de integração entre pesquisadores e planejadores. Lambert-Habib, et. Al. (2013) alertaram para a necessidade de climatologistas e planejadores em abordar problemas relacionados ao super aquecimento de ambientes urbanos. Eles também relatam que as iniciativas para integrar o conhecimento das ilhas de calor urbano e do planejamento urbano nas cidades francesas ainda são incipientes, embora mais de 35 mil mortes na Europa tenham ocorrido com os efeitos fisiológicos sentidos na onda de calor no ano de 2003.

Ng (2009) destaca que, em 2005, um guia técnico foi desenvolvido na cidade de Hong Kong para fornecer informações sobre o clima urbano e facilitar a implementação de medidas de mitigação no combate aos efeitos negativos sobre o microclima causados pela ocupação urbana. Até agora, os diagnósticos climáticos indicaram para uma ventilação natural deficiente em áreas urbanas compactas e fortemente densificadas. Várias propostas foram debatidas entre a administração pública, a população e os especialistas, sendo que diversas diretrizes para a ocupação do espaço físico foram elaboradas no contexto físico, político e social. Entre as medidas adotadas no espaço urbano estão os caminhos de ar, batizados de Breezeways, que teriam a função de ventilar o meio ambiente no nível dos pedestres, permitindo a dispersão de poluentes e a obtenção de níveis térmicos mais adequados para a população. (NG, et. al., 2012). De acordo com a classificação de quatro elementos, como a área da superfície da água, a geometria, a localização do centro da cidade e a proporção do meio construído, a Sun & Chen (2012) investigaram a intensidade e eficiência do resfriamento urbano causado por 197 corpos de água em Pequim, China. Os resultados indicaram impactos significativos no microclima nas proximidades de cada corpo de água e advertiram para a necessidade dos planejadores considerarem questões

relacionadas ao potencial de resfriamento em cidades de pujante urbanização. Com base no papel importante que as represas em ambientes urbanos podem desempenhar em muitas cidades brasileiras e na lacuna existente em relação às recomendações do planejamento climático energético nessas áreas, essa pesquisa busca estudar as relações entre o movimento horizontal das massas de ar através do tecido urbano. Portanto, considerando as possibilidades de se aproveitar do potencial de resfriamento dos corpos d'água e sombreamento dos edifícios. Assim, o objetivo é fornecer diretrizes para uma ocupação mais atenta e evitar os possíveis efeitos nocivos do clima urbano sobre os habitantes.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste no estabelecimento de diretrizes de cenários de ocupação do solo em uma área periférica na cidade de São José do Rio Preto, SP de acordo com os efeitos provocados pelo clima urbano.

MÉTODO

O método aplicado foi dividido em três etapas principais. A primeira etapa foi dedicada a compreender os problemas climáticos meso e regional, selecionar os cortes urbanos mais representativos que poderiam representar o principal comportamento microclimático típico das estruturas urbanas, a determinação dos procedimentos de coleta de dados e a compreensão da regulação urbana e do processo dinâmico de ocupação de novas áreas na periferia da cidade. O segundo estágio consiste no desenvolvimento de um mapeamento climático de acordo com a temperatura do ar e a variação da umidade, formulando de diretrizes de ocupação do solo em áreas em processo de consolidação e crescimento. Após as campanhas de levantamento de dados em campo e a detecção do comportamento microclimático das áreas já consolidadas, foram desenvolvidos cenários de uso e ocupação do solo, a fim de se propor alternativas de desenvolvimento do ambiente construído de novas áreas na periferia urbana, o qual complementa o estágio 3 (Figura 1).

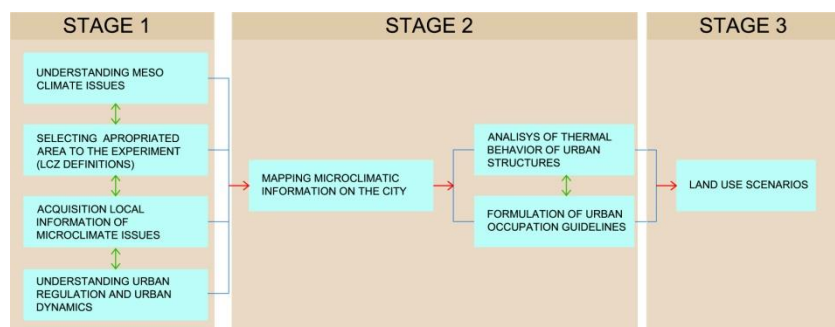


Figura 1 – Processo de coleta de informações e planejamento de cenário urbano
Fonte: elaborado pelos autores

