



A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ENVI-MET NOS ESTUDOS DO PLANEJAMENTO E DO MICROCLIMA URBANO

Tatiana Camello Xavier ¹

RESUMO

O desenvolvimento do meio urbano e a reorganização espacial da cidade impactam diretamente no clima e, a simulação computacional é uma técnica que permite analisar estratégias que possam reduzir esse impacto. Esta pesquisa tem como objetivo demonstrar as possibilidades que as simulações a partir do software ENVI-met possibilitam, para testar e verificar cenários atuais e futuros da morfologia urbana e auxiliar no planejamento urbano visando minimizar as alterações climáticas. O ENVI-met, baseado nas leis de dinâmica dos fluidos e da termodinâmica, permite fazer simulações em uma abordagem de microescala para qualquer condição climática, e com isso tem sido amplamente utilizado pelo mundo todo. As pesquisas vão desde a avaliação da influência da vegetação no meio urbano ao impacto do aquecimento global em uma localidade, passando por estratégias de mitigação de ilhas de calor, morfologia urbana e conforto térmico. Foi verificado que o software é uma importante ferramenta para assessorar na construção e reconstrução do meio urbano, reduzindo as implicações no clima e repercutindo diretamente na qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Simulação computacional, Clima urbano, Planejamento urbano, ENVI-met.

ABSTRACT

The urban environment development and the spatial reorganization of the city directly impact climate, and computational simulation is a technique that allows analyzing strategies that could reduce this impact. This research aims to demonstrate the possibilities enabled by simulations using the ENVI-met software, to test and verify current and future scenarios of urban morphology and assist in urban planning, in order to minimize climate change. ENVI-met, based on the laws of fluid dynamics and thermodynamics, allows for a microscale simulations approach for any climatic condition, and as a result has been widely used all over the world. The research ranges from evaluating the influence of vegetation on urban areas to the impact of global warming on a location, accounting for mitigation strategies for heat islands, urban morphology and thermal comfort. It was found that the software is an important tool, that can be leveraged to assist on the construction and reconstruction of the urban environment, reducing climate implications and directly impacting the population's quality of life.

Keywords: Computer simulation, Urban climate, Urban planning, ENVI-met.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, professora EBTT do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, tatianacamello@yahoo.com.br.



INTRODUÇÃO

A falta de um adequado planejamento no processo de urbanização em grande parte do território brasileiro acabou ocasionando a abstenção de questões ambientais em função das questões econômicas e sociais (MONTEIRO, 2003). A lógica do capital especulador e degradante guiou a expansão das áreas urbanas, deixando marcas nos arranjos espaciais dos principais centros urbanos brasileiros (MENDONÇA, 2010).

As condições primárias do ambiente são alteradas no processo de estruturação da paisagem antrópica no lugar da paisagem natural (ALVES; BRÚSSLO; NEVES, 2020). Além disso, a qualidade de vida do ser humano tem relação direta com sua atuação no meio urbano e a repercussão da mesma. A cidade representa a maior expressão social do espaço produzido, podendo ocasionar problemas ambientais mais extensos caso sua constituição aconteça de forma desordenada, gerando desde emissão de poluentes até degradação do solo, acarretando desconforto ambiental em vários aspectos, com destaque para térmico, acústico e visual (LOMBARDO, 1985).

De acordo com Back e Oliveira (2010), alguns modelos climáticos já evidenciam que a temperatura média global sofrerá um aumento de até 4°C até 2100, o que demonstra a necessidade de ampliar os estudos e buscar estratégias visando reduzir os impactos. Estudos climáticos com focos distintos, porém com o mesmo objetivo, têm sido mais frequentes, buscando apreender os fatores que ocasionam as alterações climáticas, conforme afirmam Labaki e outros (2011).

A constituição do meio urbano no processo de urbanização ocasiona a substituição da superfície natural por edificações e revestimentos, em sua maioria impermeáveis e com propriedades térmicas e radiativas diferentes, o que acaba gerando alterações no movimento do ar na superfície por causa da modificação da rugosidade, alterações no balanço da radiação devido ao albedo e à capacidade calorífica diferentes dessas superfícies, além disso também temos as atividades humanas gerando calor e atmosferas mais turvas em consequência das partículas provenientes dos processos de combustão (MILLS *et al.*, 2010; BACK; OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Silva e outros (2015), um dos aspectos ressaltados nos estudos a respeito do clima urbano tem sido a influência das configurações urbanas na formação dos microclimas. Tendo em vista a variação climática existente no território brasileiro, a configuração urbana pode ocasionar o desconforto térmico.