ESTAGIO 1

São José do Rio Preto é uma cidade situada no sudeste do Brasil, no interior do Estado de São Paulo, o qual geralmente recebe influência dos distúrbios climáticos típicos da região. O Estado de São Paulo está localizado na trajetória preferida das frentes polares e do sistema de circulação de anticiclone polar de altas latitudes, bem como a circulação anticiclone do Atlântico Sul de baixas latitudes. A frequente atuação destes sistemas caracterizam a diversificação do clima regional, marcado por períodos secos e temperaturas amenas na metade do ano e períodos quentes e chuvosos a partir de setembro. Como a cidade de São José do Rio Preto está localizada em uma região continental com um clima tropical de altitude, a umidade relativa do ar freqüentemente atinge temperaturas inferiores a 20%, especialmente nos meses de inverno mais secos. A área urbana corresponde a 117,43 km² e é dividida por dois corpos d'água principais, que são o Rio Preto e o córrego dos Macacos. Ambos formam dois lagos próximos às áreas centrais da cidade, o qual é muito utilizado como área de lazer e manancial.

A porção norte da cidade, área mais afastada do centro urbano, vem crescendo rapidamente e atraindo muitos investimentos de setores privados do mercado imobiliário, no entanto, a administração pública não vem acompanhando a forte demanda de serviços públicos e infra-estrutura urbana necessárias para garantir a qualidade de vida da população daquela região periférica da cidade. As áreas selecionadas para estudos de campo foram escolhidas de acordo com suas características físicas ambientais e as diferenças entre as diversas configurações urbanas típicas da cidade, ou seja, a distância do centro da cidade e dos dois reservatórios de água, que estão entre os principais elementos que influenciam fortemente o microclima urbano (Figura 2).

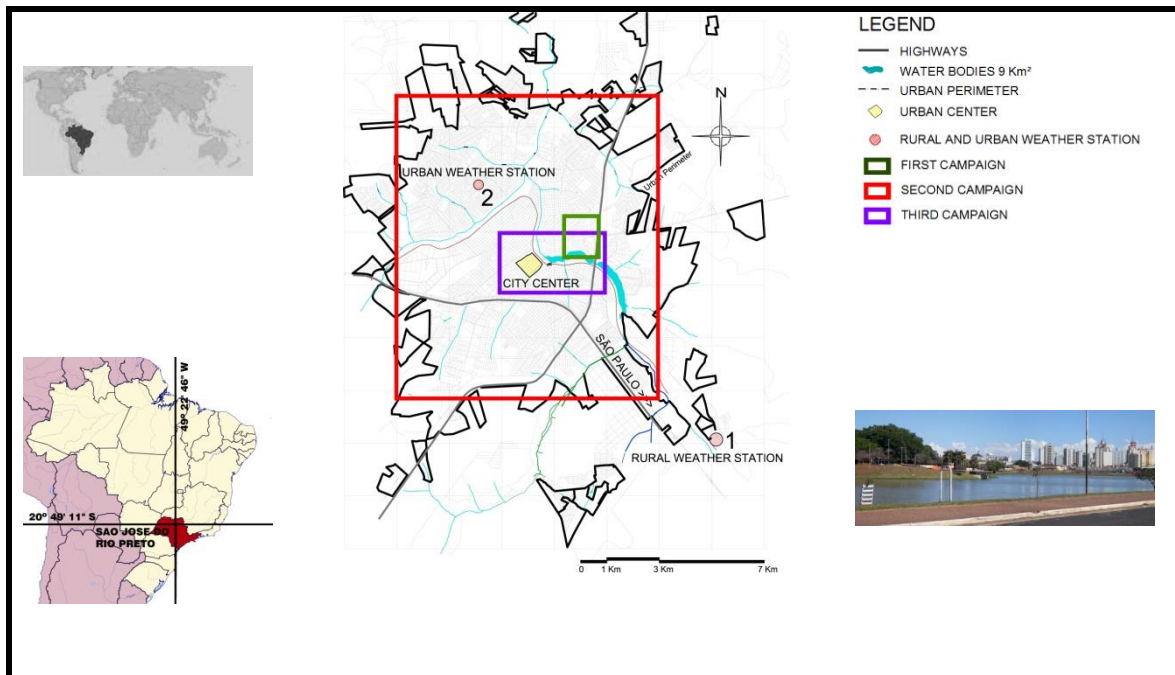


Figure 2 – Localização das campanhas de coleta de dados
Fonte: Adaptado de PMSJRP, (2010)

A primeira campanha teve como objetivo detectar como a umidade proporcionada pela evaporação da lâmina d'água dos lagos poderia influenciar em um corte urbano de 1000m x 1000m situado nas proximidades da ocupação da margem. Foram distribuídos oito sensores de temperatura e umidade em um recorte urbano, para registrar a variação térmica de acordo com o clima e o ambiente construído. A segunda campanha teve como objetivo avaliar a diferença de comportamento entre os diversos ambientes típicos da cidade para detectar como a principal barreira construída formada no centro da cidade e a topografia podem influenciar a distribuição de vento e umidade ao redor das áreas periféricas. Sete sensores de temperatura e umidade foram distribuídos no tecido urbano e duas estações meteorológicas fixas forneceram dados de referência: uma na parte norte e outra em um ambiente rural ao sul da área urbana. A terceira campanha teve como objetivo avaliar detalhadamente a variação térmica especificamente no centro da cidade, onde há edifícios mais altos, o ambiente construído é mais denso e com maiores superfícies impermeáveis. Nove sensores de temperatura e umidade recolheram informações sobre os microclimas nesta região, fornecendo as principais conclusões da terceira campanha. Todas as informações físicas sobre a estrutura urbana foram sistematizadas de acordo com os critérios da LCZs dos procedimentos de classificação de ambientes urbanas

estabelecidos por Stewart & Oke (2012) (Figura 3). Cada corte urbano avaliado recebeu uma classificação de acordo com o Fator de Visão do Céu (SVF), a relação entre Altura e Largura (H/W), a Superfície Construída, a Superfície Impermeável, a Superfície Permeável, a Altura da Rugosidade e a Rugosidade do Solo.



Figura 3 – Exemplo do conjunto de informações relativas à classificação de um ambiente urbano e o posicionamento do sensor termohigrométrico
Fonte: adaptada de Google Earth (2013) e Matzarakis, (2014)

ESTAGIO 2

A variação de temperatura e umidade nos cortes urbanos foi mapeada usando o software Surfer 11 para apresentar graficamente as diferenças entre LCZs na camada intraurbanas. Os dados coletados foram interpolados pela krigagem para estimar o valor de temperatura e umidade entre os diferentes pontos na cidade, principalmente entre a região central, próxima aos corpos d'água e à periferia, carente de infraestrutura verde.

ESTAGIO 3

Após o processo de compreensão do clima urbano, foi possível detectar o melhor desempenho térmico em muitas configurações urbanas e os fatores mais importantes que influenciam o clima urbano. Assim, as informações analisadas podem contribuir a elaborar diretrizes urbanas para ocupar uma área em consolidação na porção norte da cidade. Com base no comportamento microclimático detectado e nas características físicas dos locais estudados, foram feitas algumas sugestões para apoiar futuras intervenções urbanas nas áreas em consolidação e para planejamento do ambiente físico em São José do Rio Preto. A partir do cruzamento das informações microclimáticas e das regulamentações federais e do Plano Diretor da cidade, principalmente daquelas afeitas às regiões em consolidação na porção periférica norte da malha urbana, foram estabelecidas diversas diretrizes de intervenções espaciais que atendessem, ao mesmo tempo, tanto às condicionantes legais, quanto às climáticas ambientais. Assim, foi proposto um cenário de ocupação urbana que favorecesse a criação de novas áreas de interesse ambiental, o sombreamento para pedestres, a distribuição da umidade e da ventilação urbana, procurando reduzir a amplitude térmica e aumentar os índices de umidade urbana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira campanha de coleta de dados microclimáticos, desenvolvida em um recorte de 1000x1000m, indicou que a temperatura de um local situado a 500 metros da margem do corpo da água pode ser até 2,5°C maior dependendo da tipologia construtiva e