A simulação computacional de recortes territoriais permite prever o comportamento climático conforme as condições de uma região, verificando índices urbanísticos que proporcionam cenários futuros com melhores condições de vida para a população. Ou seja, com baixo investimento, é possível com a simulação avaliar o cenário real e, também, os efeitos das possíveis proposições, alinhando a legislação municipal com o conforto térmico do transeunte, por exemplo.

Segundo Oke (2006), o estudo do clima urbano é desafiador visto que cada cidade tem suas particularidades, porém é imprescindível a compreensão do comportamento climático de cada localidade para que se possa fundamentar e prosperar o processo de urbanização, de planejamento e o desenvolvimento de políticas voltadas para a sustentabilidade do ambiente urbano.

Partindo desse princípio, o objetivo desta pesquisa foi demonstrar as diversas possibilidades que as simulações a partir do software ENVI-met permitem para testar e verificar cenários atuais e futuros da morfologia urbana e auxiliar no planejamento urbano visando minimizar os impactos da urbanização.

Verificando os vários estudos que empregaram o software ENVI-met observou-se um vasto alcance mundial, sendo utilizado em diversas cidades e diversas condições climáticas, demonstrando sua fácil aplicabilidade e adaptabilidade.

Com a utilização da simulação computacional, o planejamento urbano pode assumir um papel mais importante ainda no que diz respeito a permitir um desenvolvimento e um crescimento urbano atento a questões ambientais.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa o método consiste em bibliográfico, para revisão de literatura e levantamento de estudos a respeito da utilização do software ENVI-met que demonstrem quais as possibilidades de utilização e a importância do mesmo no auxílio de um planejamento e (re)planejamento urbano preocupado em minimizar os impactos no microclima urbano.



REFERENCIAL TEÓRICO

O microclima da cidade está diretamente ligado à organização territorial nela instalada. Sem um planejamento urbano voltado para questões ambientais, o resultado tende a ser adverso quando falamos do microclima e, também, do conforto térmico do indivíduo.

Silva (2013) evidencia que apesar do avanço na simulação computacional em pesquisas no ambiente construído devido ao avanço na tecnologia computacional, ainda existia uma lacuna na área de conforto urbano a fim de fornecer subsídios que viabilizem a qualidade ambiental urbana.

De acordo com Francisco (2012), as simulações computacionais possibilitam avaliar tanto a situação real como analisar cenários representativos de possíveis situações futuras, estabelecendo-se como uma ferramenta de significativo valor para o processo de planejamento e intervenções urbanas.

O software ENVI-met foi desenvolvido na Alemanha por Michael Bruse e equipe do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz. O ENVI-met é um programa de simulação que possibilita realizar a modelagem tridimensional do clima urbano de um recorte territorial pré-definido com base em processos físicos entre as edificações, o solo, a vegetação e a atmosfera, permitindo avaliar detalhadamente as variações microclimáticas (JOHANSSON, 2006).

O modelo ENVI-met baseia-se nas leis de dinâmica dos fluidos e da termodinâmica. Baseado em uma abordagem de micro-escala, o ENVI-met faz uma análise a respeito da relação entre o desenho urbano e o microclima. Esse modelo numérico foi desenvolvido com o intuito de efetuar o cálculo dos elementos essenciais relacionados à vegetação, tais como a transpiração, a evaporação e a resistência dos estômatos (BRUSE, 1998), leva em consideração a interação física e biológica da vegetação com o ambiente, considerando suas trocas térmicas e de vapor d'água (ASSIS *et al.*, 2013).