da direção do vento. Este fato evidencia a ação expressiva da evaporação da lâmina d'água na redução da amplitude térmica do ambiente urbano. Verificou-se também uma diferença de até $5,00 \text{ g/m}^3$ de umidade absoluta entre as áreas abertas adjacentes ao lago e aquelas mais densas, construídas e impermeáveis mais afastadas das margens. A segunda campanha, que avaliou a variação de temperatura e umidade absoluta no território urbanizado como um todo, mostrou que a ação do vento na massa de água pode influenciar em um raio de aproximadamente 1000m , dependendo das características topográficas e de ocupação. No entanto, a porção norte da cidade está situada cotas mais elevadas e não se beneficia da evaporação das superfícies de águas expostas, situadas na parte sul e central da cidade. A implantação da região central, com os maiores edifícios dispostos predominantemente na direção sudoeste-nordeste, contribui para prejudicar a distribuição da umidade e uma ventilação mais abundante na região norte. Este fato explica a diferença de até 5°C acima nas áreas suburbanas e 7g/m^3 de umidade absoluta abaixo da porção sul da cidade.

A terceira campanha, desenvolvida especificamente na região central da cidade, mostrou a influência da evaporação do corpo d'água e da ventilação urbana. À medida que o vento predominante opera de nordeste a sudoeste, a temperatura registrada foi de 32°C para a margem norte da barragem e, $29,6^\circ\text{C}$ para a margem sul. (Figura 4). No mesmo momento, a umidade absoluta registrada foi de $12,4 \text{ g/m}^3$ na margem norte e $13,6 \text{ g/m}^3$ no sul (Figura 5).

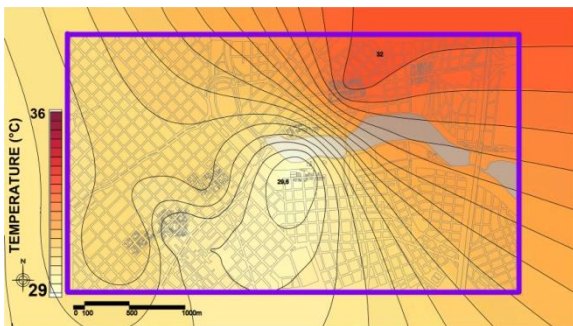


Figura 4. Variação de temperatura na área central da cidade em um dia típico

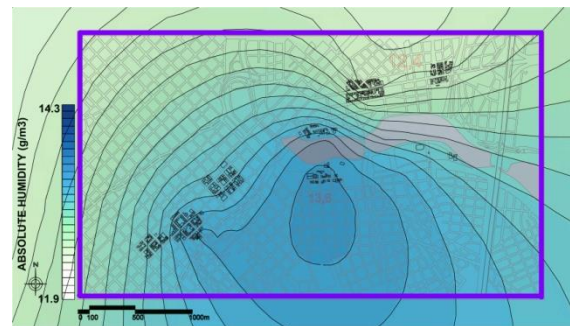


Figura 5. Variação de Umidade Absoluta na área central da cidade em um dia típico

Devido ao fato da porção norte da cidade ser a mais carente de infra-estrutura verde da cidade, as maiores amplitudes térmicas foram observadas nesta área. Algumas

recomendações técnicas para a ocupação são necessárias, considerando que a região abriga cerca de 150 mil pessoas e corresponde a 70% da área urbana. Cada proposta de estabelecimento de diretriz de ocupação para as áreas em processo de consolidação considerou três fatores principais, como a possibilidade para organização de elementos naturais, tais como criação de corpos d'água e áreas verdes, o a requalificação urbanística nas vias cujos cânions favoreçam a distribuição de umidade e de ventos no tecido urbano e a definição do fator de visão do céu mais adequado, cujo intuito é fornecer sombras para os pedestres durante o período mais quente do dia. As propostas para ajudar a ocupação das áreas em consolidação estão resumidas da seguinte forma:

- Represamento de 3 córregos urbanos e a criação de parques na parte norte do subúrbio urbano. Assim, as represas formariam um conjunto de aproximadamente 76.000m² de área de superfície de água exposta posicionada através da trajetória dos ventos de nordeste, que são predominantes.

- Estabelecimento de corredores de circulação e distribuição de ventilação e umidade entre os corpos d'água e as áreas habitadas. A criação dos corredores favoreceria a distribuição de ventilação e umidade na direção Sudeste-Noroeste e alcançaria grande parte do tecido urbano e o maior número possível de pessoas.