Para a camada de solo o cálculo é feito referente ao perfil vertical de temperatura e umidade a partir da superfície, abordando os processos hidrológicos e termodinâmicos relativos aos tipos de solo ou materiais de revestimento do piso, de acordo com suas propriedades (ASSIS *et al.*, 2013). Resumindo, o ENVI-met constitui-se em um modelo complexo que, por meio de condições climáticas e arquitetônicas específicas, procura investigar o comportamento de ambientes internos e externos.



O cálculo dos efeitos no microclima urbano no modelo é feito a partir das variáveis radiação, reflexão dos edifícios e de vegetação, fluxo de ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação. E inclui simulações para o fluxo de ar em volta e entre os edifícios, para o processo de troca de calor e vapor de água na superfície do piso e fachadas, para a turbulência local e sua taxa de dissipação, para parâmetros de troca de calor com a vegetação, para dispersão de partículas poluentes e, também, para parâmetros biometeorológicos como a temperatura fisiológica equivalente (Physiological Equivalent Temperature) – PET (HÖPPE, 1999).

Para a simulação no ENVI-met é necessário preparar dois arquivos. O primeiro consiste nas informações espaciais, como dimensões, revestimentos, edificação e vegetações do local a ser analisado. Por meio de uma malha quadriculada (grids) que pode variar de 0,5 a 5m as informações vão sendo inseridas. Se o programa não possuir a cidade pré-cadastrada, informações de posição geográfica também devem ser inseridas (JOHANSSON, 2006). O programa já possui uma base de dados com materiais e albedos, além de espécies vegetais (FRANCISCO, 2012). O segundo arquivo irá abranger os dados referente ao período que será simulado, incluindo informações meteorológicas (JOHANSSON, 2006).

Vários pesquisadores enfatizam a forte responsabilidade do planejamento e dos projetos urbanos no que tange o controle do clima da cidade, com consequências diretas na qualidade de vida urbana (ASSIS, 1990). Golany (1996) já destacava que a prática do desenho urbano não considerava as questões ambientais de fato. Nesta esteira, diversos autores destacaram a importância da aplicação da climatologia no planejamento das áreas urbanas ajustando modelos urbanos e arquitetônicos tradicionais (Golany, 1996; Mills, 2010). É essencial permitir que as áreas urbanas continuem crescendo, mas dispendo de novas estratégias para que isso ocorra em prol de um ambiente equilibrado para a população, ou seja, repensar os métodos de planejamento da cidade (Barata *et al.*, 2020).

A tecnologia vem trazendo várias ferramentas que podem auxiliar em um desenvolvimento urbano consciente, principalmente na avaliação sistemática de parâmetros ambientais. Nesse aspecto, estudos científicos podem dar suporte na elaboração de ferramentas que permitam que as áreas urbanas continuem crescendo porém de forma equilibrada e com responsabilidade ambiental.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A integração da climatologia urbana e o planejamento da cidade são de suma importância para um urbanismo sustentável. O planejamento urbano permite o desenvolvimento de estratégias para que o crescimento urbano continue acontecendo, porém de forma equilibrada se o mesmo incorporar premissas voltadas para mitigar os impactos negativos no microclima e que estejam conectadas à promoção do conforto térmico da população. Foi demonstrado por vários estudos que a utilização do software ENVI-met permite dimensionar o impacto de diversas configurações, contextos e revestimentos urbanos no microclima, permitindo rever e reavaliar estratégias e formas menos impactantes de se constituir as cidades em qualquer condição climática.

Silva (2013) avaliou o grau de qualidade ambiental propiciado pela configuração urbana na cidade de Brasília. Através de simulações computacionais desenvolvidas no software ENVI-met foram analisadas as melhores relações entre altura e distância entre edifícios tendo em vista espaços urbanos mais confortáveis termicamente. Foi verificado nesse estudo que os materiais de revestimento do solo tem um grande peso na constituição do conforto térmico. Achour-Younsi e Kharrat (2016) utilizaram o software para avaliação de conforto térmico comparando geometrias de cânions urbanos na Tunísia, local com clima subtropical mediterrâneo. O estudo concluiu que para aquele local ruas mais profundas são mais confortáveis termicamente e ressaltou a importância de analisar a perspectiva e a orientação da rua na construção de um ambiente confortável.