- Controle da morfologia construtiva com o estabelecimento de diretrizes para novas construções, indicando valores de SVF (Sky View Factor) entre 0,50 e 0,70, relação H / W entre 0,50 e 1,10, os quais apresetaram as menores amplitudes térmicas diárias durante as três campanhas de monitoramento. A forma dos edifícios também deve favorecer o posicionamento das aberturas sobre os volumes construídos, o que facilita a circulação do ar. Recomenda-se que os edifícios avancem cinco metros a partir do primeiro ou segundo pavimento sobre os recuos frontais dos terrenos, de modo que as calçadas sejam sobreadas e, assim, contribuam para a criação de ambientes mais confortáveis ao nível do pedestre durante os momentos mais quentes do dia.

Dos 117,43 km² de área urbana de São José do Rio Preto, estima-se que quase 62% do perímetro urbano seja beneficiado a partir das diretrizes e intervenções propostas nas

áreas próximas aos três córregos da zona norte e pelos corredores de distribuição de umidade, como apresentado na Figura 6. A Figura 7 representa um cenário de ocupação de acordo com as recomendações técnicas propostas.

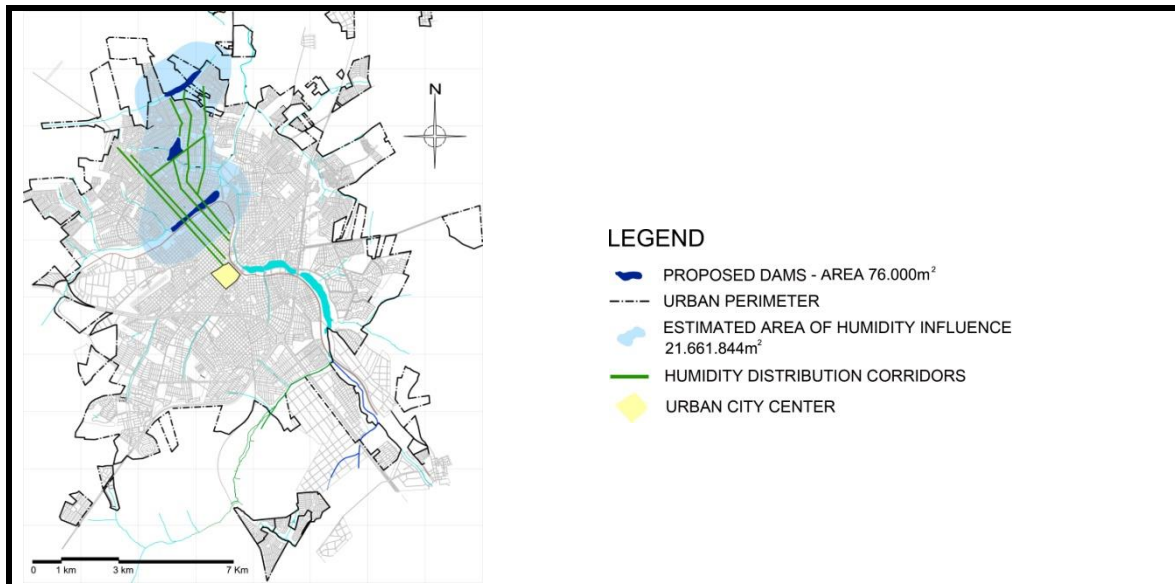


Figure 6 – Estimativa das áreas afetadas pelas intervenções propostas

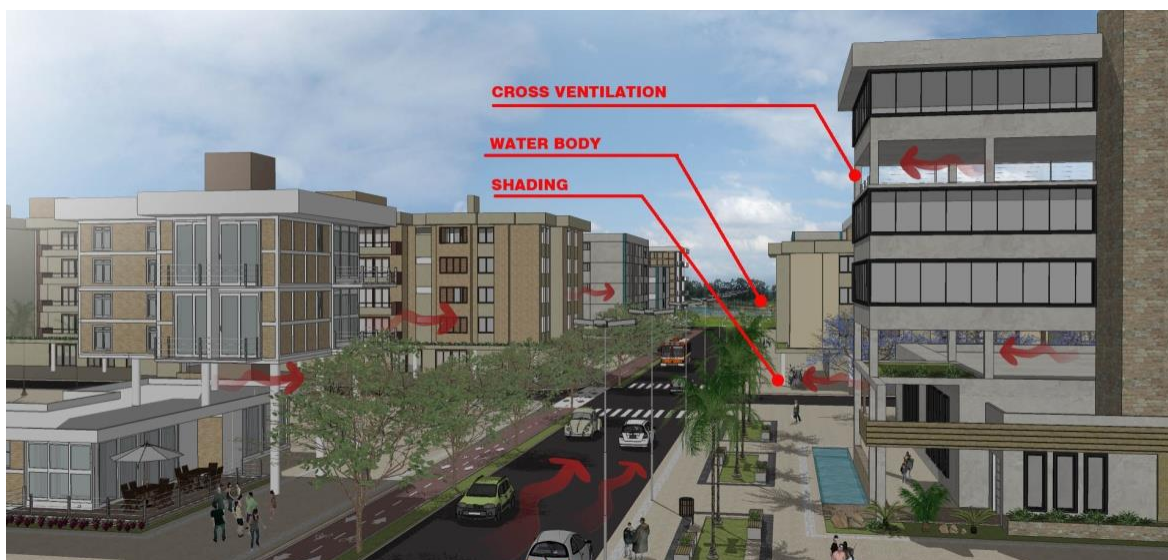


Figure 7 – Cenário após a consolidação de ocupação proposta da área

CONCLUSÕES

Entre os principais fenômenos microclimáticos detectados pelas campanhas de levantamento de dados está a dificuldade de penetração das massas de ar umedificadas em um denso e impermeabilizado ambiente construído. Assim, a configuração do espaço urbano deve favorecer a ação passiva do resfriamento evaporativo, reduzindo a amplitude térmica e aumentando a umidade do ar, principalmente em períodos secos. Os efeitos causados pela evaporação dos corpos d'água podem influenciar significativamente o clima urbano, embora os efeitos termodinâmicos nem sempre sejam avaliados em propostas de represamento de rios em áreas urbanas, na formação de parques ou na concepção de intervenções espaciais. Embora o ambiente térmico urbano seja susceptível ao clima sendo impossível controlá-lo, vários fatores podem ser gerenciados e modificados pela ação humana do ponto de vista do desenho urbano, para melhorar as condições ambientais. Nesse sentido, torna-se ainda mais necessário desenvolver o conhecimento sobre os efeitos das intervenções espaciais sobre a qualidade do ambiente térmico nas cidades, de acordo