Na análise de diversas estratégias que buscam minimizar os impactos que o crescimento e o adensamento nas cidades causam sobre o clima urbano, com o auxílio de simulações no ENVI-met, Silva (2017) elaborou um índice numérico com o objetivo de definir a melhor relação entre as variáveis ambientais, a morfologia urbana e o conforto térmico na cidade de João Pessoa/PB.

Na cidade de Maringá, PR, Barbosa (2017), dentro de um contexto de diretrizes de compactação das cidades, avalia a influência da verticalização na sensação térmica urbana. Utilizando o índice de Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), o estudo verifica se o aumento do gabarito dos edifícios, respeitando o parcelamento e o uso e a ocupação do solo, interfere no conforto térmico.



Gusson (2014) verificou através de simulações computacionais com o software em questão o efeito da densidade construída sobre o microclima urbano na cidade de São Paulo. Foram testados cenários paramétricos diferentes mantendo a mesma densidade populacional, constatando que os arranjos apresentaram comportamento distintos, chegando a indicar uma diferença de até $1,4^{\circ}\text{C}$ na temperatura do ar. Através da correlação de parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados na cidade de Arapiraca, AL, Torres (2017), faz uma avaliação preditiva sobre o desempenho climático de tipos espaciais urbanos relacionando diferentes densidades construtivas e padrões morfológicos. Nesse estudo foi verificado a importância da análise de desempenho climático no processo de planejamento urbano, considerando questões como a porosidade da malha urbana e o índice de densidade arbórea.

Shinzato e Duarte (2018) investigam o impacto da vegetação nos microclimas urbanos através de simulações com o ENVI-met verificando o efeito microclimático de vegetações com diferentes características e o efeito no conforto humano. Essa pesquisa foi realizada em um parque na cidade de São Paulo. Em estudo na cidade de Vitória, no Espírito Santo, Xavier (2017) constata por meio de simulações com o software ENVI-met que a presença de vegetação no meio urbano tem grande influência na atenuação do rigor térmico. O estudo chegou a observar a diferença de $3,5^{\circ}\text{C}$ na temperatura do ar entre uma área arborizada e uma área não arborizada.

Um dos poucos modelos que descreve a maior parte dos processos climáticos que agem no ambiente urbano é o ENVI-met, afirmam Shinzato e Duarte (2018). Com uma abordagem avançada sobre as interações solo-vegetação-atmosfera, o ENVI-met leva em consideração o processo fisiológico da evapotranspiração das árvores além do sombreamento propiciado pelas mesmas. O software também estabelece a temperatura média das folhas através do cálculo do balanço térmico e, ainda, faz o cálculo do fluxo de radiação, considera o sombreamento, a absorção e a reemissão da radiação por outras partes da vegetação (SHINZATO; DUARTE, 2018).

As mudanças climáticas produzidas pelas transformações geradas nas áreas urbanas tanto em áreas tropicais quanto temperadas, podem produzir o fenômeno das ilhas de calor. Visando avaliar estratégias de mitigação desse fenômeno em Cuiabá/MT, Maciel (2014) trabalha com simulação cenários no software ENVI-met. Ainda ressalta que espera que seu estudo atente para o papel primordial da utilização de estratégias que busquem amenizar o rigor climático advindo do clima das cidades.



Através de simulações com o ENVI-met, Salata e outros (2017) estudando o fenômeno de Ilhas de Calor, evidenciam redução de temperatura do ar por meio de combinações de vegetação e cobertura do solo, em pesquisa realizada no campus da Universidade Sapienza em Roma. Foi verificado que com a combinação correta desses recursos é possível reduzir em 60% o risco a saúde para a população exposta.

Huttner e outros (2008), utilizando o ENVI-met avaliaram o impacto do aquecimento global em cidades da Europa central e possíveis medidas a serem propostas por planejadores. Utilizando o ENVI-met para assessorar no planejamento ambiental de novas cidades, um projeto desenvolvido na Região de Teerã-Karaj elaborou estudos para simular o microclima da nova cidade de Hashtgerd (LANGER *et al.*, 2012). Em estudo na cidade de Atenas na Grécia, Chatzinikolaou e outros (2018) fazem a comparação de cenários bioclimáticos a fim de ponderar como a existência de diversas formas de inserção da vegetação no meio urbano podem afetar a temperatura e a condição de conforto térmico.

Conforme é possível perceber nos estudos relatados em diversas partes do Brasil e do mundo a ampla gama de possibilidades que o software ENVI-met permite explorar para auxiliar no crescimento, no desenvolvimento e no planejamento das cidades de forma a reduzir os impactos no microclima e na percepção humana do mesmo, propiciando um desenvolvimento urbano sustentável.

O ENVI-met já vem sendo utilizado em 145 países, dentre eles no projeto de um bairro sustentável e otimizado para o clima em Viena, na Áustria. O projeto faz parte na iniciativa Cidades Inteligentes do Fundo Austríaco de Energia e Clima (Austrian Energie und Klimafond), no qual busca demonstrar o uso da infraestrutura verde como ferramenta integrada no processo de planejamento, trazer a natureza de volta ao espaço urbano com o intuito de reduzir o estresse térmico e melhorar tanto o microclima urbano quanto a qualidade de vida da população. O desenvolvimento do projeto contou com a participação de planejadores urbanos, arquitetos e moradores locais (ENVI-MET, 2021).

Em um concurso para o redesenho da cidade de Atenas, o primeiro lugar utilizou o software ENVI-met para analisar a capacidade da proposta de melhorar a temperatura do ar, o conforto térmico e o uso de energia nos edifícios. O Rethink Athens é financiado pela União Europeia e tem o intuito de melhorar, além da qualidade dos espaços públicos e o conforto do usuário, o microclima e também evitar o desenvolvimento de ilhas de calor urbanas (ENVI-MET, 2021).



Um efetivo e embasado planejamento da cidade pode direcionar sua capacidade de desenvolvimento, indicando restrições e limitações, norteando diretrizes para a ocupação do solo, estabelecendo estratégias e políticas de forma a manter e melhorar a qualidade de vida de seus ocupantes (DUARTE, 2009).

Santos (2004) aponta que a possibilidade de simular diversas situações para cenários futuros, sendo predições de condições ambientais de momentos que acontecerão em breve ou até mesmo mais distantes, nos possibilita averiguar e atuar em um futuro provável e/ou desejável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível verificar nesta pesquisa a ampla utilização do software ENVI-met em todo o mundo, com comportamentos climáticos peculiares, auxiliando na avaliação do clima versus o meio urbano. Pesquisas estas em que o software foi utilizado na avaliação da influência no microclima de diversas formas de inserção da vegetação no meio urbano, na avaliação do grau de qualidade ambiental propiciado pela configuração urbana, como ferramenta para elaboração de índice numérico com o objetivo de definir a melhor relação entre as variáveis ambientais, na avaliação da morfologia urbana e do conforto térmico, na elaboração de estratégias para mitigação de ilhas de calor, na avaliação do impacto do aquecimento global e também para assessorar o planejamento ambiental de novas cidades.

Vários pesquisadores demonstraram através dos resultados de suas pesquisas ganhos na amenização do rigor climático a partir de possibilidades de alterações no planejamento e (re)planejamento urbano analisadas a partir de simulações no ENVI-met, sem o qual não seria possível mensurar e avaliar as propostas versus os benefícios.

O processo de urbanização acontece sem o devido planejamento na maioria das vezes, o que nos torna meros expectadores das consequências climáticas adivindas desse processo. A simulação computacional permite verificar o impacto futuro que a mudança no meio irá causar, antever as condições futuras, permitindo que sejamos agentes ativos na avaliação e na busca de estratégias para reduzir os impactos climáticos da urbanização. A simulação computacional é uma estratégia com um ótimo custo-benefício, sustentável e que visa o bem estar do meio e daqueles que vivem nele.

A questão climática em relação ao planejamento urbano ainda é pouco explorada ou ineficiente nas legislações municipais brasileiras. Se faz necessária a estruturação de um corpo



técnico multidisciplinar e qualificado que possa revisar as normas existentes, pondo em prática estratégias para um desenvolvimento sustentável, além da necessidade de uma postura governamental realmente voltada para o bem estar da cidade e da população.