com o IPCC (2014), e especialmente na melhoria constante da legislação urbana. A alta demanda por empreendimentos imobiliários em regiões metropolitanas e cidades médias exige que os espaços urbanos estejam preparados para absorver os impactos ambientais das expansões em suas redes e a sobrecarga de infra-estrutura, de modo que as diretrizes que governam a ocupação territorial devem equilibrar a necessidade de construções com as necessidades de qualidade ambiental para espaços coletivos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer às agências brasileiras CNPq e CAPES por seu apoio em muitas fases desta pesquisa.

REFERENCIAS

GOOGLE EARTH. Version 4.3.7284.3916 (beta), 2008. EUA. Accessed on 25th January 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III Report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change" Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. Chapter 12. Available at: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter12.pdf . Acessado em 19 Novembro 2015.

Lambert-Habib, M.L., Hidalgo, J., Fedele C., Lemonsu A., Bernard C.. How is climatic adaptation taken into account by legal tools? Introduction of water and vegetation by French town planning documents. **Urban Climate**, Volume 4, July 2013, Pages 16-34.

Matzarakis, A.. Rayman 1.2. Available at: <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/intro.htm> 2009. Accessed on 15th January 2014.

Mills, G., Cleugh, H., Emmanuel, R., Endlicherd, W., Erelle, E., Mcgranahanf G., Ngg, E., Nicksonh, A., Rosenthali, J., Steemer, K.. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Proceedia Environmental Sciences** 1. Pages 228–246, 2010.

Ng, E. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. **Building and Environment**. n. 44: p.1478-1488. 2009.

Ng, E.; Chen, L.; Wang, Y.; Yuan, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**. No. 47, p. 256-271. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. PMSJRP. Secretaria de Planejamento e Gestão Estratégica Municipal: Available at: <http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais_Show?c=5050>. Accessed in 08th January 2010.

Stewart, I. D., Oke, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of American Meteorological Society**.no. 93, 2012. p. 1879–1900. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. 2012.

Sun, R., Chen, L. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? **Landscape and Urban Planning** 105, p. 27– 33. 2012.