REFERÊNCIAS

ACHOUR-YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor Thermal Comfort: impact of the geometry of an urban secret canyon in a Mediterranean Subtropical climate – case study Tunis, Tunisia. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 216, n. october 2015, p. 689-700, 2016. Elsevier B.V.

ALVES, E. D. L.; BRÚSSLO, R. G.; NEVES, G. Z. de F. **Clima urbano: Contribuições teóricas e aplicadas em cidades de pequeno e médio porte.** In: VECCHIA, F. A. da S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. de F. (ORG). *Climatologia Dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações.* São Carlos: RiMa Editora, 2020. 288p. p. 110 – 161.

ASSIS, E. S. de. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana:** análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. Rio de Janeiro, 1990. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

ASSIS, E. S. de *et al.* **Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado.** In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, 2013.

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, T. de S. A urbanização e as modificações do clima. In: GONÇALVES, T. M.; SANTOS, R. dos (Org.). **Cidade e meio ambiente:** estudos interdisciplinares. Criciúma, SC: Ed. UNESC, 2010. p. 207-228.

BARATA, M. M. L. *et al.* Use of Climate Change Projections for Resilience Planning in Rio de Janeiro, Brazil. **Frontiers in Sustainable Cities.** London, v. 2, n. 28. 2020.

BARBOSA, A. **Urbanismo bioclimático:** efeitos do desenho urbano na sensação térmica. 2017. 329 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano, 2017.

BRUSE, M. **Simulating the effects of urban environmental on microclimate with a three-dimensional numerical model.** In: *Climate and Environmental Change, Conference Meeting of the Commission on Climatology*, Evora, 1998.

CHATZINIKOLAOU, E. *et al.* Urban microclimate improvement using ENVI-met climate model. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-4, 2018 ISPRS TC IV Mid-term Symposium “3D Spatial Information Science – The Engine of Change”, p. 1–5, 2018.

DUARTE, F. **Planejamento urbano.** Curitiba: IBPEX, 2009.



ENVI-MET. **Portfolio**. Disponível em: <<https://www.envi-met.com/pt-pt/portfolio/>>. Acesso em: 02 out. 2021.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima urbano**: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GOLANY, G. S. Urban design morphology and thermal performance. **Atmospheric Environment**, London, v. 30, n. 3, p. 455-465, 1996.

GUSSON, C. S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano**: construção de diversos cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature PET – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

HUTTNER, S *et al.* **Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities**. In: 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, p. 307-312, 2008.

JOHANSSON, E. **Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates**. Int J. Biometeorol. 2006.

LABAKI, L. C. *et al.* **Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos**. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LANGER, I. *et al.* **Using the ENVI-met program to simulate the microclimate in new Town Hashtgerd**. The international conference on Computing, Networking and Digital Technologies, (SDIWC 2012), p. 61-64, 2012.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.

MACIEL, C. de R. **Condições microclimáticas de espaços abertos**: simulação de estratégias por meio do software ENVI-met. 2014. 93 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2014.

MENDONÇA, F. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos – a contingência climática. **Mercator**, v. especial, p.153-163, 2010.

MILLS, G. *et al.* Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, 1, 2010, 228-246, 2010.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.



OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report n° 81, n° 1250. Canadá: WMO/TD, 2006.

SALATA, F. *et al.* Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: an analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 30, p. 79-96, 2017.

SANTOS, R. **Planejamento Ambiental:** teoria e prática. Oficina de Textos, 2004.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 197-215, abr./jun. 2018.

SILVA, B. A. *et al.* **O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambientes urbanos.** In: Euro-ELECS 2015 – Latin American and European conference on sustainable buildings and communities, Guimarães, 2015.

SILVA, C. F. e. **O conforto térmico de cavidades urbanas:** contexto climático do Distrito Federal. 2013. 175 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2013.

SILVA, I. C. dos S. e. **Índice Ambiental Urbano (IAU):** uma contribuição ao estudo do planejamento e do conforto térmico em espaços abertos. 2017. 218 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, 2017.

TORRES, S. C. **Forma e conforto:** estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano. Recife, 2017.

XAVIER, T. C. **A influência da arborização no microclima urbano:** um estudo aplicado à cidade de Vitória, ES. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. Vitória, 2017.